

# Réseaux IP et Routage

E. Jeandel

Emmanuel.Jeandel at univ-lorraine.fr

# Contenu

- 1 MCC
- 2 Interconnexion de réseau
- 3 Routeurs
- 4 ICMP
- 5 Pour terminer

Note finale de Réseaux :

- Examen
- Potentiellement remonté par les TPs.
  - Rendus lors des deux prochains TPs.

## Examen

- Tous documents autorisés
- Ce à quoi il faut s'attendre
  - Un exercice sur IP et les préfixes
  - Un exercice sur le routage
  - Un exercice sur les commutateurs
  - Un exercice sur les CRCs
  - Un exercice un peu plus introspectif

## Pour réviser

- Examen 2020-2021 en ligne, avec un corrigé
- Exos de révisions (pdf) sur arche sur les préfixes
- Exos de révisions (pdf) sur arche sur les CRCs
- Exos de révisions (mini-test) sur arche sur le routage

# Contenu

- 1 MCC
- 2 Interconnexion de réseau
- 3 Routeurs
- 4 ICMP
- 5 Pour terminer

Idée de base : Pour envoyer un message à une machine d'adresse  $A$

- Soit je m'aperçois que  $A$  est dans mon réseau local, et je lui envoie directement
- Soit ce n'est pas le cas, et je trouve quelqu'un (un *routeur*) pour le faire à ma place.

Aujourd'hui : le deuxième cas.

Deux questions :

- Comment trouver l'adresse du routeur à contacter ?
  - Il doit être sur le réseau local
- Comment lui donner le paquet ?

On reviendra plus tard sur le deuxième point.



## Comment trouver l'adresse du routeur à contacter ?

- Une machine “classique” est en général connectée à un seul routeur, qu'on appelle la *passerelle*, ou encore passerelle par défaut.
- Il doit être connu de la machine qui va envoyer le paquet, elle ne peut pas le deviner.
  - Fichier de config à remplir, automatiquement ou non.

# Interconnexion

Si la machine qu'on veut contacter n'est pas dans le réseau local, il faut confier le message à un routeur (qui doit être, lui, dans le réseau local)

S'il y a plusieurs routeurs sur le réseau local, on consulte une **table de routage**.

Réseau	Routeur à qui transférer (gateway/passerelle)
...	...

# Table de routage (Exemple)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	123.42.1.14
14.17.0.0/24	123.42.1.15
0.0.0.0/0	123.42.1.16
10.0.0.0/8	123.42.1.14
10.0.10.0/24	123.42.1.15
18.21.16.64/32	123.42.1.15

# Table de routage

## Entrées particulières

- | Réseau    | Routeur à qui transférer |
|-----------|--------------------------|
| 0.0.0.0/0 | 123.42.1.16              |

représente tout l'Internet : c'est la route *par défaut*.

- | Réseau         | Routeur à qui transférer |
|----------------|--------------------------|
| 18.21.16.64/32 | 123.42.1.15              |

représente une seule machine

Règle d'utilisation d'une table de routage : on prend l'entrée la plus spécifique qui convient.

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

192.168.0.1 ?

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

192.168.0.1 ? Envoyer à 10.0.3.14

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

10.0.0.3 ?

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

10.0.0.3 ? Envoyer à 10.0.3.14



# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

10.0.10.3 ?

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

10.0.10.3 ? Envoyer à 10.0.3.15

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

10.0.3.3 ?

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

10.0.3.3 ? Réseau local, pas besoin de transférer

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

18.21.16.60 ?

# Exemples

Voici la table de routage de la machine A (d'adresse 10.0.3.2/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/24	10.0.3.14
14.17.0.0/24	10.0.3.15
10.0.0.0/8	10.0.3.14
10.0.10.0/24	10.0.3.15
18.21.16.64/32	10.0.3.16

18.21.16.60 ? No route to host

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine B (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
10.0.0.0/8	192.168.2.254
140.77.0.0/16	192.168.2.254
140.77.12.0/24	192.168.2.253
13.21.19.0/24	192.168.2.252

140.77.12.18 ?

140.77.13.1 ?

10.0.0.3 ?

10.10.10.10 ?

192.168.2.3 ?

13.21.16.64 ?

13.21.19.64 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine B (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
10.0.0.0/8	192.168.2.254
140.77.0.0/16	192.168.2.254
140.77.12.0/24	192.168.2.253
13.21.19.0/24	192.168.2.252

140.77.12.18 ? Envoyer à 192.168.2.253

140.77.13.1 ?

10.0.0.3 ?

10.10.10.10 ?

192.168.2.3 ?

13.21.16.64 ?

13.21.19.64 ?



# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine B (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
10.0.0.0/8	192.168.2.254
140.77.0.0/16	192.168.2.254
140.77.12.0/24	192.168.2.253
13.21.19.0/24	192.168.2.252

140.77.12.18 ?

140.77.13.1 ? Envoyer à 192.168.2.254

10.0.0.3 ?

10.10.10.10 ?

192.168.2.3 ?

13.21.16.64 ?

13.21.19.64 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine B (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
10.0.0.0/8	192.168.2.254
140.77.0.0/16	192.168.2.254
140.77.12.0/24	192.168.2.253
13.21.19.0/24	192.168.2.252

140.77.12.18 ?

140.77.13.1 ?

10.0.0.3 ? Envoyer à 192.168.2.254

10.10.10.10 ?

192.168.2.3 ?

13.21.16.64 ?

13.21.19.64 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine B (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
10.0.0.0/8	192.168.2.254
140.77.0.0/16	192.168.2.254
140.77.12.0/24	192.168.2.253
13.21.19.0/24	192.168.2.252

140.77.12.18 ?

140.77.13.1 ?

10.0.0.3 ?

10.10.10.10 ? Envoyer à 192.168.2.254

192.168.2.3 ?

13.21.16.64 ?

13.21.19.64 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine B (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
10.0.0.0/8	192.168.2.254
140.77.0.0/16	192.168.2.254
140.77.12.0/24	192.168.2.253
13.21.19.0/24	192.168.2.252

140.77.12.18 ?

140.77.13.1 ?

10.0.0.3 ?

10.10.10.10 ?

192.168.2.3 ? Réseau local, pas besoin de transférer

13.21.16.64 ?

13.21.19.64 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine B (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
10.0.0.0/8	192.168.2.254
140.77.0.0/16	192.168.2.254
140.77.12.0/24	192.168.2.253
13.21.19.0/24	192.168.2.252

140.77.12.18 ?

140.77.13.1 ?

10.0.0.3 ?

10.10.10.10 ?

192.168.2.3 ?

13.21.16.64 ? No route to host

13.21.19.64 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine B (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Routeur à qui transférer
10.0.0.0/8	192.168.2.254
140.77.0.0/16	192.168.2.254
140.77.12.0/24	192.168.2.253
13.21.19.0/24	192.168.2.252

140.77.12.18 ?

140.77.13.1 ?

10.0.0.3 ?

10.10.10.10 ?

192.168.2.3 ?

13.21.16.64 ?

13.21.19.64 ? Envoyer à 192.168.2.252

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	
14.21.44.0/22	192.168.2.254	
14.21.46.0/23	192.168.2.253	
14.21.47.0/24	192.168.2.254	
192.168.0.0/20	192.168.2.254	
192.168.4.0/24	192.168.2.252	

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	Plage
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ?



# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ? Envoyer à 192.168.2.252

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ? Envoyer à 192.168.2.253

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ? Envoyer à 192.168.2.254

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ? No route to host

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ? 192.168.2.254

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ? Réseau local, pas besoin de transférer

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ? No route to host

192.168.12.31 ?

# Exemples (TODO)

Voici la table de routage de la machine C (d'adresse 192.168.2.1/24)

Réseau	Passerelle	
14.21.32.0/20	192.168.2.252	14.21.32.0 – 14.21.47.255
14.21.44.0/22	192.168.2.254	14.21.44.0 – 14.21.47.255
14.21.46.0/23	192.168.2.253	14.21.46.0 – 14.21.47.255
14.21.47.0/24	192.168.2.254	14.21.47.0 – 14.21.47.255
192.168.0.0/20	192.168.2.254	192.168.0.0–192.168.15.255
192.168.4.0/24	192.168.2.252	192.168.4.0–192.168.4.255

14.21.40.1 ?

14.21.46.7 ?

14.21.47.7 ?

10.10.10.10 ?

192.168.4.31 ?

192.168.2.31 ?

192.168.19.31 ?

192.168.12.31 ? 192.168.2.254



La machine A doit envoyer un message à B. Elle sait qu'elle doit passer par le routeur R. Que fait-elle ?

- Du point de vue liaison :  
Le message part de la machine, va au routeur
- Du point de vue réseau :  
le message part de la machine A, va à la machine B

La machine A doit envoyer un message à B. Elle sait qu'elle doit passer par le routeur R. Que fait-elle ?

- Du point de vue liaison :  
MAC SRC : MacA, MAC DST : MacR
- Du point de vue réseau :  
le message part de la machine A, va à la machine B

La machine A doit envoyer un message à B. Elle sait qu'elle doit passer par le routeur R. Que fait-elle ?

- Du point de vue liaison :  
MAC SRC : MacA, MAC DST : MacR
- Du point de vue réseau :  
IP SRC : IPA, MAC DST : IPB

# A retenir

Quand un paquet IP circule d'une machine à l'autre en passant par des routeurs, l'adresse IP source et l'adresse IP destination ne changent pas.

En fait quasiment rien ne change dans le paquet IP

Sur chaque segment du réseau, l'adresse MAC source et l'adresse MAC destination changent.

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.253/24  
aa:bb:cc:12:34:56



19.4.1.253/24  
06:66:12:34:12:12

19.4.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

Paquet envoyé de A à C

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



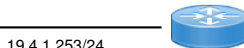
13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.253/24  
aa:bb:cc:12:34:56



19.4.1.253/24  
06:66:12:34:12:12

19.4.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

IP	src: 192.168.1.3	dst: 19.4.1.4
MAC	src: aa:bb:cc:dd:ee:ff	dst: 11:22:33:44:55:66

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.253/24  
aa:bb:cc:12:34:56



19.4.1.253/24  
06:66:12:34:12:12



19.4.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

IP	src: 192.168.1.3	dst: 19.4.1.4
MAC	src: de:ad:be:ef:de:ad	dst: 00:00:11:22:33:33

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



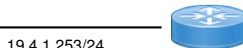
13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.253/24  
aa:bb:cc:12:34:56



19.4.1.253/24  
06:66:12:34:12:12

19.4.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

IP	src: 192.168.1.3	dst: 19.4.1.4
MAC	src: 44:44:44:44:16:64	dst: aa:bb:cc:12:34:56



# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.253/24  
aa:bb:cc:12:34:56



19.4.1.253/24  
06:66:12:34:12:12



19.4.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

IP	src: 192.168.1.3	dst: 19.4.1.4
MAC	src: 06:66:12:34:12:12	dst: ff:66:66:66:66:66

# A retenir

On ne verra jamais apparaître les IPs des routeurs

On ne verra jamais d'adresses MAC de machines qui ne sont pas sur le réseau local.

# Routeurs ?

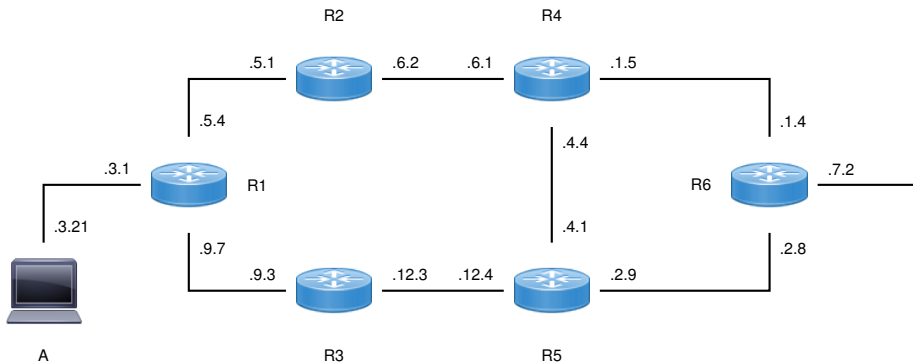
Il reste à expliquer comment fonctionne un routeur

Un routeur utilise, comme les machines, une table de routage.

Seule différence routeur/machine :

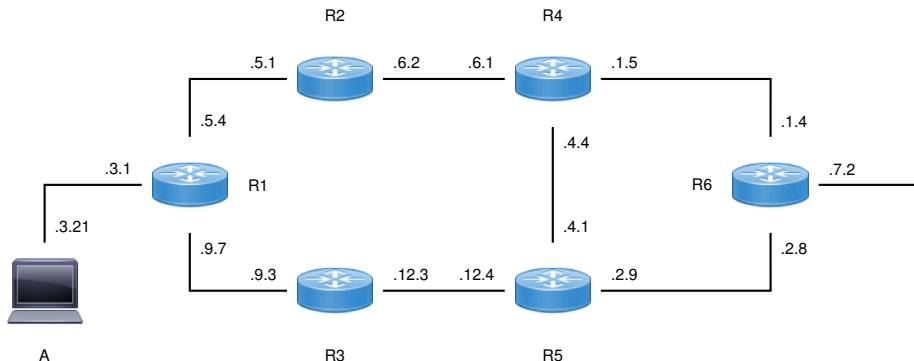
Un routeur transfère les paquets qu'il reçoit et dont il n'est pas destinataire, une machine les jette.

# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

# Exemple

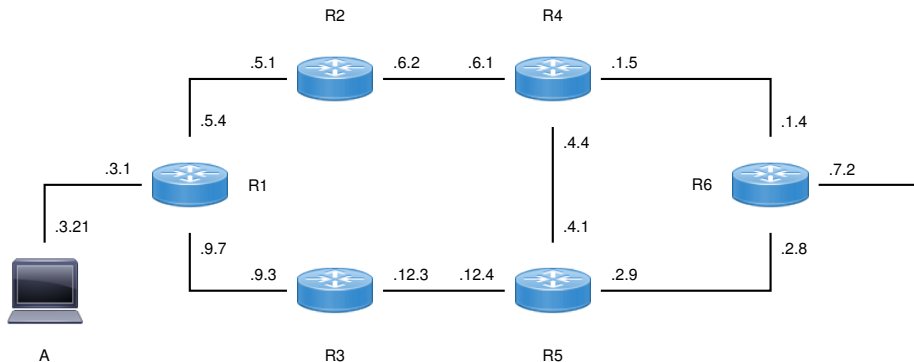


A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

A consulte sa table de routage :

Réseau	Routeur à qui transférer
0.0.0.0/0	192.168.3.1

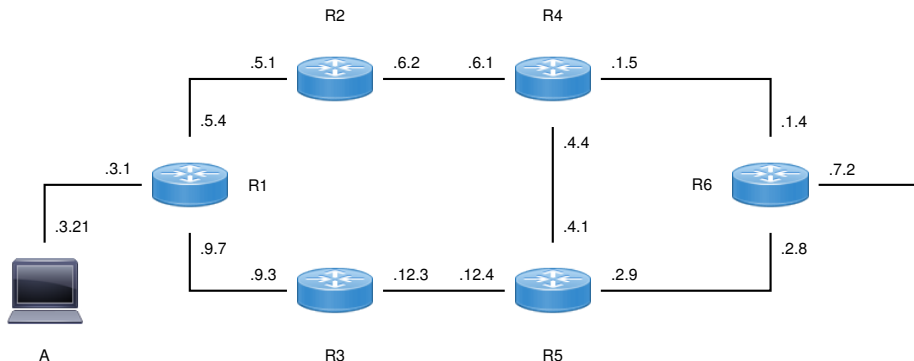
# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

A envoie au routeur R1.

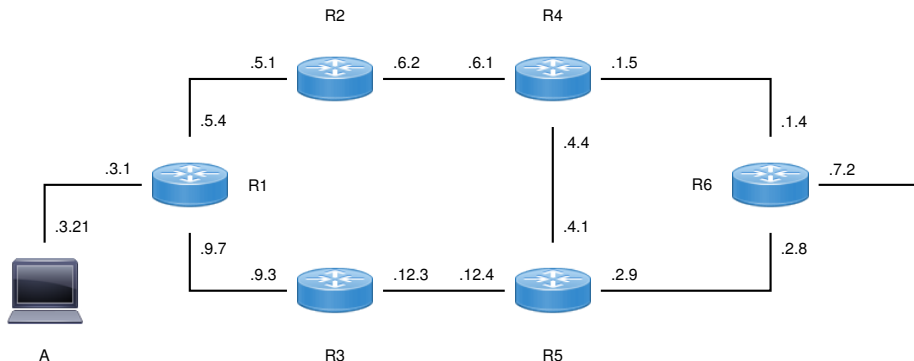
# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

R1 regarde si 192.168.93.13 est dans un de ses réseaux local (Non)

# Exemple



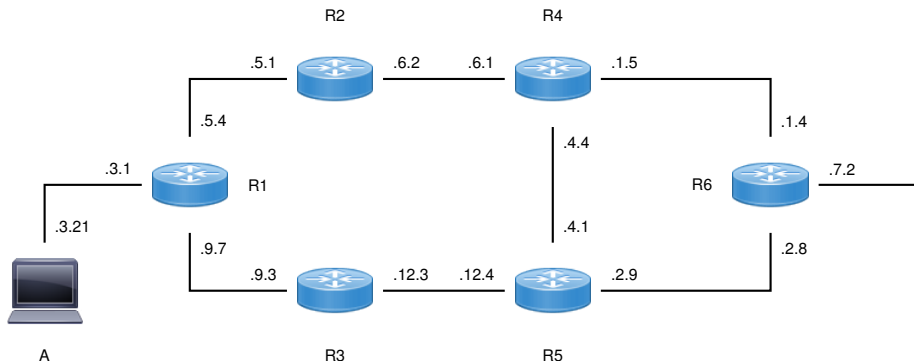
A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

R1 consulte sa table de routage :

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.1.0/24	192.168.5.1
192.168.6.0/24	192.168.5.1
0.0.0.0/0	192.168.9.3

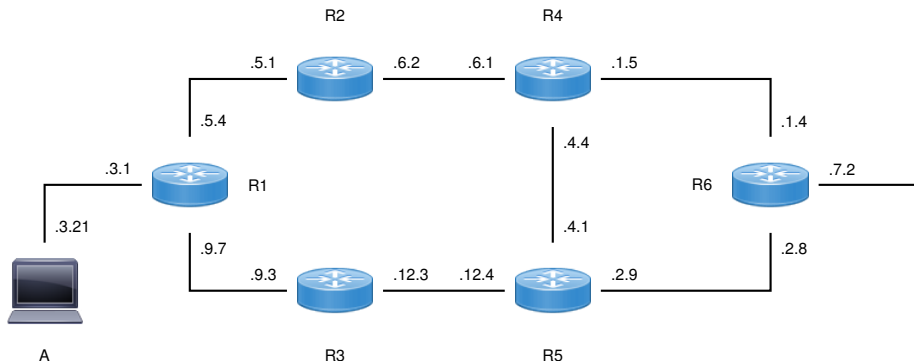


# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.  
R1 envoie à R3.

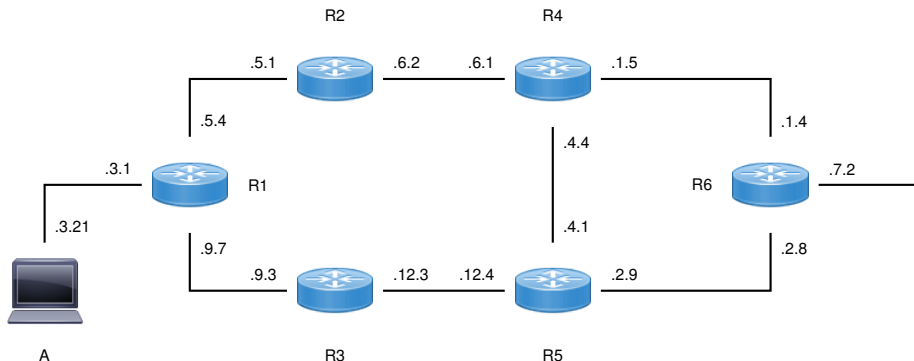
# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

R3 regarde si 192.168.93.13 est dans un de ses réseaux local (Non)

# Exemple

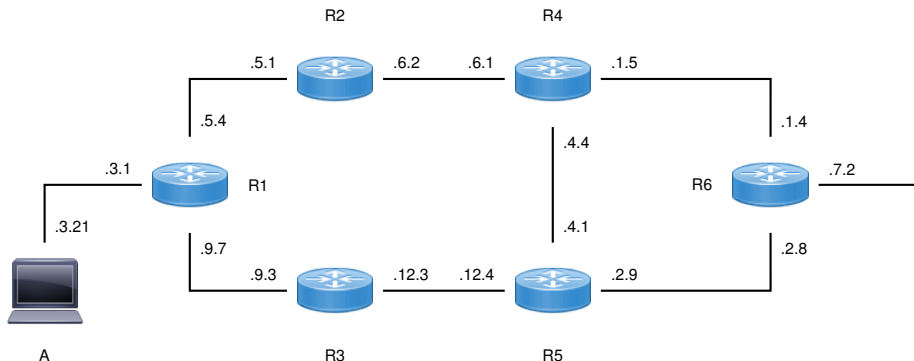


A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

R3 consulte sa table de routage :

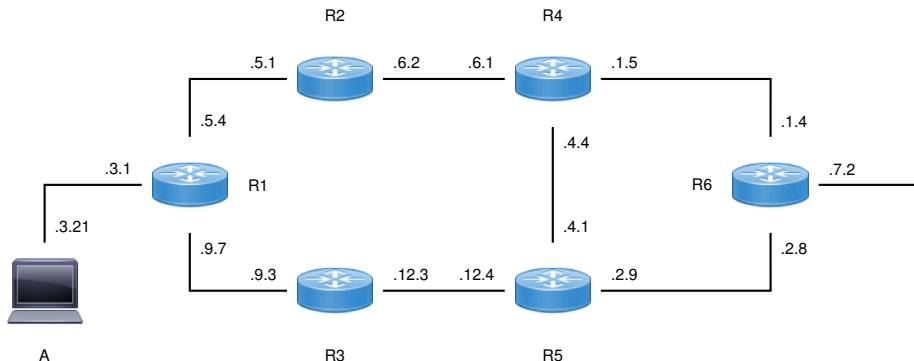
Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.3.0/24	192.168.9.7
0.0.0.0/0	192.168.12.4

# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.  
R3 envoie à R5.

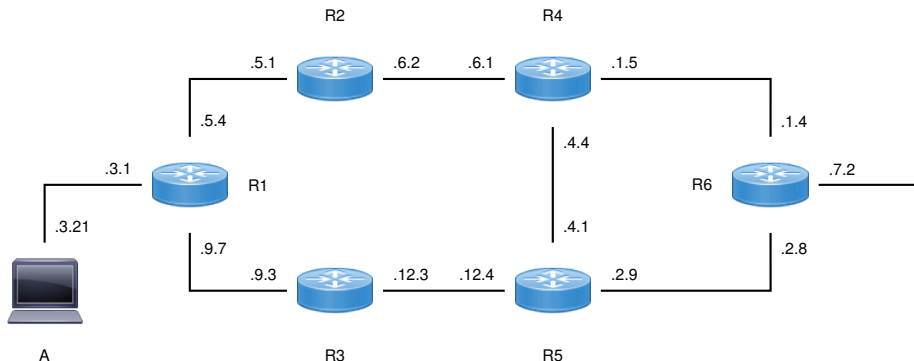
# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

R5 regarde si 192.168.93.13 est dans un de ses réseaux local (Non)

# Exemple

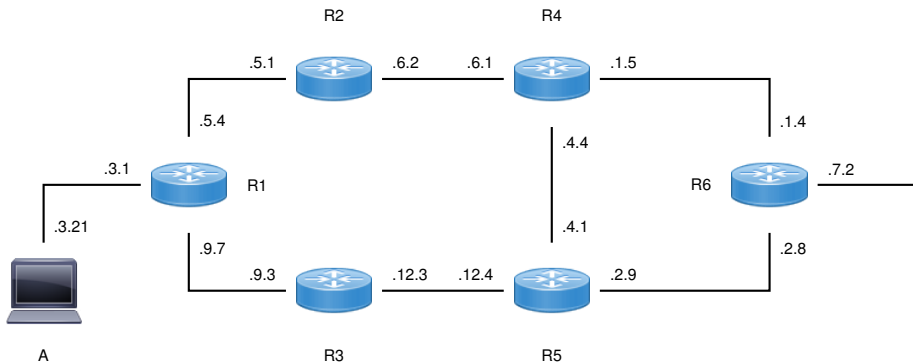


A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

R5 consulte sa table de routage :

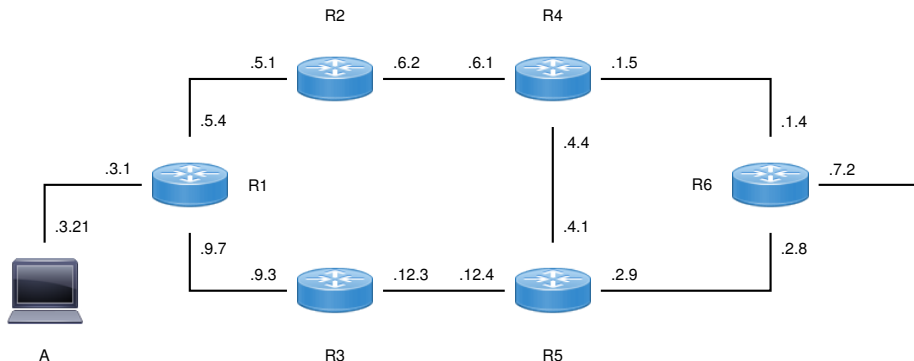
Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/21	192.168.4.4
192.168.0.0/16	192.168.2.8
0.0.0.0/0	192.168.12.3

# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.  
R5 envoie à R6.

# Exemple

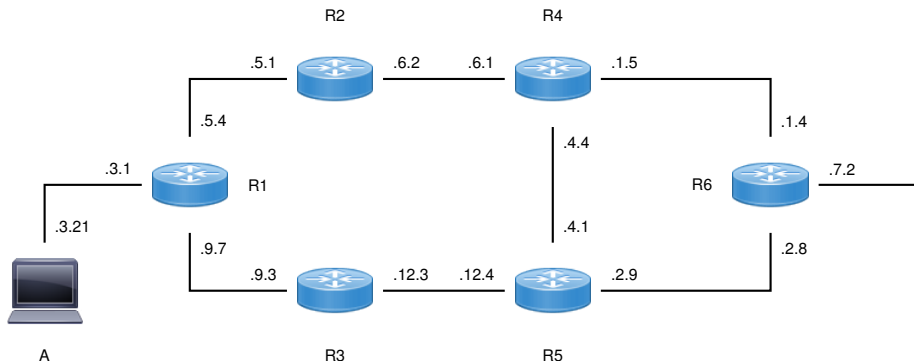


A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

R6 regarde si 192.168.93.13 est dans un de ses réseaux local (Non)



# Exemple

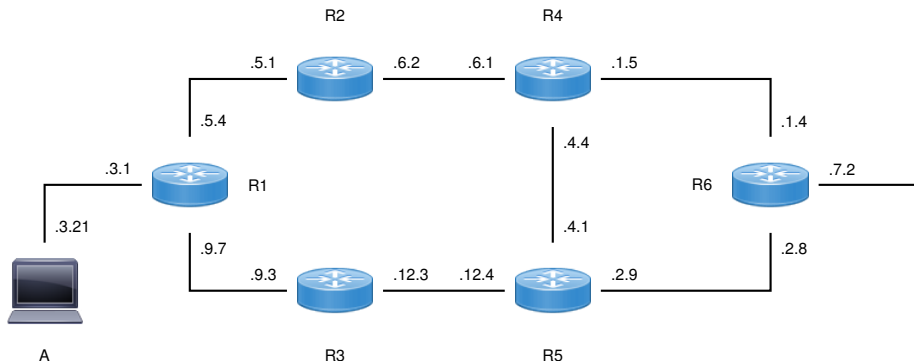


A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

R6 consulte sa table de routage :

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/16	192.168.1.5
0.0.0.0/0	192.168.7.9

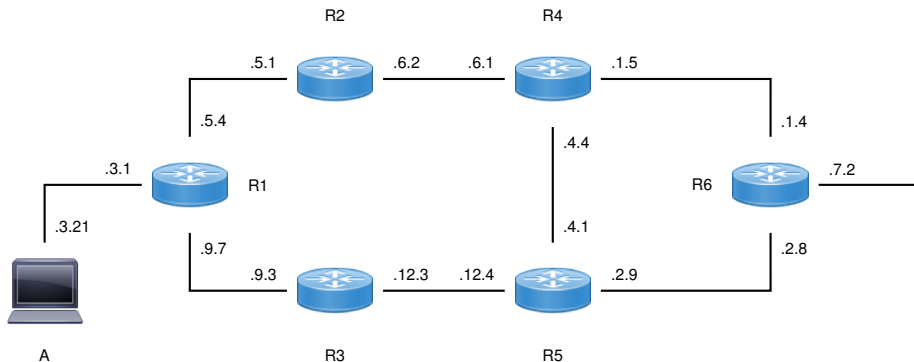
# Exemple



A veut envoyer un message à 192.168.93.13.

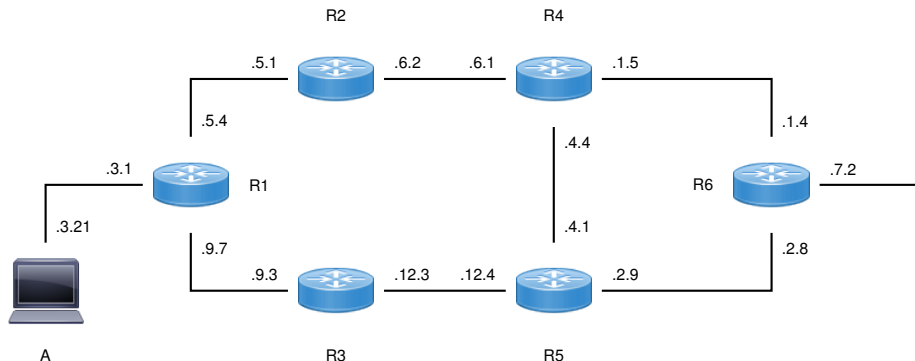
R6 envoie à 192.168.7.9...

## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24

## Exemple 2

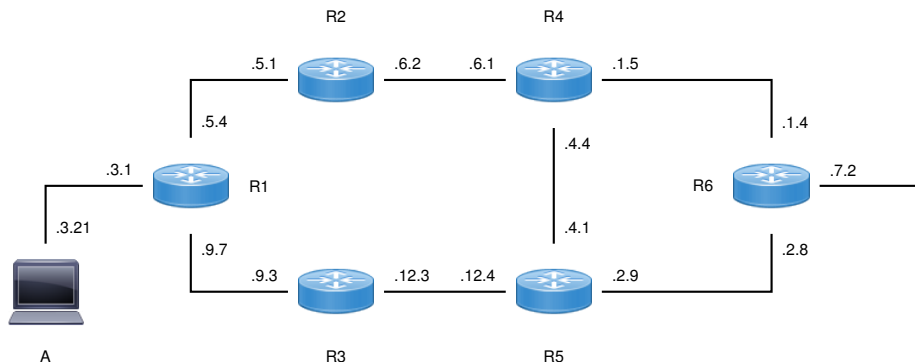


A veut envoyer un message à 13.37.12.24

A consulte sa table de routage :

Réseau	Routeur à qui transférer
0.0.0.0/0	192.168.3.1

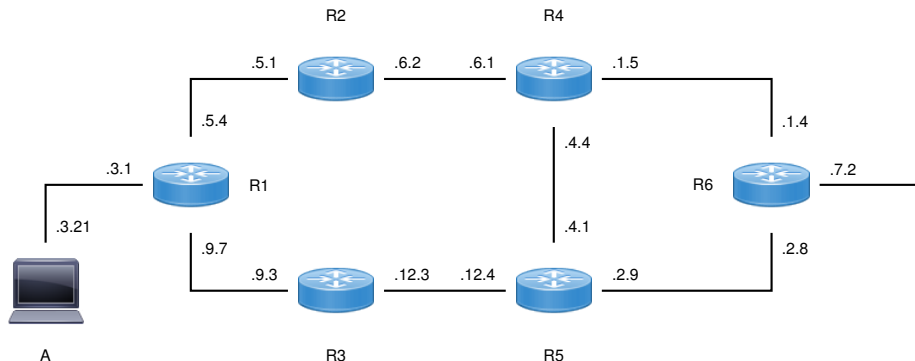
## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24

A envoie au routeur R1.

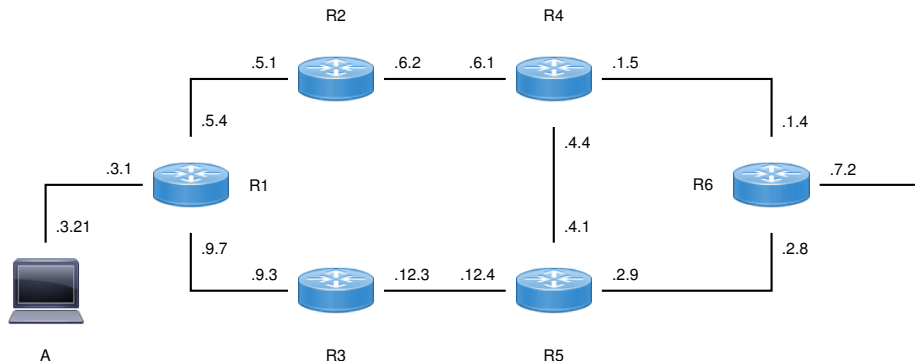
## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R1 regarde si 13.37.12.24 est dans un de ses réseaux local (Non)

## Exemple 2

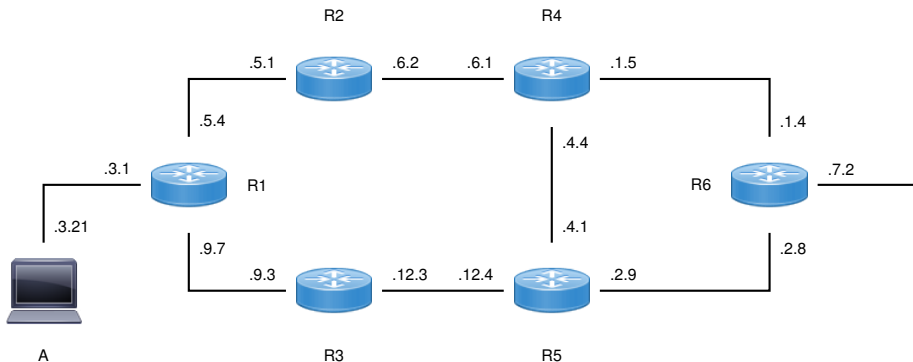


A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R1 consulte sa table de routage :

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.1.0/24	192.168.5.1
192.168.6.0/24	192.168.5.1
0.0.0.0/0	192.168.9.3

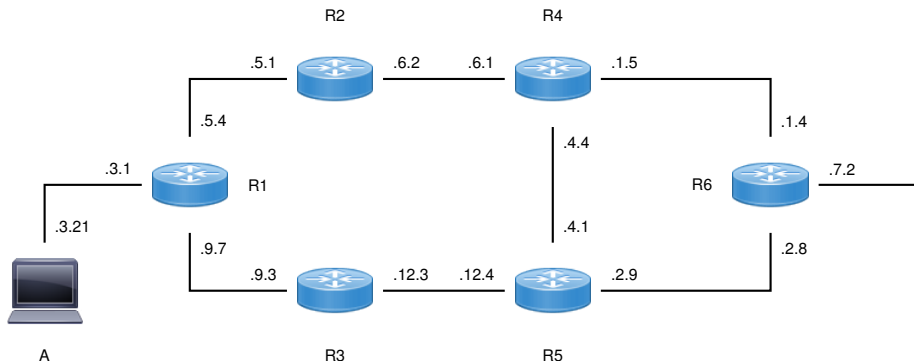
## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24  
R1 envoie à R3.



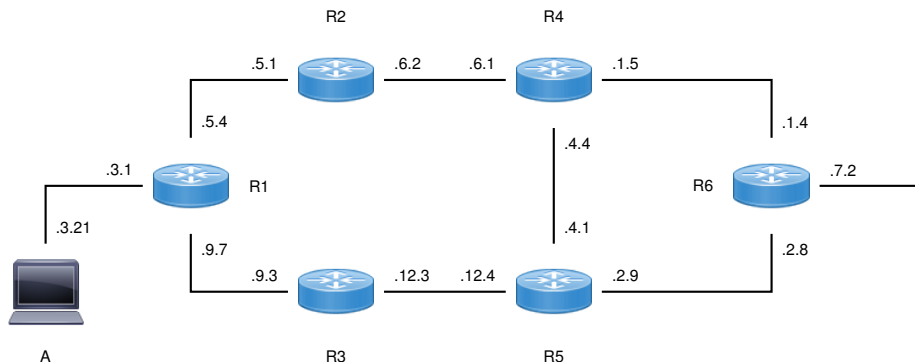
## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R3 regarde si 13.37.12.24 est dans un de ses réseaux local (Non)

## Exemple 2

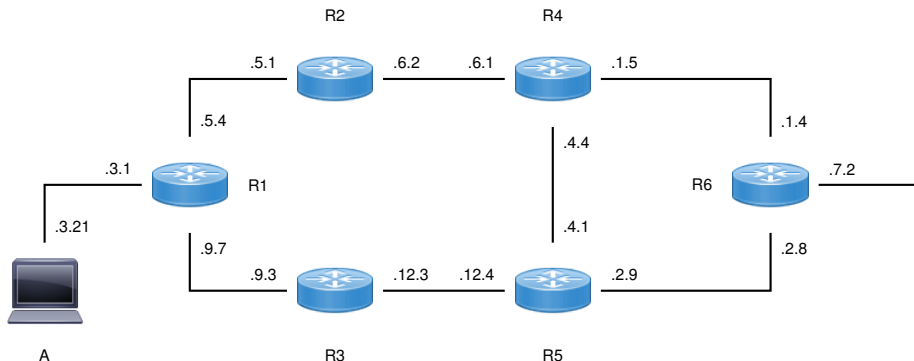


A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R3 consulte sa table de routage :

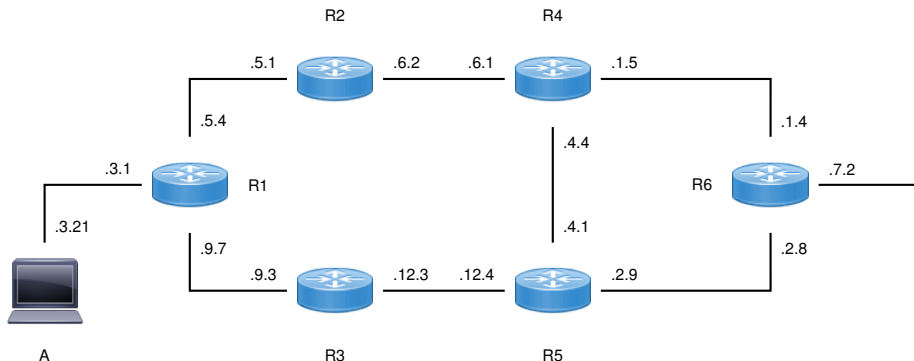
Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.3.0/24	192.168.9.7
0.0.0.0/0	192.168.12.4

## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24  
R3 envoie à R5.

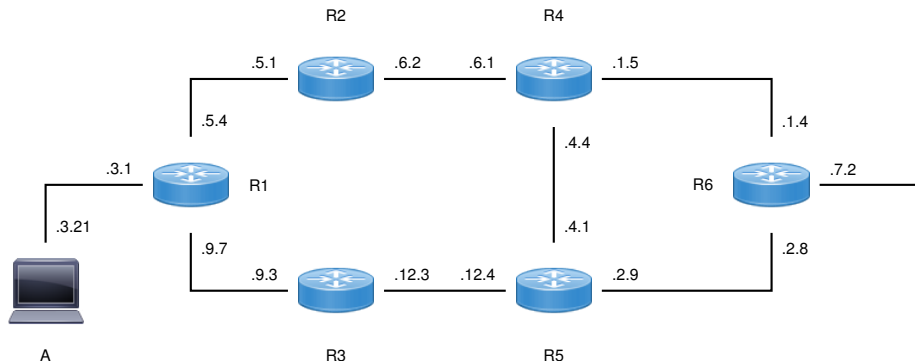
## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R5 regarde si 13.37.12.24 est dans un de ses réseaux local (Non)

## Exemple 2

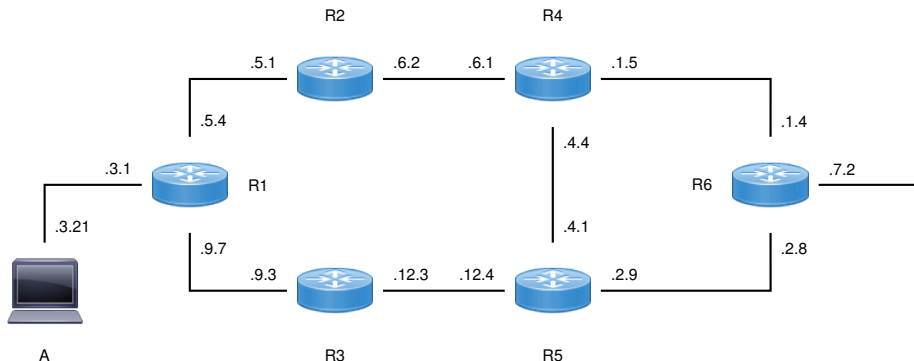


A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R5 consulte sa table de routage :

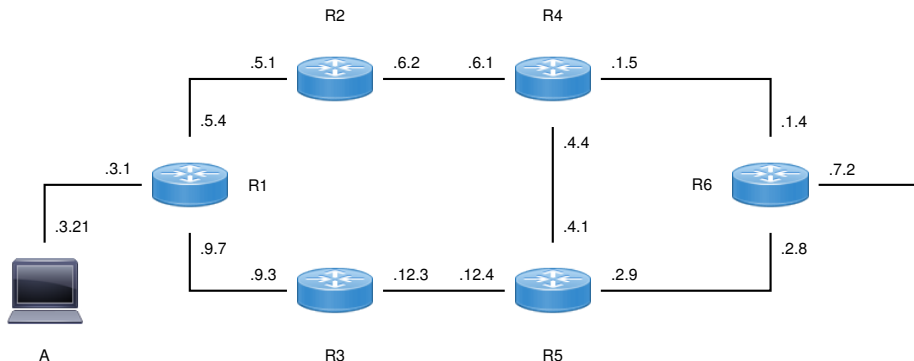
Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/21	192.168.4.4
192.168.0.0/16	192.168.2.8
0.0.0.0/0	192.168.12.3

## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24  
R5 envoie à R3.

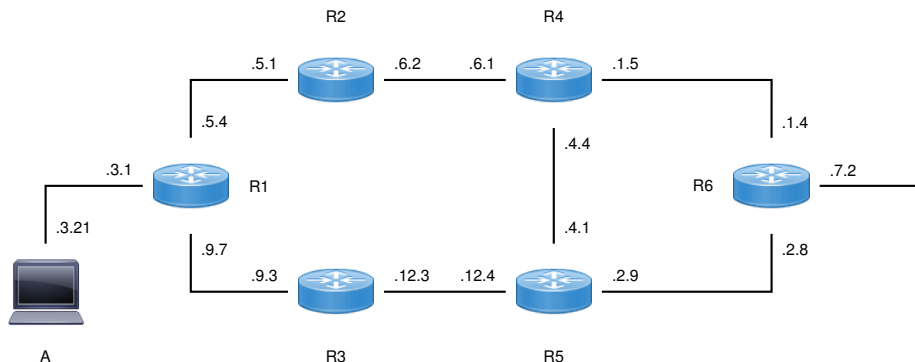
## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R3 regarde si 13.37.12.24 est dans un de ses réseaux local (Non)

## Exemple 2



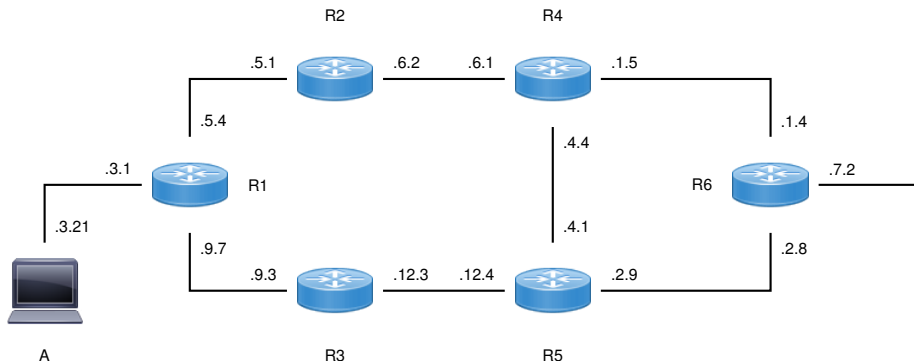
A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R3 consulte sa table de routage :

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.3.0/24	192.168.9.7
0.0.0.0/0	192.168.12.4

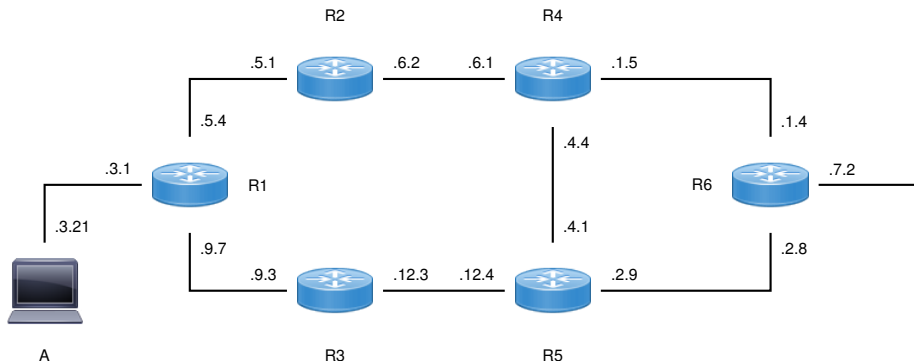


## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24  
R3 envoie à R5.

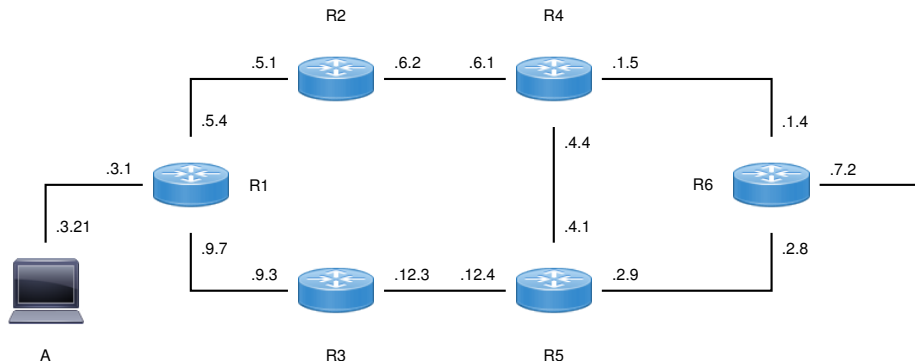
## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R5 regarde si 13.37.12.24 est dans un de ses réseaux local (Non)

## Exemple 2

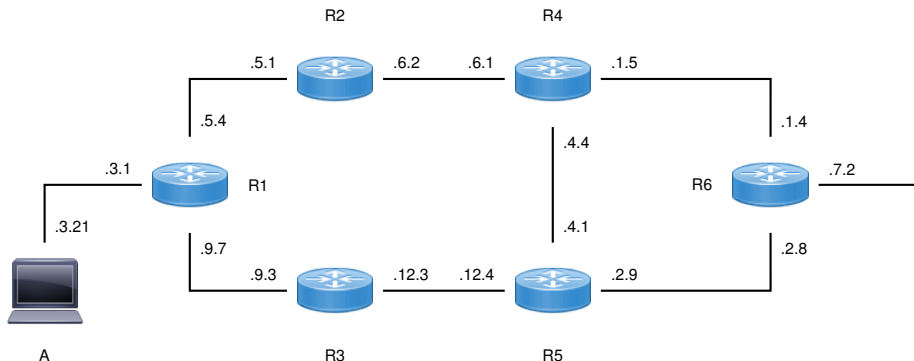


A veut envoyer un message à 13.37.12.24

R5 consulte sa table de routage :

Réseau	Routeur à qui transférer
192.168.0.0/21	192.168.4.4
192.168.0.0/16	192.168.2.8
0.0.0.0/0	192.168.12.3

## Exemple 2



A veut envoyer un message à 13.37.12.24  
R5 envoie à R3.

Dans des réseaux mal foutus, des paquets pourraient boucler à l'infini

Solution : TTL (Time to Live)

- Initialisé à une grande valeur (par exemple 64) au début
- Décrémenté de 1 à chaque traversée de routeur
- Le paquet disparaît quand  $TTL = 0$ .

Un paquet ne peut donc pas franchir plus de 64 routeurs consécutifs.

# Protocole IPv4



## Notes :

- Protocole : le protocole encapsulé (TCP, UDP, autre)

L'IP des routeurs "de transit" n'apparaît pas : la seule chose qui change d'un routeur à l'autre c'est le TTL.

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad

13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

A veut envoyer un message à 19.0.1.4

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

1. A regarde si 19.0.1.4 est dans son réseau local  $\Rightarrow$  Non.



# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

## 2. A consulte sa table de routage

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

## 2. A consulte sa table de routage

Réseau	Routeur à qui transférer
19.0.0.0/8	192.168.1.254
10.0.0.0/8	192.168.1.250

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

2. A déduit de la table qu'elle doit envoyer le message à 192.168.1.254

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

3. A doit trouver l'adresse MAC de 192.168.1.254

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

3. A envoie une requête ARP sur son réseau local. À qui correspond 192.168.1.254 ?

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad

13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

4. Le routeur répond : à 11:22:33:44:55:66

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

5. A envoie la trame suivante :

Entête Ethernet    source : aa:bb:cc:dd:ee:ff  
                         destination : 11:22:33:44:55:66

Entête IP  
                 source : 192.168.1.3  
                 destination : 19.0.1.4  
                 TTL :64

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

6. Le routeur reçoit un paquet qui n'est pas pour lui, se demande s'il doit le jeter, et décide que non.



# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

7. Le routeur regarde si 19.0.1.4 est dans un de ses réseaux locaux ⇒  
Non.

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

8. Le routeur regarde sa table de routage

Réseau	Routeur à qui transférer
0.0.0.0/0	13.17.1.252

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

8. Le routeur doit donc envoyer le paquet à 13.17.1.252

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

9. Le routeur doit trouver l'adresse MAC de 13.17.1.252. Par chance, il la connaît

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



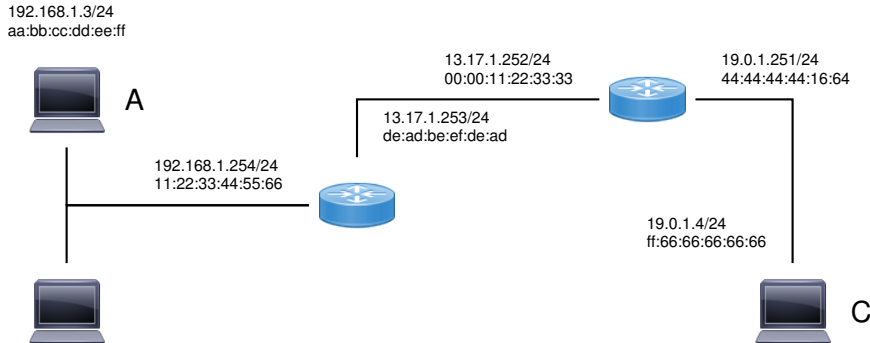
C

10. Le routeur envoie la trame suivante :

Entête Ethernet    source : **de:ad:be:ef:de:ad**  
                         destination : **00:00:11:22:33:33**

Entête IP  
                 source : 192.168.1.3  
                 destination : 19.0.1.4  
                 TTL : **63**

# Exemple



11. Le deuxième routeur reçoit un paquet qui n'est pas pour lui, se demande s'il doit le jeter, et décide que oui, car il est mal configuré non.

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

12. Le routeur regarde si 19.0.1.4 est dans un de ses réseaux locaux  
⇒ **Oui**.

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

13. Le routeur doit trouver l'adresse MAC de 19.0.1.4. Par chance il la connaît.



# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

14. Le routeur envoie la trame suivante :

Entête Ethernet    source : 44:44:44:44:16:64  
                         destination : ff:66:66:66:66:66

Entête IP  
                 source : 192.168.1.3  
                 destination : 19.0.1.4  
                 TTL : 62

# Exemple

192.168.1.3/24  
aa:bb:cc:dd:ee:ff



A

192.168.1.254/24  
11:22:33:44:55:66



13.17.1.252/24  
00:00:11:22:33:33

13.17.1.253/24  
de:ad:be:ef:de:ad



19.0.1.251/24  
44:44:44:44:16:64

19.0.1.4/24  
ff:66:66:66:66:66



C

15. La machine C reçoit la trame, et le message envoyé par A et ne répond pas car son propriétaire est un goujat.

# Contenu

- 1 MCC
- 2 Interconnexion de réseau
- 3 **Routeurs**
- 4 ICMP
- 5 Pour terminer

Qui remplit les tables de routages ? Comment ?

- A la main
- Automatiquement

# A la main

## Pour ajouter une route sous Linux

```
route add -net RESEAU netmask MASK gw PASSERELLE  
ip route add RESEAU/PREFIX via PASSERELLE
```

## Exemple :

```
route add -net 192.168.0.0 netmask 255.255.255.0  
                                gw 131.42.24.24  
ip route add 192.168.0.0/24 via 131.42.24.24
```

## Pour voir les routes :

```
route -n  
ip route
```

- Tous les réseaux sur Internet ne sont pas administrés par les mêmes personnes
- Notion d'AS (Autonomous System), géré ou administré par une seule entité
- A l'intérieur d'un AS, les routeurs coopèrent
- Entre deux AS c'est moins clair (géopolitique, bureaucratie, argent ...)

Dans un système où tout le monde s'aime :

- On configure les routeurs pour que les paquets prennent le chemin le plus court.
  - plus court ?
  - meilleur débit ?
  - meilleure latence ?
- géré en général automatiquement
- Il faut que les tables de routage s'adaptent si un routeur arrive/meurt

# Contenu

- 1 MCC
- 2 Interconnexion de réseau
- 3 Routeurs
- 4 ICMP**
- 5 Pour terminer



Le protocole ICMP, encapsulé dans IP, permet :

- Le diagnostic
- Les messages d'erreur

Le protocole ICMP contient un champ “type” permettant de spécifier la fonction du message.

Attention, c'est un protocole de couche réseau encapsulé dans un protocole de couche réseau.

### Erreurs possibles : Destination Unreachable

- Renvoyé par un routeur qui ne sait pas quoi faire d'un paquet IP (mais pas seulement)
- Le routeur renvoie dans le paquet ICMP le début du paquet IP qui n'a pas atteint sa destination.
- Source IP : le routeur. Destination : la source du message initial

On a donc un (bout de) paquet IP encapsulé dans un paquet ICMP lui-même encapsule dans IP.

Erreurs possibles : Time Exceeded

- Le TTL a atteint 0
- Le routeur renvoie dans le paquet ICMP le début du paquet IP qui n'a pas atteint sa destination.
- Source IP : le routeur. Destination IP : la source du message initial

## Usage élaboré d'ICMP

- On envoie un message avec un TTL de 1
- Le routeur local nous dit “time exceeded” : on apprend ainsi son adresse IP
- On envoie un message avec un TTL de 2
- Le routeur derrière le routeur local nous dit “time exceeded” : on apprend ainsi son adresse IP
- etc...

### ICMP echo request/reply

- On envoie un message à une machine/routeur, qui nous le réenvoie
- Le message contient :
  - Un identifiant (a priori unique)
  - Un numéro de séquence
  - Des données (a priori aléatoires)

Permet de mesurer le temps du trajet aller-retour

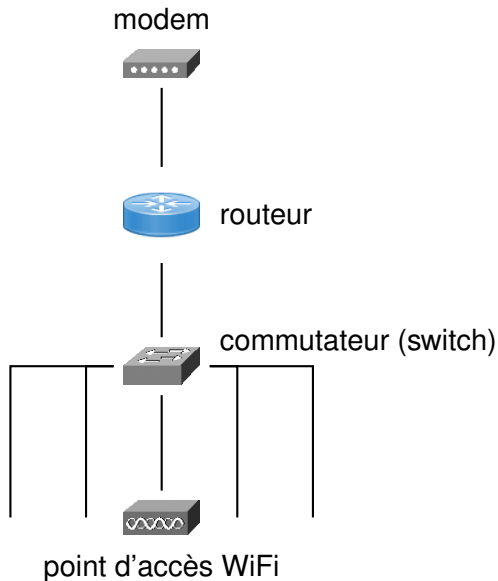
# ping

```
mamachine$ ping 216.58.209.228
PING 216.58.209.228 (216.58.209.228) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 216.58.209.228: icmp_seq=1 ttl=118 time=0.118 ms
64 bytes from 216.58.209.228: icmp_seq=2 ttl=118 time=0.118 ms
64 bytes from 216.58.209.228: icmp_seq=3 ttl=118 time=0.118 ms
64 bytes from 216.58.209.228: icmp_seq=4 ttl=118 time=0.118 ms
64 bytes from 216.58.209.228: icmp_seq=5 ttl=118 time=0.118 ms
```

# Contenu

- 1 MCC
- 2 Interconnexion de réseau
- 3 Routeurs
- 4 ICMP
- 5 Pour terminer

# Box Internet





Au niveau d'IP (couche 3) :

- Transmission non fiable
  - Même si la couche liaison est fiable !
  - L'ordinateur destination peut être trop lent
  - Un routeur sur le chemin peut être surchargé
- Transmission de machine à machine, et non pas d'application à application

Les protocoles de couche 4 (couche transport) vus en L3 résoudre ces deux problèmes.