

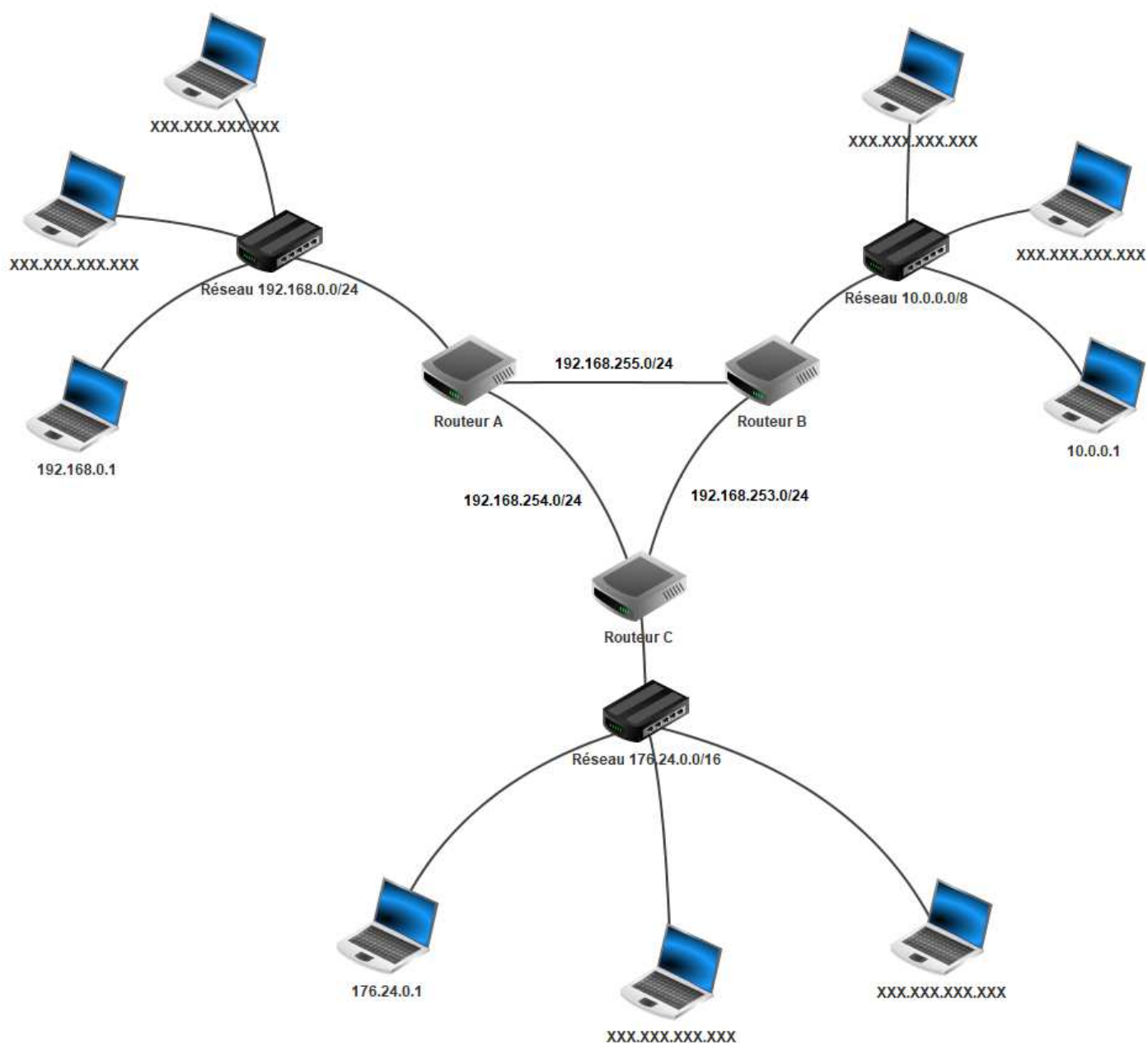
I./ Nécessité du routage :

Nous avons vu précédemment que toute machine appartenant à un réseau ne peut communiquer directement qu'avec les machines ayant la même *adresse réseau* qu'elle, c'est-à-dire avec les machines appartenant à son *réseau local*. (On rappelle que l'adresse réseau s'obtient en effectuant un ET logique bit à bit entre l'*adresse IP* de la machine et son *masque de sous-réseau*). Pour la suite de cette activité, on utilisera la *notation CIDR* pour les adresses réseau (e.g. 192.168.1.0/24).

Afin que des machines appartenant à des réseaux locaux différents puissent communiquer, il faut donc les relier par un *routeur*, qui servira de *passerelle*. Un routeur est un dispositif comportant plusieurs *cartes réseaux* (ou *interfaces réseaux*), ce qui lui permet d'appartenir à plusieurs réseaux locaux en même temps. Un ordinateur muni de plusieurs cartes réseaux peut servir de routeur, mais il existe des dispositifs dédiés à cet usage.

II./ Comment les machines se repèrent-elles entre elles : le protocole ARP :

Réaliser le réseau suivant à l'aide du logiciel Filius :



A vous de donner une adresse correcte aux postes marqués XXX.XXX.XXX.XXX : on fera attention à bien utiliser la bonne adresse réseau, en faisant notamment particulièrement attention au masque. Vous pouvez éventuellement utiliser le *protocole DHCP* pour vous simplifier la configuration. Configurer les trois routeurs A, B et C afin que les trois réseaux locaux (192.168.0.0/24, 10.0.0.0/8 et 176.24.0.0/16) puissent communiquer ensemble. Vous pourrez à cet effet utiliser les adresses réseaux indiquées sur le schéma précédent (mais ce n'est pas une obligation !). Pensez aussi à cocher la case « Routage automatique » sur chacun des trois routeurs. Puis lancer la simulation.

Question préliminaire : quel est le nombre maximum de machines que l'on peut connecter dans le réseau 192.168.0.0/24 ? Même question pour les réseaux 10.0.0.0/8 et 176.24.0.0/16 :

.....

.....

.....

Installer la ligne de commande sur toutes les machines du réseau.

Avant de faire toute autre commande réseau (comme **ping** ou **tracert**), faites **arp** dans la ligne de commande de 192.168.0.1 et d'une deuxième machine appartenant au réseau 192.168.0.0/24 (cela dépendra de la numérotation des IP que vous avez utilisée, mais nous prendrons comme exemple pour la suite l'adresse IP 192.168.0.2).

Vous devez obtenir quelque chose du type, et ce sur les deux machines :

Adresse IP	Adresse MAC
255.255.255.255	FF:FF:FF:FF:FF:FF

Dans la ligne de commande de 192.168.0.1 (et uniquement dans celle-là !), tapez **ping 192.168.0.2**, puis tapez **arp**. Que remarque-t-on ? Notez le résultat renvoyé par cette commande :

.....

.....

.....

.....

Dans la ligne de commande de 192.168.0.2, tapez **arp** (sans faire de **ping** au préalable). Que remarque-t-on ? Notez le résultat renvoyé par cette commande :

.....

.....

.....

.....

Revenir sur la ligne de commande de 192.168.0.1 puis faire un **ping** sur la troisième machine du réseau 192.168.0.0/24 (par exemple 192.168.0.3), puis faire **arp**. Notez le résultat :

.....

.....

.....

.....

Que s'est-il passé ? Pour le comprendre, il faut savoir que lorsqu'une machine d'un réseau doit communiquer avec une autre, il faut qu'elle connaisse *l'adresse MAC* (Media Access Control) de la machine de destination. L'adresse MAC (aussi appelée *adresse physique*) est un nombre codé sur 48 bits (soit 6 octets), qui sert d'identifiant à tout matériel relié sur le réseau (en d'autres termes, n'importe quelle carte réseau, filaire, wifi, Bluetooth, etc. a une adresse MAC unique).

Lors du démarrage du réseau, la machine 192.168.0.1 ne sait pas à quelle adresse MAC correspond l'adresse IP 192.168.0.2 avec qui elle veut communiquer. Elle peut déterminer cette information grâce au *protocole ARP* (Address Resolution Protocol).

Lors du **ping 192.168.0.2**, la machine 192.168.0.1 va envoyer une *requête ARP* à l'adresse particulière 255.255.255.255. Cette adresse correspond à une *adresse de broadcast universel* : toutes les machines appartenant au même réseau local vont répondre à cette adresse. La requête ARP est en fait un message envoyée à la cantonade : « *Je suis la machine d'adresse IP 192.168.0.1 et mon adresse MAC est xx:xx:xx:xx:xx:xx. Quelle est l'adresse MAC de la machine ayant l'adresse IP 192.168.0.2 ?* ». La machine en question va répondre en donnant son adresse MAC, et va en profiter pour récupérer l'adresse MAC de la machine ayant lancé la requête ARP. Les deux machines vont compléter leur *table de résolution d'adresse* (ou *table ARP*). C'est ainsi que chaque ligne de cette table va donner la correspondance entre l'adresse IP d'une machine du réseau local et son adresse MAC. Chaque fois qu'on demandera l'accès à une machine dont l'adresse IP n'est pas présente dans la table ARP, une nouvelle requête sera envoyée dans tout le réseau local afin d'enrichir les tables ARP des deux machines.

La première ligne de la table ARP est particulière, l'adresse IP 255.255.255.255 et l'adresse MAC FF:FF:FF:FF:FF:FF étant des adresses de diffusion générale.

Que se passe-t-il si on essaie de communiquer avec une machine ne faisant pas partie du même réseau local via un routeur ? Pour le savoir, tapez **ping 10.0.0.1** sur la ligne de commande de la machine 192.168.0.1. Tapez ensuite **arp** et notez le résultat :

```
.....
.....
.....
.....
```

Allez ensuite sur la ligne de commande de la machine 10.0.0.1 et tapez **arp**. Notez le résultat de la commande :

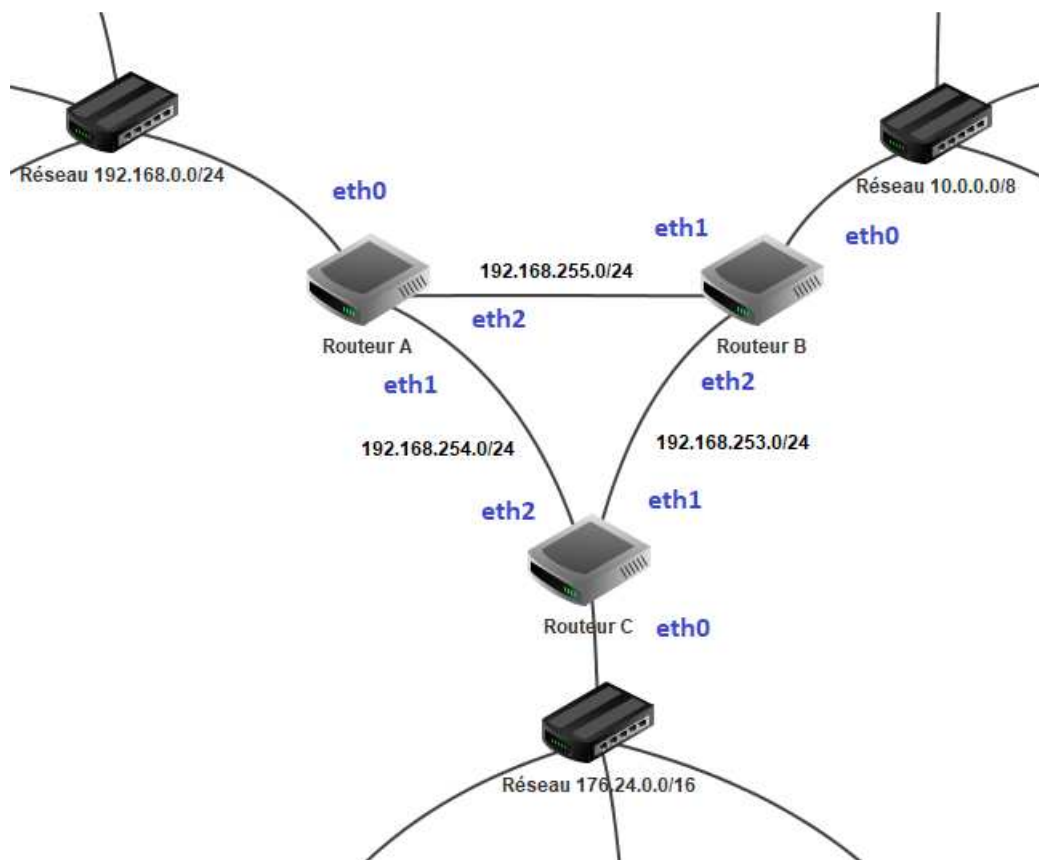
```
.....
.....
.....
.....
```

Vous remarquerez que la nouvelle ligne ajoutée aux tables ARP de ces deux machines correspond à l'adresse IP et l'adresse MAC de l'interface réseau correspondante du routeur connecté aux deux réseaux locaux concernés.

Les *switches* (ou *commutateurs*) se servent des adresses MAC afin d'acheminer les informations d'une machine à une autre au sein d'un même réseau local. Lorsque l'information doit être acheminée vers une machine qui n'a pas la même adresse réseau, on l'envoie donc vers la passerelle, c'est-à-dire l'interface réseau du routeur directement connecté au réseau concerné. Quand vous êtes dans le mode « simulation », vous pouvez cliquer sur un switch pour connaître les adresses MAC des machines qui lui sont connectées. En repassant ensuite au mode « conception », vérifiez que ces adresses MAC correspondent bien.

III./ Comment acheminer l'information d'un réseau à un autre : la table de routage :

Comme il a été dit précédemment, chaque routeur contient plusieurs interfaces réseau. Dans notre exemple, les routeurs A, B et C ont chacun trois cartes réseaux.



D'après le schéma ci-dessus, on voit que le routeur A va avoir trois cartes réseaux : **eth0** qui sera connectée au réseau 192.168.0.0/24 via un switch, **eth1** qui sera connectée au réseau 192.168.254.0/24 et donc à l'interface **eth2** du routeur C, et **eth2** qui sera connectée au réseau 192.168.255.0/24 et donc à l'interface **eth1** du routeur B.

De la même façon, dites à quoi est reliée chaque interface réseau du routeur B :

.....

.....

.....

.....

Même question pour le routeur C :

.....

.....

.....

.....

Ces informations nous permettent d'établir la *table de routage* du routeur A :

- Le routeur A est directement relié au réseau 192.168.0.0/24 via son interface eth0
- Le routeur A est directement relié au réseau 192.168.254.0/24 via son interface eth1
- Le routeur A est directement relié au réseau 192.168.255.0/24 via son interface eth2

Par contre :

- Le routeur A n'est pas directement relié au réseau 10.0.0.0/8, mais il peut y accéder via l'interface eth1 du réseau B, qui lui est directement relié au réseau 10.0.0.0/8
- Le routeur A n'est pas directement relié au réseau 176.24.0.0/16, mais il peut y accéder via l'interface eth2 du routeur C, qui lui est directement relié au réseau 176.24.0.0/16

En supposant que les adresses IP des interfaces eth0, eth1 et eth2 du routeur A sont respectivement 192.168.0.254, 192.168.254.1 et 192.168.255.1, que l'adresse IP de l'interface eth1 du routeur B est 192.168.255.2 et que l'adresse IP de l'interface eth2 du routeur C est 192.168.254.2, on peut établir la table de routage **simplifiée** suivante :

Adresse réseau de destination	Moyen de l'atteindre	Distance
192.168.0.0/24	192.168.0.254 (eth0 du routeur A)	0
192.168.254.0/24	192.168.254.1 (eth1 du routeur A)	0
192.168.255.0/24	192.168.255.1 (eth2 du routeur A)	0
10.0.0.0/8	192.168.255.2 (eth1 du routeur B)	1
176.24.0.0/16	192.168.254.2 (eth2 du routeur C)	1

Une distance de 0 signifie que le routeur est directement relié au réseau concerné. Une distance de 1 indique qu'il faut franchir 1 routeur avant d'atteindre le réseau concerné. La distance correspond donc au nombre de serveurs traversés afin d'atteindre le réseau voulu.

En utilisant les adresses IP que vous avez données aux différentes interfaces réseau de vos routeurs, remplissez les trois tables de routage suivantes :

ROUTEUR A :

Adresse réseau de destination	Moyen de l'atteindre	Distance

ROUTEUR B :

Adresse réseau de destination	Moyen de l'atteindre	Distance

ROUTEUR C :

Adresse réseau de destination	Moyen de l'atteindre	Distance

La table de routage réelle d'un routeur est un peu plus complexe que cela. Mais le principe de fonctionnement est le même.

Comment un routeur sait-il vers quel autre routeur envoyer l'information lorsqu'il n'est pas directement relié à un réseau ? En d'autres termes comment remplir la table de routage ? Il y a deux méthodes :

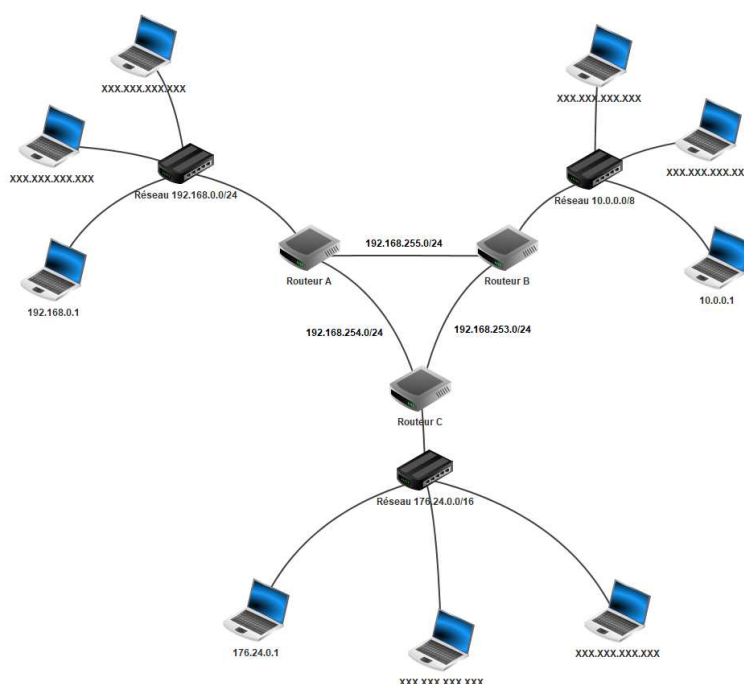
- Le *routage statique* : chaque ligne de la table de routage est établie « à la main ». Ceci n'est possible que pour des réseaux très simples, et cela impose de modifier les tables de routage dès que l'on modifie la topologie du réseau.
- Le *routage dynamique* : les tables de routage se remplissent automatiquement grâce à des échanges d'informations entre routeurs, et à l'utilisation de *protocoles de routage* dont le but est de trouver les chemins optimaux pour aller d'une machine à une autre.

IV./ Protocoles de routage :

Dans cette partie, nous n'allons évoquer que deux algorithmes de routage, mais il faut savoir qu'il en existe d'autres. Afin de choisir le chemin optimal entre deux machines, le but de ces algorithmes sera de réduire la valeur d'une *métrique*.

1./ Le protocole RIP (Routing Information Protocol) :

Au départ, les tables de routage de chaque routeur ne contiennent que les adresses réseaux des réseaux directement reliés au routeur. Chaque routeur envoie périodiquement à tous ses voisins la liste de tous les réseaux qu'il connaît. Ainsi, de proche en proche, toutes les tables de routage vont se remplir. Chaque routeur saura alors comment joindre chaque réseau existant. Mais il peut exister plusieurs routes. Par exemple, si on reprend notre réseau :



On se rend compte qu'il y a deux chemins différents pour aller de 192.168.0.1 à 10.0.0.1 :

- 192.168.0.1 → Routeur A → Routeur B → 10.0.0.1
- 192.168.0.1 → Routeur A → Routeur C → Routeur B → 10.0.0.1

Cela veut donc dire qu'il y a deux lignes possibles dans la table de routage de A pour joindre le réseau 10.0.0.0/8 :

Adresse réseau de destination	Moyen de l'atteindre	Distance
10.0.0.0/8	via le routeur B	1
10.0.0.0/8	via le routeur C puis le routeur B	2

Lorsque plusieurs chemins sont possibles, le protocole RIP va choisir comme métrique la distance, c'est-à-dire le nombre de routeurs qu'il faut traverser pour atteindre la destination. Réduire la valeur de la métrique revient donc à réduire la distance, c'est-à-dire choisir le chemin qui nécessite le moins de sauts, c'est-à-dire celui pour lequel la distance est la plus courte. Il s'agit dans notre cas de la première ligne. Le protocole RIP utilise *l'algorithme de Bellman-Ford*, qui permet de trouver les plus courts chemins dans un graphe.

2./ Le protocole OSPF (Open Shortest Path First) :

Il n'est pas toujours optimal de choisir le chemin nécessitant le moins de sauts, car toutes les liaisons n'offrent pas le même débit, selon la technologie utilisée : câbles réseaux, fibres optiques, liaisons wifi, etc... Le protocole OSPF utilise donc une métrique différente qui se base sur le coût des liaisons. Le coût C d'une liaison se calcule de la façon suivante :

$$C = \frac{1}{D}$$

Avec : D le débit de la liaison, en bits par seconde. Le coût C s'exprime donc en $(\text{bits par seconde})^{-1}$, soit en secondes par bit.

Pour obtenir le coût d'une route, on additionne le coût de chaque liaison traversée. Si on reprend l'exemple précédent, en précisant les débits suivants :

- Liaison entre le routeur A et le routeur B : $D = 1 \text{ Mbps} = 10^6 \text{ bps}$
- Liaison entre le routeur A et le routeur C : $D = 10 \text{ Mbps} = 10^7 \text{ bps}$
- Liaison entre le routeur C et le routeur B : $D = 10 \text{ Mbps} = 10^7 \text{ bps}$

On peut calculer les coûts correspondants :

- Liaison entre le routeur A et le routeur B : $C = 10^{-6} \text{ bps}^{-1}$
- Liaison entre le routeur A et le routeur C : $C = 10^{-7} \text{ bps}^{-1}$
- Liaison entre le routeur C et le routeur B : $C = 10^{-7} \text{ bps}^{-1}$

On retrouve les deux chemins différents pour aller de 192.168.0.1 à 10.0.0.1 :

- 192.168.0.1 → Routeur A → Routeur B → 10.0.0.1
- 192.168.0.1 → Routeur A → Routeur C → Routeur B → 10.0.0.1

Cela veut donc dire qu'il y a deux lignes possibles dans la table de routage de A pour joindre le réseau 10.0.0.0/8 :

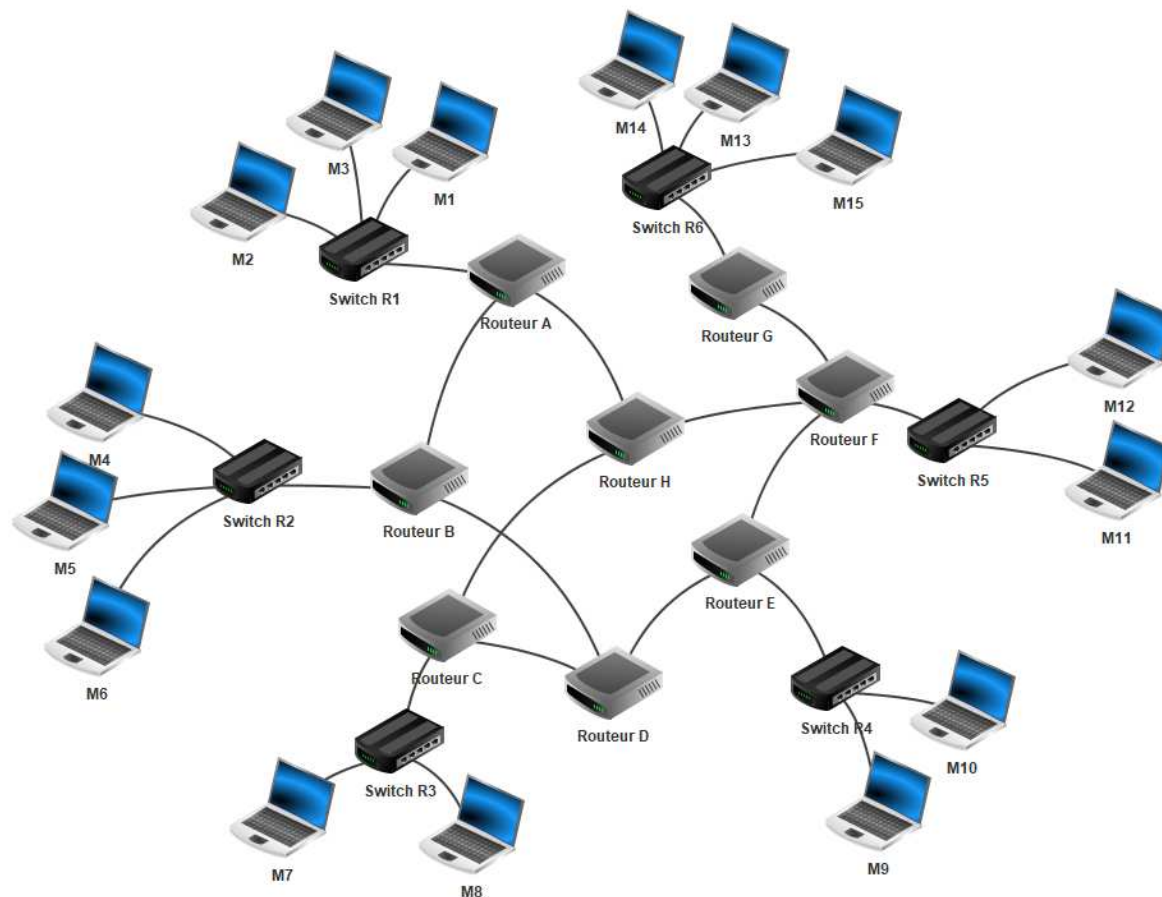
Adresse réseau de destination	Moyen de l'atteindre	Coût
10.0.0.0/8	via le routeur B	10^{-6} bps^{-1}
10.0.0.0/8	via le routeur C puis le routeur B	$10^{-7} \text{ bps}^{-1} + 10^{-7} \text{ bps}^{-1}$ $= 2 \times 10^{-7} \text{ bps}^{-1}$

En se basant sur *l'algorithme de Dijkstra*, le protocole OSPF va donc sélectionner la deuxième ligne, afin de minimiser la métrique, qui est ici le coût de la route.

On se rend compte que le chemin choisi ne sera pas forcément le même, selon l'algorithme de routage utilisé, sauf si toutes les liaisons ont le même débit.

Les échanges entre routeur se poursuivent en permanence ; c'est pourquoi les tables de routage peuvent se mettre à jour, si jamais un routeur cesse de fonctionner, ou si un câble est débranché : voir l'activité précédente pour s'en convaincre.

V./ Exercice :



- Trouvez toutes les routes possibles permettant de relier les machines M1 et M6.
- Quelle sera la route sélectionnée par le protocole RIP ?
- Quelle sera la route sélectionnée par le protocole OSPF, sachant que toutes les liaisons ont le même débit de 10 Mbps, mis à part la liaison reliant les routeurs A et B qui est très lente, avec un débit de 56 kbps ?
- Même questions pour les routes reliant M1 et M8, avec les mêmes données.



Image par [No-longer-here](#) de [Pixabay](#)