



4. Routage + IP

Routage + IP

4.1 Introduction et les grands principes du routage

4.2 Algorithmes de routage

4.3 Congestion

4.4 Qualité de service (non traité)

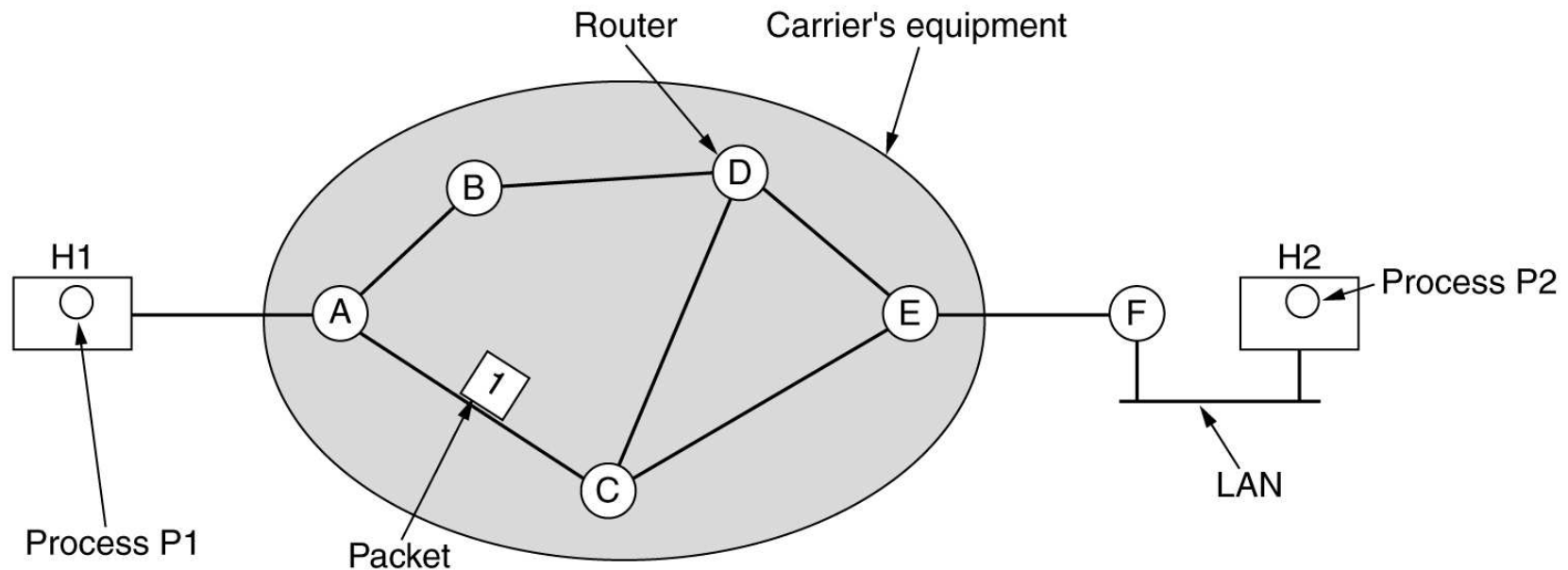
4.5 Interconnexion de réseaux

4.6 La couche réseau dans le réseau Internet : IP

Introduction : couche réseau dans son contexte

Une machine (au sein d'un LAN) a un message (**paquet** ou **datagramme**) à envoyer :

- elle l'envoie au **routeur** le plus proche (local ou distant)
- ce message est expédié au prochain routeur
- jusqu'à destination...

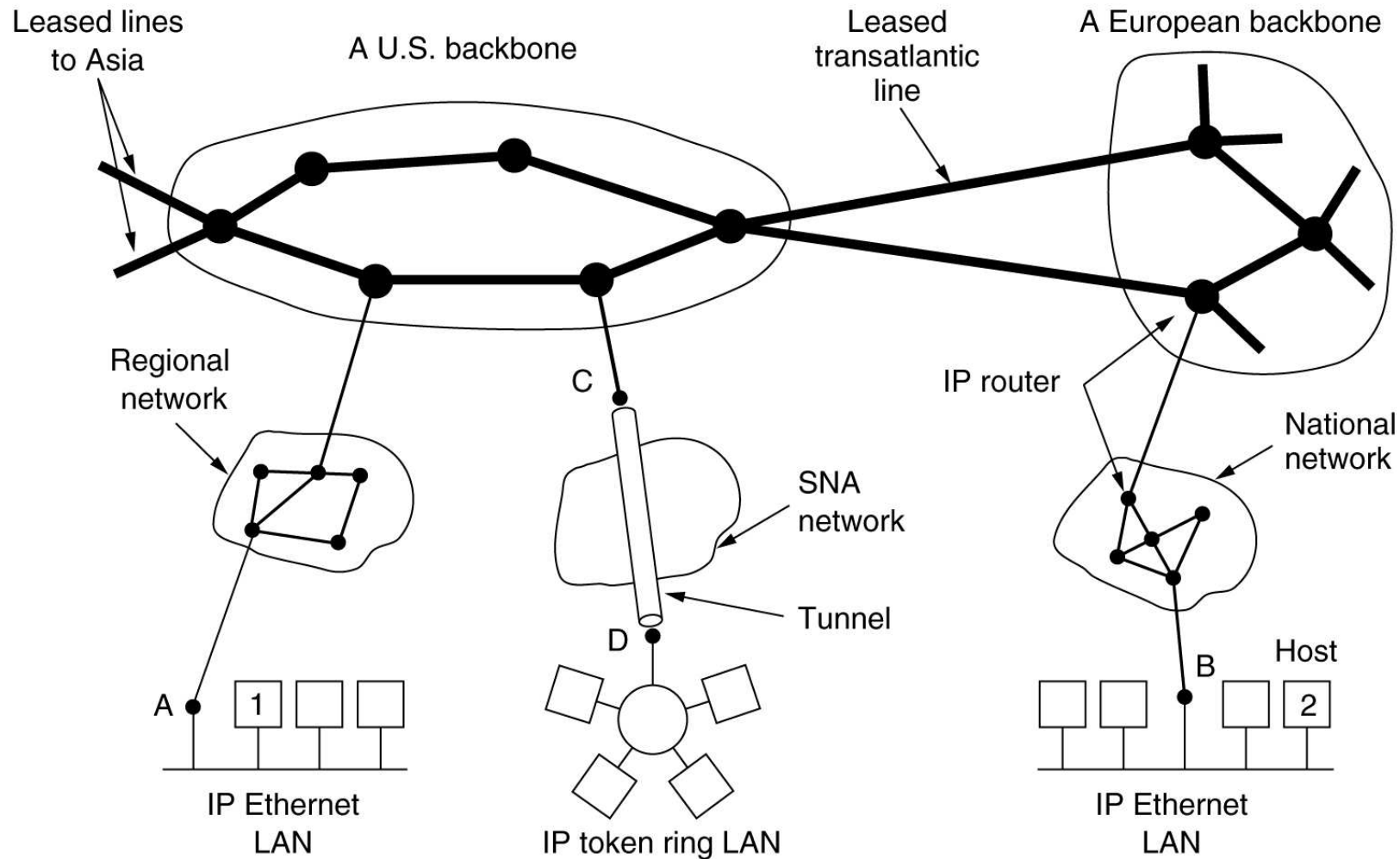


Les services de la couche réseau

La couche réseau (3) fournit des **services** à la couche transport (4) :

- **Acheminement** des messages à travers le réseau
- Assurer le **Contrôle de congestion**
- Gérer l'**Interconnexion de réseaux hétérogènes**

Internet = ens. de sous-réseaux indépendants (ou systèmes autonomes) interconnectés.



Deux types de services

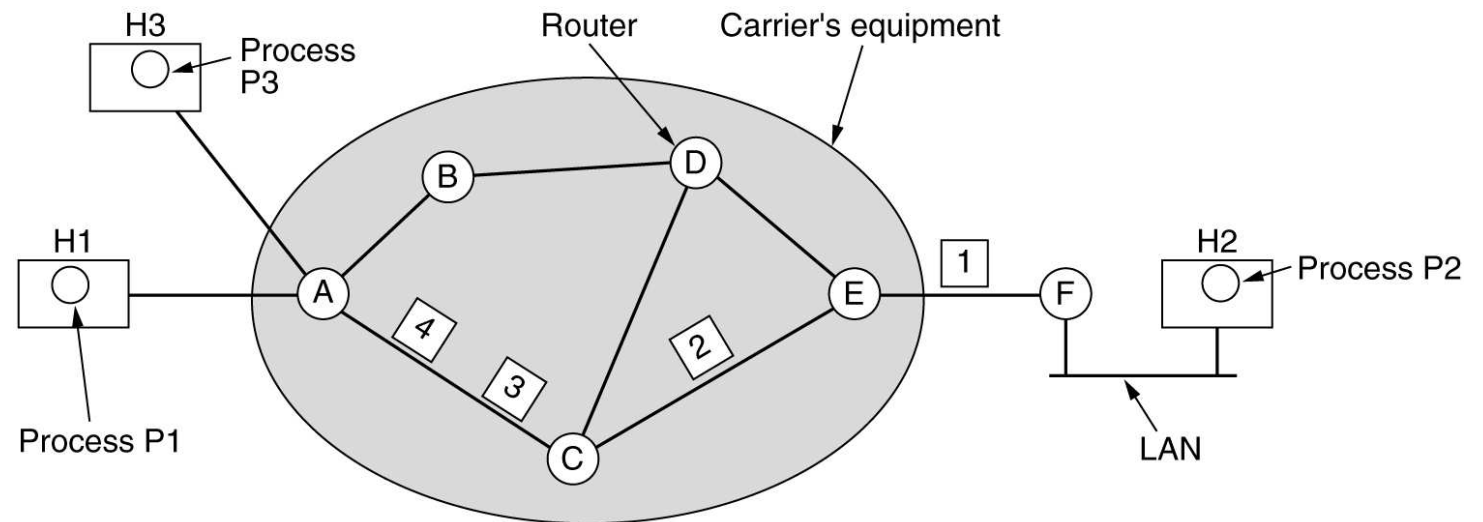
- **Non connecté** : les **datagrammes** sont acheminés indépendamment les uns des autres.
Ex : IP (Internet Protocol).
- **Connecté** : un chemin (ou **circuit virtuel**) est établi à la connexion, et libéré à la fin de la transmission. Lors d'une connexion, tous les **paquets** utiliseront un même chemin.
Ex : X25.3, ATM (Asynchronous Transfert Mode)

[ATM ne respecte pas OSI : dans le même niveau ATM (niveau2) sont gérés la connexion de bout-en-bout, le contrôle de flux et le routage...]

Type de services : Connecté

- **Connecté** : un chemin (ou **circuit virtuel**) est établi à la connexion, et libéré à la fin de la transmission. Lors d'une connexion, tous les **paquets** utiliseront un même chemin.

Ex : X25.3, ATM (Asynchronous Transfert Mode)

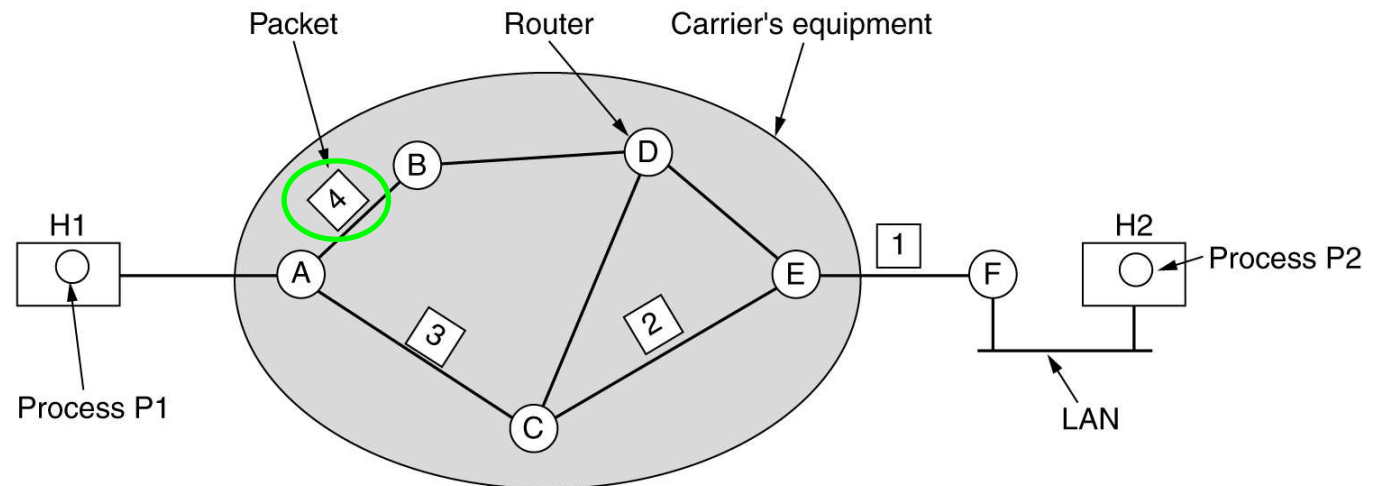


A's table				C's table				E's table			
H1	1	C	1	A	1	E	1	C	1	F	1
H3	1	C	2	A	2	E	2	C	2	F	2
In											

Type de service : Non connecté

- **Non connecté** : les **datagrammes** sont acheminés indépendamment les uns des autres.

Ex : IP (Internet Protocol).



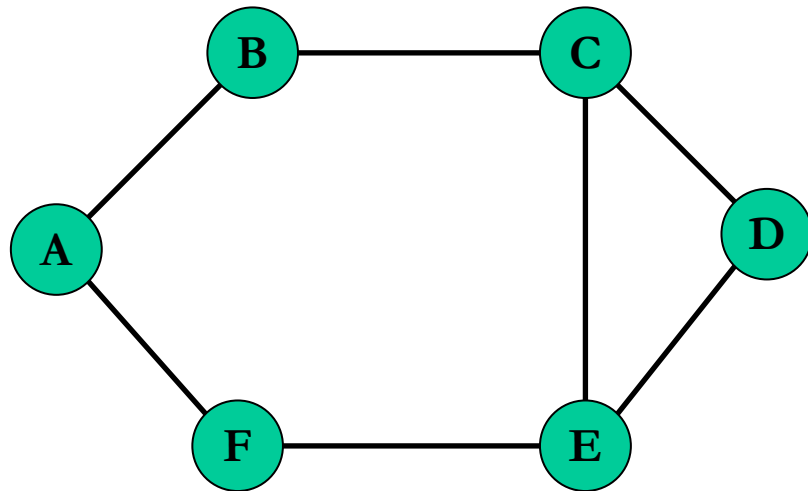
A's table			
initially	later	C's table	E's table
A -	A -	A A	A C
B B	B B	B A	B D
C C	C C	C -	C C
D B	D B	D D	D D
E C	E B	E E	E -
F C	F B	F E	F F
Dest. Line			

Comp. : Datagrammes versus Circuit Virtuel

	Datagramme	Circuit virtuel
Phase établissement	Non nécessaire	Requise
Adressage	Adresses complètes (source et destination)	Numéro de circuit
Routage	Chaque datagramme est indépendant	La même pour tous les paquets
Impact d'une panne d'un routeur	Aucun (sauf datagrammes perdus)	Tous les CV de ce routeur sont supprimés
Qualité de service	Difficile à garantir	Facile (relativement)
Contrôle de congestion	Difficile	Facile (relativement)

Routage : grands principes

- Voici ci-dessous un exemple très simplifié de réseau.



- Quels sont tous les chemins de A à D ?
- Lequel faut-il prendre ? Pourquoi ?
- Et si un routeur sur ce chemin préféré tombe en panne ?
- .../...

Adresse « réseau »

- Nécessaire pour identifier/désigner une machine du réseau.
- Exemple : adressage IPV4
 - Adresse codé sur 4 octets (ex : 147.210.94.193)
 - **Unique** pour chaque interface réseau (sauf adresse privée)
 - Une machine (**routeur**) peut avoir plusieurs interfaces réseau: plusieurs adresses IP.

Table de routage

Chaque routeur dispose d'une **table de routage** :

- Ensemble de **routes**
- Une route est une association «destination» / «ligne de sortie»

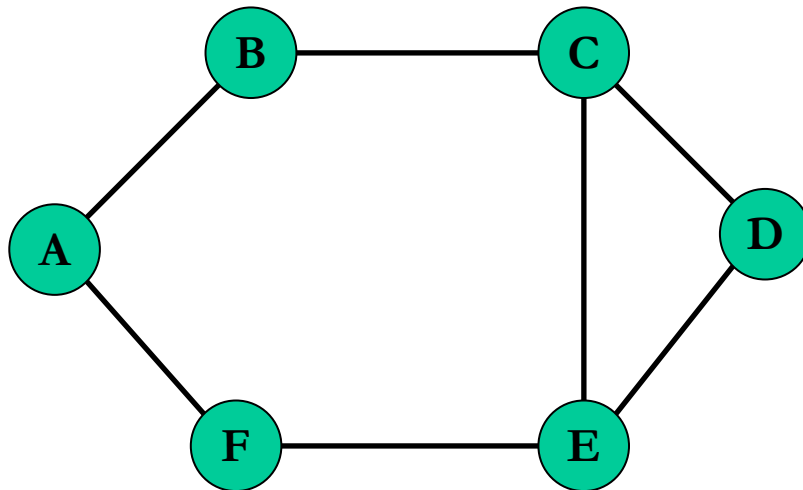


Table de routage de **C**

Dest.	Lien
A	CB
B	CB
D	CD
E	CE
F	CE

Fonctions d'un routeur

- Deux grandes fonctions au sein d'un routeur :
 - **Routage** = choix des chemins à suivre, c'est-à-dire remplissage et mise à jour de la table de routage (**algorithme de routage**)
 - **Acheminement** = réception des paquets et leur réexpédition sur les lignes de sortie appropriées (indiquées dans la table de routage)

Algorithmes de routage

- **Non adaptatifs** (ou statiques) : les tables de routages sont fixées par avance, pas de mise à jour.
- **Adaptatifs** (ou dynamiques) : les tables sont recalculées pour s'adapter à des changements topologiques ou de trafic:
Les routeurs (pas forcément adjacents) s'échangent des informations afin de connaître ces différents changements

Algorithmes de routage

Principe **d'élaboration des tables de routage** :

- Attribution de **coûts** aux liens du réseau
La nature des coûts (métrique) peut être diverse :
 - Distance, bande passante, trafic moyen, coût des communications, délai moyen d'attente, temps de transmission, probabilité de panne du lien, etc...
 - Une fonction pondérée de plusieurs de ces facteurs
- Calcul des **chemins** minimisant les coûts (plus court chemin au sens des coûts)

Exemple :

- routage par information d'état des liens

Exemple : routage par information d'état des liens

Technique très utilisée, notamment par le protocole **OSPF (Open Shortest Path First)** exploité dans le réseau Internet.

Chaque routeur :

- Découvre ses routeurs « voisins »
- mesure les coûts pour atteindre chacun de ses routeurs **voisins**, et communique ces informations à tous les autres routeurs (ping)
- calcule le(s) **plus court(s) chemin(s)** pour chaque destination par un algorithme de plus court chemin dans un graphe (Dijkstra, Ford-Bellman, etc.).

Routage hiérarchique

Problème :

- grand réseau => taille des tables de routage importante !

Solution : découpage du réseau en **régions** :

- Chaque routeur connaît le routage de sa région
- Les autres régions sont vues comme une destination

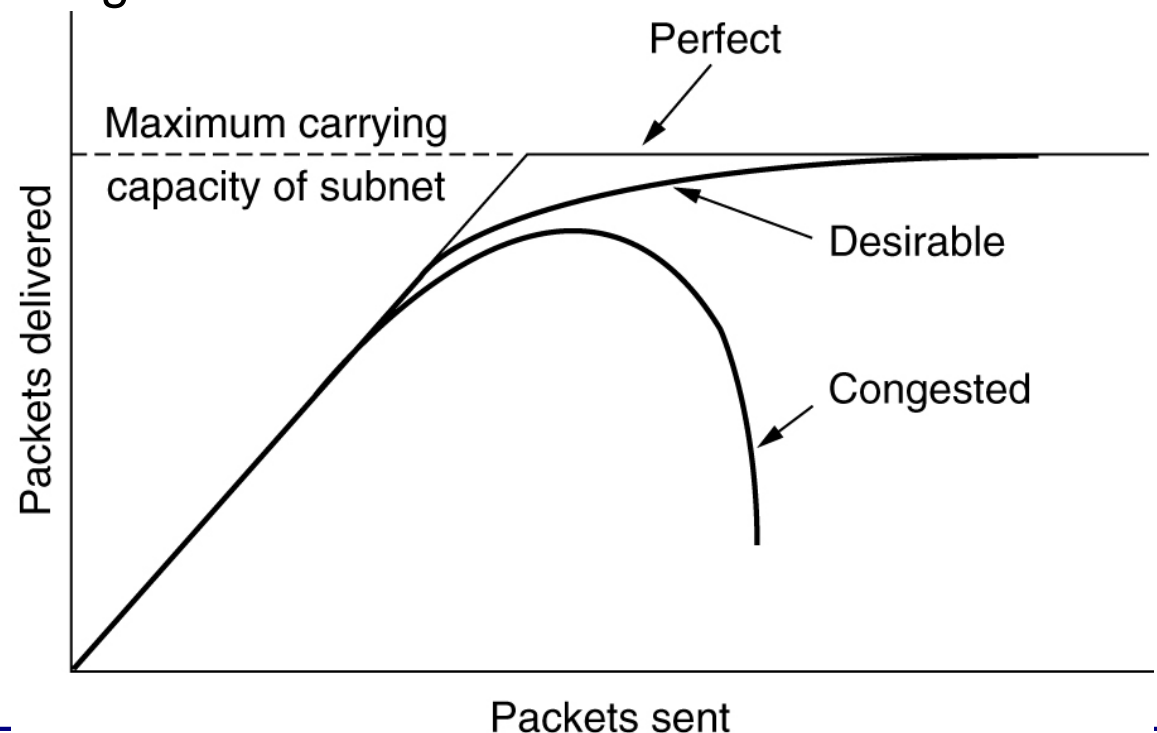
Problème : définir le nombre de niveaux :

- 2 niveaux peuvent être insuffisants
- plusieurs niveaux : région constituée de grappes, grappe constitués de zones, etc.

Congestion

Les routeurs du réseau saturent leur file d'attente :

- Cause : Trop de trafic
- Conséquences :
 - Dégradation des performances
 - perte des paquets/datagrammes.



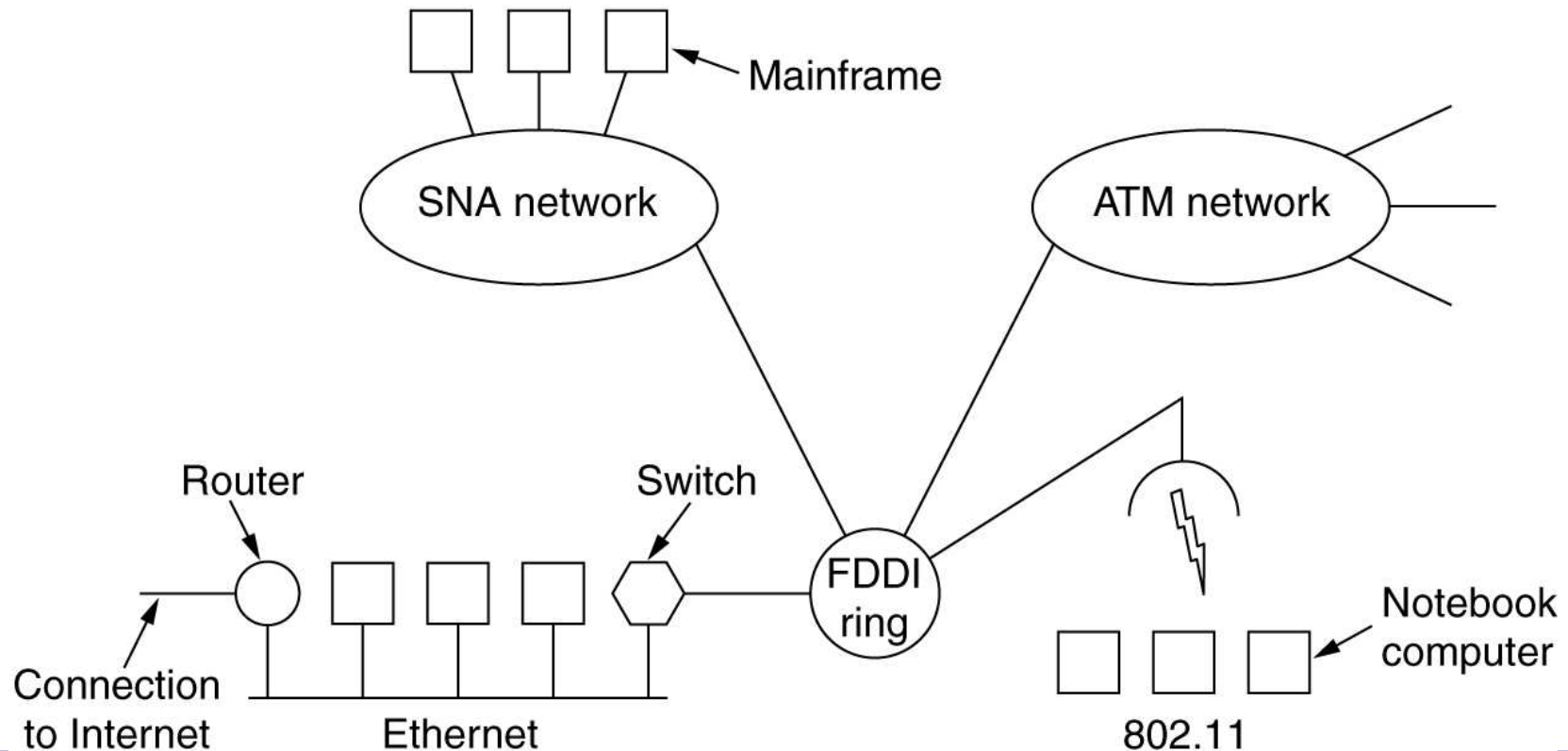
Contrôle de la congestion

- Différents moyens peuvent être mis en œuvre pour contrôler la charge dans le réseau :
 - Autoriser la destruction de paquets/datagrammes en cas d'engorgement
 - Limiter le nombre de paquets/datagrammes en transit dans le réseau
 - Utiliser le contrôle de flux
 - Limiter les accès lorsque le réseau est surchargé
 - ...

Interconnexion de réseaux

Différences entre les réseaux :

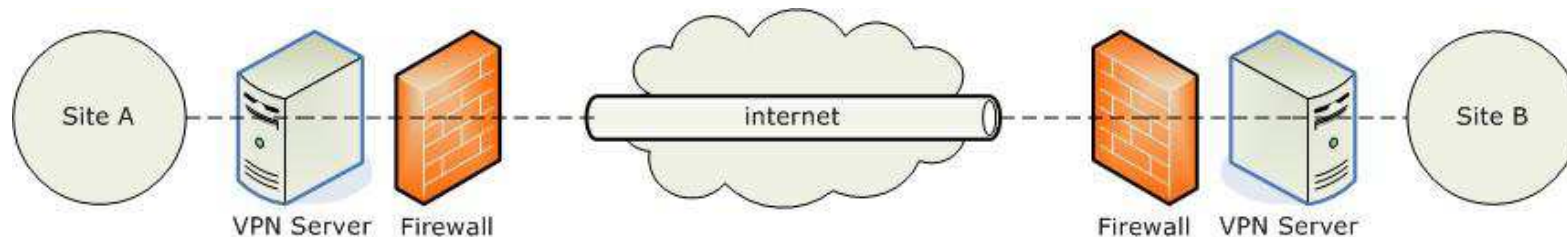
- Couche physique et liaison (éthernet, anneau à jeton, ...)
- Couche réseau : service connecté ou non, protocole (IP, ATM, AppleTalk,...), adressage, taille des paquets, contrôle d'erreurs, de flux, de congestion, facturation ou non, etc...



Interconnexion de réseaux

Les équipements d'interconnexion doivent donc mettre en œuvre des correspondances souvent complexes. Quelques exemples :

- Traverser des réseaux intermédiaires « à risque » : mise en place d'un **tunnel**
 - Ex : VPN (Virtual Private Network)



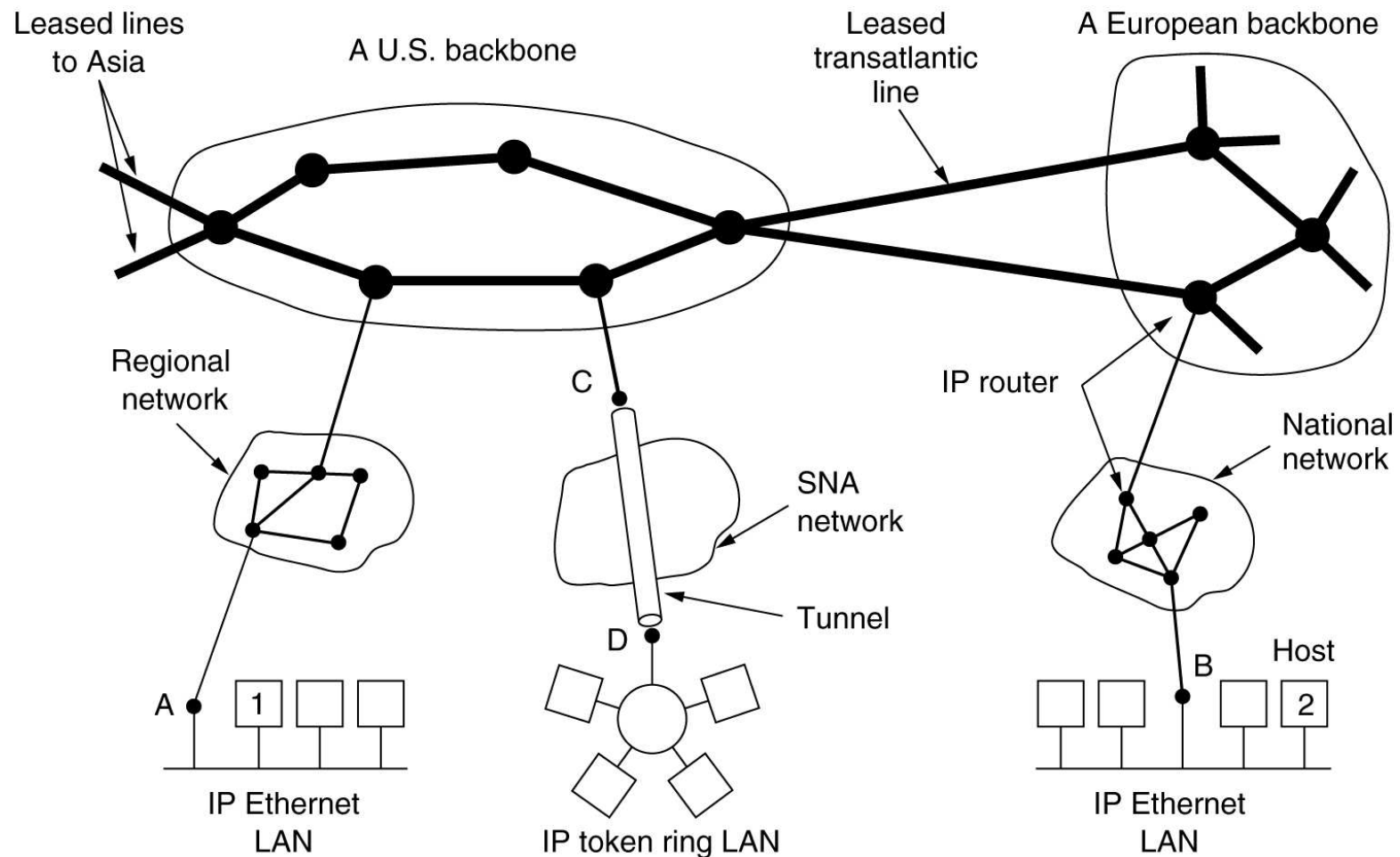
(Source : wikipedia)

- Taille des paquets/datagrammes différente : **fragmentation**
- Etc.

4.6. IP : Internet Protocol

Routage IP

- Internet = ensemble de sous-réseaux autonomes



Routage IP

- La cohésion de l'Internet est assurée par le protocole IP (Internet Protocol).
- IP a été conçu (Vinton Cerf) dès le départ pour être un protocole d'interconnexion.
- Versions actuelles :
 - IPV4
 - adresses sur 4 octets,
 - datagrammes : entête (20 octets) + données (variable)
 - IPV6
 - adresses sur 16 octets,
 - datagrammes : entête de taille variable
 - Migration actuelle de IPV4 => IPV6

Protocole routé et protocole de routage

- Un **protocole routé** transporte les données d'une source vers une destination
 - Exemple : **IP** (Internet Protocol), IPX (Internetwork Packet Exchange) de Novell, AppleTalk, etc.
- Un **protocole de routage** partage dynamiquement des informations entre routeurs pour maintenir les tables de routage de ces routeurs. La table de routage va permettre de choisir un chemin optimum pour l'acheminement de données
 - Exemples de protocoles de routage prenant en charge IP : RIP (Routing Information Protocol), IGRP (Interior Gateway Routing Protocol), EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) et OSPF (Open Shortest Path First)

Protocoles de routage dynamique

Système autonome : ensemble « homogène » de réseaux sous la responsabilité d'une autorité administrative.

2 catégories de protocoles de routage dynamique

• **Protocoles IGP** (Interior Gateway Routing) : utilisés pour router à l'intérieur d'un système autonome (RIP, EIGRP - Protocole de routage propriétaire Cisco, OSPF)

- Protocoles de routage à états de lien (algorithme de Dijkstra)
- Protocoles de routage à vecteur de distance,

• **Protocoles EGP** (Exterior Routing Protocols) : utilisés pour échanger les informations entre les systèmes autonomes (BGPv4).

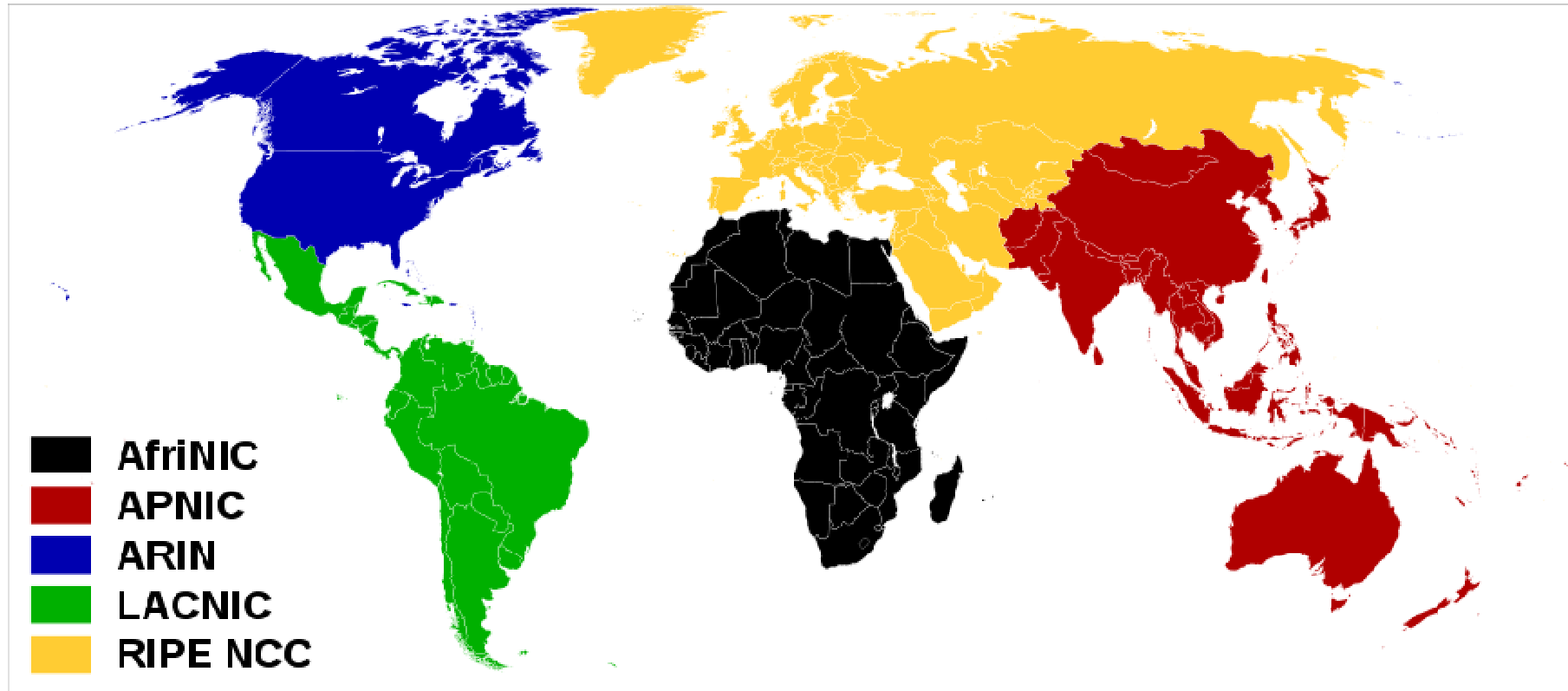
Adressage IP

- **Masque** de sous-réseau
 - Permet de connaître les 2 parties d'une adresse IP
 - En particulier : le réseau associé à une adresse
 - Exemple : 147.210.94.100
 - Classe B : 128.0.0.0 → 191.255.255.255 (moyen)
 - [1 0 Id. Réseau (14bits) Id. Machine (16bits)]
 - Masque 255.255.0.0
 - 11111111.11111111.00000000.00000000
 - 16 bits pour l'adresse du réseau (et 16 bits pour l'adresse de l'hôte)
 - 147.210.94.100/16
- But : Subdivision d'un réseau en plusieurs **sous-réseaux**

Adressage IP

- Depuis 1990 : pénurie des adresses IP d'où :
 - Abolition du découpage en « classe » :
 - **Classless Inter-Domain Routing (CIDR)** : le découpage ne peut plus être déduit de l'adresse IP
 - Découpage plus fin de l'espace d'adressage **Classless** par rapport à l'adressage **Classful**
 - **Adresses privées**
 - 10.0.0.0/8 : 10.0.0.1 à 10.255.255.254 (16 777 216 adresses)
 - 172.16.0.0/12 : 172.16.0.1 à 172.31.255.254 (1 048 576 adresses)
 - 192.168.0.0/16 : 192.168.0.1 à 192.168.255.254 (65 536 adresses)
 - **Traduction d'adresse réseau (NAT)**
 - **Attribution dynamique** des adresses
 - IP V6 (128 (16x8) bits au lieu de 32 (4x8) bits)

RIR : Registre Internet Régional



Source : Wikipedia

Routage IP

Les données échangées par le protocole IP sont appelés **datagramme**.

Routage IP : mécanisme par lequel les datagrammes d'un équipement sont acheminés jusqu'à leur destinataire. C'est le rôle essentiel d'IP.

Chaque routeur IP va exploiter sa **table de routage** pour acheminer un datagramme vers son destinataire

Routage IP

Sur un réseau local relié au reste du réseau par un **routeur**,
TOUTES les machines ont :

- Une **adresse MAC** (ou physique)
- Une **adresse IP**
- Une **table de routage**

(Commandes ***ifconfig/ipconfig*** et ***route***)

Adresse Mac et IP d'un poste

```
C:>ipconfig /all
```

```
.../...
```

```
Carte Ethernet Réseau sans fil:
```

```
    Suffixe DNS propre à la connexion : a
```

```
    Description . . . . . : Intel(R) PRO/Wireless LAN 2100 3A Mini PCI  
Adapter
```

```
    Adresse physique . . . . . : 00-0C-F1-17-E2-A4
```

```
    DHCP activé. . . . . : Oui
```

```
    Configuration automatique activée . . . . : Oui
```

```
    Adresse IP. . . . . : 192.168.1.100
```

```
    Masque de sous-réseau . . . . . : 255.255.255.0
```

```
    Passerelle par défaut . . . . . : 192.168.1.1
```

```
    Serveur DHCP. . . . . : 192.168.1.1
```

```
    Serveurs DNS . . . . . : 82.216.111.124
```

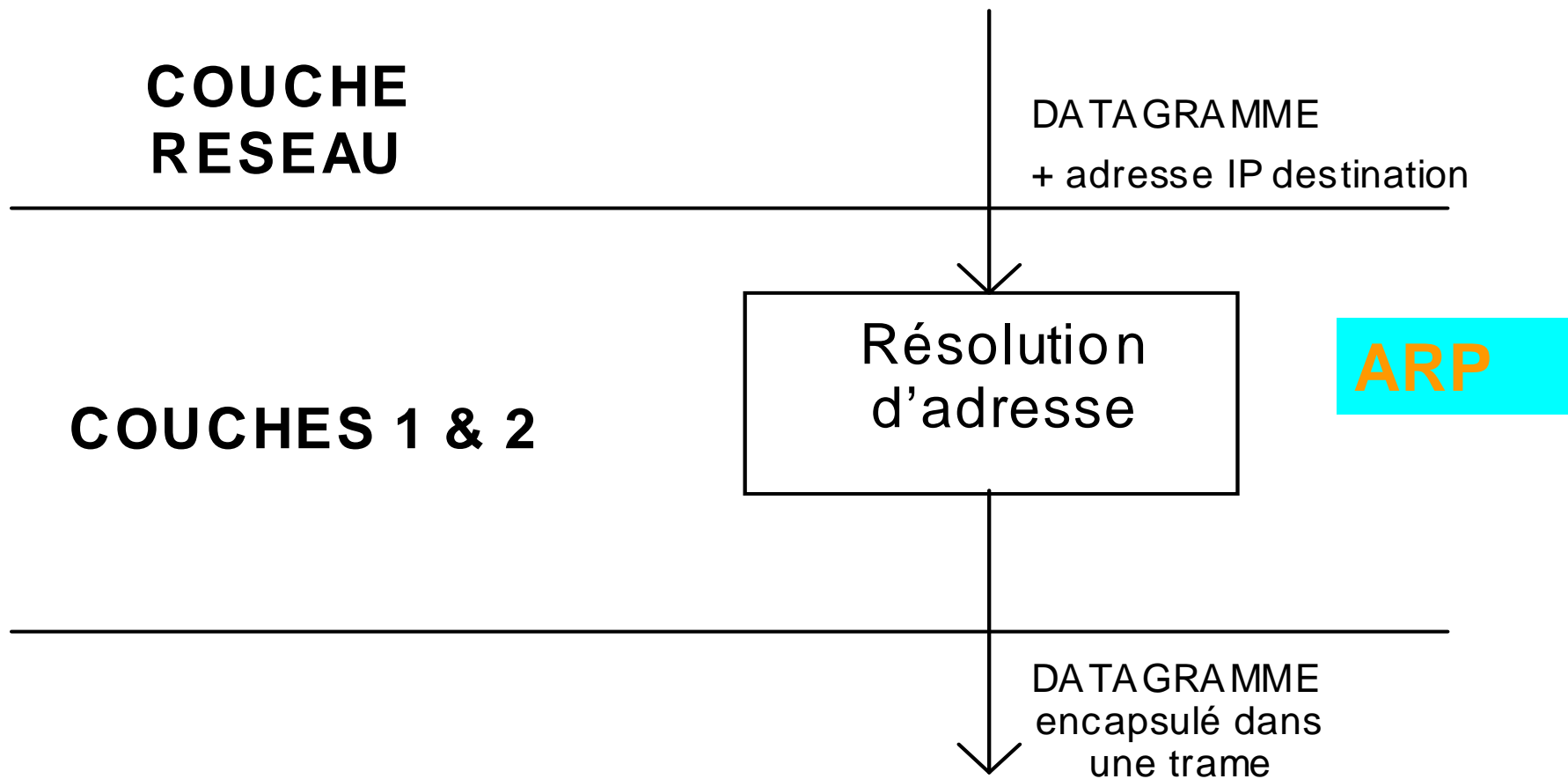
```
                        82.216.111.125
```

```
                        82.216.111.121
```

```
    Bail obtenu . . . . . : vendredi 30 mai 2008 13:51:34
```

```
    Bail expirant . . . . . : samedi 31 mai 2008 13:51:34
```


Résolution d'adresse



Protocole IP

Datagramme IP

0	4	8	16	24	31
VERS.	L G E N T	TYPE SERVICE		L G R T O T A L E	
IDENTIFICATION			DRAP	DEPL-FRAG	
DUREE DE VIE		PROTOCOLE	TOTAL DE CONTROLE EN-TETE		
ADRESSE IP SOURCE					
ADRESSE IP DESTINATION					
OPTIONS IP EVENTUELLES				BOURRAGE	
DONNEES					
* * *					

Datagramme IP

- VERS
 - numéro de version du protocole utilisé (4)
- LGENT
 - longueur de l'entête du datagramme
- TYPE SERVICE
 - définit comment le datagramme doit être acheminé
 - priorité (0 à 7)
 - priorité au délai
 - priorité au débit
 - priorité à la fiabilité
- LGR
 - longueur total

Datagramme IP

- IDENTIFICATION, DRAP, DEPL-FRAG
 - contrôle la fragmentation
 - IDENTIFICATION permet de connaître le datagramme auquel appartient le fragment.
 - DEPL-FRAG donne la position du fragment courant dans le datagramme initial en multiples de 8 octets.
 - DRAP indique si le fragment est le dernier du datagramme.
- DUREE DE VIE
 - décrémenté à chaque traversée, détruit si égal à 0.
- PROTOCOLE
 - protocole de la couche supérieure qui a créé le datagramme,

Numéros de protocole

- \$ more /etc/protocols

The form for each entry is:

<official protocol name><protocol number><aliases> #

Internet (IP) protocols

icmp 1 ICMP # internet control message protocol

tcp 6 TCP # transmission control protocol

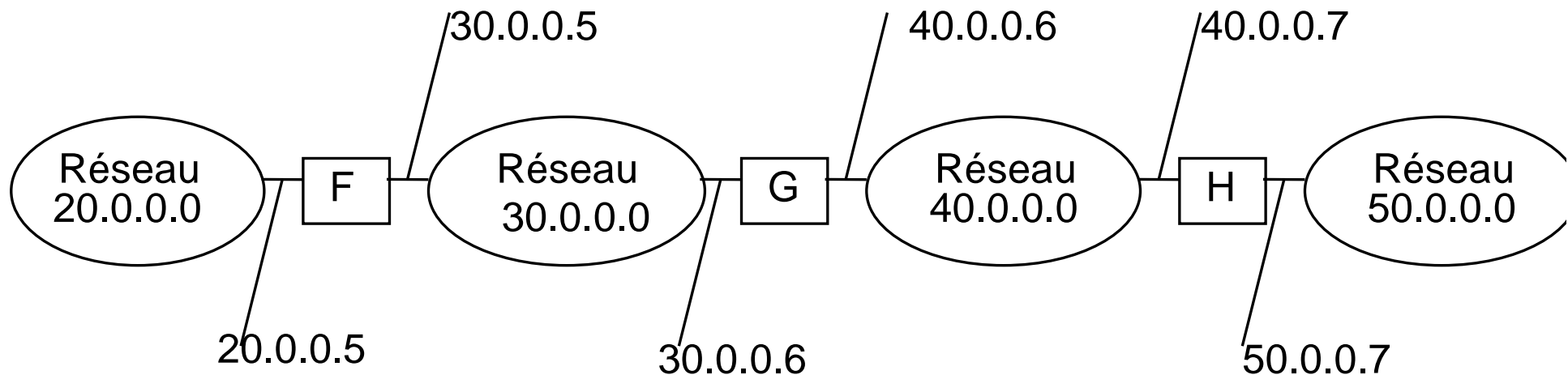
udp 17 UDP # user datagram protocol

Routeur IP

- Un routeur permet de relier 2 réseaux
 - Il a donc 2 interfaces réseau
 - Chaque interface réseau appartient à un réseau IP
 - Chaque interface réseau a une adresse IP conforme à son réseau

Exemple : 4 réseaux de classe A interconnectés (ci-dessous).

Le routeur G a 2 interfaces réseau d'adresses IP 30.0.0.6 et 40.0.0.6



Routage IP : Comment ça marche ?

Une machine A veut envoyer un datagramme IP à une machine B (dont elle connaît l'adresse IP bien sûr)

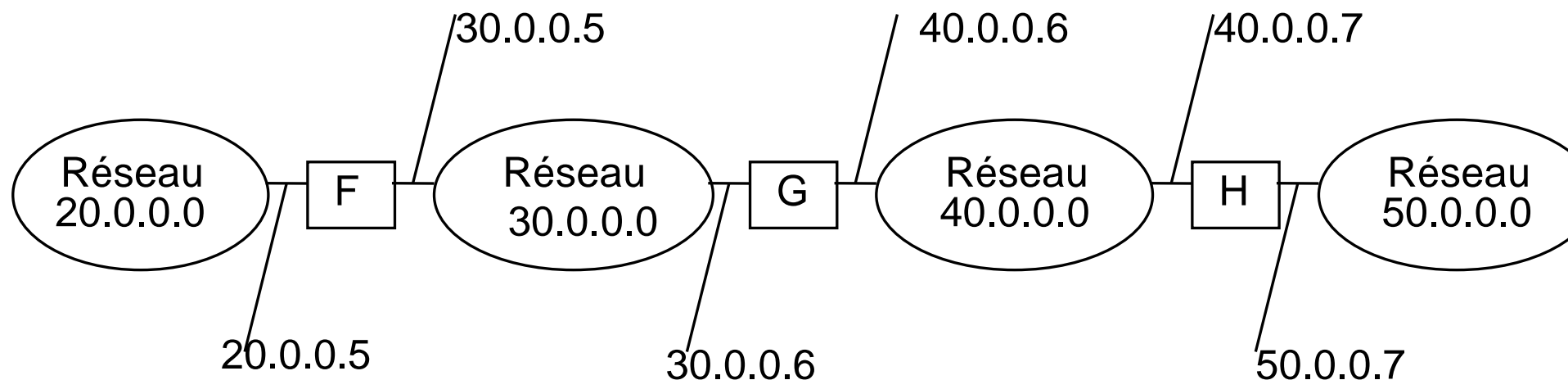
- 1er cas : A et B sont sur le même réseau local

=> **remise directe**

- 2ème cas : A et B ne sont pas sur le même réseau local

=> **saut** : il faut passer par un routeur R sur le même réseau local

Table de routage



pour atteindre les machines situées sur le réseau	router vers cette adresse
30.0.0.0	Remise directe
40.0.0.0	Remise directe
20.0.0.0	30.0.0.5
50.0.0.0	40.0.0.7

TABLE DE ROUTAGE DE G

Protocole ARP (Address Resolution Protocol)

- Remise directe d'un datagramme IP
 - On envoie le datagramme IP dans une trame Ethernet
- Mais l'envoi de la trame Ethernet exige la connaissance de l'adresse MAC
 - Le protocole ARP permet d'avoir l'adresse MAC à partir de l'adresse IP.

Rmq.

Chaque poste a une table ARP contenant l'ensemble des couples (@IP, @MAC) connus (sinon requête ARP...)

ICMP : Internet Control Message Protocol

- Situations inattendues signalées par ICMP (destination inaccessible, délai expiré, etc.)

ARP : Address Resolution Protocol

- Permet de connaître l'adresse MAC d'une machine à partir de son adresse IP

RARP : Reverse Address Resolution Protocol

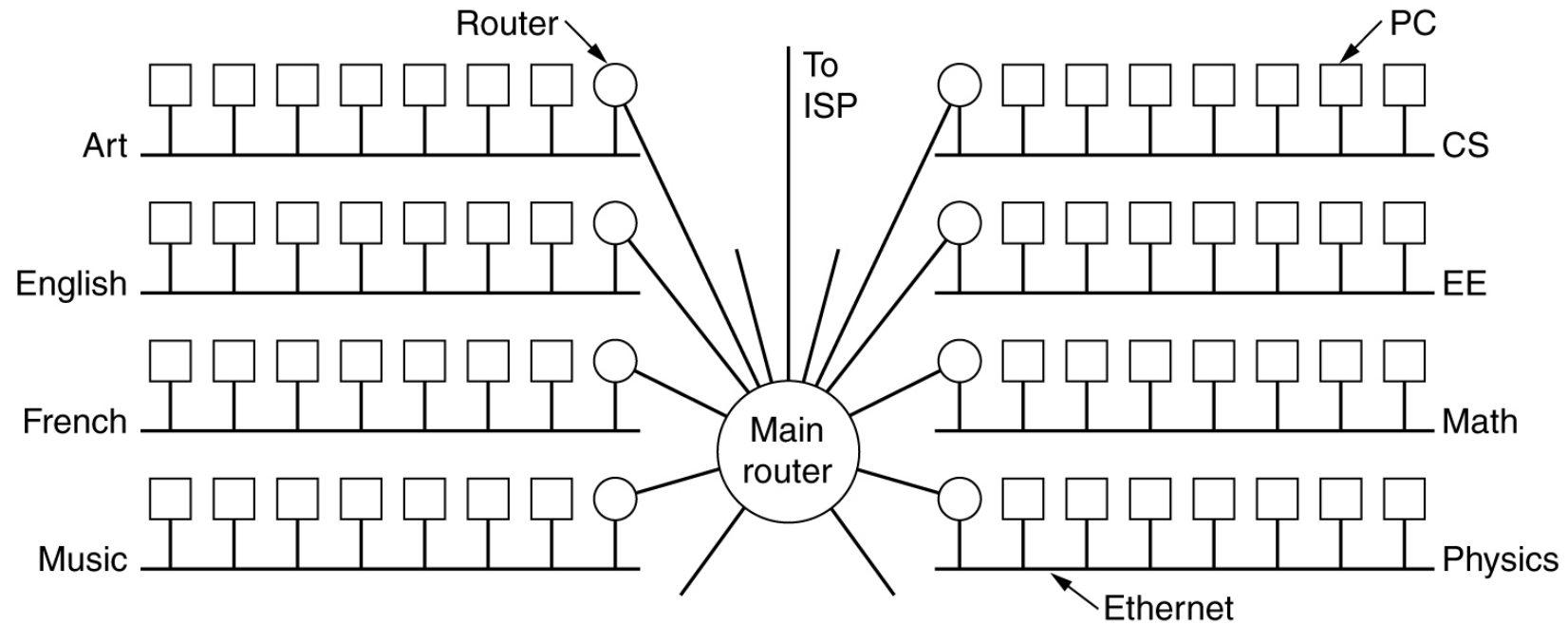
OSPF : Open Shortest Path First

- Protocole recommandé au sein d'un système autonome

BGP : Border Gateway Protocol

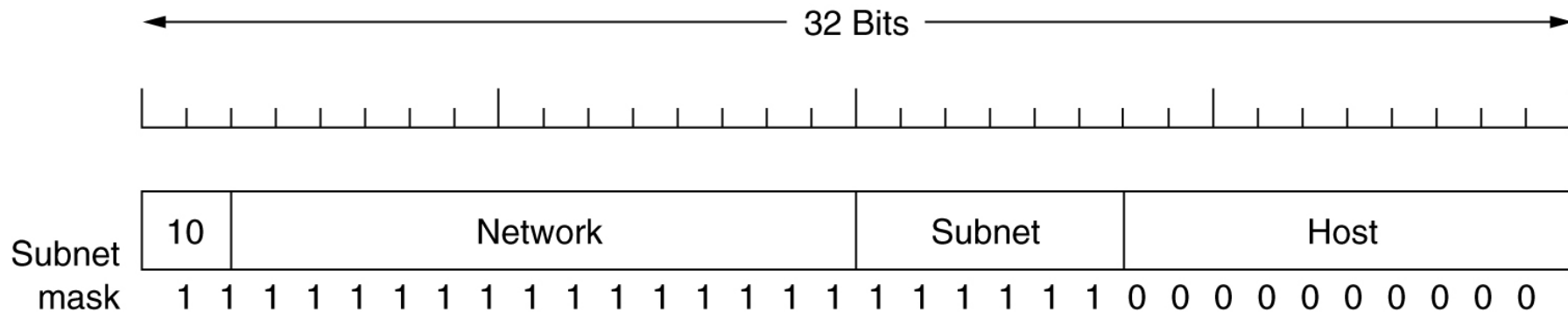
- Protocole de routage entre systèmes autonomes

Sous-réseaux



Masque de sous-réseau

- Une adresse de classe B subdivisée en 64 sous-réseaux :



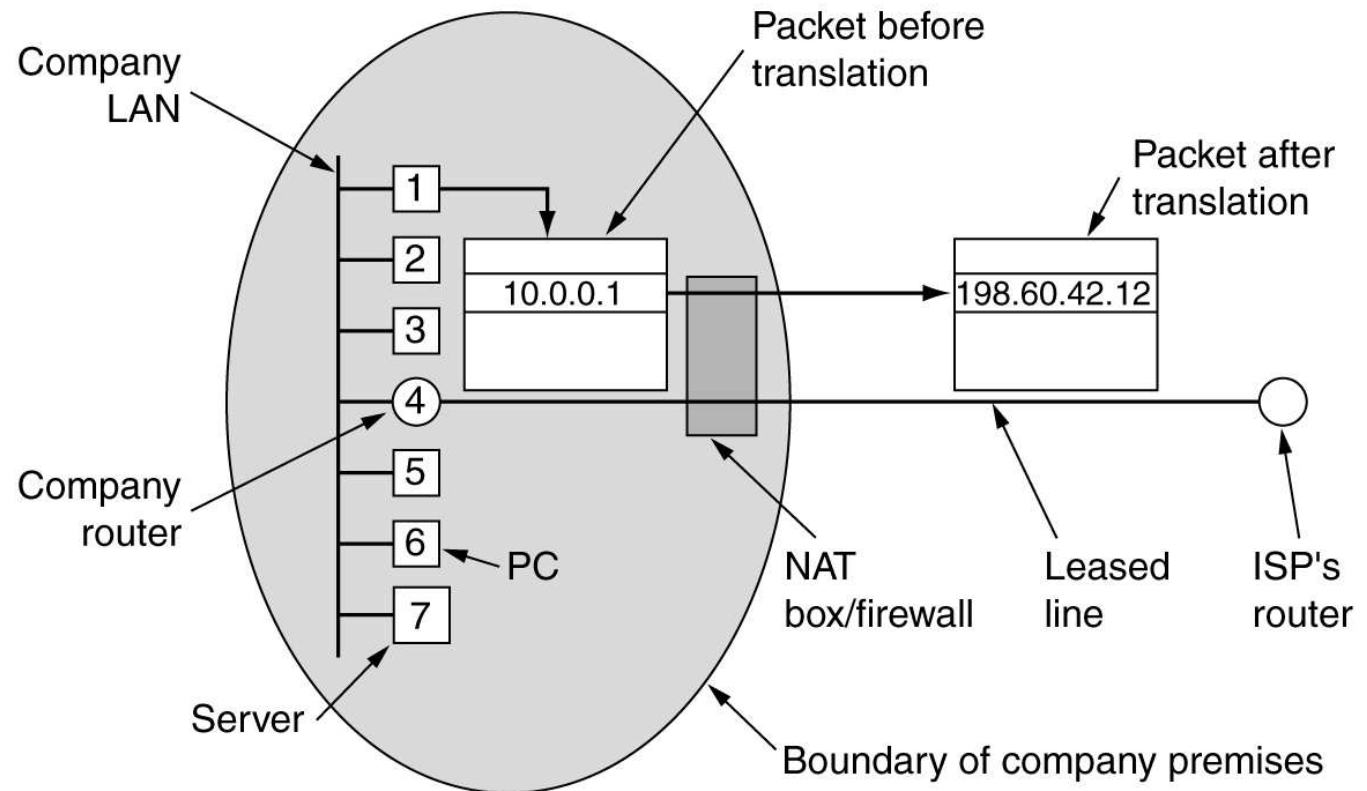
- Le masque de sous-réseau indique le nombre de bits d'une adresse IP utilisés pour identifier le sous-réseau :

255.255.252.0 (1111 1111 . 1111 1111 . 1111 1100 . 0000 0000)

255.255.240.0 (1111 1111 . 1111 1111 . 1111 0000 . 0000 0000)

NAT : Network Address Translation

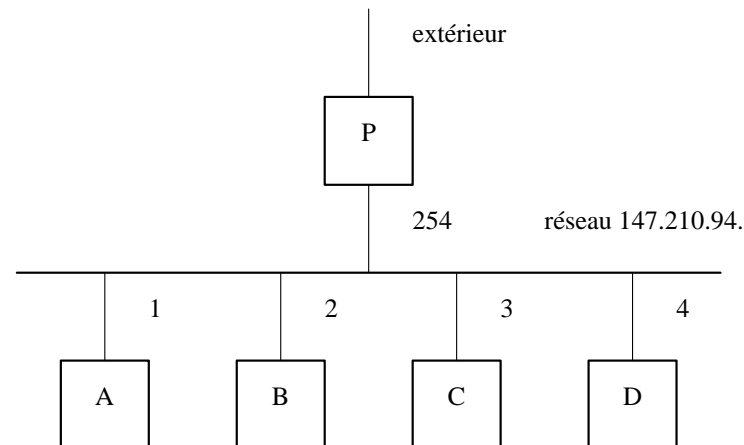
- Traduction d'une adresse IP « privée » en adresse IP « officielle »
- Exemple d'adresse privée : 10.*.*.*



Les adresses privées

- 10.0.0.0/8 (24 bits):10.0.0.0 → 10.255.255.255
(2^{24} machines)
- 172.16.0.0/12 (20 bits):172.16.0.0 → 172.31.255.255
(2^{20} machines)
- 192.168.0.0/16 (16 bits):192.168.0.0 → 192.168.255.255
(2^{16} machines)

Exemple simple d'interconnexion de réseaux



- Masque de réseau 255.255.255.0
- Table de routage de A

Destination	Gateway	Genmask	Iface
147.210.94.0	*	255.255.255.0	eth0
default	147.210.94.254	0.0.0.0	eth0

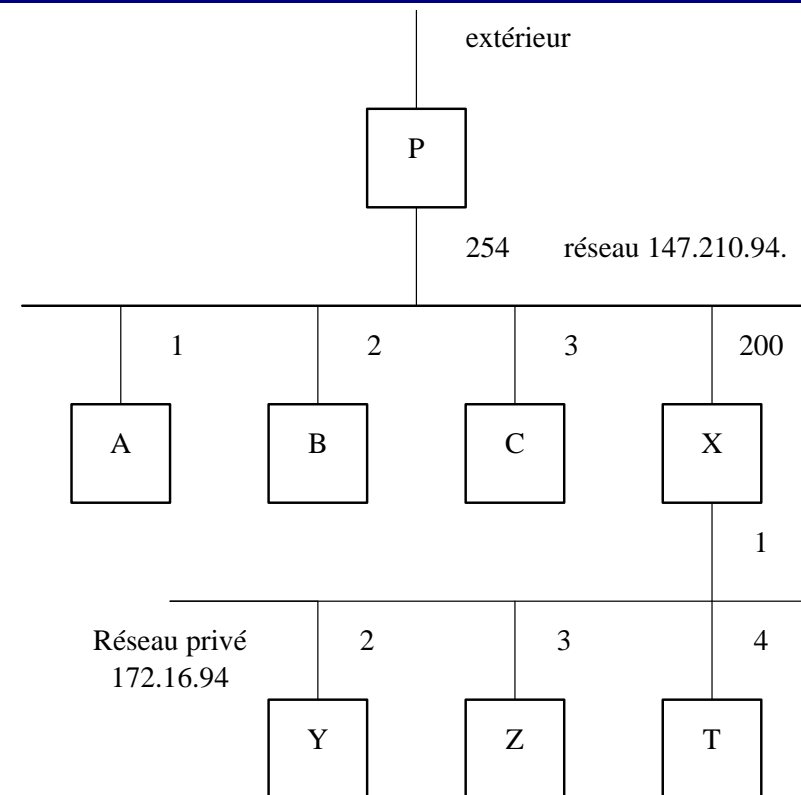
- Configuration de A (environnement linux)

```

ifconfig eth0 147.210.94.1 netmask 255.255.255.0 up
route add default gw 147.210.94.254

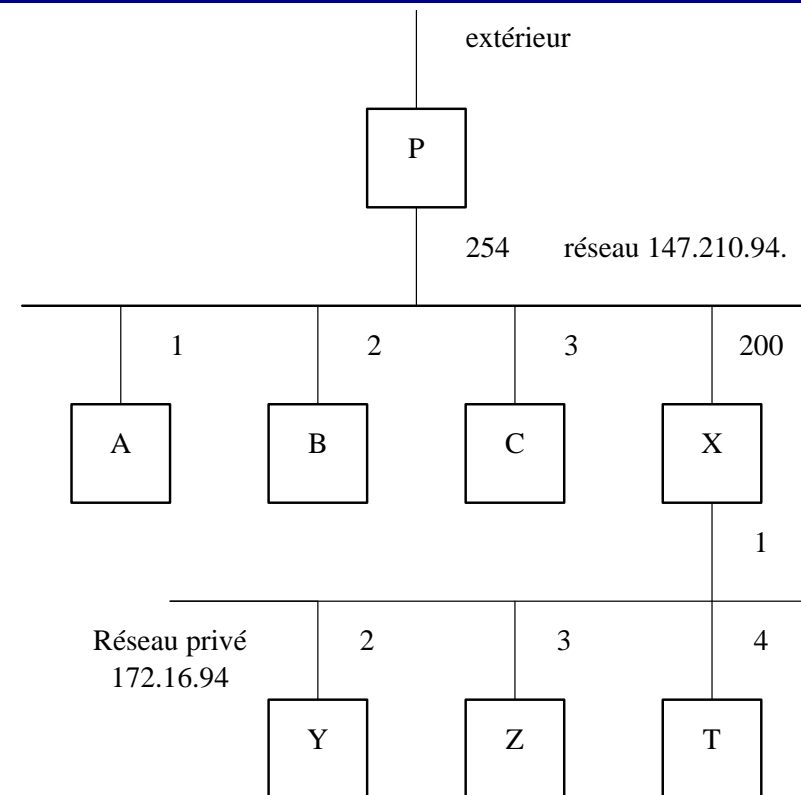
```

Rajoutons un sous-réseau privé 172.16.94.*



- Table de routage de X ?

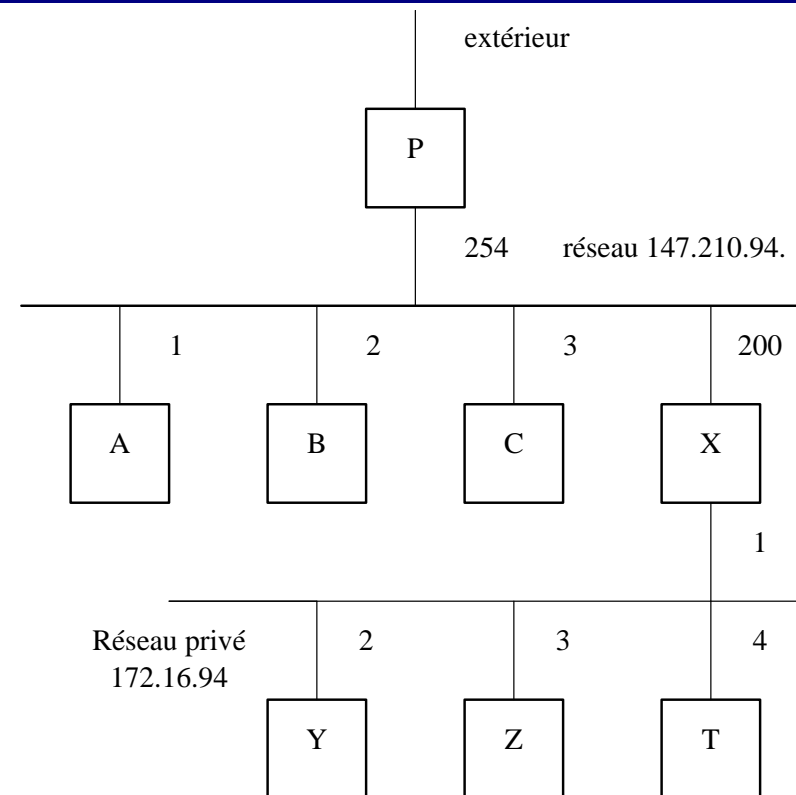
Rajoutons un sous-réseau privé 172.16.94.*



- Table de routage de X

Destination	Gateway	Genmask	Iface
147.210.94.0	*	255.255.255.0	eth0
172.16.94.0	*	255.255.255.0	eth1
default	147.210.94.254	0.0.0.0	eth0

Rajoutons un sous-réseau privé 172.16.94.*



- Table de routage de A

Destination	Gateway	Genmask	Iface
147.210.94.0	*	255.255.255.0	eth0
172.16.94.0	147.210.94.200	255.255.255.0	eth0
default	147.210.94.254	0.0.0.0	eth0

Architecture en couches et couches 1, 2 et 3

Rappel sur l'architecture en couches et notion de service...

- Ethernet permet la transmission entre 2 machines directement connectées
- IP permet l'interconnexion de réseaux locaux
(IP utilise les services d'Ethernet afin d'acheminer correctement ses datagrammes)