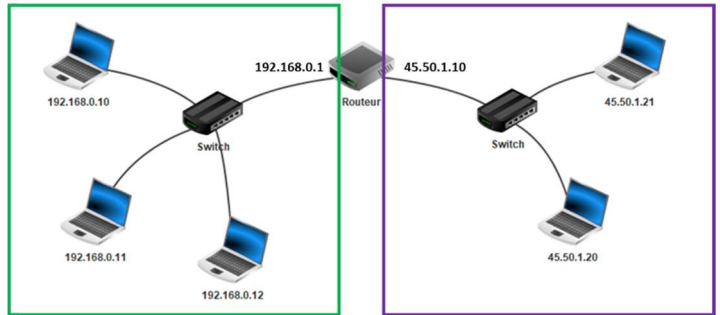


1. Le routeur

Un routeur permet d'interconnecter plusieurs réseaux locaux.

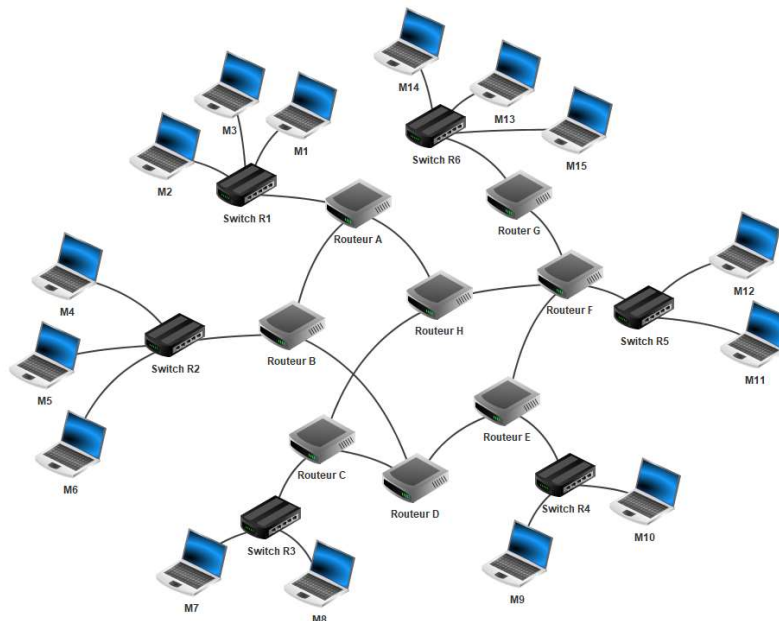
Il est composé d'un nombre plus ou moins important d'interfaces réseau (cartes réseau) et donc chaque carte réseau possède une adresse IP.

Internet résulte de l'interconnexion de réseaux par des routeurs.



2. Le routage

Le schéma ci-contre montre de six réseaux locaux. Ces réseaux sont interconnectés entre eux par le biais de 8 routeurs.



2.1. Cas n°1 : M1 veut communiquer avec M3

Le paquet est envoyé de M1 vers le switch R1, R1 constate que M3 se trouve bien dans le réseau local 1, le paquet est donc envoyé directement vers M3. On peut résumer le trajet du paquet par : $M1 \rightarrow R1 \rightarrow M3$.

2.2. Cas n°2 : M1 veut communiquer avec M6

Le paquet est envoyé de M1 vers le switch R1, R1 constate que M6 n'est pas sur le réseau local 1, R1 envoie donc le paquet vers le routeur A. Le routeur A n'est pas connecté directement au réseau local 2 (réseau local de la machine M6), mais il sait que le routeur B est connecté au réseau local 2. Le routeur A envoie le paquet vers le routeur B. Le routeur B est connecté au réseau local 2, il envoie le paquet au Switch R2. Le Switch R2 envoie le paquet à la machine M6. Soit : $M1 \rightarrow R1 \rightarrow \text{Routeur A} \rightarrow \text{Routeur B} \rightarrow R2 \rightarrow M6$.

2.3. Cas n°3 : M1 veut communiquer avec M9

M1 → R1 → Routeur A → Routeur B → Routeur D → Routeur E → R4 → M9.

Ou bien : M1 → R1 → Routeur A → Routeur H → Routeur F → Routeur E → R4 → M9.

Il est très important de bien comprendre qu'il existe souvent plusieurs chemins possibles 1 pour relier 2 ordinateurs.

2.4. Cas n°4 : M13 veut communiquer avec M9

Nous pouvons avoir : M13 → R6 → Routeur G → Routeur F → Routeur E → R4 → M9.

Ou bien : M13 → R6 → Routeur G → Routeur F → Routeur H → Routeur C → Routeur D → Routeur E → R4 → M9

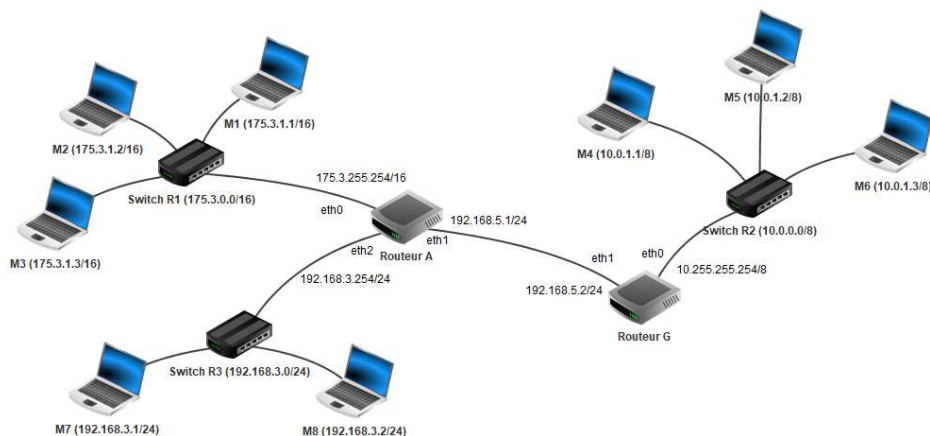
On pourrait penser que le chemin Routeur F → Routeur E est plus rapide et donc préférable au chemin Routeur F → Routeur H, cela est sans doute vrai, mais imaginez qu'il y ait un problème technique entre le Routeur F et le Routeur E, l'existence du chemin Routeur F → Routeur H permettra tout de même d'établir une communication entre M13 et M9.

✂ Déterminer un chemin possible permettant de connecter les ordinateurs M4 et M14. Existe-t-il plusieurs chemins possibles ?

✂ Télécharger le fichier **routage.f1s**, l'ouvrir avec le logiciel Filius, passer en mode simulation avec la flèche verte, relever les adresses IP des machines M4 et M14 avec la commande **ipconfig**, puis réaliser un **tracert** (tracert ip_de_la_machine) entre ces deux machines afin de déterminer le chemin emprunté par les paquets de données.

3. Le fonctionnement du routage

Deux machines dans le même réseau local doivent posséder la même adresse réseau. Dans le schéma ci-dessous, les adresses IP des machines ainsi que les adresses réseaux (avec le switch) sont notées.



Dans le schéma ci-dessus M1 et M4 n'ont pas la même adresse réseau (car elles n'appartiennent pas au même réseau local), si M1 cherche à entrer en communication avec M4, le switch R1 va constater que M4 n'appartient pas au réseau local (grâce à son adresse IP), R1 va donc envoyer le paquet de données vers le routeur A. Cela sera donc au routeur A de gérer le problème : comment atteindre M4 ?

Chaque routeur possède une table de routage. Une table de routage peut être vue comme un tableau qui va contenir des informations permettant au routeur d'envoyer le paquet de données dans la bonne direction. Dans le schéma nous avons deux routeurs :

- Le routeur A qui possède 3 interfaces réseau que l'on nomme eth0, eth1 et eth2. Les adresses IP liées à ces interfaces réseau sont : 175.3.255.254/16 (eth0), 192.168.5.1/24 (eth1) et 192.168.3.254/24 (eth2).
- Le routeur G qui possède 2 interfaces réseau que l'on nomme eth0 et eth1. Les adresses IP liées à ces interfaces réseau sont : 10.255.255.254/8 (eth0) et 192.168.5.2/24 (eth1).

Voici les informations présentes dans la table de routage de A :

- Le routeur A est directement relié au réseau 175.3.0.0/16 par l'intermédiaire de son interface eth0.
- Le routeur A est directement relié au réseau 192.168.3.0/24 par l'intermédiaire de son interface eth2.
- Le routeur A est directement relié au réseau 192.168.5.0/24 par l'intermédiaire de son interface eth1 (le réseau 192.168.5.0/24 est un peu particulier car il est uniquement composé des routeurs A et G).
- Le routeur A n'est pas directement relié au réseau 10.0.0.0/8 mais par contre il sait que les paquets à destination de ce réseau doivent être envoyés à la machine d'adresse IP 192.168.5.2/24 (c'est à dire le routeur G qui lui est directement relié au réseau 10.0.0.0/8).

Ce qui peut se résumer par le tableau (simplifié) suivant (la métrique correspond ici au nombre de saut) :

Réseau	Moyen de l'atteindre	Métrique
175.3.0.0	eth0	0
192.168.5.0	eth1	0
192.168.3.0	eth2	0
10.0.0.0	192.168.5.2	1

✎ Établir la table de routage du routeur G.

Réseau	Moyen de l'atteindre	Métrique

Dans des réseaux très complexes, chaque routeur aura une table de routage qui comportera de très nombreuses lignes (des dizaines voir des centaines...). En effet chaque routeur devra savoir vers quelle interface réseau il faudra envoyer un paquet afin qu'il puisse atteindre sa destination. On peut trouver dans une table de routage plusieurs lignes pour une même destination, il peut en effet, à partir d'un routeur donné, exister plusieurs chemins possibles pour atteindre la destination. Dans le cas où il existe plusieurs chemins possibles pour atteindre la même destination, le routeur va choisir le chemin le plus court. Pour choisir ce chemin le plus court, le routeur va utiliser la métrique : plus la valeur de la métrique est petite, plus le chemin pour atteindre le réseau est court. Un réseau directement lié à un routeur aura une métrique de 0.

3.1. Le remplissage de la table de routage

Il existe deux méthodes pour remplir la table de routage d'un routeur :

- Le **routage statique** : chaque ligne doit être renseignée "à la main". Cette solution est seulement envisageable pour des très petits réseaux de réseaux.
- Le **routage dynamique** : tout se fait automatiquement, on utilise des protocoles qui vont permettre de découvrir les différentes routes automatiquement afin de pouvoir remplir la table de routage tout aussi automatiquement.

4. Protocoles de routage

Un réseau de réseaux comportant des routeurs peut être modélisé par un graphe : chaque routeur est un sommet et chaque liaison entre les routeurs ou entre un routeur et un switch est une arête. Les algorithmes utilisés par les protocoles de routages sont donc des algorithmes issus de la théorie de graphes.

Plusieurs familles d'algorithmes se dégagent :

- Le routage à **vecteur de distance**, chaque routeur communique aux autres routeurs la distance qui les sépare. Ils élaborent intelligemment une cartographie de leurs voisins sur le réseau : **RIP** (Routing Information Protocol).
- Le routage à **état de lien**, ils s'appuient sur la qualité et les performances du média de communication qui les séparent. Ainsi chaque routeur est capable de dresser une carte de l'état du réseau pour utiliser la meilleure route : **OSPF** (Open Shortest Path First).
- Le routage **hybride** des deux premiers, comme **EIGRP** (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol).

4.1. Le protocole RIP

Au départ, les tables de routage contiennent uniquement les réseaux qui sont directement reliés au routeur (dans notre exemple ci-dessus, à l'origine, la table de routage de G contient uniquement les réseaux 10.0.0.0/8 et 192.168.5.0/24).

Réseau	Moyen de l'atteindre
10.0.0.0	eth0
192.168.5.0	eth1

Chaque routeur envoie périodiquement (toutes les 30 secondes) à tous ses voisins (routeurs adjacents) un message. Ce message contient la liste de tous les réseaux qu'il connaît (dans l'exemple ci-dessus, le routeur G envoie un message au routeur A avec les informations suivantes : je connais les réseaux 10.0.0.0/8 et 192.168.5.0/24).

De la même manière A envoie un message à G avec les informations suivantes : je connais les réseaux 175.3.0.0/16, 192.168.5.0/24 et 192.168.3.0/24.

À la fin de cet échange, les routeurs mettent à jour leur table de routage avec les informations reçues (dans l'exemple ci-dessus, le routeur G va pouvoir ajouter les réseaux 175.3.0.0/16 et 192.168.3.0/24 à sa table de routage. Le routeur G sait maintenant qu'un paquet à destination du réseau 175.3.0.0/16 ou 192.168.3.0/24 devra transiter par le routeur A.

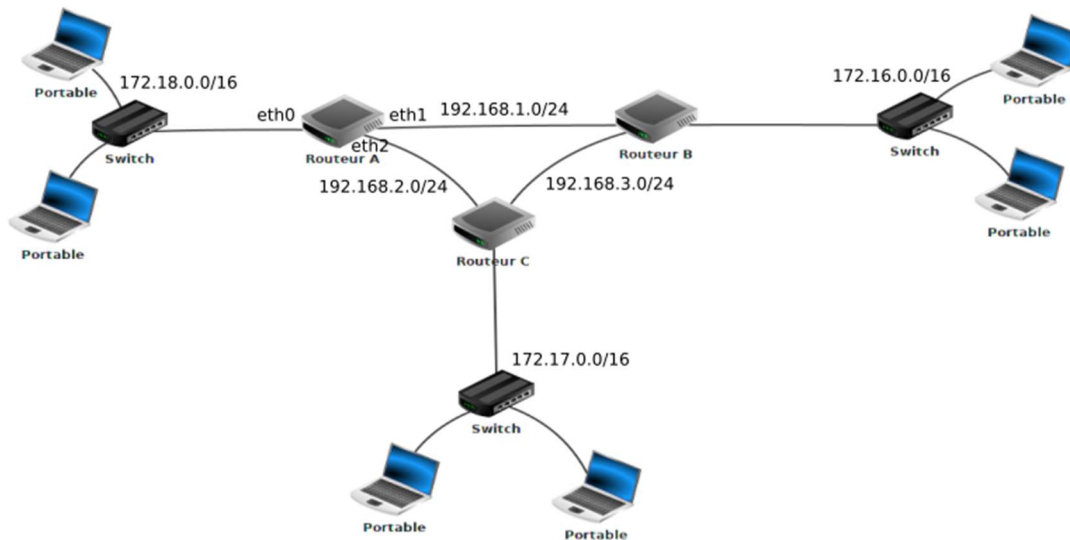
Réseau	Moyen de l'atteindre
10.0.0.0	eth0
192.168.5.0	eth1
175.3.0.0	Routeur A
192.168.3.0	Routeur A

Pour renseigner la colonne métrique, le protocole utilise le nombre de sauts, autrement dit, le nombre de routeurs qui doivent être traversés pour atteindre le réseau cible (dans la table de routage de G, on aura donc une métrique de 1 pour le réseau 175.3.0.0/16 car depuis G il est nécessaire de traverser le routeur A pour atteindre le réseau 175.3.0.0/16. Et de même pour le réseau 192.168.3.0/24.

Réseau	Moyen de l'atteindre	Métrique
10.0.0.0	eth0	0
192.168.5.0	eth1	0
175.3.0.0	Routeur A	1
192.168.3.0	Routeur A	1

Le protocole RIP s'appuie sur l'**algorithme de Bellman-Ford** (algorithme qui permet de calculer les plus courts chemins dans un graphe).

✂ Pour le réseau suivant, établir la table de routage du routeur A en vous basant sur le protocole RIP.



✂ Quel est, d'après la table de routage construite ci-dessus, le chemin qui sera emprunté par un paquet pour aller d'une machine ayant pour adresse IP 172.18.1.1/16 à une machine ayant pour adresse IP 172.16.5.3/16 ?

4.2. Le protocole OSPF

Le protocole OSPF permet, comme dans le cas du protocole RIP, des échanges d'informations entre les routeurs (ces échanges sont plus intelligents dans le cas d'OSPF, ils permettent de réduire l'occupation du réseau).

Le protocole OSPF, au contraire de RIP, n'utilise pas le nombre de sauts nécessaire pour établir la métrique, mais la notion de coût des routes.

Dans les messages échangés par les routeurs on trouve le coût de chaque liaison (plus le coût est grand et moins la liaison est intéressante). Quand on parle de liaison on parle simplement du câble qui relie un routeur à un autre routeur.

Le protocole OSPF permet de connaître le coût de chaque liaison entre routeurs, et donc, de connaître le coût d'une route (en ajoutant le coût de chaque liaison traversée). On notera que pour effectuer ces calculs, le protocole OSPF s'appuie sur l'**algorithme de Dijkstra**.

La notion de coût

La notion de coût est directement liée au débit des liaisons entre les routeurs. Le débit correspond au nombre de bits de données qu'il est possible de faire passer dans un réseau par seconde. Le débit est donc donné en bits par seconde (bps), mais on trouve souvent des kilo bits par seconde (kbps) ou encore des méga bits par seconde (Mbps) 1 kbps = 1 000 bps et 1 Mbps = 1 000 kbps.

Connaissant le débit d'une liaison, il est possible de calculer le coût d'une liaison à l'aide de la formule suivante :

$$\text{coût} = \frac{10^8}{\text{débit}}$$

Le débit est exprimé en bits par seconde.

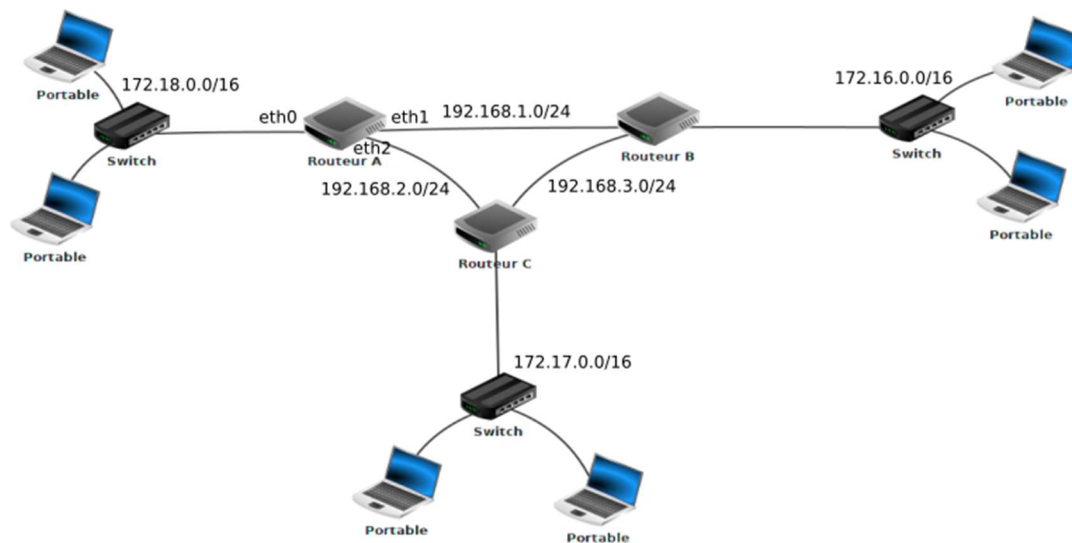
Pour obtenir la métrique d'une route, il suffit d'additionner les coûts de chaque liaison (par exemple si pour aller d'un réseau 1 à un réseau 2 on doit traverser une liaison de coût 1, puis une liaison de coût 10 et enfin une liaison de coût 1, la métrique de cette route sera de $1 + 10 + 1 = 12$).

Évidemment, comme dans le cas de RIP, les routes ayant les métriques les plus faibles sont privilégiées.

✎ Pour le réseau suivant, établir la table de routage du routeur A en vous basant sur le protocole OSPF.

On donne les débits suivants :

- Liaison routeur A - routeur B : 1 Mbps
- Liaison routeur A - routeur C : 10 Mbps
- Liaison routeur C - routeur B : 10 Mbps



✎ Quel est, d'après la table de routage construite ci-dessus, le chemin qui sera emprunté par un paquet pour aller d'une machine ayant pour adresse IP 172.18.1.1/16 à une machine ayant pour adresse IP 172.16.5.3/16 ?