

# Routage entre réseaux locaux

Michel Billaud (michel.billaud@laposte.net)

2 juin 2020

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Interconnexion de réseaux</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Transmission de paquets</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Adresses et sous-réseaux</b>	<b>2</b>
3.1	Adresses Ipv4 et Ipv6 . . . . .	2
3.2	Sous-réseau . . . . .	3
3.3	Réseau local et réseaux logiques . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Émission et retransmission</b>	<b>4</b>
4.1	Configuration . . . . .	4
4.2	Communication sur le même sous-réseau . . . . .	4
4.3	Communication avec l'extérieur . . . . .	4
4.4	Transmission par le routeur . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Étude de cas</b>	<b>5</b>
5.1	Configuration de PC1 . . . . .	6
5.2	Configuration du routeur 1 . . . . .	6
5.3	Routage avec l'extérieur . . . . .	6
<b>6</b>	<b>Table de routage, stratégie</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Annexes</b>	<b>7</b>
7.1	Calculs d'adresse . . . . .	7
7.1.1	Un exemple détaillé . . . . .	7
7.1.2	Exercices . . . . .	8
7.2	Métrie pour le routage . . . . .	8
7.3	Incidents de routage . . . . .	8



Ce texte fait partie d'une petite collection de notes mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 2.0 France.

- Les notes sont publiées dans <https://www.mbillaud.fr/notes/>

- Sources dans <https://github.com/MichelBillaud/notes-diverses>

## 1 Interconnexion de réseaux

Le monde (du moins Internet) est composé de réseaux locaux, inter-connectés par des machines, appelées **passerelles** ou **routeurs**, qui sont à cheval sur plusieurs réseaux locaux.

**Par exemple** votre casque Bluetooth est sur le même réseau local (Bluetooth) que votre Smartphone, qui est relié au réseau Wifi de votre domicile. Une “box” fait le lien (par fibre, câble, ou ligne téléphonique) avec un équipement réseau situé dans un local technique, accède au réseau de votre fournisseur d’accès, inter-connecté sur un “point d’échange” (Internet Exchange Point = IXP) avec celui des autres fournisseurs.

Votre smartphone est donc une passerelle entre un réseau local Bluetooth et le réseau local Wifi, etc.

Remarquez que des technologies très diverses sont employées, avec des trames qui peuvent être de nature très différentes.

## 2 Transmission de paquets

Quand chez vous ordinateur portable, connecté en wifi, veut consulter un site web quelque part,

- il émet sa requête HTTP dans un **paquet contenu dans une trame Wifi** à la norme IEEE 802.11 ;
- cette trame 802.11 est reçue par votre “Box”, qui en extrait le paquet à transmettre, et le réexpédie en l’emballant **dans une trame ADSL** vers le DSLAM (équipement du fournisseur)<sup>1</sup>
- etc.

Ce qui transite d’un bout à l’autre d’Internet, entre votre ordinateur et le serveur Web que vous consultez, ce sont donc des **paquets**. Les trames, c’est un moyen d’**emballer** des paquets pour les faire transiter sur un réseau local d’un type particulier.

## 3 Adresses et sous-réseaux

Pour acheminer les paquets, ils doivent contenir des adresses d’expéditeur et de destinataire.

L’adresse d’expéditeur est utile, elle permet d’une part au destinataire d’identifier l’émetteur, d’autre part de prévenir l’émetteur quand le destinataire est inaccessible.

### 3.1 Adresses Ipv4 et IPv6

Pour le réseau Internet, on utilise deux types d’adresses :

---

<sup>1</sup>Ou des trames GPON si vous êtes connecté par fibre optique.

- les adresses IPv4, qui sont sur 32 bits (4 octets), et que vous voyez généralement sous la forme “décimale pointée”, comme `192.168.1.32` (chaque nombre décimal, entre 0 et 255, code un octet).
- les adresses IPv6, sur 128 bits (16 octets), exprimées sous forme de 8 nombres hexadécimaux (chaque nombre, entre 0000 et `ffff`, représente 16 bits, soit 2 octets). Exemple `2001:067c:02e8:0022:0000:0000:c100:068b` que l’on abrège en `2001:67c:2e8:22::c100:68b` (le “::” indique un “trou” où l’on place autant de nombres zéro que nécessaire).

Ce sont des **adresses logiques** qui servent à désigner quelque chose sur Internet. Il ne faut pas les confondre avec les **adresses physiques** (adresses MAC) qui servent à envoyer les trames sur un réseau local.

## 3.2 Sous-réseau

Les explications qui suivent seront illustrées par des adresses IPv4.

Un sous-réseau est formé d’**adresses voisines**, qui ont un **préfixe** (début d’adresse) commun. La longueur du préfixe est exprimée en nombre de bits.

**Exemple 1** : le sous-réseau `192.168.12.0/24` :

- le préfixe commun contient 24 bits, soit 3 octets ( $3 \times 8 = 24$ ),
- les adresses commencent donc par `192.168.12`,
- le reste de l’adresse peut varier : il s’agit donc des adresses de la forme `192.168.12.x` avec x de 0 à 255.

**Exemple 2** : le sous-réseau `10.0.0.0/16`

- le préfixe contient 16 bits ; les adresses commencent par `10.0`.
- les adresses du sous-réseau vont donc de `10.0.0.0` à `10.0.255.255`.

La longueur du préfixe donne une décomposition d’une adresse IPv4 en 2 parties :

- le **numéro de sous-réseau**, au début (le préfixe),
- le **numéro d’hôte** à la fin.

Voir l’annexe pour plus de détails sur les calculs d’adresse.

**Dans la littérature ancienne**, vous trouverez la notion de **masque de sous-réseau**, qui est une manière obsolète et malcommode de noter une longueur de préfixe.

Un masque binaire est composé de 32 bits, qui sont tous à 1 à gauche et tous à 0 à droite. Le nombre de bits à 1 correspond à la taille du préfixe. On les écrit en notation décimale pointée. Le masque `255.255.255.0`, en binaire `11111111 11111111 11111111 00000000`, correspond à “/24”. Inversement, le masque pour “/28” est `255.255.240.0`.

## 3.3 Réseau local et réseaux logiques

Sur un réseau local, on connecte des machines qui ont des adresses IP correspondant à un sous-réseau logique (ou un petit nombre de réseaux logiques).

## 4 Émission et retransmission

Quand on installe une machine sur un réseau local, on lui attribue un numéro IP. Plus exactement, le numéro IP est attribué à la carte réseau qui la connecte au réseau local. On précise aussi le sous-réseau logique dont elle fait partie, en indiquant la taille du préfixe (ou le masque de sous-réseau).

### 4.1 Configuration

Par exemple, si on lance la commande de configuration

```
ifconfig eth0 147.210.94.195/28
// ou
ip addr add 147.210.94.195/28 dev eth0
```

- l'adresse IP associée à la carte réseau **eth0** est 147.210.94.195
- le sous-réseau a un préfixe de longueur 28,
- c'est-à-dire que les adresses 147.210.94.192 à 207 sont considérées comme étant directement accessibles sur le réseau local.

### 4.2 Communication sur le même sous-réseau

Par conséquent, si on doit envoyer un paquet à une adresse comme 147.210.94.203, qui fait partie de ce même sous-réseau :

- le paquet contiendra comme
  - adresse IP source 147.210.94.195,
  - adresse IP destination 147.210.94.203 ;
- le paquet sera mis dans une trame avec
  - comme adresse MAC source celle de la carte **eth0**
  - comme adresse MAC de destination, celle qui correspond à 147.210.94.197,
- et la trame sera expédiée par **eth0**.

(L'adresse MAC de 147.210.94.197 aura éventuellement été obtenue par une protocole de résolution d'adresse comme ARP).

### 4.3 Communication avec l'extérieur

Si maintenant la machine 147.210.94.197 veut envoyer des paquets à l'adresse IP 45.60.155.214 ([www.elysee.fr](http://www.elysee.fr)), elle doit les transmettre à une machine **passerelle** (gateway) chargée de la communication avec l'extérieur. On parle de routeur.

Pour cela, on a défini une **route** par défaut, par une commande de configuration comme

```
route add net default gw 147.210.94.206
// ou
# ip route add default via 192.168.1.254
```

Le mot-clé **default** représente 0.0.0.0/0, le réseau qui contient toutes les adresses.

Cette configuration indique que les paquets destinés à d'autres adresses que le réseau local doivent être envoyés au routeur, qui les fera suivre.

Donc pour expédier un paquet

- avec adresse IP source 147.210.94.197 (l'envoyeur).
- avec adresse IP destination 45.60.155.214 (destination finale)

on le met dans une trame qui a

- l'adresse MAC source de la carte réseau émettrice
- l'adresse MAC destination de la **carte réseau de la passerelle** 147.210.94.254 (destination sur le réseau local).

#### 4.4 Transmission par le routeur

Le routeur accepte donc la trame (l'adresse MAC de destination est la sienne), et constate que le paquet ne lui est pas destiné (l'adresse IP de destination n'est pas la sienne). Il faut donc le retransmettre.

Pour cela, le routeur détermine ce qu'il va en faire, à partir

- de la configuration de ses cartes réseau
- des routes qui ont été ajoutées.

Si la destination est directement sur un réseau local connecté à la passerelle, le routeur va envoyer une trame à la destination. Si, il va transmettre à un autre routeur.

## 5 Étude de cas

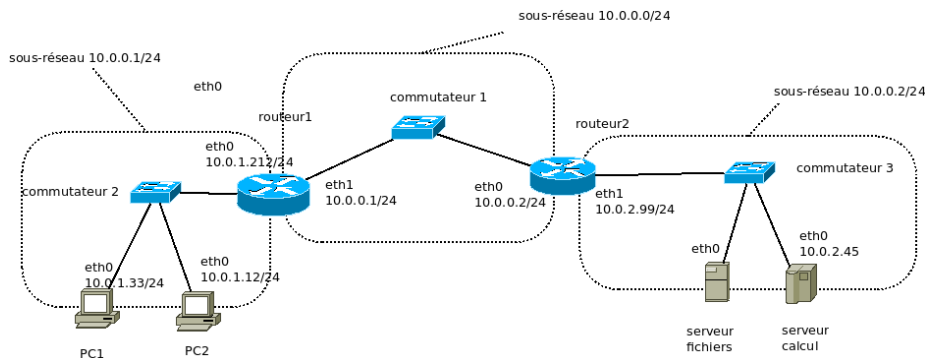


FIG. 1 : Exemple 1

L'exemple 1 montre un réseau d'entreprise, non connecté à l'extérieur, comportant 3 réseaux locaux

- à gauche un réseau de PCs, derrière un routeur
- à droite un réseau avec des serveurs, derrière un second routeur.
- au milieu, un réseau servant à interconnecter les routeurs.

## 5.1 Configuration de PC1

L'ordinateur PC1

- s'est vu attribuer l'adresse 10.0.1.33/24 sur sa carte réseau `eth0`,
- il peut donc communiquer directement avec PC1 et Routeur1, qui sont reliés au même réseau physique avec des adresses IP du même réseau logique.
- Pour communiquer avec les autres machines, il faut passer par le routeur 1.

Donc on peut configurer ainsi l'ordinateur PC1 :

```
ip addr add 10.0.1.33/24 dev eth0
ip route add default via 10.0.1.212
```

## 5.2 Configuration du routeur 1

Ce routeur est connecté à deux réseaux locaux : le PC et le réseau d'interconnexion des routeurs.

Configuration des interfaces :

```
ip addr add 10.0.1.212/24 dev eth0
ip addr add 10.0.0.1/24 dev eth1
```

Il faut ajouter une route pour indiquer que les paquets destinés au réseau des serveurs doivent passer par le routeur2 :

```
ip route add 10.0.2.0/24 via 10.0.0.2
```

La configuration des autres machines est similaire.

## 5.3 Routage avec l'extérieur

On veut maintenant communiquer avec d'autres réseaux. On met en place un nouveau routeur, raccordé par exemple au commutateur 1, avec l'adresse 10.0.0.254.

Sur les deux routeurs, on ajoute des routes de sortie :

```
ip route add default via 10.0.0.254
```

## 6 Table de routage, stratégie

Pour retransmettre un paquet vers une destination dont elle connaît l'adresse IP, une machine

- consulte les configurations des interfaces et les routes,
- retient la route **la plus spécifique**.

**Exemple** : le routeur 1 doit envoyer un paquet à 10.0.2.45.

Dans sa **table de routage**, il a les informations suivantes :

sous-réseau	direct	par passerelle
-----	-----	-----
10.0.1.0/24	eth0	
10.0.0.0/24	eth1	
10.0.2.0/24		10.0.0.2
0.0.0.0/0		10.0.0.254

Seules les deux dernières correspondent à 10.0.2.45. On va retenir la troisième parce que c'est la plus spécifique (préfixe le plus long). Elle indique qu'il faut passer par 10.0.0.2.

En regardant à nouveau les interfaces, cette passerelle est joignable sur le réseau local relié à **eth1**.

Le paquet sera donc mis dans une trame transmise à la passerelle par la carte réseau **eth1** :

- adresse MAC d'origine : celle de la carte **eth1** du routeur1,
- adresse MAC de destination : celle qui est associée à 10.0.0.2.

## 7 Annexes

### 7.1 Calculs d'adresse

#### 7.1.1 Un exemple détaillé

Le calcul est un peu plus sportif quand la longueur de préfixe n'est pas multiple de 8, parce que le partage en adresse de sous-réseau/adresse d'hôte se fait à l'intérieur d'un octet.

En pratique, pour vous aider, écrivez les valeurs décimales des 9 octets qui ont des 1 à gauche et des 0 à droite

binaire	décimal	binaire	décimal	binaire	décimal
00000000	0	11100000		11111100	
10000000	128	11110000		11111110	254
11000000		11111000		11111111	255

**Exemple** : quelles adresses sont dans le sous-réseau 10.11.12.0/22 ?

#### Raisonnement

1. Si on convertit 10.11.12.0 en binaire, on obtient

décimal	10.	11.	12.	0
binaire	00001010	00001011	00111100	00000000

2. Le préfixe est formé des 22 premiers bits :

	<----- 22 bits ----->
préfixe	00001010 00001011 0011_____

3. En faisant varier la partie “numéro d'hôte”, les adresses vont donc

```

<--- num ss réseau --><- num hôte >
de      00001010 00001011 00110000 00000000
à       00001010 00001011 00111111 11111111

```

**Réponse :** en convertissant en décimal, ce sont les adresses de 10.11.12.0 à 10.11.15.255.

**Remarque :** comme la longueur du préfixe est entre 16 et 24, le “partage” se fait dans le troisième octet. On aurait pu se dispenser de convertir les 3 autres.

### 7.1.2 Exercices

- Quelles sont les adresses contenues dans 147.210.94.192/28 ?
- Quel est le rapport entre la taille du préfixe, et le nombre d’adresses d’un sous-réseau ?
- Quel est le **plus petit sous-réseau** qui contienne à la fois 10.53.122.12 et 10.53.97.32 ?
- Montrez que si deux sous-réseaux ont au moins une adresse commune, l’un des deux est inclus dans l’autre.

## 7.2 Métrique pour le routage

La stratégie de routage peut aussi utiliser une notion de distance (“métrique”) associée aux routes.

Possibilités :

- si il y a plusieurs routes pour joindre une destination, avec le même degré de spécificité (longueur du préfixe), prendre la plus courte.
- si plusieurs routes ont la même métrique, faire passer les paquets alternativement par ces routes, pour répartir la charge.

## 7.3 Incidents de routage

Quelques problèmes éventuels lors de l’acheminement des paquets.

1. Une machine ne trouve pas, dans sa table de routage, de route permettant d’expédier un paquet IP vers une destination.

Elle retourne donc à l’expéditeur un message de contrôle “Net unreachable”.

2. Une machine doit transmettre une trame à une autre machine du réseau local (destinataire final ou passerelle), mais on n’arrive pas à obtenir son adresse MAC, ce qui est mauvais signe.

On retourne alors un message de contrôle “Host unreachable”.

3. Les messages IP tournent en rond sur le réseau.

... suite à des erreurs de configuration, ou de câblage. C’est détecté par la présence, dans un paquet IP, d’un compteur nommé TTL (time to live) qui est incrémenté à chaque traversée d’un routeur.

Les routeurs ignorent en silence les paquets dont le TTL excède une certaine limite (quelques dizaines).