

Protocole de routage

Table des matières

1	Rappels sur l'adressage	1
2	Problématique du routage	2
2.1	Quelques définitions	2
2.2	Routage	2
3	Table de routage	4
4	Les protocoles de routage	5
4.1	La métrique	5
4.2	Le protocole RIP (<i>Routing Information Protocol</i>)	6
4.3	Le protocole OSPF (<i>Open Shortest Path First</i>)	7
5	Pour les plus rapides, découverte de l'algorithme de Dijkstra	8

1) Rappels sur l'adressage

Toutes les machines appartenant au même réseau devront posséder la même adresse réseau (sinon elles ne pourront pas communiquer ensemble, même si elles sont bien physiquement reliées).

Prenons 2 exemples, soit 2 machines A et B en réseau :

- la machine A a pour adresse IP 192.168.2.5 et la machine B a pour adresse IP 192.168.2.8. Les 3 premiers octets sont bien identiques ("192.168.2"), A et B ont donc la même adresse réseau "192.168.2.0". Ces 2 machines pourront donc communiquer ensemble
- la machine A a pour adresse IP 192.168.2.5 et la machine B a pour adresse IP 192.168.3.8. Les 3 premiers octets ne sont pas identiques ("192.168.2" pour A et "192.168.3" pour B), A et B n'ont pas la même adresse réseau ("192.168.2.0" pour A et "192.168.3.0" pour B). Ces 2 machines ne pourront donc pas communiquer ensemble

Attention, les adresses IP (a.b.c.d) n'ont forcément pas les parties a, b et c consacrées à l'identification du réseau et la partie d consacrées à l'identification des machines sur le réseau : on rajoute souvent à l'adresse IP un "/" suivit du nombre 8, 16 ou 24.

Si ce nombre est 8 (exemple : 192.168.2.1/8), cela signifie que pour une adresse a.b.c.d/8, la partie a est consacrée à l'adresse réseau, le reste (b, c, d) est consacré à la partie machine de l'adresse IP. On aura donc une adresse réseau de la forme a.0.0.0

Si ce nombre est 16 (exemple : 192.168.2.1/16), cela signifie que pour une adresse a.b.c.d/16, les parties a et b sont consacrées à l'adresse réseau, le reste (c, d) est consacré à la partie machine de l'adresse IP. On aura donc une adresse réseau de la forme a.b.0.0

Si ce nombre est 24 (exemple : 192.168.2.1/24), cela signifie que pour une adresse a.b.c.d/24, les parties a, b et c sont consacrées à l'adresse réseau, le reste (d) est consacré à la partie machine de l'adresse IP. On aura donc une adresse réseau de la forme a.b.c.0

Donc le 8 signifie que les 8 premiers bits (le premier octet) sont consacrés à la partie réseau => a, que le 16 signifie que les 16 premiers bits (les deux premiers octets) sont consacrés à la partie réseau => a.b et que le 24 signifie que les 24 premiers bits (les 3 premiers octets) sont consacrés à la partie réseau => a.b.c

2) Problématique du routage

2.1) Quelques définitions

définition 1 : Internet résulte de l'interconnexion de réseaux par des routeurs.

définition 2 : Un routeur est composé d'un nombre plus ou moins important d'interfaces réseau (cartes réseau). Les routeurs les plus simples que l'on puisse rencontrer permettent de relier ensemble deux réseaux (ils possèdent alors 2 interfaces réseau), mais il existe des routeurs capables de relier ensemble une dizaine de réseaux. N'importe quel ordinateur peut jouer le rôle de routeur (à partir du moment où il possède au moins 2 interfaces réseau), mais on rencontre souvent des "machines" dédiées (par exemple de marque CISCO)

2.2) Routage

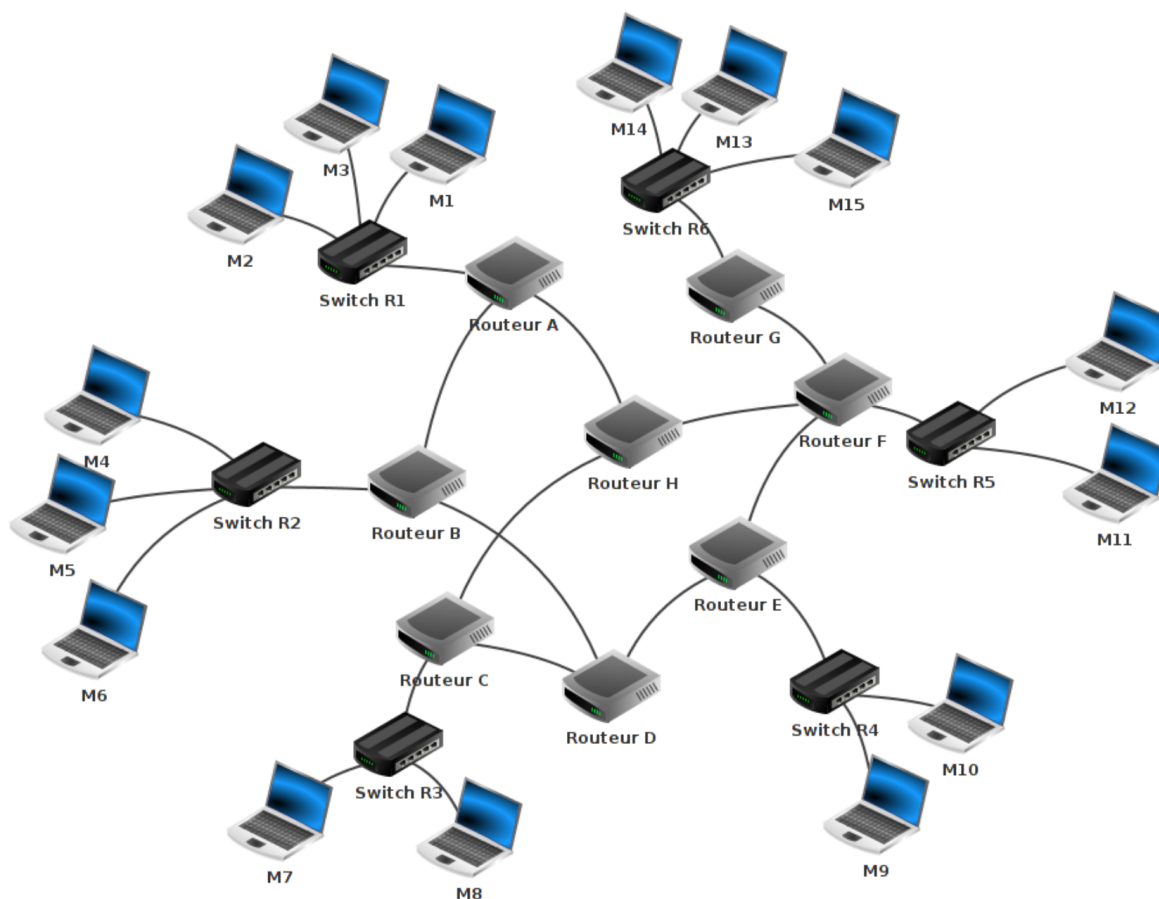


FIGURE 1 – Exemple réseau 1

Nous avons sur le schéma de la FIGURE 1 les éléments suivants :

- 15 ordinateurs : M1 à M15

- 6 switchs : R1 à R6
- 8 routeurs : A, B, C, D, E, F, G et H

Nous avons 6 réseaux locaux, chaque réseau local possède son propre switch.

Les ordinateurs M1, M2 et M3 appartiennent au réseau local 1. Les ordinateurs M4, M5 et M6 appartiennent au réseau local 2. Nous pouvons synthétiser tout cela comme suit :

- réseau local 1 : M1, M2 et M3
- réseau local 2 : M4, M5 et M6

Exercice 1 :

Complétez de la même manière :

- réseau local 3 : ;
- réseau local 4 : ;
- réseau local 5 : ;
- réseau local 6 : ;

Voici quelques exemples de communications entre 2 ordinateurs :

- 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 → R1 → M3

- 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 R2 (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.

M1 → R1 → Routeur A → Routeur B → R2 → M6

- cas n°3 : M1 veut communiquer avec M9

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

Restons sur ce cas n°3 : comme vous l'avez peut-être constaté, le chemin donné ci-dessus n'est pas l'unique possibilité, en effet on aurait pu aussi avoir :

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 pour relier 2 ordinateurs :

- cas n°4 : M13 veut communiquer avec M9

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

ou encore : 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.

Exercice 2 :

Déterminer un chemin possible permettant d'établir une connexion entre la machine M4 et M14.

3) Table de routage

On peut se poser la question : comment les switchs ou les routeurs procèdent pour amener les paquets à bon port.

Nous savons que 2 machines appartenant au même réseau local doivent avoir la même adresse réseau. 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".

Soit le schéma suivant :

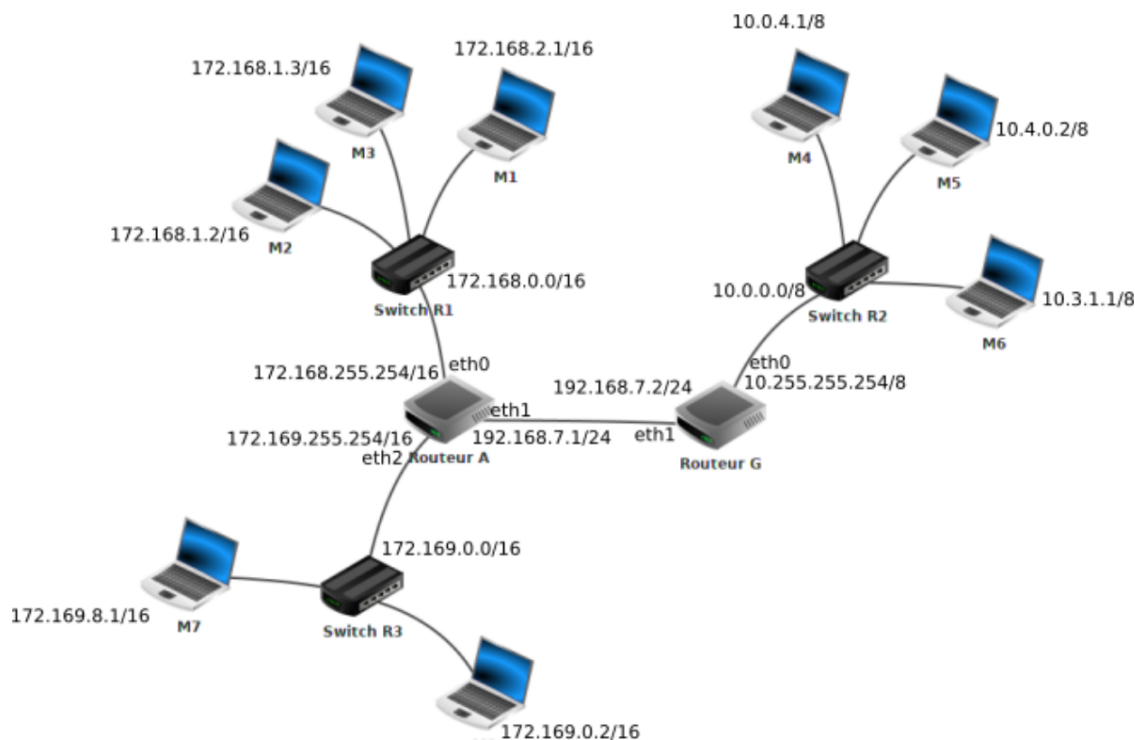


FIGURE 2 – Exemple réseau

Vous avez sans doute remarqué que nous avons 2 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 : 172.168.255.254/16 (eth0), 172.169.255.254/16 (eth2) et 192.168.7.1/24 (eth1)
- 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 192.168.7.2/24 (eth1)

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

- le routeur A est directement relié au réseau 172.168.0.0/16 par l'intermédiaire de son interface eth0
- le routeur A est directement relié au réseau 172.169.0.0/16 par l'intermédiaire de son interface eth2
- le routeur A est directement relié au réseau 192.168.7.0/24 par l'intermédiaire de son interface eth1 (le réseau 192.168.7.0/24 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 192.168.7.2/24 (c'est à dire le routeur G qui lui est directement relié au réseau 10.0.0.0/8)

On peut résumer tout cela avec le tableau suivant (table de routage simplifiée de A) :

Réseau	Moyen de l'atteindre	Métrieque
172.168.0.0/16	eth0	0
192.168.7.0/24	eth1	0
172.169.0.0/16	eth2	0
10.0.0.0/8	192.168.7.2/24	1

TABLE 1 – Table de routage simplifiée du routeur A

Exercice 3 :

Déterminez la table de routage du routeur G (ne pas tenir compte de la colonne métrieque pour le moment)

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 métrieque : plus la valeur de la métrieque est petite, plus le chemin pour atteindre le réseau est "court". Un réseau directement lié à un routeur aura une métrieque de 0.

Comment un routeur arrive à remplir sa table de routage ?

La réponse est simple pour les réseaux qui sont directement reliés au routeur (métrieque = 0), mais comment cela se passe-t-il pour les autres réseaux (métrieque supérieure à zéro) ?

Il existe 2 méthodes :

- 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) Les protocoles de routage

4.1) La métrieque

Dans un protocole de routage, la métrieque est une mesure de la « distance » qui sépare un routeur d'un réseau de destination.

Elle peut correspondre :

- au nombre de sauts IP nécessaires pour atteindre le réseau destination, comme dans RIP ;
- à un coût numérique qui dépend de la bande passante des liens franchis, comme dans OSPF ;
- au résultat d'un calcul plus complexe, qui tient compte de la charge, du délai, du MTU, etc...
- etc...

Quand plusieurs chemins vers une même destination sont possibles, le protocole préférera celui dont la métrieque est la plus faible.

4.2) Le protocole RIP (*Routing Information Protocol*)

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 A contient uniquement les réseaux 172.168.0.0/16, 192.168.7.0/24 et 172.169.0.0/16).

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 A envoie un message au routeur G avec les informations suivantes : "je connais les réseaux 172.168.0.0/16, 192.168.7.0/24 et 172.169.0.0/16". De la même manière G envoie un message à A avec les informations suivantes : "je connais les réseaux 192.168.7.0/24 et 10.0.0.0/8". 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 A va pouvoir ajouter le réseau 10.0.0.0/8 à sa table de routage. Le routeur A "sait" maintenant qu'un paquet à destination du réseau 10.0.0.0/8 devra transiter par le routeur G). Pour renseigner la colonne "métrique", le protocole utilise le nombre de sauts (ou « hops » en anglais), autrement dit, le nombre de routeurs qui doivent être traversés pour atteindre le réseau cible (dans la table de routage de A, on aura donc une métrique de 1 pour le réseau 10.0.0.0/8 car depuis A il est nécessaire de traverser le routeur G pour atteindre le réseau 10.0.0.0/8)

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

Limitations de RIP

Pour éviter les boucles de routage, le nombre de sauts est limité à 15. Au-delà, les paquets sont supprimés.

RIP ne prend en compte que la distance entre deux machines en ce qui concerne le saut, mais il ne considère pas l'état de la liaison afin de choisir la meilleure bande passante possible. Si l'on considère un réseau composé de trois routeurs A, B et C, reliés en triangle, RIP préférera passer par la liaison directe A-B même si la bande passante n'est que de 56 kbit/s alors qu'elle est de 10 Gbit/s entre A et C et C et B.

Ces limitations sont corrigées dans le protocole OSPF.

Exercice 4 :

Soit le réseau suivant :

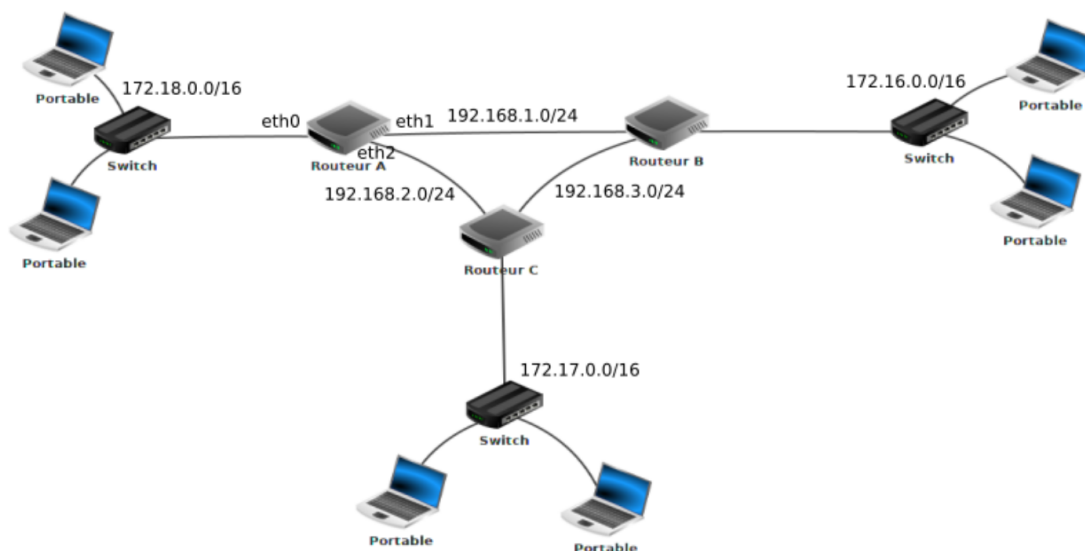


FIGURE 3 – Exercice protocole RIP

1. En vous basant sur le protocole RIP (métrique = nombre de sauts), déterminez la table de routage du routeur A

2. Quel est, d'après la table de routage construite, 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 ?

4.3) Le protocole OSPF (*Open Shortest Path First*)

Comme dans le cas du protocole RIP, nous allons retrouver des échanges d'informations entre les routeurs (ces échanges sont plus "intelligents" dans le cas d'OSPF, ils permettent donc de réduire l'occupation du réseau). Nous n'allons pas rentrer dans les détails de ces échanges et nous allons principalement insister sur la métrique produite par OSPF. 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 (en théorie des graphes, l'algorithme de Dijkstra sert à résoudre le problème du plus court chemin.) .

Mais sur quoi repose cette 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 = 1000 bps et 1 Mbps = 1000 kbps. Connaissant le débit d'une liaison, il est possible de calculer le coût d'une liaison à l'aide de la formule suivante :

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

dans la formule ci-dessus le débit est 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.

Exercice 5 :

Soit le réseau suivant :

1. En vous basant sur le protocole OSPF (métrique = somme des coûts), déterminez la table de routage du routeur A. 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
2. 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 ?

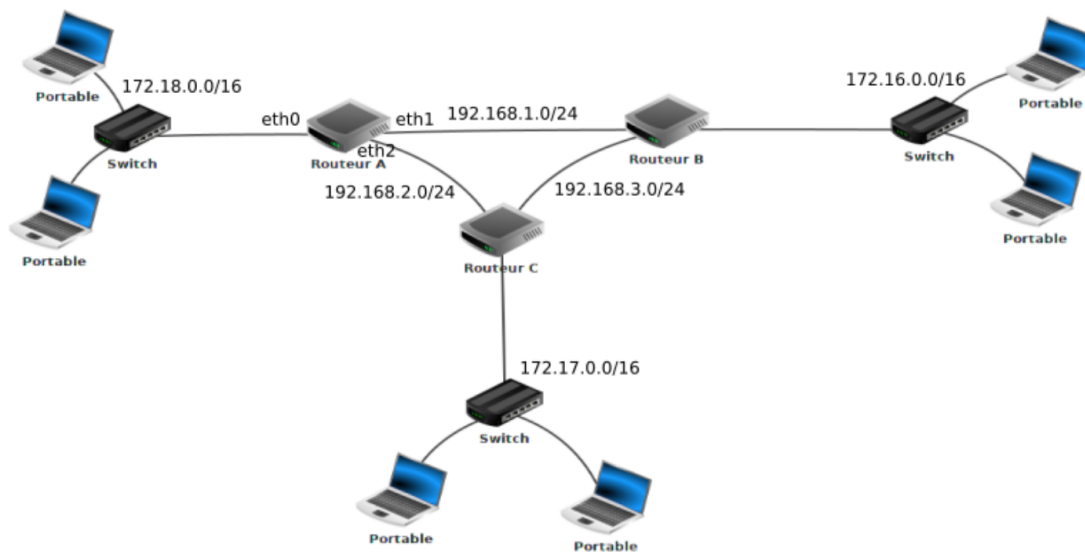
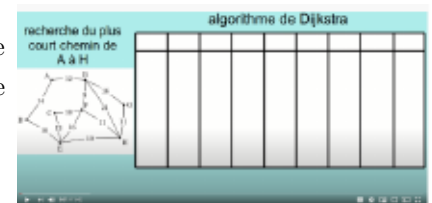


FIGURE 4 – Exercice protocole OSPF

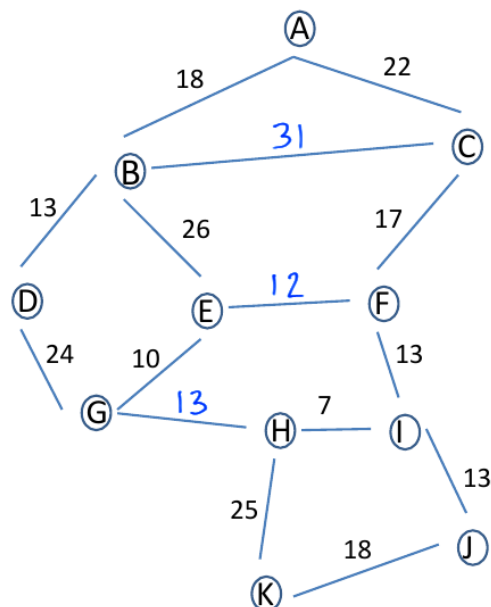
5) Pour les plus rapides, découverte de l'algorithme de Dijkstra

L'algorithme de Dijkstra est un algorithme qui, à partir du graphe, permet de résoudre le problème du plus court chemin entre 2 points bien déterminés. Afin de comprendre comment fonctionne cet algorithme, visionner la vidéo suivante :

<https://youtu.be/rI-Rc7eF4iw>



Utiliser cet algorithme pour trouver le plus "court" chemin entre A et K.



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Choix