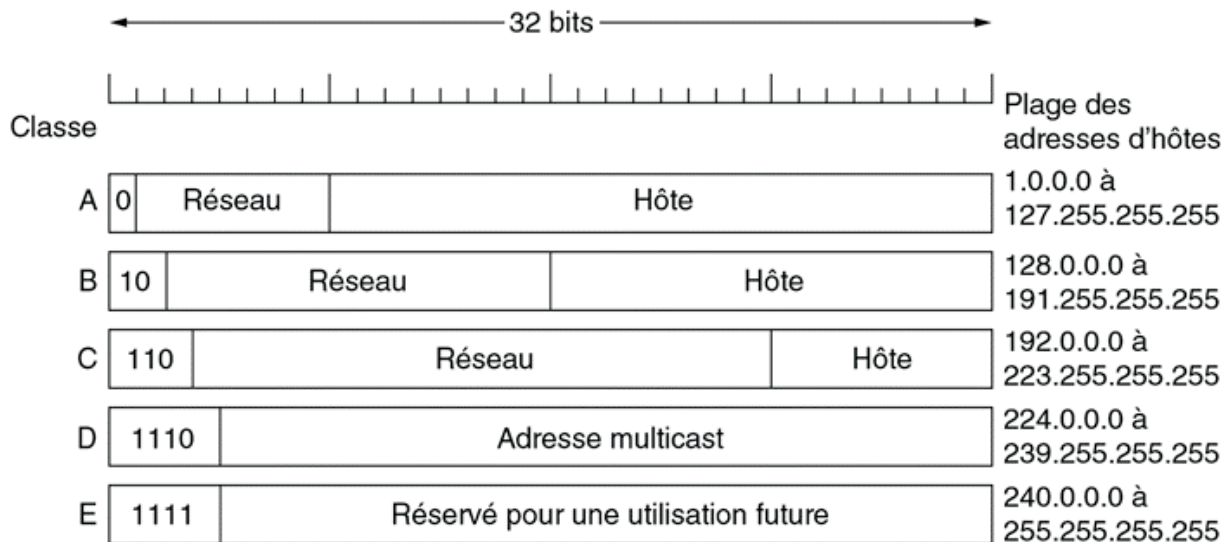


## Chapitre 1

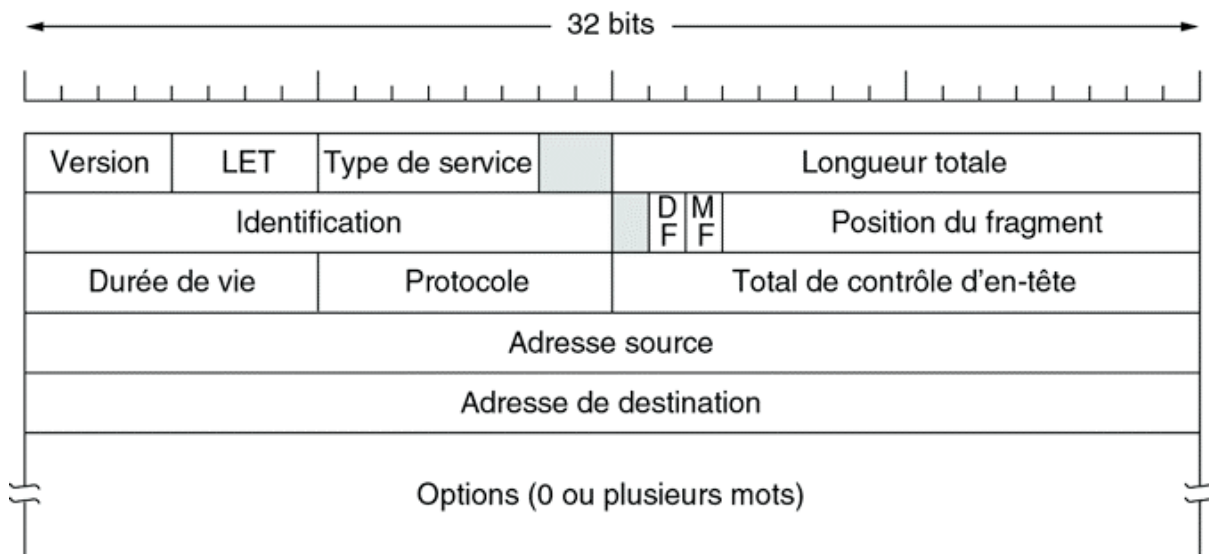
# Introduction : Notion de Routage

## 1. Rappel sur l'adressage IP



- certaines adresses sont réservées (11110\*, 127.x.y.z),
- les adresses réseaux sont distribuées par le NIC (Network Information Center).

### 1.1 L'entête d'un paquet IP



- entête fixe de 20 octets, plus un champ option variable,
- les champs adresses sur 32 bits,
- taille maximale du paquet: 65535 octets.

**❓-Une adresse IP c'est**

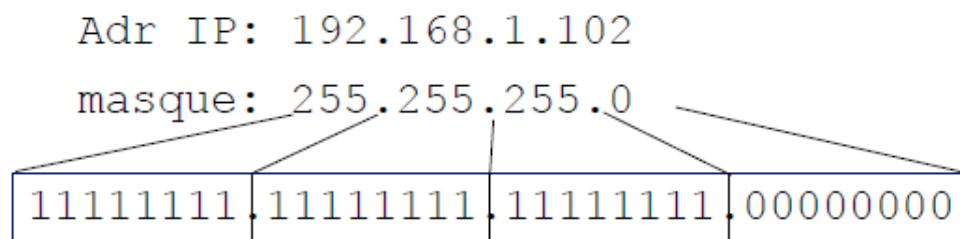
- Une partie réseau qui détermine l'adresse de réseau
- Une partie machine
- Ex: 192.168.1.102
- L'adresse de réseau permet d'adresser toutes les machines d'un même réseau (analogie avec une adresse postale)

**- Il faut savoir où se trouve la limite de la partie réseau et où commence la partie machine**

- Notion de masque de réseau
- Adresse IP=32 bits, donc masque de réseau sur 32 bits

**2.2 Masque de réseau**

**Le masque de réseau comporte (de gauche à droite) autant de « 1 » binaire que la partie réseau de l'adresse comporte de bits**



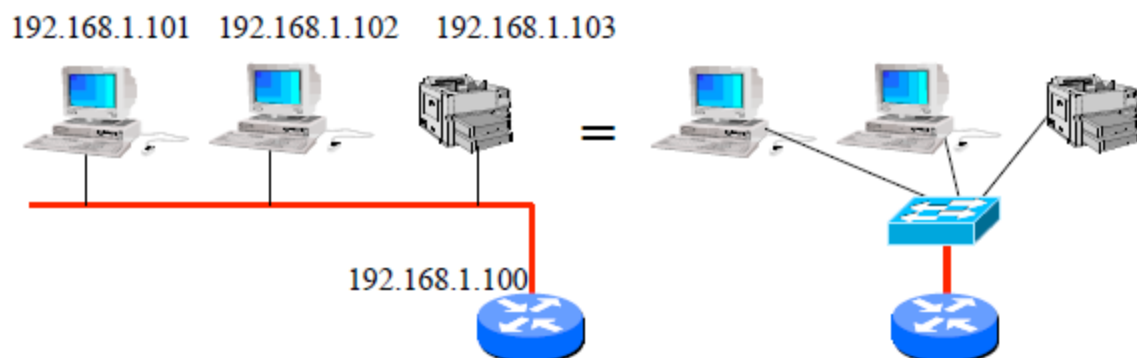
Masque=24 bits, donc la partie réseau comporte 24 bits

Adr IP: 192.168.1.102  
           réseau  machine

**La machine d'adresse 192.168.1.102 appartient au réseau 192.168.1.0 et a comme numéro 102 dans ce réseau**

**Pour que 2 machines puissent communiquer...****- Il faut qu'elles soient**

- physiquement connectées (sur le même bus, reliés à un commutateur/hub,...)

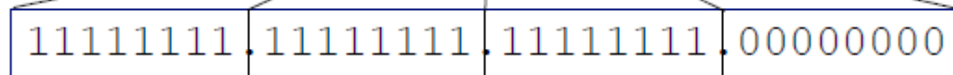


- Logiquement sur le même réseau: même adresse de réseau!

Adr IP1: 192.168.1.102

Adr IP2: 192.168.1.36

masque: 255.255.255.0



**Donc adresse de réseau=192.168.1.0**

Adr IP1: 11000000.10101000.00000001.01100110

et

11111111.11111111.11111111.00000000

réseau: 11000000.10101000.00000001.00000000

Adr IP2: 11000000.10101000.00000001.01100110

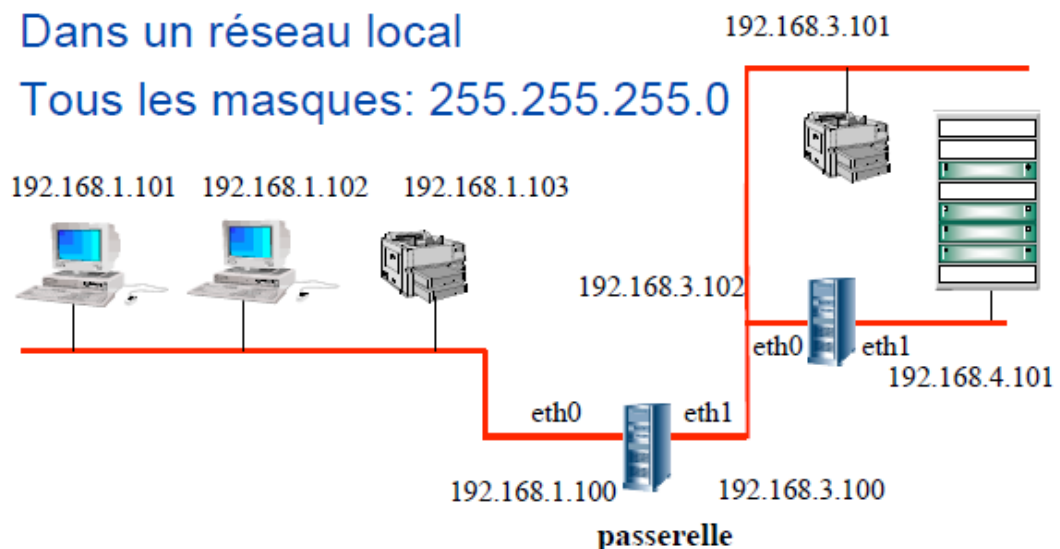
11111111.11111111.11111111.00000000

réseau: 11000000.10101000.00000001.00000000

**Même adresse de réseau=même réseau logique**

### 1.3 Passerelle, gateways,...

- Dans un réseau local
- Tous les masques: 255.255.255.0



Sous Linux , la commande <<route>> permet d'indiquer l'accessibilité des réseaux distants.

## route sous Linux

### ■ Ajouter une route pour un réseau

- `route [-v] [-A family] add [-net|-host] target [netmask Nm] [gw Gw] [metric N] [mss M] [window W] [irtt I] [reject] [mod] [dyn] [reinststate] [[dev] If]`
- `route add -net 192.168.3.0 netmask 255.255.255.0 eth1`

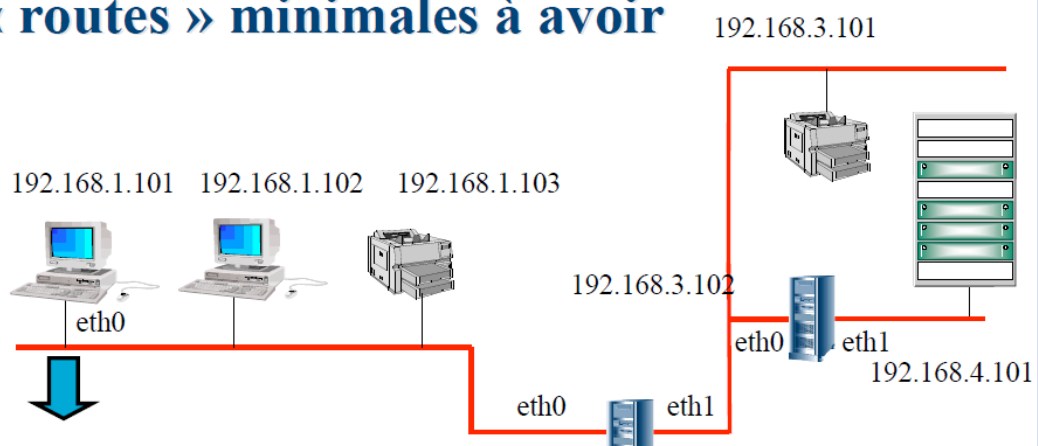
### ■ Effacer une route

- `route [-v] [-A family] del [-net|-host] target [gw Gw] [netmask Nm] [metric N] [[dev] If]`
- `Route del -net 192.168.3.0 netmask 255.255.255.0 eth1`

### ■ Afficher les routes

- `route`
- `route -n` : n'affiche pas les noms symboliques

## Les « routes » minimales à avoir



```
> ifconfig eth0 192.168.1.101 netmask 255.255.255.0
> route
Table de routage IP du noyau
Destination  Passerelle  Genmask          Indic Metric Ref      Use Iface
localnet    *           255.255.255.0    U      0      0        0 eth0
> route -n
Table de routage IP du noyau
Destination  Passerelle  Genmask          Indic Metric Ref      Use Iface
192.168.1.0  0.0.0.0     255.255.255.0    U      0      0        0 eth0
```

## 1.4 Accessibilité locale

### Accessibilité locale

```
>ping 192.168.1.102
```

192.168.1.101 192.168.1.102 192.168.1.103



192.168.3.102

eth0 eth1

192.168.4.101

eth0 eth1

```
> ifconfig eth0 192.168.1.101 netmask 255.255.255.0
```

```
> route
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
localnet	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0

```
> route -n
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0

## 1.5 Accessibilité Distante

### Accessibilité distante (1)

```
>ping 192.168.3.101
```

```
>network unreachable
```

192.168.1.101 192.168.1.102 192.168.1.103



192.168.3.102

eth0 eth1

192.168.4.101

eth0 eth1

```
> route
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
localnet	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0

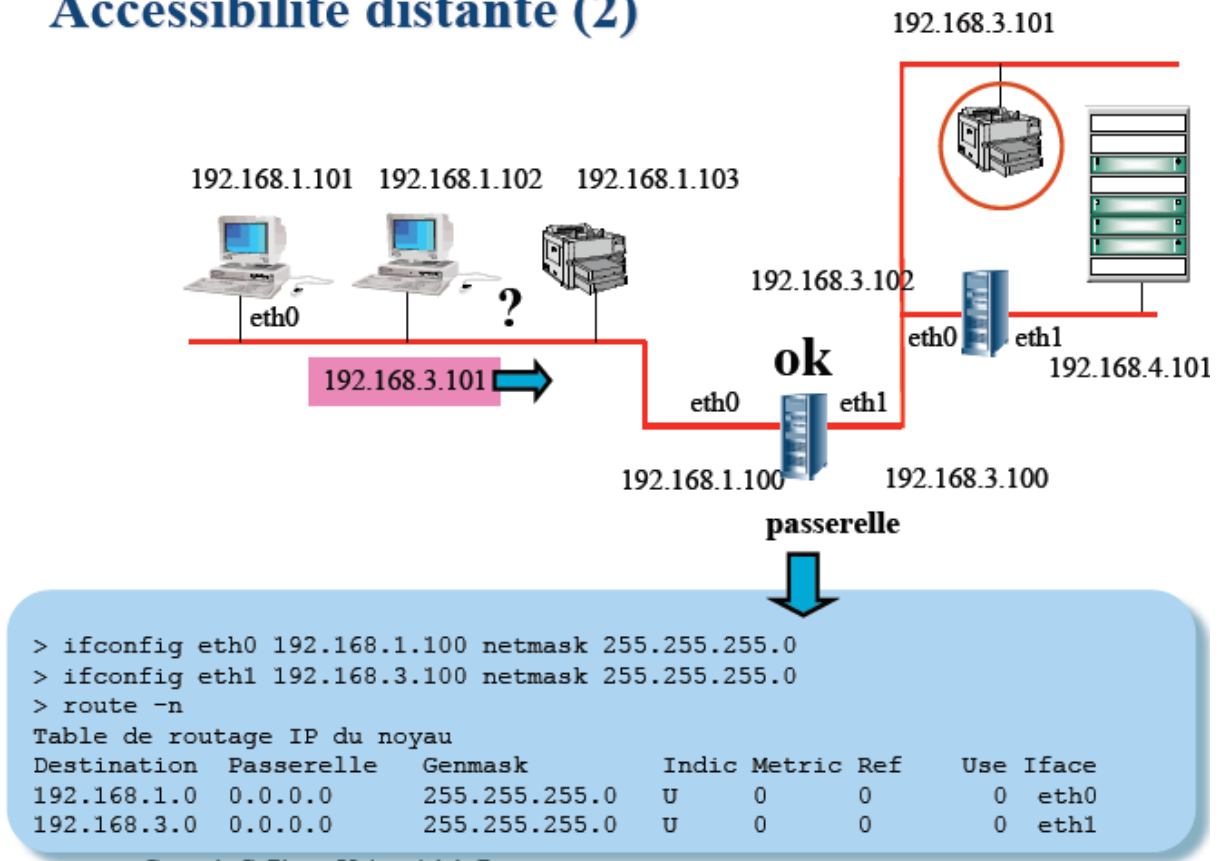
```
> route add -net 192.168.3.0 netmask 255.255.255.0 eth0
```

```
> route
```

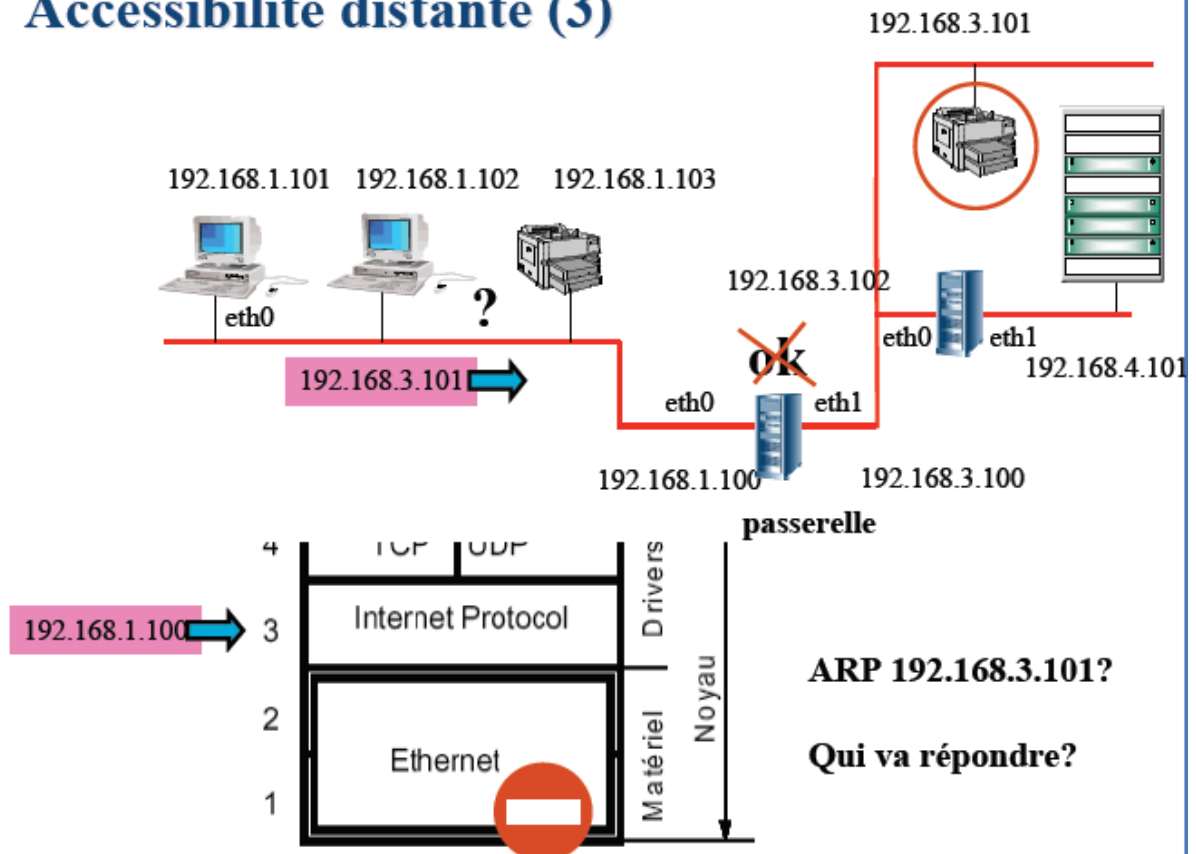
Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
localnet	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
192.168.3.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0

## Accessibilité distante (2)

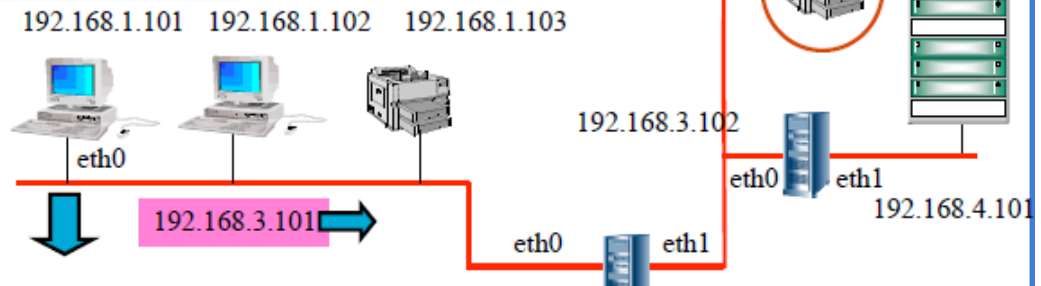


## Accessibilité distante (3)



## Accessibilité distante (4)

```
>ping 192.168.3.101
>network unreachable
```

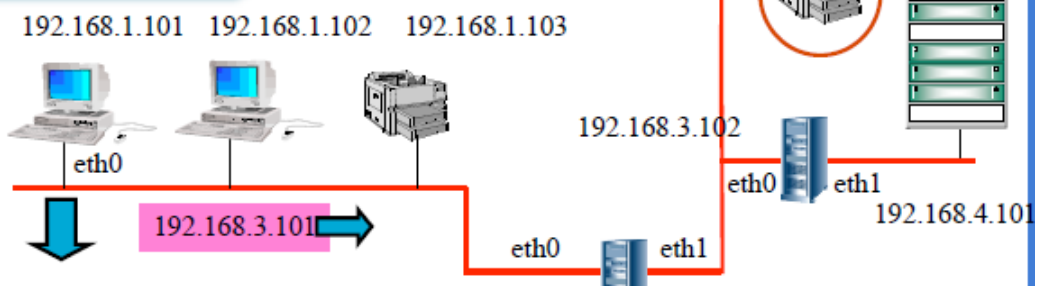


```
> route
Table de routage IP du noyau
Destination  Passerelle  Genmask          Indic Metric Ref    Use  Iface
localnet     *            255.255.255.0    U        0      0      0   eth0
```

```
> route add -net 192.168.3.0 netmask 255.255.255.0 eth0
> route
Table de routage IP du noyau
Destination  Passerelle  Genmask          Indic Metric Ref    Use  Iface
localnet     *            255.255.255.0    U        0      0      0   eth0
192.168.3.0  *            255.255.255.0    U        0      0      0   eth0
```

## Accessibilité distante (5)

```
>ping 192.168.3.101
>network unreachable
```



```
> route
Table de routage IP du noyau
Destination  Passerelle  Genmask          Indic Metric Ref    Use  Iface
localnet     *            255.255.255.0    U        0      0      0   eth0
```

```
> route add -net 192.168.3.0 netmask 255.255.255.0 eth0 gw 192.168.1.100
> route
Table de routage IP du noyau
Destination  Passerelle  Genmask          Indic Metric Ref    Use  Iface
localnet     *            255.255.255.0    U        0      0      0   eth0
192.168.3.0  192.168.1.100 255.255.255.0    UG        0      0      0   eth0
```



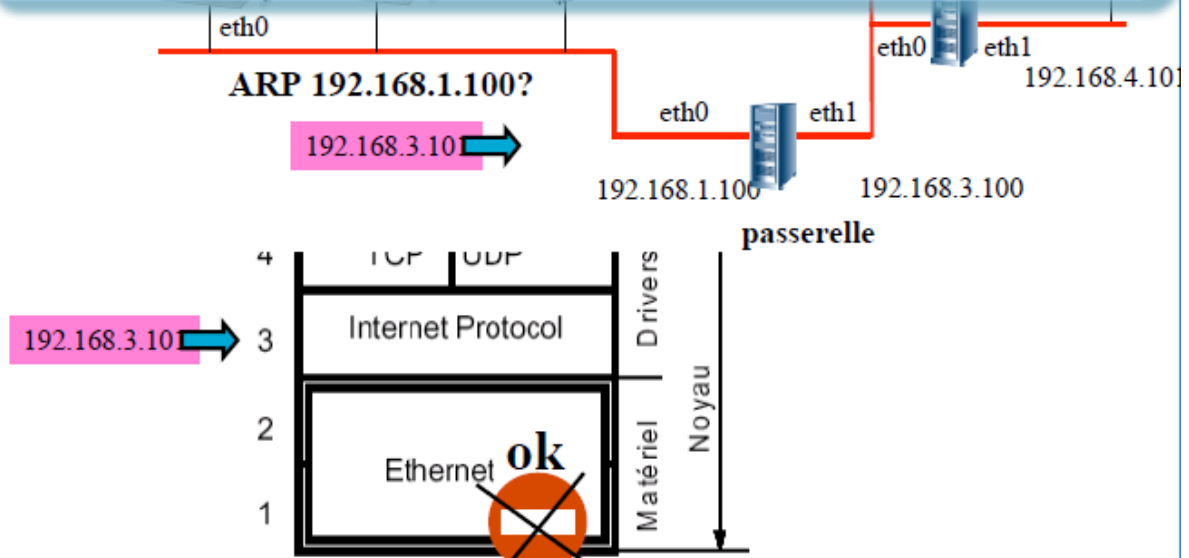
## Accessibilité distante (6)

```
>ping 192.168.3.101
```

```
> route
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
localnet	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
192.168.3.0	192.168.1.100	255.255.255.0	UG	0	0	0	eth0

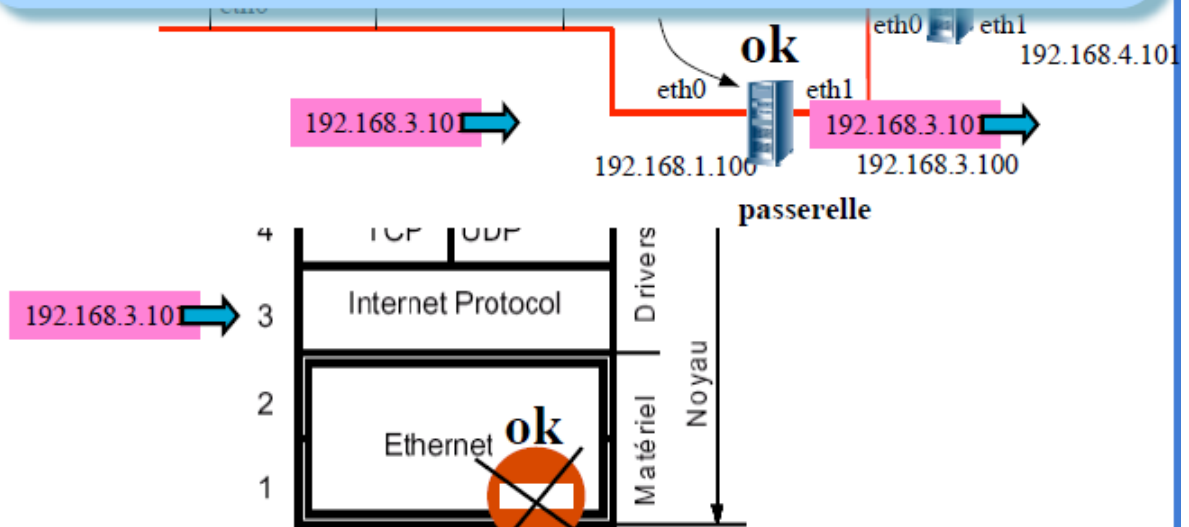


## Accessibilité distante (7)

```
> ifconfig eth0 192.168.1.100 netmask 255.255.255.0
> ifconfig eth1 192.168.3.100 netmask 255.255.255.0
> route -n
```

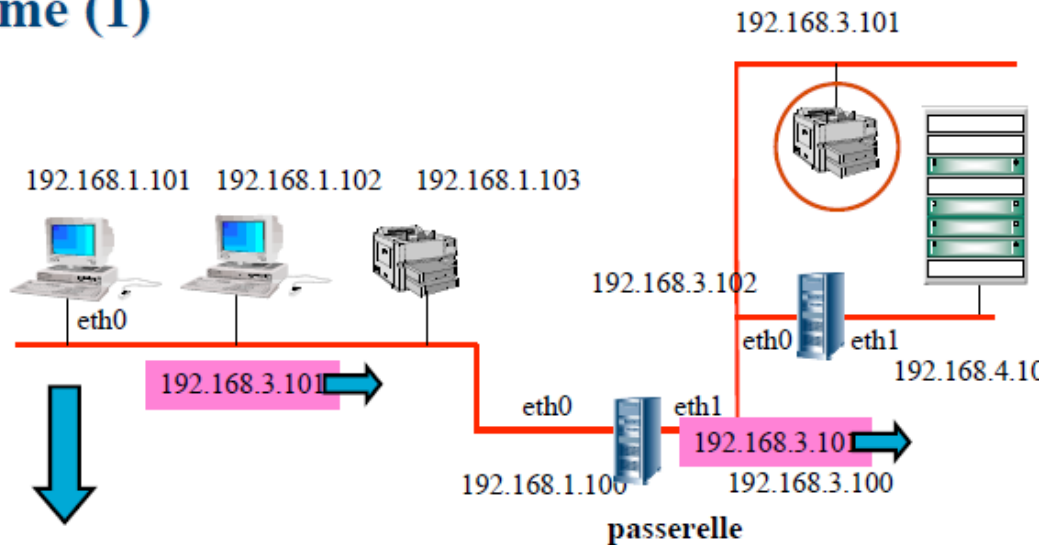
Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
192.168.3.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth1





## Résumé (1)



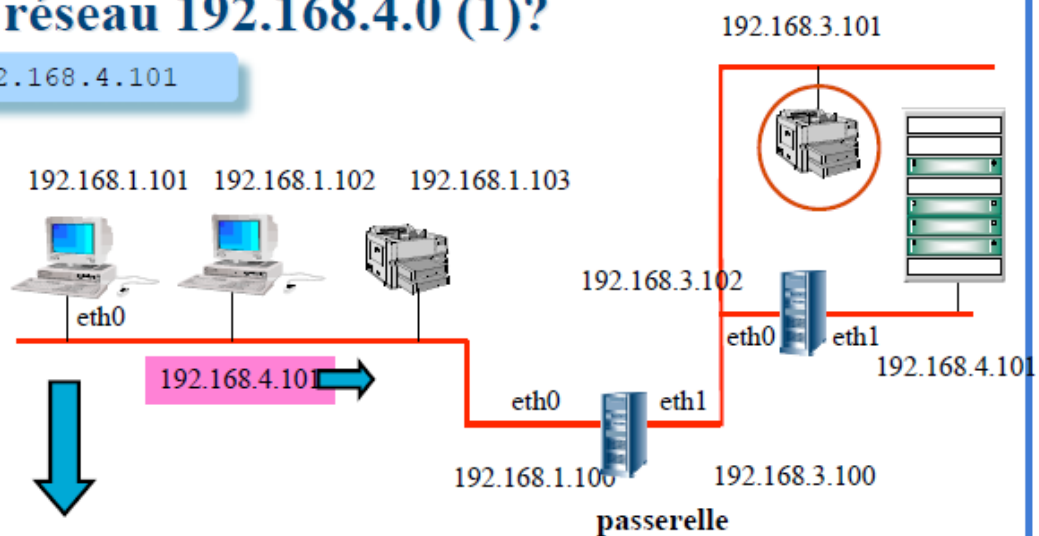
```
> ifconfig eth0 192.168.1.101 netmask 255.255.255.0
> route add -net 192.168.3.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.1.100
> route
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
localnet	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
192.168.3.0	192.168.1.100	255.255.255.0	UG	0	0	0	eth0

## Et le réseau 192.168.4.0 (1)?

```
> ping 192.168.4.101
```



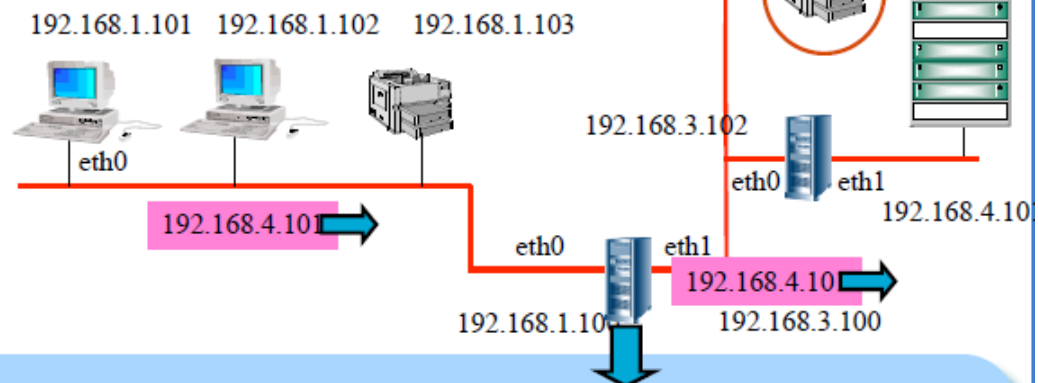
```
> route add -net 192.168.3.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.1.100
> route add -net 192.168.4.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.1.100
> route
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
localnet	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
192.168.3.0	192.168.1.100	255.255.255.0	UG	0	0	0	eth0
192.168.4.0	192.168.1.100	255.255.255.0	UG	0	0	0	eth0

## Et le réseau 192.168.4.0 (2)?

```
>ping 192.168.4.101
```



```
> ifconfig eth0 192.168.1.100 netmask 255.255.255.0
> ifconfig eth1 192.168.3.100 netmask 255.255.255.0
> route add -net 192.168.4.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.3.102
```

```
> route -n
```

Table de routage IP du noyau

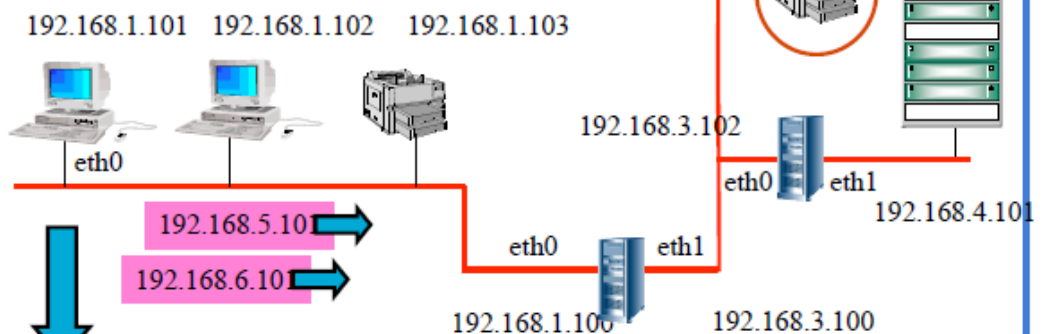
Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
192.168.1.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
192.168.3.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth1
192.168.4.0	192.168.3.102	255.255.255.0	UG	0	0	0	eth1

### 1.6 Route par Défaut

## Route par défaut

```
>ping 192.168.5.101
```

```
>ping 192.168.6.101
```



```
> route add default gw 192.168.1.100
```

```
> route add -net 192.168.5.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.1.100
```

```
> route add -net 192.168.6.0 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.1.100
```

```
> ...
```

0.0.0.0	192.168.1.100	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth0
---------	---------------	---------	----	---	---	---	------

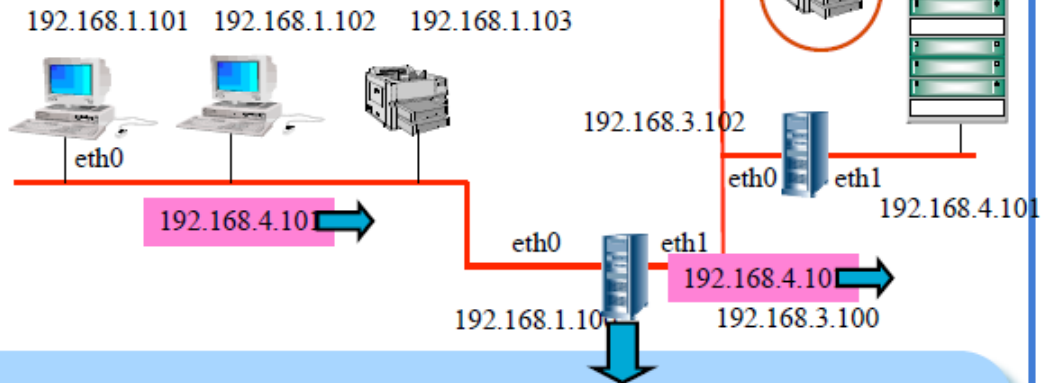
```
> route
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
192.168.1.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
default	192.168.1.100	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth0

## Les passerelles aussi...

```
>ping 192.168.4.101
```



```
> ifconfig eth0 192.168.1.100 netmask 255.255.255.0
> ifconfig eth1 192.168.3.100 netmask 255.255.255.0
> route add default gw 192.168.3.102
```

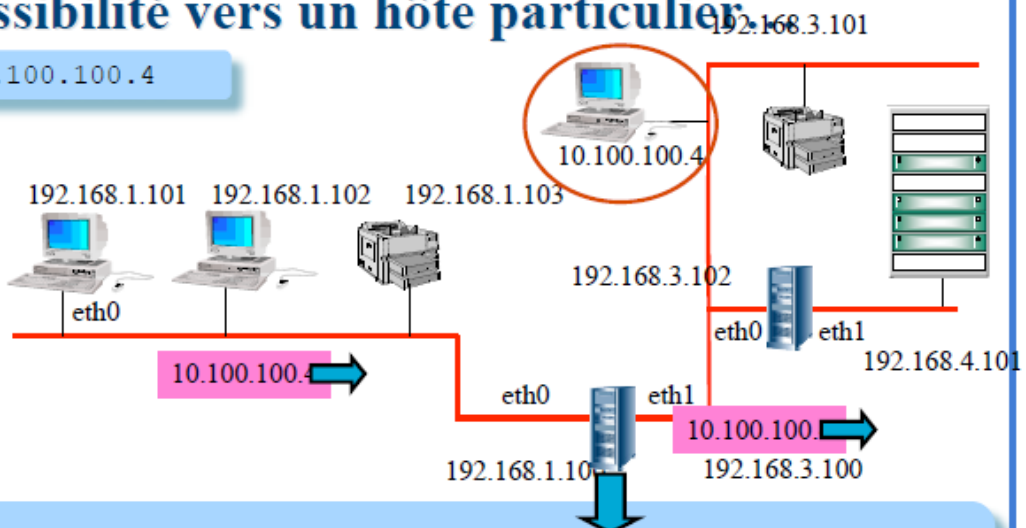
```
> route
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
192.168.1.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
192.168.3.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth1
default	192.168.3.102	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth1

## Accessibilité vers un hôte particulier

```
>ping 10.100.100.4
```

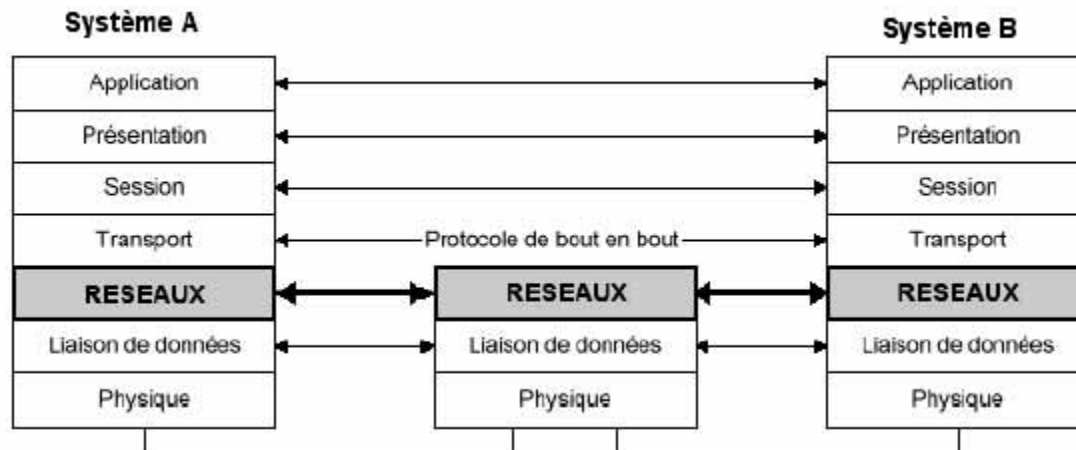


```
> ifconfig eth0 192.168.1.100 netmask 255.255.255.0
> ifconfig eth1 192.168.3.100 netmask 255.255.255.0
> route add default gw 10.100.100.4
```

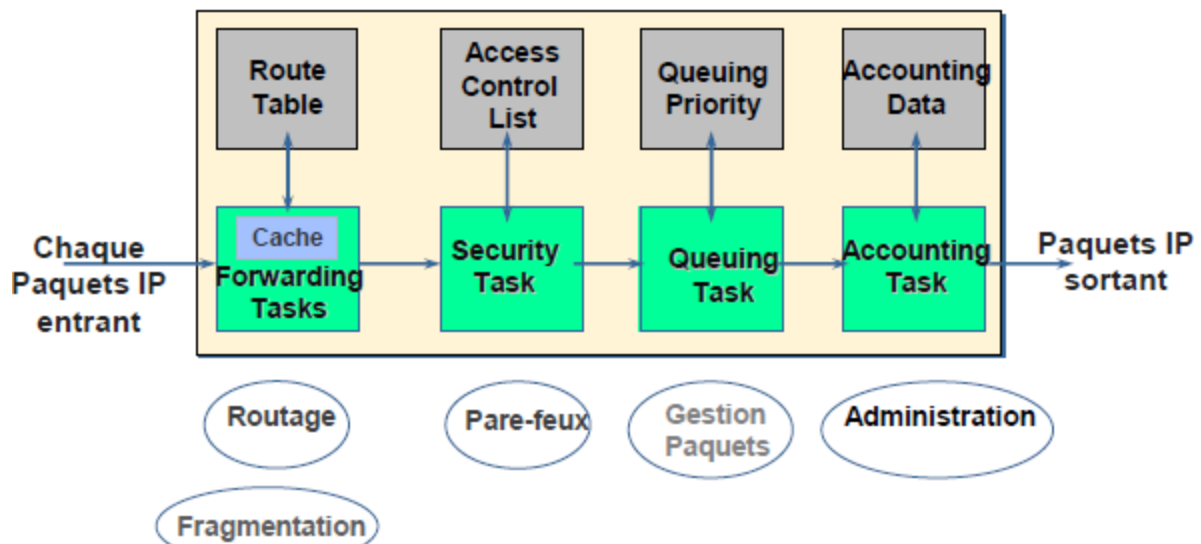
```
> route add -host 10.100.100.4 eth1
> route
```

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Metric	Ref	Use	Iface
192.168.1.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
192.168.3.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	eth1
10.100.100.4	*	255.255.255.255	UH	0	0	0	eth1

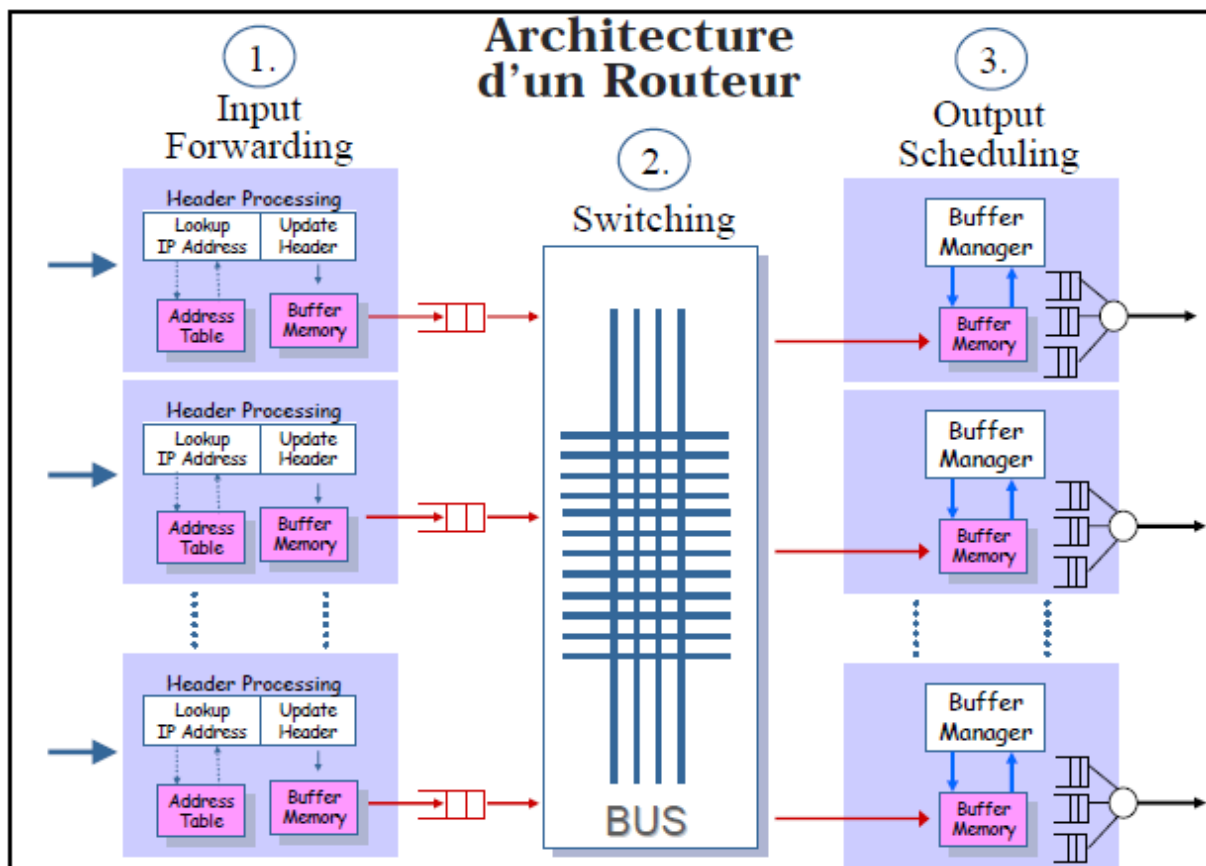
## 2. Routage IP



### 2.1 Fonction d'un routeur IP



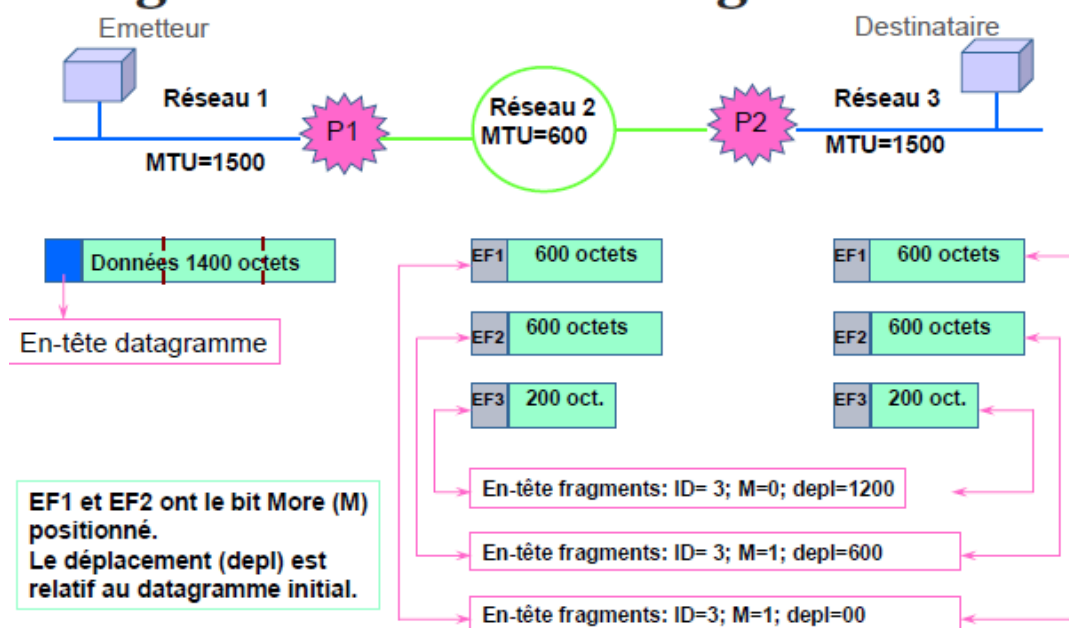
## 2.2 Architecture d'un routeur



## 2.3 Fonctionnement d'un Routeur

### 2.3.1 Fragmentation des datagrammes

## Fragmentation des datagrammes IP



- Un routeur permet de déterminer le meilleur chemin dans un réseau maillé vers une destination identifiée par une adresse de réseau IP.
- Un routeur utilise :
  - **TABLE DE ROUTAGE** (ou table d'acheminement) située dans chaque nœud : information nécessaire pour atteindre le prochain nœud vers la destination. Ex. Table de routage ip (netstat -r)
  - **ALGORITHME DE ROUTAGE** : fonction distribuée sur chaque nœud qui a pour objectif de calculer les routes optimales pour atteindre une destination. Ex. Bellman-ford, Dijkstra,
  - **PROTOCOLES DE ROUTAGE** : pour rôle l'échange des informations de routes calculées par les algorithmes de routage et qui permettent la mise à jour dynamique des tables de routage. Ex. RIP, OSPF

Les machines et les routeurs participent au routage :

- Ils possèdent tous deux une table de routage,
- les machines doivent déterminer si le datagramme doit être délivré sur le réseau physique sur lequel elles sont connectées (routage direct) ou bien si le datagramme doit être acheminé vers un routeur; dans ce cas (routage indirect), elle doit identifier le routeur appropriée.
- les routeurs effectuent le choix de routage vers d'autres routeurs afin d'acheminer le datagramme vers sa destination finale.
- Commande : netstat -r

- Le Routage est réalisé par 3 fonctions :

1. **Le relayage (Forwarding)** : calcul du port de sortie
  1. analyse de l'adresse de destination du paquet IP
  2. et consultation d'une table de routage
  3. Fragmentation du paquet en fonction du MTU (Maximum Transmssion Unit) si besoin
2. **La commutation (Switching)** : transfert du ou des fragments de paquet du paquet d'un port d'entrée vers un port de sortie à travers un bus;
3. **L'ordonnancement (Scheduling)** : détermination de l'ordre d'émission des paquets sur la liaison de sortie

### 2.3.1 Tâches d'une passerelle IP

Pour chaque datagramme IP qui traverse une passerelle, le protocole IP :

1. détermine si ce sont des données utilisateur (TCP ou UDP) ou de contrôle (ICMP) (destinées à la passerelle (analyse du champ « Protocole »)
2. vérifie le checksum, si faux => destruction paquet
3. vérifie la liste de contrôle d'accès (optionnel : fonction de Pare-Feux)
4. décrémente la durée de vie (TTL) du paquet, si nulle => destruction
5. **forwarding: décide du routage** (consulte la table de routage)
6. **fragmente** le datagramme si nécessaire (pour respecter le MTU de la prochaine liaison)
7. **reconstruit l'en-tête IP** avec les champs maj (TTL, ID, FLAG, OFFSET, Checksum)
8. **Switching: transmet** le ou les fragments du paquet IP vers le port de sortie à travers le bus
9. **Scheduling: ordonnancement** du paquet dans la file de sortie
10. Remise du paquet à la couche 2 puis à la couche 1 pour codage et transmission
11. mise à jours des statistiques de trafic (optionnel)

A la réception dans l'hôte destinataire, IP :

0– vérifie le checksum

– s'il y a eu fragmentation, mémorise puis **réassemble**

– **délivre au niveau supérieur** (TCP, UDP) les données et les paramètres par la primitive DELIVER

### 2.3.1 Types de Routage

**Le Routage peut être statique et dynamique:**

– Les tables de routages peuvent être **configurées manuellement** sur le routeur, on parle alors de "**routage statique**".

– Elles peuvent aussi être **mises à jour automatiquement et dynamiquement**, c'est le « **routage dynamique** » (Internet).

#### Routage Direct

Délivrance d'un paquet à un hôte qui appartient au **même réseau physique**

La commande `ifconfig` permet la configuration du routage direct en associant une adresse IP à une carte réseau.

```
$ ifconfig eth0 172.16.0.1 netmask 255.255.0.0
$ ifconfig eth1 192.168.1.1 netmask 255.255.255.0
$ netstat -nr
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	Interface
172.16.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	eth0
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	eth1
127.0.0.0	0.0.0.0	255.0.0.0	U	lo

#### Routage Indirect

Délivrance d'un paquet à un hôte qui appartient à un **réseau physique différent**

La commande `route` permet **la configuration du routage indirect** en permettant **l'ajout et la suppression de route vers un hôte, un réseau ou une route par défaut**.

```
# route add default gw 172.16.0.2 dev eth0
$ netstat -nr
```

Table de routage IP du noyau

Destination	Passerelle	Genmask	Indic	lface
172.16.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	U	eth0
192.168.1.	0 0.0.0.0	255.255.255.0	U	eth1
127.0.0.0	0.0.0.0	255.0.0.0	U	lo
0.0.0.0	172.16.0.2	0.0.0.0 U	G	eth0

#### Remarques

Les tables de routage doivent être configurées sur l'ensemble des équipements (hôtes et routeurs).

Cas des hôtes:

Les tables de routages des postes se limitent souvent à une route par défaut : vers le routeur (gateway, donc souvent passerelle en français) qui permettra de sortir du réseau physique.

Cas des routeurs:

Les tables de routages sont donc configurées principalement au niveau des routeurs : manuellement (routage statique) ou automatiquement acquises par dialogue entre routeurs (routage dynamique).



La résolution des adresses MAC est réalisée par le protocole ARP (Address Resolution Protocol).

### 3. Algorithme de routage

Le routage consiste à **déterminer la route qu'un paquet doit prendre pour atteindre une destination** en fonction de l'adresse IP de destination et des routes contenues dans la table de routage.

L'équipement **recherche le réseau de destination à partir de l'adresse IP de destination**. On rappelle que l'adresse réseau s'obtient en effectuant un ET binaire entre l'adresse IP et un masque de réseau (netmask).

On distingue :

**\_Classfull** : basé sur les classes réseaux

Le principe du routage présenté précédemment est connu sous le nom de classfull. En résumé :

*interfaceTrouvée délivrer le paquet \_par routage direct*

*SI !interfaceTrouvée*

*ALORS*

*routeTrouvée \_délivrer par routage indirect*

*SI !routeTrouvée*

*ALORS délivrer le paquet par la passerelle par défaut*

*SINON renvoyer message : "Destination unreachable"*

*FSI*

*FSI*

**\_Classless** : sans classe

L'algorithme a évolué pour tenir compte des réseaux dont la taille est supérieure à la taille déduite de la classe (sur-réseaux). Ceci conduit à l'abandon de la notion de classe, seul le netmask détermine la taille du réseau. On utilise aussi le terme CIDR (Classless InterDomain Routing).

*POUR une adresse IP destination*

*trouvé rechercher dans la table de routage le préfixe le plus long \_qui correspond à l'adresse destination*

*SI trouvé*

*ALORS envoyer le paquet*

*SINON renvoyer le message : "Destination unreachable"*

*FSI*

*FPOUR*

Exemple de la règle du plus grand préfixe:

Table de routage

10.0.0.0/8 passé par venus

10.0.0.0/16 passé par mars

Un paquet destiné à 10.0.1.1 passera par mars.

Un paquet destiné à 10.3.1.1 passera par venus.

#### Route par défaut:

La route par défaut est notée **0.0.0.0** et correspond donc au **masque de longueur nulle** : toutes les adresses destinations correspondront. Suivant la règle du plus grand préfixe utilisée dans le routage, cette correspondance, étant la plus petite (0.0.0.0/0), sera donc bien testée et choisie en dernier (donc par défaut).

## 4. les Commandes de base

### Les commandes de base

<i>Commandes</i>	<i>Description</i>
<b>netstat</b>	Affiche les connexions réseau, les tables de routage, les statistiques des interfaces, les connexions masquées, les messages netlink, et les membres multicast.
<b>ping, ping6</b>	envoyer des datagrammes ICMP ECHO_REQUEST à des hôtes sur un réseau
<b>tracert</b>	affiche la route prise par des paquets sur le réseau afin d'atteindre une destination
<b>tracertpath, tracertpath6</b>	traces path to a network host discovering MTU along this path
<b>route</b>	affiche et manipule la table de routage IP permet de paramétrer le routage indirect
<b>ifconfig</b>	permet la configuration des interfaces et du routage direct
<b>ip</b>	TCP/IP interface configuration and routing utility

## Contenu

1. Rappel sur l'adressage IP .....	1
1.1 L'entête d'un paquet IP .....	1
1.2 Masque de réseau .....	2
1.3 Passerelle, gateways,.....	3
1.4 Accessibilité locale.....	5
1.6 Route par Défaut .....	10
2. Routage IP.....	12
2.1 Fonction d'un routeur IP .....	12
2.2 Architecture d'un routeur .....	13
2.3 Fonctionnement d'un Routeur .....	13
2.3.1 Fragmentation des datagrammes .....	13
2.3.1 Tâches d'une passerelle IP.....	14
2.3.1 Types de Routage .....	15
3. Algorithme de routeur.....	16
4. les Commandes de base .....	17