

TD - Quelques algorithmes de routage

24 octobre 2024

Quelques ressources utiles :

- La page de Francois Goffinet :
<https://cisco.goffinet.org/ccna/ospf/introduction-au-protocole-routage-dynamique-ospf>
- Le sujet 2 du CAPES NSI 2021 qui traite du cours de réseaux et du Web :
<https://capes-nsi.org/ressources/>

Les connexions ne se font pas uniquement entre ordinateurs. Plusieurs appareils dédiés permettent de transmettre les données dans des conditions optimales :

- Le routeur, qui relie deux réseaux informatiques, a pour mission de rediriger les paquets d'une interface réseau à une autre pour joindre l'adresse de destination ;
- Le commutateur (ou switch) relie les machines d'un même réseau. Il établit une table d'adresses MAC pour pouvoir rediriger vers le bon poste les trames reçues.
- Le concentrateur (ou hub) qui transmet les trames reçues à toutes les machines connectées. Le concentrateur est de nos jours délaissé au profit du commutateur.

L'adresse MAC suffit à joindre la machine destinataire si celle-ci se trouve dans le même réseau. Mais deux machines ne sont pas forcément sur le même réseau. L'utilisation de l'adresse IP prendra alors tout son sens : en communiquant, on prendra soin d'envoyer les deux adresses. Reste à déterminer comment retrouver l'adresse du destinataire.

Chaque adresse IP est associée à une interface. Dans le cas où un appareil serait connecté à plusieurs réseaux (routeurs), ces appareils ont alors plusieurs interfaces et donc plusieurs adresses IP. L'objectif est de déterminer, pour un appareil donné, le chemin le plus court pour chaque machine destinataire potentielle : une table de routage. Pour la déterminer, on présentera deux protocoles de routage interne : RIP et OSPF.

1 Routing Information Protocol

Le RIP est un **protocole à vecteur de distances** basé sur l'algorithme de Bellman-Ford. Un hôte passerelle envoie sa table de routage au routeur le plus proche toutes les 30 secondes, puis les routeurs propagent cette table à leurs voisins en incrémentant la valeur de distance de 1, jusqu'à un maximum de 15. C'est donc un protocole à réserver pour des réseaux de taille modeste. Chaque routeur connaît le coût de ses liaisons, qu'ils communiquent aux voisins directs. Si un routeur ne reçoit pas de paquet d'un routeur voisin après quelques minutes, il considère que le lien est défectueux et on lui affecte le coût de 16 (infini).

Algorithme 1 : Algorithme de Bellman-Ford

Données :

- un graphe (dont on note $d(a, b)$ la distance entre a et b) ;
- un sommet de départ S ;
- un graphe initialement vide P ;
- un dictionnaire de distances D ;
- un dictionnaire *predecesseur*.

```

1 Initialiser pour chaque sommet  $a$  du graphe la valeur  $+\infty$  dans  $D$ ;
2  $D[S] \leftarrow 0$ ;
3 pour  $i$  allant de 1 jusqu'à  $\text{taille}(D) - 1$  faire
4   pour chaque arc  $(u, v)$  du graphe faire
5     si  $D[v] > D[u] + d(u, v)$  alors
6        $D[v] \leftarrow D[u] + d(u, v)$ ;
7        $\text{predecesseur}[v] = u$ 
8     fin
9   fin
10 fin
```

2 Open Shortest Path First

Chaque routeur établit des relations d'adjacence avec ses voisins, avec un paquet *hello*, en collectant le coût (compris entre 1 et 65536) pour effectuer une liaison (protocole Hello). On parle de **protocole de routage à état de lien**. Une fois que chaque routeur a récupéré les informations de toutes les liaisons existantes au sein du réseau, il propage un message *LSA* aux voisins pour communiquer sa table. Chaque routeur aura donc les informations de l'ensemble des routeurs présents dans le réseau. Lorsque cela arrive, il génère une table de routage à partir de l'algorithme de Dijkstra.

Les routeurs sont répartis dans des zones logiques (voir fig. 1), et peuvent avoir un rôle parmi :

- routeur interne : il remplit son rôle uniquement dans une zone, en gardant à jour sa *link-state database*, qui doit être identique aux autres routeurs internes de la même zone ;
- les *backbone routers* : lors de la conception des zones, chaque zone doit être connectée à une zone 0, la *backbone area*, et un BR a une interface qui y est connectée ;
- un routeur en bord de zone (*area border router*, *ABR*) : il connecte au moins deux zones, dont l'area 0, et contient autant de bases de données que d'interfaces connectées à des zones différentes ;
- un *Autonomous System Boundary Router* (*ASBR*) : il est connecté au reste de l'Internet.

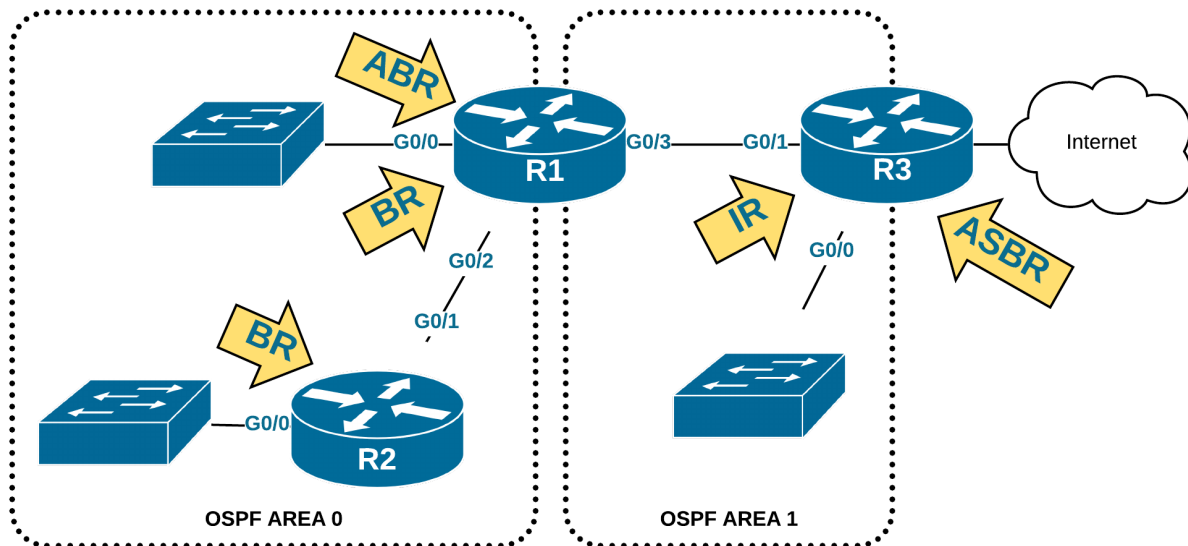


FIGURE 1 – Schéma représentant une topologie type dans un réseau géré par OSPF (crédit : François Goffinet)

Algorithme 2 : Algorithme de Dijkstra

Données :

- un graphe (dont on note $d(a, b)$ la distance entre a et b);
- un sommet de départ S ;
- un graphe initialement vide P ;
- un dictionnaire de distances D ;
- un dictionnaire *predecesseur*.

```

1 Initialiser pour chaque sommet  $a$  du graphe la valeur  $+\infty$  dans  $D$ ;
2  $D[S] \leftarrow 0$ ;
3 tant que  $\text{taille}(P) < \text{taille}(G)$  faire
4   Choisir le sommet  $a$  avec  $D[a]$  minimal qui n'est pas dans  $P$ ;
5   pour chaque sommet  $b$  qui n'est pas dans  $P$  et voisin de  $a$  faire
6     si  $D[b] > D[a] + d(a, b)$  alors
7        $D[b] \leftarrow D[a] + d(a, b)$ ;
8        $P[b] \leftarrow a$ ;
9     fin
10  fin
11 fin

```

Cet algorithme construit une table indiquant la distance minimale entre un sommet donnée et chaque sommet de la table. Pour obtenir le plus court chemin, on navigue à l'aide du dictionnaire de prédécesseurs jusqu'à obtenir le sommet de départ, en construisant la liste des sommets parcourus ainsi.

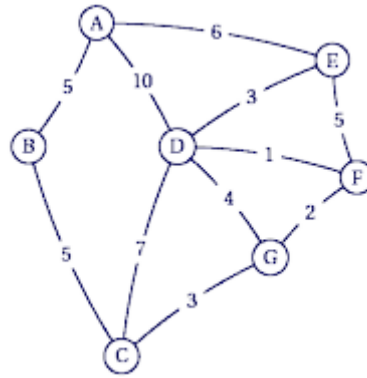


FIGURE 2 – Un exemple de graphe pondéré.

Exercice 1 — Application Dijkstra

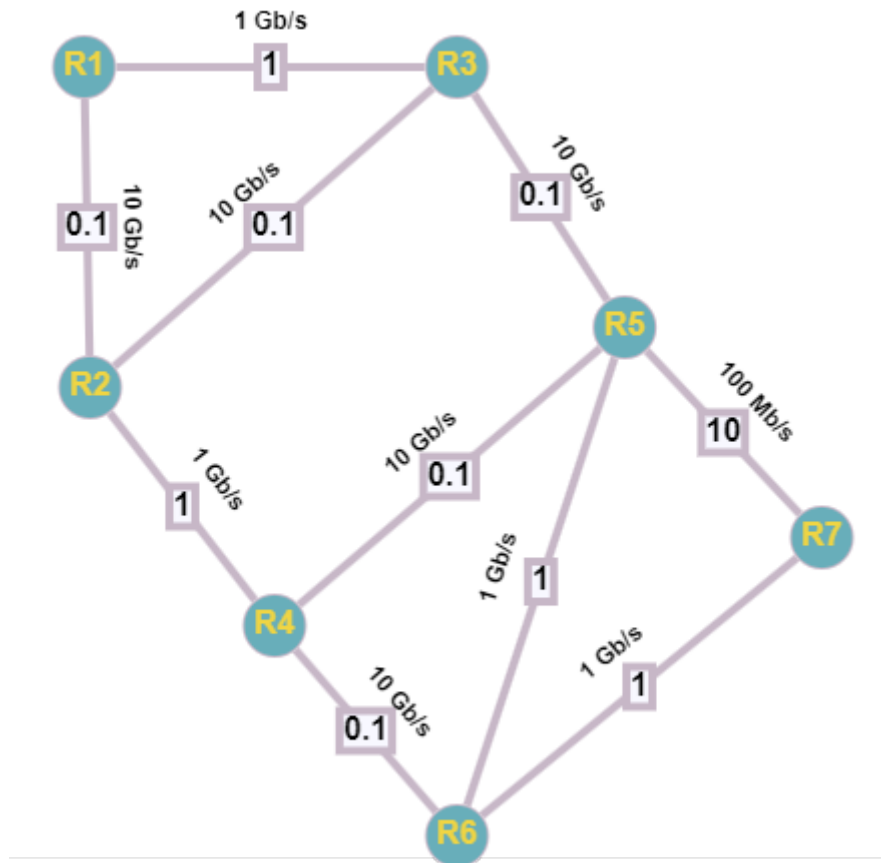
Appliquer l'algorithme de Dijkstra sur le graphe de la figure 2, où A sera le point de départ.

Exercice 2 — Protocole OSPF naïf

Chaque routeur détermine l'état de ses connections (liens) avec les routeurs voisins, puis il diffuse cette information sous forme d'un LSA (Link-State Advertisement). L'ensemble des LSA reçus forme la LSDB (Link-State DataBase). À partir de cette base de données, chaque routeur va calculer sa table de routage grâce à l'algorithme SPF (Shortest Path First) qui n'est rien d'autre que l'algorithme de Dijkstra. On utilise la métrique CISCO : le coût d'un lien est égal à $\frac{100}{d}$, où d est le débit du lien en Mb/s.

Soit le réseau avec la topologie ci-dessous¹ :

1. Outil utilisé : *graphonline* - <https://graphonline.ru/fr?>



- Appliquer l'algorithme de Dijkstra pour déterminer le plus court chemin entre R1 et R7.
- Quel aurait été le chemin le plus court si on ne considérait pas les pondérations ? (*c'est à dire si on appliquait le protocole RIP ?*)

Dans la figure 3, les sous-réseaux engendrés par les routeurs liés entre eux sont en rouge. Par exemple, le réseau 192.168.8.0 contient deux interfaces de deux routeurs : 192.168.8.1 pour A et 192.168.8.2 pour B.

Exercice 3 —

On considère le réseau suivant, composé de 6 routeurs et de deux réseaux locaux. Un extrait de la table de routage est également fourni.

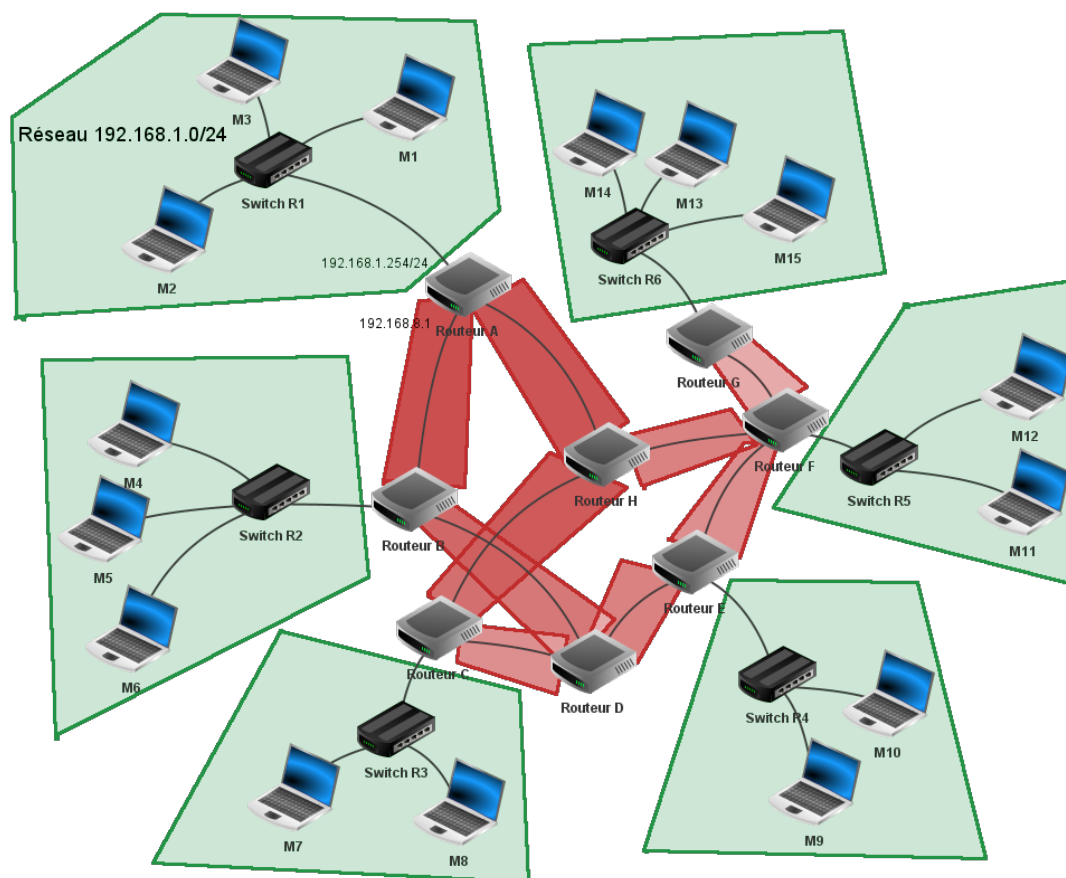
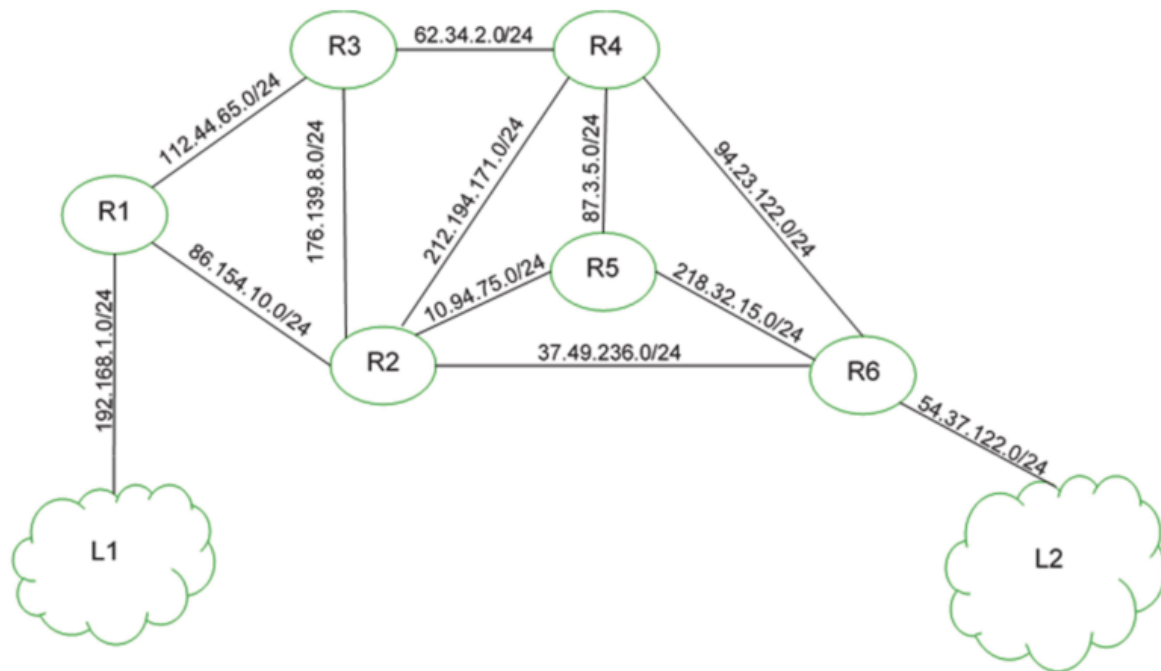


FIGURE 3 – Réseau de l'exercice 2



Routeur	Réseau destinataire	Passerelle	Interface
R1	54.37.122.0/24	86.154.10.1	86.154.10.56
R2	54.37.122.0/24	37.49.236.22	37.49.236.23
R3	54.37.122.0/24	62.34.2.8	62.34.2.9
R4	54.37.122.0/24	94.23.122.10	94.23.122.11
R5	54.37.122.0/24	218.32.15.1	218.32.15.2

- Un paquet part du réseau local L1 à destination du réseau local L2.
 - En utilisant l'extrait de la table de routage de R1, vers quel routeur R1 envoie-t-il ce paquet : R2 ou R3 ? Justifier.
 - A l'aide des extraits de tables de routage ci-dessus, nommer les routeurs traversés par ce paquet, lorsqu'il va du réseau L1 au réseau L2.
- La liaison entre R1 et R2 est rompue.
 - Sachant que ce réseau utilise le protocole RIP (distance en nombre de sauts), donner l'un des deux chemins possibles que pourra suivre un paquet allant de L1 vers L2.
 - Dans les extraits de tables de routage ci-dessus, pour le chemin de la question 2.a, quelle(s) ligne(s) sera (seront) modifiée(s) ?
- On a rétabli la liaison entre R1 et R2. Par ailleurs, pour tenir compte du débit des liaisons, on décide d'utiliser le protocole OSPF pour effectuer le routage. Le coût des liaisons entre les routeurs est donné par le tableau suivant :

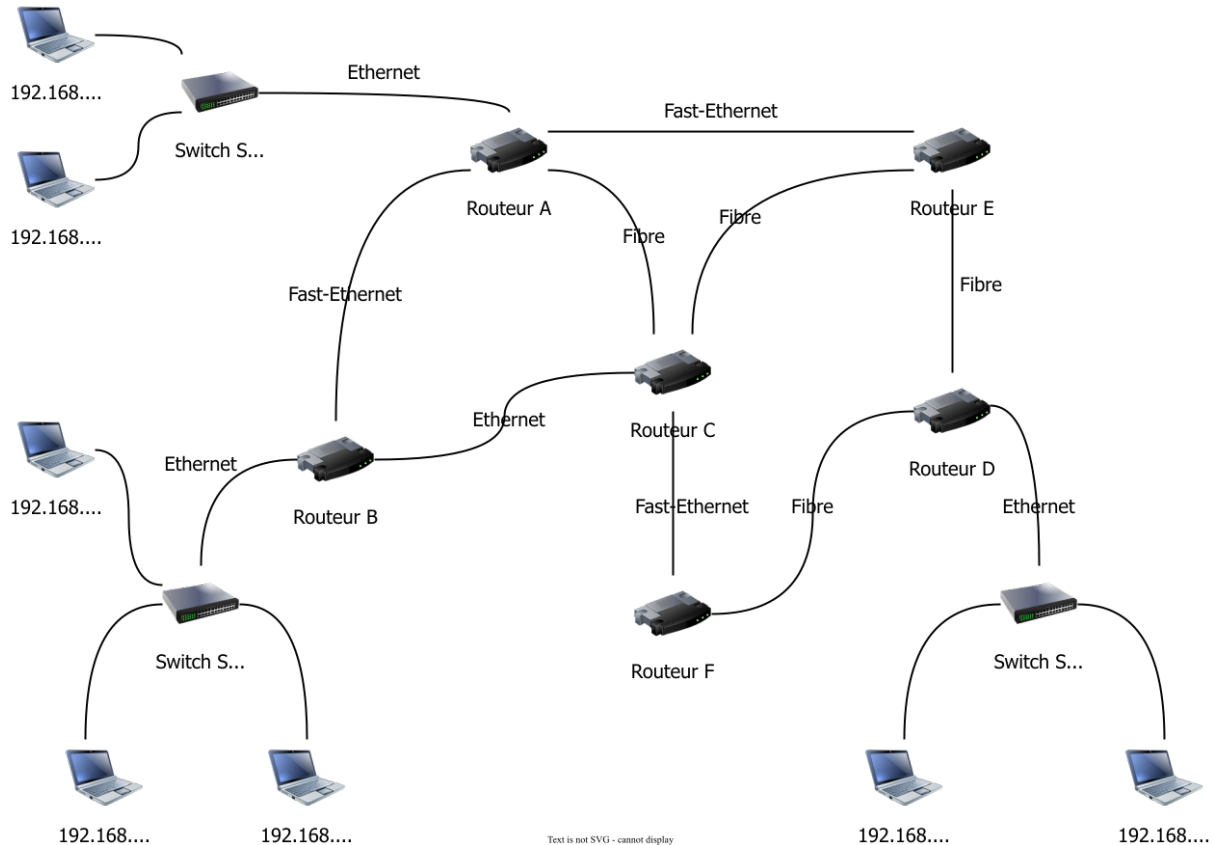
n	R1-R2	R1-R3	R2-R3	R2-R4	R2-R5	R2-R6	R3-R4	R4-R5	R4-R6	R5-R6
Coût	100	100	?	1	10	10	10	1	10	1

- Le coût de la liaison est donné ici par $C = \frac{10^9}{BP}$, avec BP en bit/s.

Donner le coût de R2-R3 en sachant que sa bande passante est de 10Mb/s

2. Déterminer le chemin parcouru par un paquet partant du réseau L1 et arrivant au réseau L2, en utilisant le protocole OSPF.
3. Indiquer pour quel(s) routeur(s) l'extrait de la table de routage sera modifié pour un paquet à destination de L2, avec la métrique OSPF.

Exercice 4 —



1. On considère la machine d'adresse IPv4 192.168.1.1.
 1. Donner l'adresse du réseau sur lequel se trouve cette machine, ainsi que l'adresse de broadcast.
 2. Quel est le nombre maximum de machines qu'on peut connecter au réseau? Donner le calcul et son résultat.
 3. On souhaite ajouter une machine sur ce réseau, proposer une adresse IPv4 possible pour cette machine.
2. La machine d'adresse IPv4 192.168.1.1 transmet un paquet IPv4 à la machine d'adresse IPv4 192.168.4.2.
 1. Donner toutes les routes pouvant être empruntées par ce paquet IPv4, chaque routeur ne pouvant être traversé qu'une seule fois.
 2. Expliquer l'utilité d'avoir plusieurs routes possibles reliant les réseaux 192.168.1.0/24 et 192.168.4.0/24.
3. On donne les tables de routage suivantes :

Table A		Table B		Table C	
Départ	Arrivée	Départ	Arrivée	Départ	Arrivée
B	...	A	A	A	A
C	...	C	C	B	B
D	E	D	C	D	E
E	...	E	C	E	E
F	C	F	C	F	F

Table D		Table E		Table F	
Départ	Arrivée	Départ	Arrivée	Départ	Arrivée
A	E	A	A	A	C
B	F	B	C	B	C
C	F	C	C	C	C
E	E	D	D	D	D
F	F	F	C	E	C

1. Compléter la table de routage de A
 2. Un paquet IP doit aller du routeur B au routeur D. En utilisant les tables de routage, donner le parcours emprunté par celui-ci.
 3. Les connexions entre les routeurs B-C et A-E étant coupées, sur la copie, réécrire les tables de routage des routeurs A, B et C.
 4. Déterminer le nouveau parcours emprunté par le paquet IP pour aller du routeur B au routeur D.
4. On pose le coût de liaison $C = \frac{10^8}{d}$ où d est le débit en bit/s.
- Déterminer le coût des liaisons Ethernet (10^7 bit/s), Fast-Ethernet (10^8 bit/s) et Fibre (10^9 bit/s).
 - Réaliser un schéma du réseau formé par ces routeurs (question 3). On fera apparaître le coût de chaque liaison.
 - Un paquet IPv4 doit être acheminé d'une machine ayant pour adresse IPv4 192.168.2.1 à une machine ayant pour adresse IPv4 192.168.4.1. Écrire les routes possibles, c'est à dire la liste des routeurs traversés, et le coût de chacune de ces routes, chaque routeur ne pouvant être traversé qu'une seule fois.
 - Donner, en la justifiant, la route qui sera empruntée par un paquet IPv4 pour aller d'une machine ayant pour adresse IPv4 192.168.2.1 à une machine ayant pour adresse IPv4 192.168.4.1.

Exercice 5 — Manipulations avec Filius

1. Récupérer le fichier `routage_simulation_6reseaux.flr`.
2. Lancer l'exécution du réseau. Les routeurs vont commencer à faire transiter des paquets RIP.
3. Capturer une trame RIP du routeur H contenant l'intégralité des entrées de chaque réseau. Quelle est sa distance avec le routeur D ? Identifier les deux interfaces du routeur D et donner celle où le paquet arrivera le plus vite.
4. Avec la commande `traceroute` sur le PC M4, obtenir le chemin parcouru entre le PC M4 et la machine M14.

5. Supprimer le lien entre A et H, et attendre que des nouveaux paquets RIP transitent pour que les tables de routages soient mises à jour. Recommencer l'opération de la question précédente et donner le nouveau chemin.