

Réseaux

Protocole Internet : adressage IPv4 et routage

IUT-2
Département Informatique

4 mars 2024

Sommaire

Protocole Internet (IP) : IPv4

Principe du routage IPv4

Glossaire39

Sommaire

Protocole Internet (IP) : IPv4

Le Protocole Internet

L'adressage IPv4

Sous-réseau IPv4

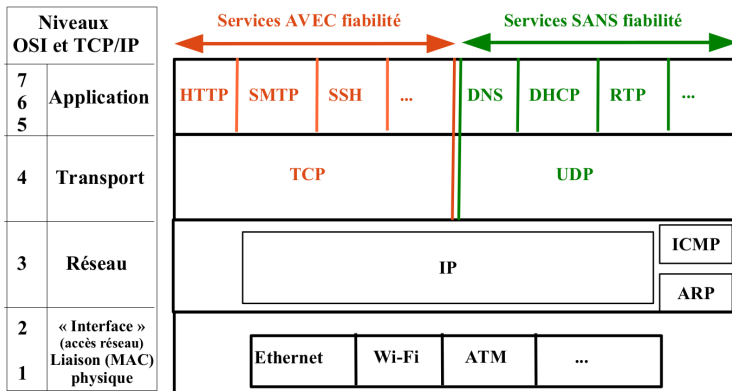
Paquets IPv4

Principe du routage IPv4

Glossaire39

Internet et son architecture TCP/IP

Internet : Interconnexion de réseaux « Inter Net » ou inter-réseau.
L'architecture de l'Internet, appelée « Architecture TCP/IP », a pour objectif le déploiement d'applications sur un inter-réseau, indépendamment des technologies physiques de ces réseaux.



Les quatre niveaux de l'architecture TCP/IP

Application :

- ▶ applications standard : FTP, HTTP, SMTP, POP, IMAP, SSH, ...
- ▶ applications de service : DNS, DHCP, NFS, X11, SNMP
- ▶ applications spécifiques

Transport :

- ▶ Protocole User Datagram Protocol (UDP) : service de transport minimal
- ▶ Protocole Transmission Control Protocol (TCP) : transport + fiabilité des connexions

Réseau :

- ▶ Protocole IP : bâti sur un adressage logique des stations
« l'adresse IP »
- ▶ Protocoles de service : ICMP (contrôle), ARP (adressage)

Interface (accès réseau) : assure l'accès aux différents réseaux physiques
(corresponds aux niveaux liaison et physique)

Identifiants dans l'architecture TCP/IP

Adresse physique du niveau interface (accès réseau) :

- ▶ dépend du réseau physique (ex. adresses **Media Access Control (MAC)** Ethernet ou Wi-Fi)

Adresse du niveau réseau :

- ▶ **Adresse IP** : adresse « logique », comprenant une partie identifiant le réseau et une partie identifiant la machine dans le réseau.
- ▶ Par exemple : 192.131.15.17
- ▶ Une (parfois plusieurs) adresse IP par interface

Identification des processus au niveau transport :

- ▶ adresse IP + **numéro de port**

Identification des utilisateurs/ressources dans les applications : **adresse mail, URL ...**

Le protocole IP

Fonction

Assurer l'acheminement des unités de données « paquets IP » ou « datagrammes IP » dans l'inter-réseau

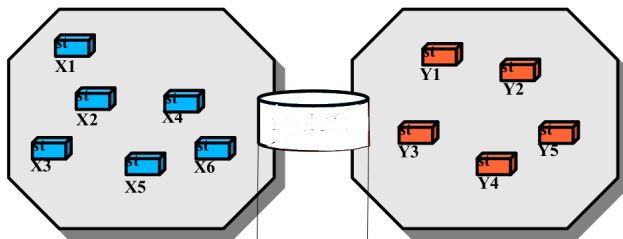
- ▶ Service sans contrôle d'erreur ni contrôle de flux de bout en bout.
- ▶ Service de base de type Best Effort (BE) (*Best Effort*)
- ▶ Service de fragmentation de données si les réseaux traversés ont des Maximum Transfer Unit (MTU) de valeurs différentes.

Deux versions du protocole :

- ▶ IPv4 : adresse sur 32 bits [rfc, 1981]
- ▶ IPv6 : adresse sur 128 bits [Hinden et Deering, 1998]

Pourquoi un adressage IP ?

But d'IP : Communication entre machines de Local Area Network (LAN)s différents.



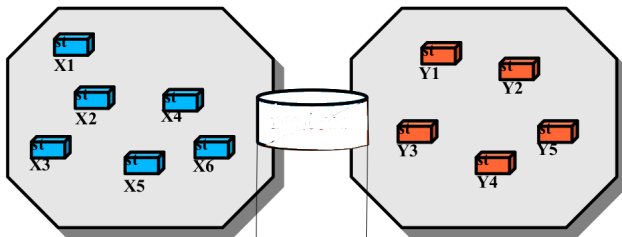
Besoin d'abstraction :

- ▶ Myriade de protocoles de niveau 2 (Ethernet n'est pas le seul protocole utilisé).
- ▶ Les adresses MAC ne sont pas organisées par réseau (mais par constructeur).
- ▶ Les adresses MAC ne sont pas uniques.
- ▶ Les tables des commutateurs ont une capacité limitée.

La connexion entre LANs se fait via une machine connectée à plusieurs LANs : le **routeur**.

Pourquoi un adressage IP ?

But d'IP : Communication entre machines de LANs différents.



l'Adresse IP est globale **inter**-réseau (dans les faits, **inter**-nationale) :

- ▶ Adresse IP représente : l'@machine et l'@réseau
 - ▶ une partie identifiant le **réseau** (organisé hiérarchiquement facilitant le routage)
 - ▶ une partie identifiant la **machine** dans le réseau
- ▶ L'adresse IP est une adresse « logique » qui ne dépend pas du matériel (Carte Interface Réseau (CIR)).
 - Elle peut être reconfigurée et une machine peut avoir plusieurs adresses IP.

Sommaire

Protocole Internet (IP) : IPv4

Le Protocole Internet

L'adressage IPv4

Sous-réseau IPv4

Paquets IPv4

Principe du routage IPv4

Glossaire

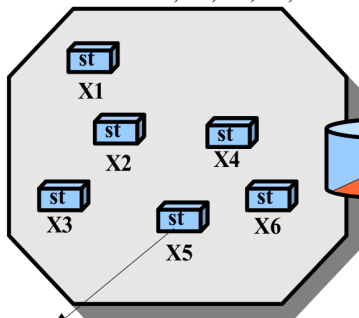
Principe de l'adressage IPv4

Adressage hiérarchique de base :

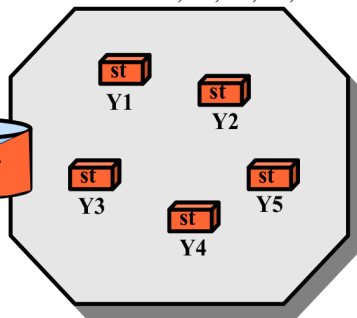
- ▶ Identification du réseau → poids forts (PF) de l'adresse IP
- ▶ Identification de chaque machine dans le réseau → poids faibles (pf) de l'adresse IP

Réseau IP : défini par une suite d'adresses contiguës, donc avec la même valeur des bits de poids forts

Réseau 1 identifié par PF=X
Machines : X1, X2, X3, X4, ...



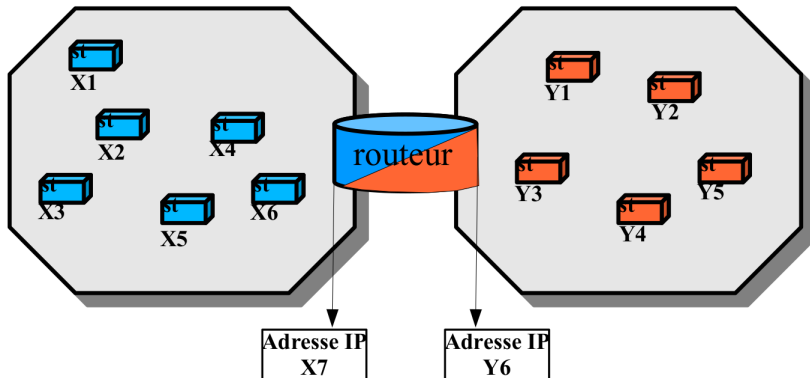
Réseau 2 identifié par PF=Y
Machines : Y1, Y2, Y3, Y4, ...



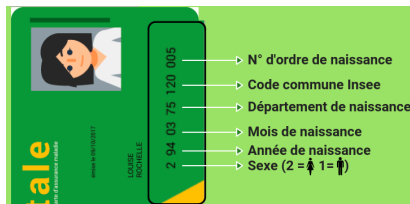
**Machine identifiée par pf=5 ->
son adresse IP est X5**

Adresses d'un routeur

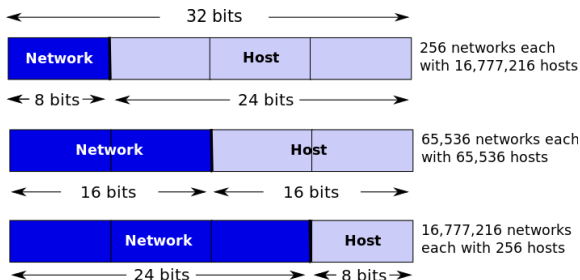
Le routeur a une adresse IP dans chacun des 2 réseaux, donc une avec le préfixe réseau X et une avec le préfixe réseau Y. Ses adresses IP sont par exemple X7 et Y6.



Analogie avec le numéro de sécurité sociale



d'après Service Public (DILA)



d'après <https://en.wikibooks.org>

Adressage IP V4

Format d'adresse

suite de $32 = n + m$ bits

- ▶ n bits pour identifier le réseau
- ▶ m bits pour identifier la machine dans ce réseau.

Plage d'adresse

Un réseau IP, identifié par ses n bits de poids forts, possède 2^m valeurs qui définissent une « plage d'adresses », répartie en :

- ▶ Une adresse IP du réseau : les m bits sont tous à 0
- ▶ Les adresses des machines : au maximum $2^m - 2$ machines
- ▶ Une adresse de diffusion : les m bits sont tous à 1

Masque de réseau

- ▶ permet de séparer la partie réseau de la partie machine par le calcul (ET bit-à-bit)
- ▶ Masque = tous les n bits sont à 1 et tous les m bits sont à 0

Exemple d'adressage dans un réseau IP

On souhaite créer un réseau de 11 stations :

- ▶ $2^4 = 16$. 4 bits sont nécessaires pour adresser chaque station
- ▶ Nombre de bits de la partie réseau : $32 - 4 = 28$ bits
11000000 10000011 00001111 0001
- ▶ Masque de ce réseau :
11111111 11111111 11111111 11110000

| | Partie réseau | Partie machine |
|----------------------|---------------------------------|----------------|
| Adresse du réseau | 11000000 10000011 00001111 0001 | 0000 |
| Adresse station 1 | 11000000 10000011 00001111 0001 | 0001 |
| Adresse station 2 | 11000000 10000011 00001111 0001 | 0010 |
| Adresse station 11 | 11000000 10000011 00001111 0001 | 1011 |
| Adresse non utilisée | 11000000 10000011 00001111 0001 | 1101 |
| Adresse de diffusion | 11000000 10000011 00001111 0001 | 1111 |

Notations des adresses IP

Notation des adresses sous forme « décimale pointée » : les 32 bits sont découpés en 4 octets et chaque octet est codé en décimal. Par exemple :

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----|---|----|
| 11000000 | 10000011 | 00001111 | 00010001 | | | |
| 192 | . | 131 | . | 15 | . | 17 |

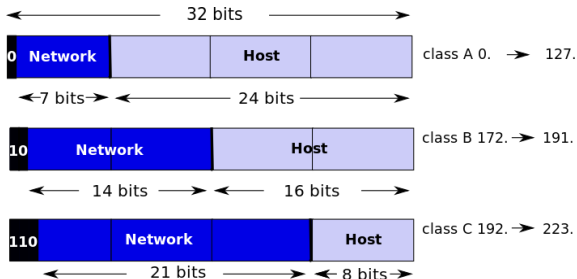
Notation **Classless Inter-Domain Routing (CIDR)**¹ :

- ▶ Définition : adresse IP / nombre de bits du préfixe réseau.
- ▶ Exemple : **192.18.131.0/24**
 - ▶ 24 bits de préfixe réseau
 - ▶ Il reste 8 bits pour la partie adresse machine : $2^8 - 2 = 254$ machines
 - ▶ Adresse de diffusion dans ce réseau : 192.18.131.255

1. La notation CIDR est équivalente à celle qui consiste à donner l'adresse du réseau et la valeur du masque de ce réseau.

Réseaux privés : héritage de la classification historique

Classification historique : classe A (/8) classe B (/16) classe C (/24)



d'après <https://en.wikibooks.org>

Réseaux privés : 192.168.0.0/16, 172.16.0.0/12 et 10.0.0.0/8 → ne sont pas routés sur Internet.

Loopback² : 127.0.0.0/8

2. peut se traduire par rebouclage ou "boucle arrière"

Adresse d'une machine Commande « ip addr »

Résultat (simplifié) de la commande ip addr :

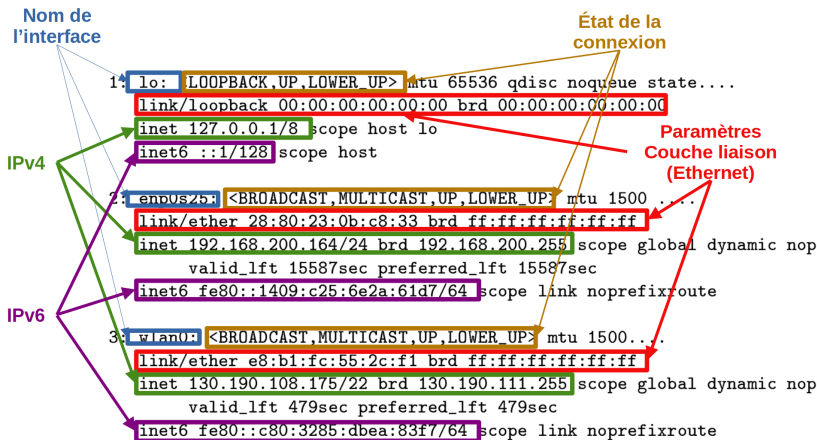
```
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 qdisc noqueue state....
   link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
   inet 127.0.0.1/8 scope host lo
   inet6 ::1/128 scope host

2: enp0s25: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 ....
   link/ether 28:80:23:0b:c8:33 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
   inet 192.168.200.164/24 brd 192.168.200.255 scope global dynamic nop
       valid_lft 15587sec preferred_lft 15587sec
   inet6 fe80::1409:c25:6e2a:61d7/64 scope link noprefixroute

3: wlan0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500....
   link/ether e8:b1:fc:55:2c:f1 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
   inet 130.190.108.175/22 brd 130.190.111.255 scope global dynamic nop
       valid_lft 479sec preferred_lft 479sec
   inet6 fe80::c80:3285:dbea:83f7/64 scope link noprefixroute
```

Adresse d'une machine Commande « ip addr »

Résultat (simplifié) de la commande ip addr :



Sommaire

Protocole Internet (IP) : IPv4

Le Protocole Internet

L'adressage IPv4

Sous-réseau IPv4

Paquets IPv4

Principe du routage IPv4

Glossaire39

Les limites d'IPv4

- ▶ Adressage sur 32 bits $\rightarrow 2^{32}$ adresses disponibles (≈ 4 milliard).
 - ▶ Attribution des « lots d'adresses » et des noms de domaines de plus haut niveau par l'Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) de droit privé. Délégation aux Registres Internet Régionaux (RIR) comme RIPE-NCC en Europe.
 - ▶ Depuis février 2011, l'ICANN n'a plus de lots d'adresses disponibles...
- nécessité de passer à IPv6 ($3,4 \times 10^{38}$ adresses) : déploiement par les opérateurs, technologie des routeurs à faire évoluer.

Sous-réseau IPv4

- ▶ Possibilité de répartir les adresses d'un réseau IP ... pour créer de nouveaux réseaux IP... plus petits !
- ▶ Un sous-réseau IP est un réseau IP -> respect de la contiguïté des adresses allouées.
- ▶ Découpage en déplaçant « vers la droite » la limite de répartition partie réseau / partie machine.

Exemple :

- ▶ Réseau initial en /24 -> répartition : 24+8
- ▶ Pour faire 4 sous-réseaux, on prend les 2 bits de poids forts de la partie machine : 24+2=26, 8-2=6, 26+6=32.
- ▶ Les 4 valeurs différentes de ces 2 bits définissent 4 sous-réseaux
 - ▶ Sous-réseau 1 : 00 000000 à 00 111111
 - ▶ Sous-réseau 2 : 01 000000 à 01 111111
 - ▶ Sous-réseau 3 : 10 000000 à 10 111111
 - ▶ Sous-réseau 4 : 11 000000 à 11 111111

Tableau d'adresses de sous-réseaux

Comment faire 2 sous-réseaux à partir du réseau 192.18.131.0/24 ?

| 192.18.131.0/24 | Dernier octet | Sous-réseau |
|-----------------|---------------|---|
| 192.18.131.0 | 0 000 0000 | Sous-réseau 1 : - bit de poids fort du dernier octet : 0 - adresses de : 192.18.131.0 à 192.18.131.127 - sous-réseau d'adresse CIDR : 192.18.131.0/25 |
| 192.18.131.1 | 0 000 0001 | |
| 192.18.131.2 | 0 000 0010 | |
| | | |
| 192.18.131.127 | 0 111 1111 | |
| 192.18.131.128 | 1 000 0000 | Sous-réseau 2 : - bit de poids fort du dernier octet : 1 - adresses de : 192.18.131.128 à 192.18.131.255 - sous-réseau d'adresse CIDR : 192.18.131.128/25 |
| 192.18.131.129 | 1 000 0001 | |
| | | |
| | | |
| 192.18.131.254 | 1 111 1110 | |
| 192.18.131.255 | 1 111 1111 | |

Sommaire

Protocole Internet (IP) : IPv4

Le Protocole Internet

L'adressage IPv4

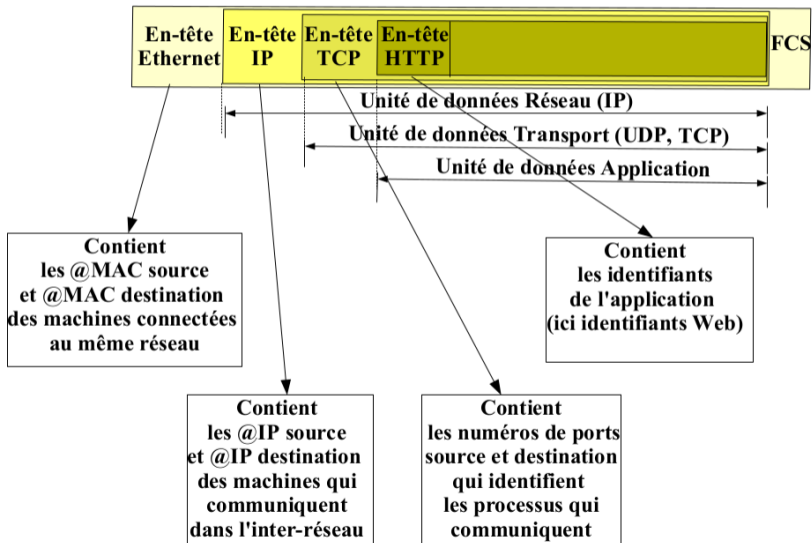
Sous-réseau IPv4

Paquets IPv4

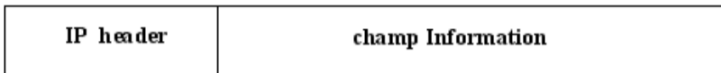
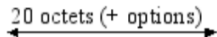
Principe du routage IPv4

Glossaire39

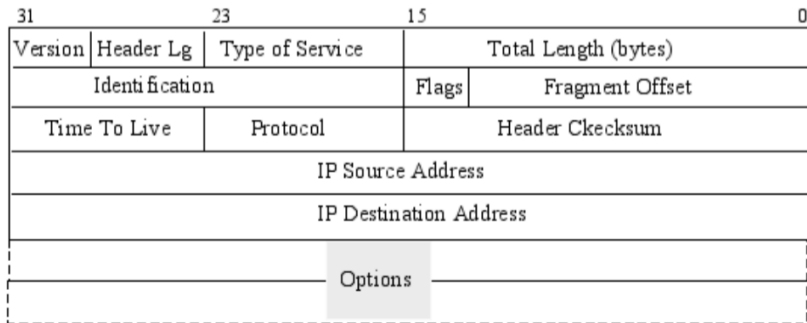
Adressage et encapsulation



Format des paquets IPv4



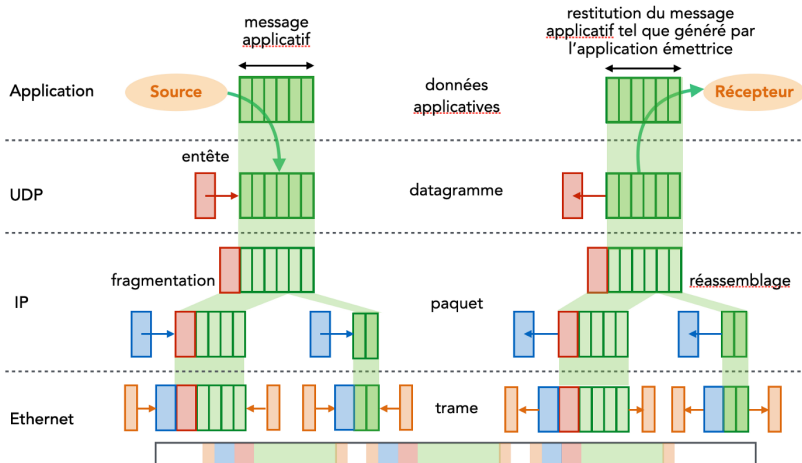
Longueur maximale: configurable, inférieure à 64 Koctets



Champs de l'en-tête IPv4

- ▶ **Version** (4 bits) : valeur = 4.
- ▶ **Header Lg** (4 bits) : longueur de l'en-tête en mots de 32 bits.
- ▶ **Type of Service** ou champ DS (DiffServ) : LBE, BE, BBE, etc.
- ▶ **TTL** « Time To Live » (1 octet) : nombre maximum de routeurs que le paquet est autorisé à traverser, décrémente par chaque routeur traversé.
- ▶ **Protocol** : identifiant du protocole en charge du champ Information (ce qu'il y a dans le paquet IP !) : ICMP = (01) 16, TCP = (06) 16, UDP = (17) 16 .
- ▶ **Source Address** : adresse IP de la station émettrice du paquet.
- ▶ **Destination Address** : adresse IP de la station réceptrice du paquet.
- ▶ **Identification Flag** et **Fragment offset** (32 bits) : champs utilisés pour fragmenter et réassembler les paquets

Fragmentation IP



tiré de Prometheus Spathis

Sommaire

Protocole Internet (IP) : IPv4

Principe du routage IPv4

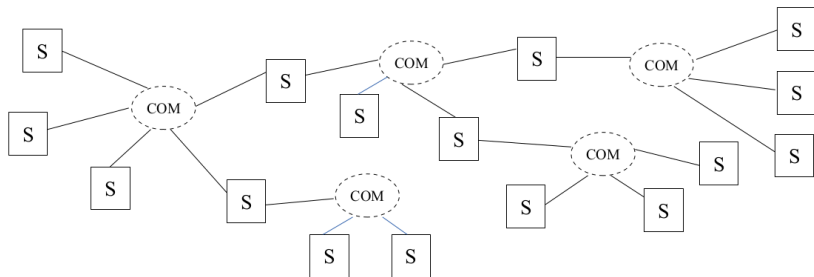
Définition du routage

IP interaction avec les autres couches TCP/IP

Glossaire39

Définition du routage

Dans l'inter-réseau Internet, la sélection d'un chemin partant de la source vers la destination est appelée le **routage**.



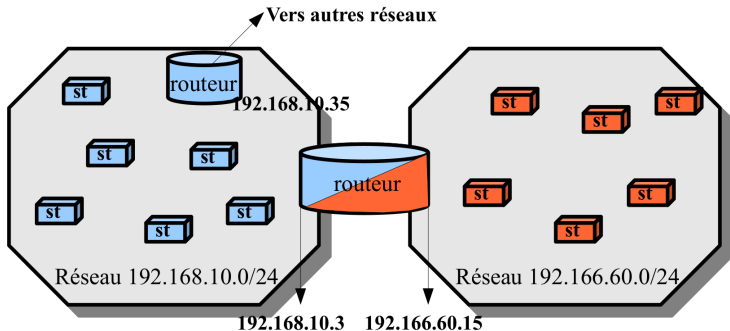
Un chemin passe par 3 types de stations : la source, un nombre variable de routeurs (y compris 0) et la destination.

La fonction de routage démarre dès la source.

Routeur IP

Un **routeur IP** est un équipement connecté à plusieurs réseaux IP. Pour permettre l'acheminement des paquets d'un réseau à l'autre, il possède :

- ▶ une adresse logique (IP) dans chacun des réseaux auquel il est connecté.
- ▶ une adresse physique (MAC) dans chacun des réseaux auquel il est connecté.



Routage IP

Principe

lorsqu'un paquet IP arrive dans un routeur, celui-ci retransmet le paquet soit :

- ▶ directement à la station destinataire si celle-ci est connectée au routeur (elle est dans un même réseau) ;
- ▶ vers un autre routeur auquel il est directement connecté. . .le routage se fait « de proche en proche ».

Table de routage

La détermination de la route suivante se fait par une table de routage :

- ▶ Table de correspondance entre adresse de réseau destinataire et routeur suivant (avec interface d'envoi de la trame).

Toute station d'un réseau IP a une table de routage, en particulier la station source.

Table de routage

Obtenu avec la commande `netstat -r` ou `ip route`

| Destination | Gateway | Genmask | Iface |
|--------------|---------------|---------------|-------|
| 192.168.10.0 | 0.0.0.0 | 255.255.255.0 | eth0 |
| 192.166.60.0 | 0.0.0.0 | 255.255.255.0 | eth1 |
| 0.0.0.0 | 192.168.10.35 | 0.0.0.0 | eth0 |

Colonnes principales : **Destination**, **Gateway** (passerelle), **Genmask** (masque de réseau) et **Iface** (Interface CIR)

- ▶ Destination & Genmask (masque de réseau) : pour identifier le réseau auquel appartient la machine destinataire du paquet. Si Destination = 0.0.0.0 alors il s'agit de la route par défaut.
- ▶ Gateway & Iface : pour déterminer vers quelle direction et quelle trame envoyer : vers un routeur (**Gateway**) ou vers le destinataire final si Gateway est vide (noté 0.0.0.0 ou noté *)

Attention : la colonne destination indique des réseaux de destination (ensemble de machines) mais non des adresses de machines.

Sommaire

Protocole Internet (IP) : IPv4

Principe du routage IPv4

Définition du routage

IP interaction avec les autres couches TCP/IP

Glossaire39

ARP : Lien entre adresse IP et adresse MAC

Quand un paquet IP doit être acheminé d'une station vers une autre du même réseau physique : Comment déterminer l'adresse MAC du destinataire ?

→ ARP permet d'associer une adresse MAC à l'adresse IP correspondant à la même CIR.

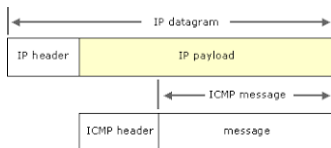
Protocole Address Resolution Protocol (ARP)

- 1 Émission d'une requête ARP en Broadcast demandant l'adresse MAC de la machine dont l'adresse IP est donnée en paramètre.
- 2 La réponse ARP est renvoyée par la station qui a cette adresse MAC.
- 3 Stockage de ce couple (@IP, @MAC) pour une durée limitée dans une table appelée « cache ARP ».
- 4 Accès au cache ARP par la commande : ip neigh (pour neighbour).

ICMP : contrôle IP

IP ne fait pas de contrôle d'erreur. Impossible de savoir s'il y a un problème de transmission.

→ surcouche Internet Control Message Protocol (ICMP) dont les messages sont encapsulés dans les paquets IP.



Les paquets ICMP précisent par exemple les différents types de message de contrôle

- 0 Réponse d'écho
- 3 destinataire inaccessible des stations avec des CIR à la norme 802.11 permettant de se connecter à un réseau sans fil.
- 8 demande d'écho
- 11 Temps dépassé (le paquet a épuisé le TTL)

ICMP et utilitaires

ICMP est utilisé par des utilitaires pour tester le réseau.

Par exemple

- ▶ ping utilise les types Demande d'écho (8) et Réponse d'écho (0) pour
 - ▶ tester l'accessibilité d'une autre machine à travers un réseau IP.
 - ▶ mesurer le temps mis pour recevoir une réponse : Round-Trip Time (RTT) (temps aller-retour).
- ▶ traceroute peut déterminer par quels routeurs passe un paquet en utilisant des demandes d'écho (8) avec un TTL de plus en plus grand.

traceroute : exemple

Par quel chemin passe-t-on pour en arriver à Parcoursup ?

```
$traceroute www.parcoursup.fr
```

```
traceroute to www.parcoursup.fr (194.167.72.228), 30 hops max, 60 byte packets
```

```
 1  193.55.51.129 (193.55.51.129)  1.725 ms  1.827 ms  1.989 ms
 2  193.55.51.1 (193.55.51.1)  4.946 ms  5.140 ms  5.376 ms
 3  r-viallet1.grenet.fr (193.54.184.185)  1.257 ms  1.244 ms  1.231 ms
 4  tigre1.grenet.fr (193.54.185.17)  11.684 ms  11.668 ms  11.649 ms
 5  te1-4-grenoble-rtr-021.noc.renater.fr (193.51.181.94)  1.565 ms  1.545 ms  1.744 ms
 6  te0-0-0-1-ren-nr-lyon2-rtr-091.noc.renater.fr (193.51.180.210)  8.504 ms  ten0-0-0-12-r
 7  xe-0-0-1-paris2-rtr-131.noc.renater.fr (193.51.180.54)  8.105 ms  9.294 ms  xe0-1-9-par
 8  xe-0-0-14-paris1-rtr-131.noc.renater.fr (193.51.177.150)  9.199 ms  8.550 ms  xe-1-1-2-j
 9  * * *
10  hu0-4-0-0-ren-nr-paris1-rtr-091.noc.renater.fr (193.51.180.135)  9.677 ms  9.928 ms  9
11  * * *
...
30  * * *
```

Glossaire I

ARP Address Resolution Protocol. 35

BE Best Effort. 7

CIDR Classless Inter-Domain Routing. 16

CIR Carte Interface Réseau. 9

ICANN Internet Corporation for Assigned
Names and Numbers. 21

ICMP Internet Control Message Protocol. 36

LAN Local Area Network. 8

MAC Media Access Control. 6, 8

MTU Maximum Transfer Unit. 7

RIR Registres Internet Régionaux. 21

RTT Round-Trip Time. 37

TCP Transmission Control Protocol. 5

UDP User Datagram Protocol. 5

Références I



(1981).

Internet Protocol.

RFC 791.



Hinden, B. et Deering, D. S. E. (1998).

Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification.

RFC 2460.