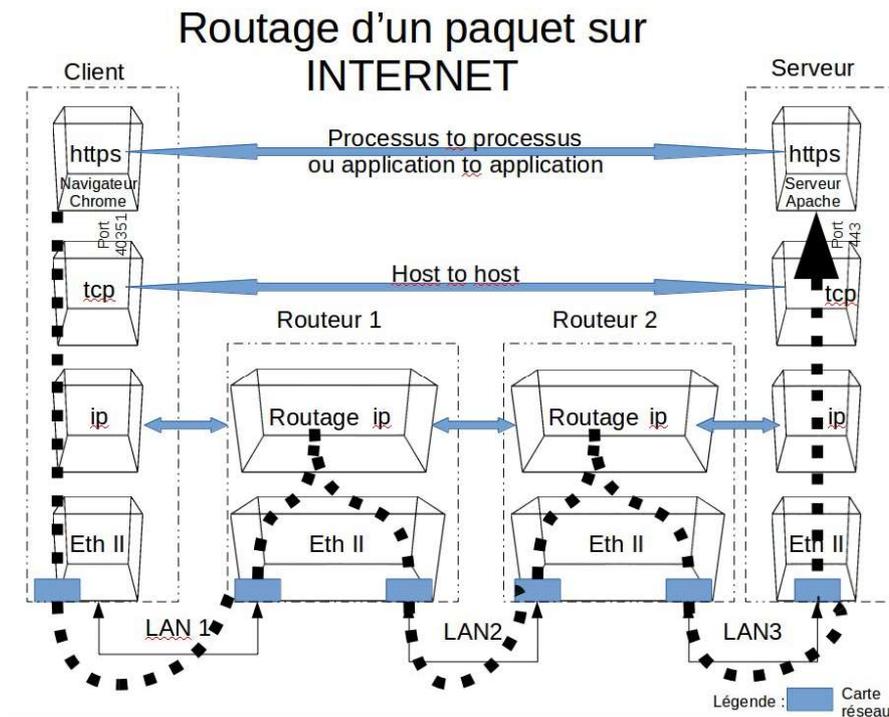




RÉSEAU : PROTOCOLES DE ROUTAGE

1. Introduction et rappels de première



Une machine cliente (se trouvant par exemple au Portugal) veut communiquer avec une machine serveur (se trouvant par exemple en France).

L'opération qui consiste à trouver la bonne route s'appelle le « routage ». Pour l'effectuer, les routeurs communiquent entre eux grâce à des protocoles appelés « protocoles de routage ». Ces protocoles permettent aux routeurs de stocker les informations relatives aux routes dans des tables appelées « tables de routage ».

Rappel : pour afficher la route d'un paquet dans un terminal, on utilise la commande :

- « traceroute » sous Linux ou MacOS
- « tracert » sous Windows

Exemple pour voir le chemin emprunté par les paquets pour accéder au site www.google.com :

```
> traceroute www.google.com
```

Si on veut utiliser l'adresse IP :

```
(base) marion@marion-Inspiron-7501:~$ nslookup www.google.com
Server:          127.0.0.53
Address:         127.0.0.53#53
```

Non-authoritative answer:

```
Name:   www.google.com
Address: 216.58.215.164
Name:   www.google.com
Address: 2a00:1450:4003:800::2004
```

```
> traceroute 216.58.209.228
```

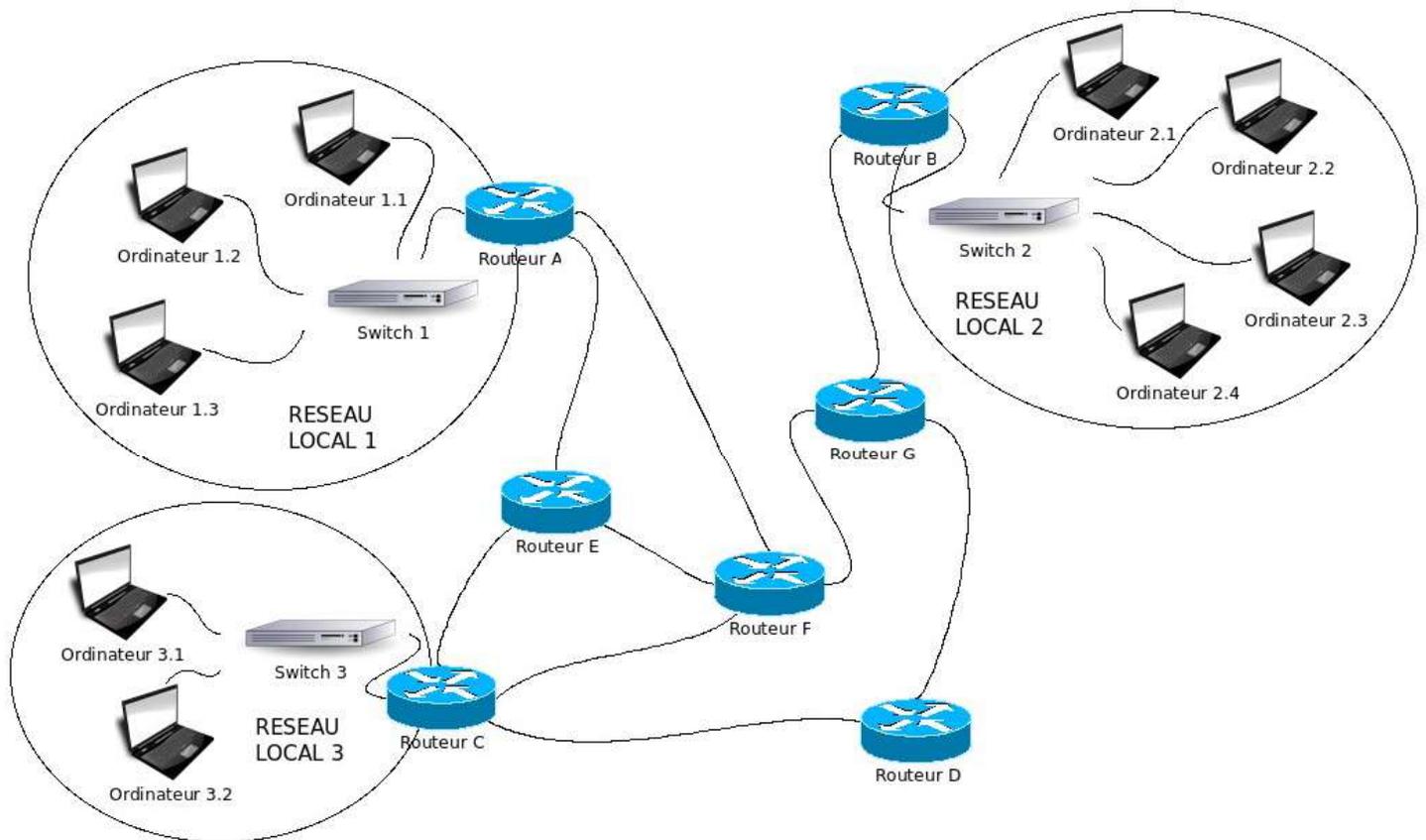
Pour voir géographiquement le chemin, faire un copier-coller du résultat de la commande traceroute ici :

<https://stefansundin.github.io/traceroute-mapper/>

Dans ce chapitre, nous allons voir en détails comment est choisi l'acheminement des paquets par les différents routeurs traversés.

2. Comment transitent les paquets sur un réseau étendu ?

2.1. Mise en situation



Voici le schéma un réseau étendu. Nous pouvons y trouver :

- des réseaux locaux 1, 2 et 3, contenant chacun un switch et plusieurs machines (ordinateurs ici, mais ça pourrait être des tablettes, smartphones, objets connectés, imprimantes réseau etc.)
- des routeurs, connectés à un (ou plusieurs) autre(s) routeur(s) et pour certain(s) à un réseau local. Ces derniers sont alors la « passerelle » du réseau local en question.

Rappel : si deux ordinateurs d'un même réseau local veulent communiquer entre eux, ils le font via le switch du réseau local, qui n'utilise pour cela que les protocoles de la couche 1 des machines (et donc ne se sert que des).

En revanche, si l'ordinateur 1.2 veut communiquer avec l'ordinateur 3.2, les paquets échangés doivent sortir des réseaux locaux 1 et 3. Il existe plusieurs chemins possibles du LAN 1 au LAN 3 :

Le choix du (ou des) chemin(s) suivi(s) par les paquets échangés ne sont bien évidemment pas choisi(s) par l'humain. Ce sont les routeurs qui font ces choix. Lorsqu'il reçoit un paquet, un routeur l'analyse pour récupérer l'adresse IP destination. En fonction de cette adresse, il choisit vers quel routeur voisin le transmettre en s'appuyant sur sa table de routage et sur des algorithmes d'optimisation (il faut faire en sorte que les paquets arrivent tous le plus rapidement possible par exemple). Un paquet transite ainsi de routeur en routeur de la machine émettrice à la destination.

2.2. Table de routage

Tout nœud réseau possède une table de routage, quelque soit son type (station de travail, serveur, routeur, smartphone ...). Une table de routage peut contenir :

- des entrées statiques : leur contenu ne change pas en fonction du temps
- des entrées dynamiques : leur contenu change en fonction des données fournies par les protocoles de routage (voir partie 3)

Sur votre ordinateur, vous pouvez afficher la table de routage avec la commande « route » dans un terminal Linux :

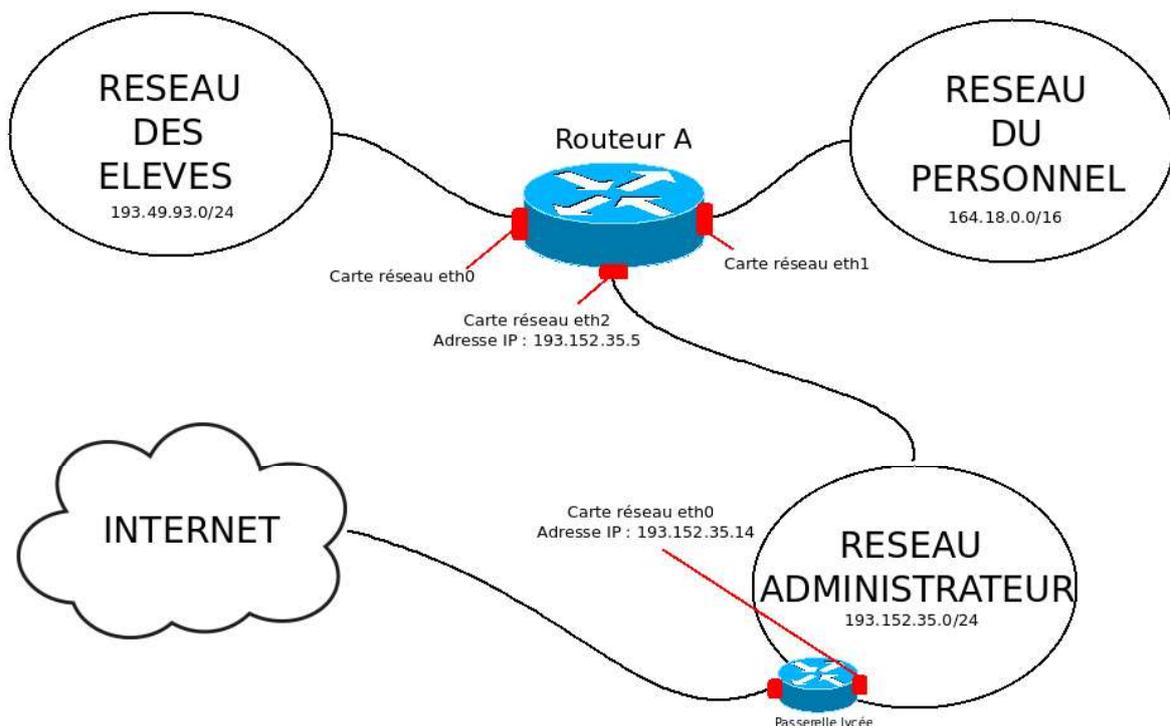
```
lfcltx@SshSzpiegServer:~ $ route
Table de routage IP du noyau
Destination      Passerelle      Genmask          Indic Metric Ref     Use Iface
default          bbox.lan        0.0.0.0          UG    202   0       0 eth0
192.168.1.0     0.0.0.0        255.255.255.0   U     202   0       0 eth0
lfcltx@SshSzpiegServer:~ $ route -n
Table de routage IP du noyau
Destination      Passerelle      Genmask          Indic Metric Ref     Use Iface
0.0.0.0         192.168.1.254  0.0.0.0          UG    202   0       0 eth0
192.168.1.0     0.0.0.0        255.255.255.0   U     202   0       0 eth0
```

Remarques :

- le paramètre « -n » permet l’affichage des données au format numérique (=> donc) et non au format alphabétique.
 - la colonne « destination » contient généralement
 - la destination 0.0.0.0 correspond à la route par défaut :
-
- sous Windows, taper : « route -4 print » (mais rajoute tout un tas d’informations non pertinentes...)

Dans la copie d’écran ci-dessus

Construisons la table de routage du routeur A sur le réseau d’un établissement (totalement fictif!) :



Destination	Passerelle	Masque	Interface

Comment fonctionne une telle table de routage ?

- Tous les paquets à destination d'une adresse commençant par 193.49.93 sont envoyés
- Tous les paquets à destination d'une adresse commençant par 164.18 sont envoyés
- Tous les paquets à destination d'une adresse commençant par 193.152.35 sont envoyés
- Tous les paquets dont la destination ne correspond à aucun des cas précédents sont envoyés

Algorithme utilisé par le noyau d'une machine pour trouver l'interface par laquelle envoyer le message :

3. Deux protocoles de routage

Un protocole de routage définit le format des paquets réseau et les procédures qui permettent à deux routeurs d'échanger des informations sur les tables de routage. Grâce à eux, les routeurs émettent et reçoivent entre eux des informations sur les routes qui leur permettent de mettre à jour leur propre table de routage de façon dynamique.

Suivant le protocole de routage dynamique utilisé, des informations sont échangées entre routeurs. Parmi ces informations, une colonne supplémentaire « coût » apparaît dans les tables de routage et permet aux routeurs de calculer la route la plus optimale en fonction de l'algorithme dépendant du protocole de routage utilisé. Nous allons étudier deux protocoles de routage dynamiques :

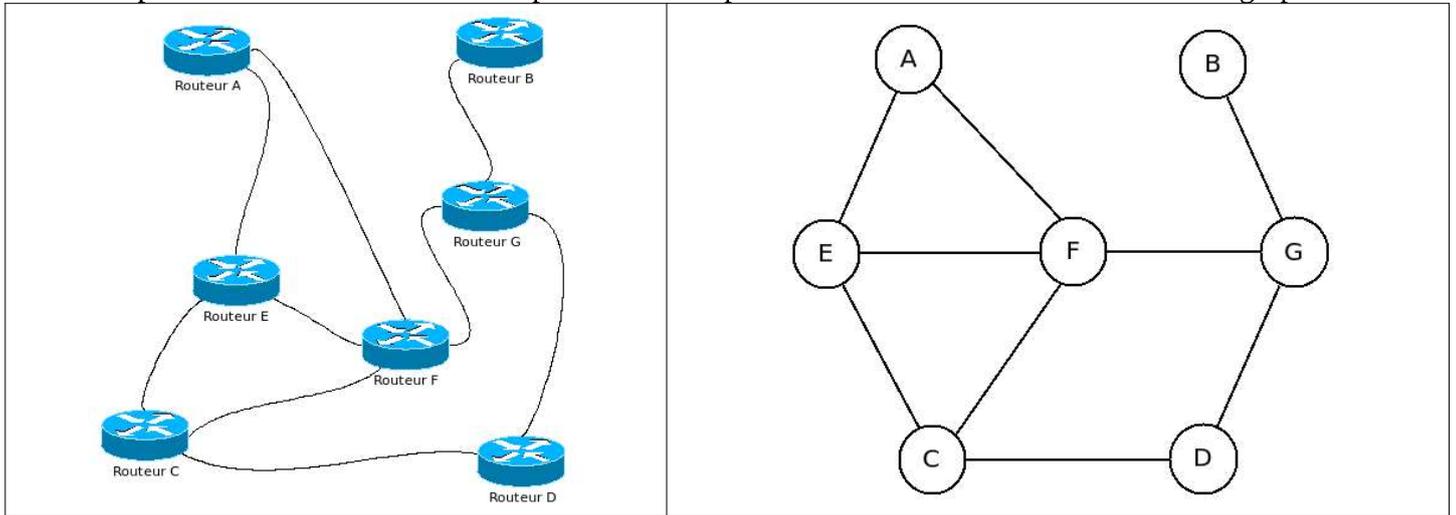
- RIP (Routing Information Protocol)
- OSPF (Open Shortest Path First)

3.1. Le protocole RIP

Un routeur utilisant le protocole RIP a pour notion de « coût » le nombre de routeurs à traverser entre lui et la destination finale du paquet. La colonne coût de sa table de routage contient des nombres entiers entre 0 et 15 : au-delà de 15, la machine destination est considérée comme trop lointaine et l'adresse IP correspondante n'est pas enregistrée dans sa table de routage.

Un routeur utilisant le protocole RIP privilégiera un chemin avec **un nombre de sauts** (*hop* en anglais) **minimum**.

Reprenons les routeurs de l'exemple du 2.1 et représentons le réseau sous la forme d'un graphe :



Dans ce réseau, voici des tables de routage possibles (simplifiées!) des routeurs D et C :

Routeur D

Destination	Passerelle	Coût (sauts)
C		
G		
B		
F		
E		
A		

Routeur C

Destination	Passerelle	Coût (sauts)
D		
E		
F		
A		
G		
B		

Application : le routeur D doit envoyer un paquet au routeur A. En se référant aux tables de routage ci-dessus, quel chemin va être choisi par les différents routeurs traversés ?

Le trajet sera finalement :

Remarque : dans les tables de routage, certaines passerelles ont été choisies parmi deux passerelles possibles ayant le même nombre de sauts.

En plus de gérer la redirection des paquets, le protocole RIP s'assure que les tables de routage soient mises à jour en continu avec l'envoi de sa table de routage (partielle ou complète) d'un routeur à ces voisins régulièrement. Lorsqu'un routeur reçoit la table de routage d'un de ses voisins, il y a 4 cas possibles :

3.2. Le protocole OSPF

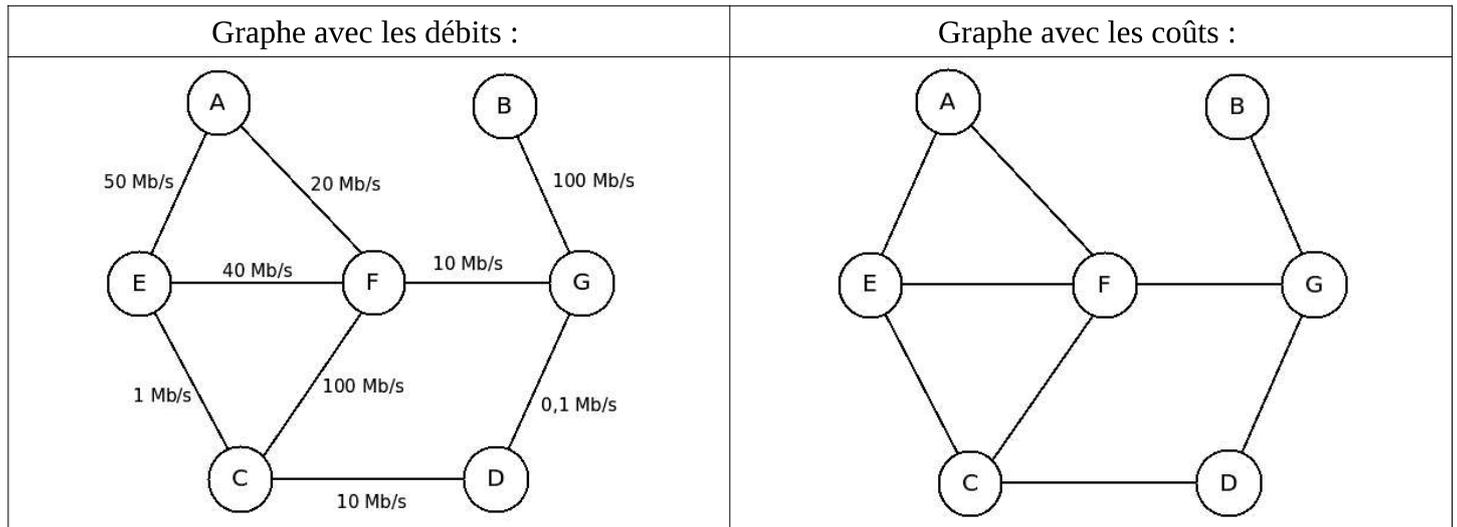
Dans le protocole OSPF, la notion de « coût » est liée au débit des connexions : plus le débit est élevé, plus le coût est faible. Dans ce cours, nous supposons qu'un coût est donné par la formule suivante :

$$\text{coût} = \frac{10^8}{d}$$

où d est la bande passante en b/s d'une liaison.

Un routeur utilisant le protocole OSPF privilégiera un chemin avec **une somme des coûts** des liaisons traversées **minimum**.

Reprenons les routeurs de l'exemple du 2.1 et représentons le réseau sous la forme d'un graphe :



Dans ce réseau, voici des tables de routage (simplifiées!) des routeurs D, C, E et F :

Routeur D

Destination	Passerelle	Coût (métrique)
C		
F		
E		
A		
G		
B		

Routeur C

Destination	Passerelle	Coût (métrique)
F		
E		
A		
D		
G		
B		

Routeur E

Destination	Passerelle	Coût (métrique)
A		
F		
C		
G		
B		
D		

Routeur F

Destination	Passerelle	Coût (métrique)
C		
E		
A		
G		
D		
B		

Application : le routeur D doit envoyer un paquet au routeur A. En se référant aux tables de routage ci-dessus, quel chemin va être choisi par les différents routeurs traversés ?

- Dans la table du routeur de D, on lit que pour que le trajet soit optimisé, il faut passer par le routeur : le paquet est donc envoyé à
- Dans la table du routeur de , on lit que pour que le trajet soit optimisé, il faut passer par le routeur : le paquet est donc envoyé à
- Dans la table du routeur de , on lit que pour que le trajet soit optimisé, il faut passer par le routeur : le paquet est donc envoyé à
- Dans la table du routeur de , on lit que le trajet optimal est l'envoi direct au routeur A : le paquet est donc finalement envoyé à A

Le trajet sera finalement :

Remarque : on n'a en revanche pas optimisé le nombre de sauts.