

PROTOCOLES DE ROUTAGE

Avant de commencer ce document:

- Réaliser l'activité contenue dans le répertoire [TP_Filius \(TP_Filius/Réseaux1NSI.pdf\)](#) pour réactiver les connaissances de base en réseau, à l'aide du logiciel Filius.

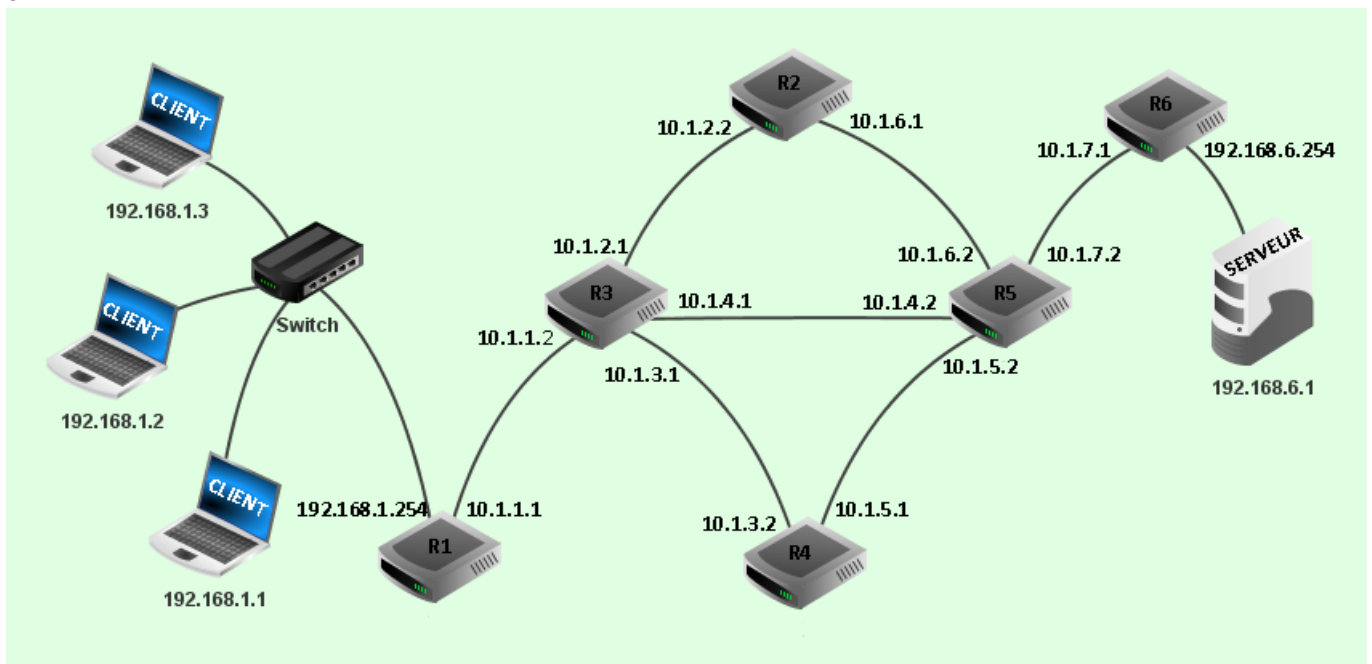
1. Le routage

Topologie d'un réseau

- Un réseau informatique sert à connecter des machines entre elles pour qu'elles puissent communiquer.
- Une architecture courante est celle du modèle client-serveur, qui permet à des machines clientes d'échanger des informations avec un serveur sous forme de requêtes-réponses.
- En plus des clients et des serveurs, un réseau comporte des routeurs :
 - Ce sont des machines dont le rôle est de relayer les informations transmises afin de les acheminer vers leur destination finale.
 - On distingue :
 - Les routeurs d'accès en bordures de réseau auxquels sont connectés les machines d'un même réseau local (que ce soit sans fil en Wi-Fi ou à l'aide de câbles ethernet).
 - Les routeurs internes qui sont connectés entre eux, en général sur de plus longues distances, à l'aide de fibre optique, de câbles téléphoniques, de liaison satellites,...
- On appelle topologie d'un réseau l'ensemble des interconnexions des routeurs entre eux.

Exercice 1:

On considère le réseau ci-dessous :



1. Compléter :

- Nombre de routeurs :
- Noms des routeurs d'accès :
- Noms des routeurs internes :

2. Identifier les différents sous-réseaux et les machines ou interfaces qui les composent.

Nom du sous-réseau	adresse IP	adresse IP	adresse IP	adresse IP
--------------------	------------	------------	------------	------------

Paquets

- Les informations transmises dans un réseau(des pages web, des emails, des fichiers, des flux audio ou vidéo...) le sont après un découpage en petits morceaux de ces données.
- On appelle paquets les entités élémentaires issues de ce découpage.
- Ces paquets sont envoyés séparément sur le réseau et l'information initiale est reconstituée quand les paquets arrivent à destination (que ce soit côté client ou côté serveur).
- En savoir plus sur l'encapsulation:
 - Le modèle TCP/IP(vidéo) : <https://www.youtube.com/watch?v=26jazyc7VNk> (<https://www.youtube.com/watch?v=26jazyc7VNk>)
 - Le modèle OSI (wikipédia) : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8le_OSI#Le_mod%C3%A8le_TCP%2FIP (https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8le_OSI#Le_mod%C3%A8le_TCP%2FIP).

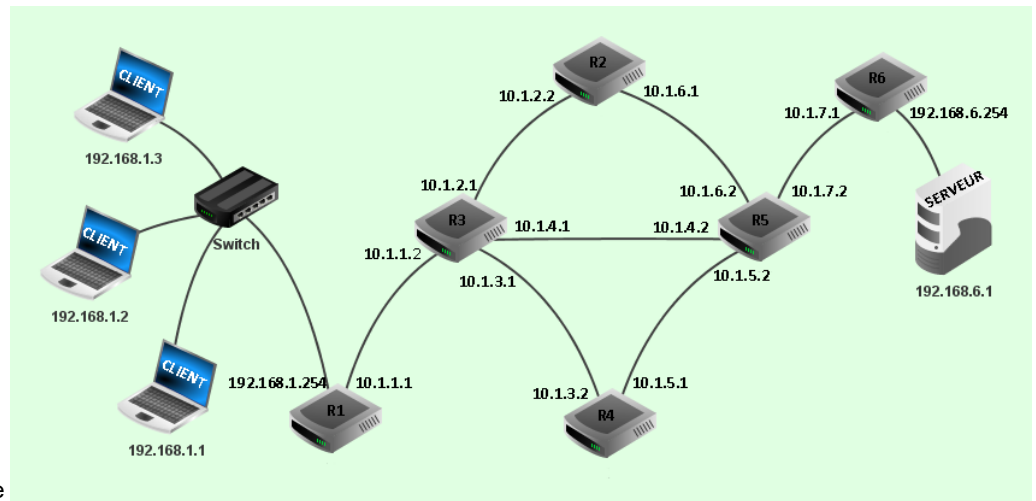
Tables de routage

Vidéo d'introduction : https://www.youtube.com/watch?v=sT9-lcbjqzl&feature=emb_title (https://www.youtube.com/watch?v=sT9-lcbjqzl&feature=emb_title)

- Un paquet de données qui doit traverser un réseau n'a a priori aucune idée du chemin qu'il va devoir suivre. Il fait entièrement confiance aux indications fournies par les routeurs.
- Pour choisir le bon chemin, le routeur s'appuie sur une table de routage : c'est une grande liste donnant pour chaque destination connue par le routeur la porte de sortie à emprunter ainsi que l'efficacité de cette route. Cette efficacité sera exploitée dans les algorithmes que nous détaillerons par la suite.
- Plusieurs algorithmes sont possibles. Néanmoins pour le routage réseau, des contraintes particulières liées au fonctionnement des réseaux sont à prendre en compte :
 - Les routeurs n'ont pas connaissance de la topologie globale du réseau, ils ne communiquent qu'avec leurs voisins immédiats.
 - L'algorithme est distribué : il n'y a pas en général de centre de gestion central. Chaque routeur se constitue sa propre table lui même à partir des informations communiquées par ses voisins. Lui même transmet à ses voisins les informations en sa possession.
 - L'algorithme est itératif : il est exécuté en permanence et ne s'arrête jamais. Lorsqu'une modification est faite sur le réseau, celle-ci se propage de proche en proche à chaque routeur qui adapte sa table en conséquence.

Exercice 2 :

- On considère le réseau présenté en exemple d'introduction.
- Bravo, c'est vous l'administrateur qui devez saisir les tables de routage à la main...
- De façon simplifiée, un routeur connaît l'interface du prochain routeur (la passerelle) à qui adresser un paquet en fonction de son réseau de destination.



1. Compléter la table de routage de routeur R3 :

Destination	Passerelle
192.168.1.0	10.1.1.1
10.1.1.0	
10.1.2.0	
10.1.3.0	
10.1.4.0	
10.1.5.0	
10.1.6.0	
10.1.7.0	
192.168.6.0	

2. Comment choisir la prochaine passerelle dans les cas où il y a plusieurs solutions ?

Réponse:

-

3. Que faudrait-il faire si le réseau 10.1.4.0 tombe en panne ?

Réponse:

-

2. Protocoles de routage

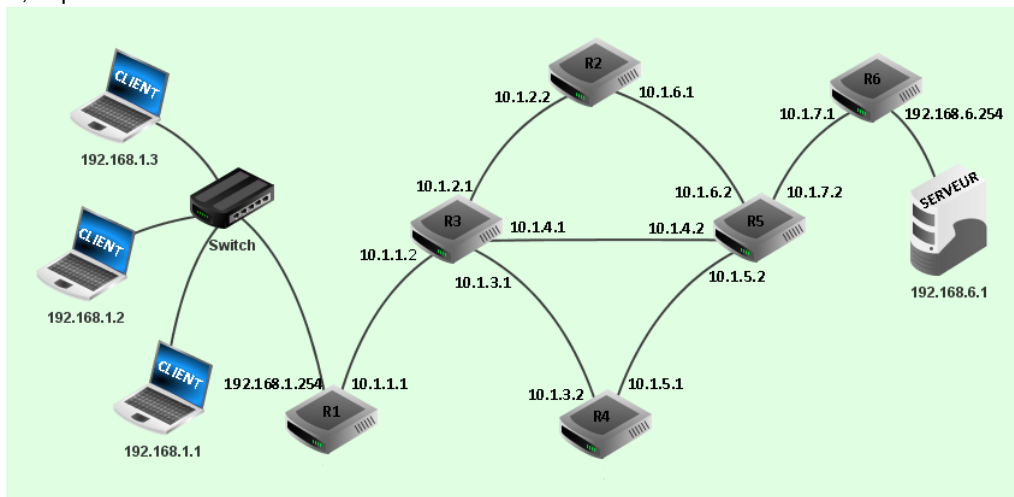
- Il y a généralement plusieurs chemins pour acheminer un paquet vers sa destination.
 - Comment choisir le meilleur?
 - Comment réagir aux pannes de certains routeurs? A l'ajout de nouvelles liaisons ?
 - Plus généralement, comment actualiser les tables de routage dès qu'un changement dans la topologie du réseau apparaît ?
- Le nombre de routeurs est généralement beaucoup trop grand pour que les tables de routage soient paramétrées à la main. Les algorithmes de routage implémentés dans les routeurs apportent des réponses aux questions précédentes. Cette automatisation ne nécessite aucune intervention humaine. Les tables sont mises à jour par échanges d'informations entre les routeurs et leurs voisins immédiats.
- Pour que ces échanges soient coordonnés, il faut que les routeurs utilisent le même ensemble de règles, le même protocole.
- Sont présentés dans la suite deux protocoles de routage utilisés dans les réseaux.

Protocole RIP (Routing Information Protocol)

- Dans ce protocole, chaque routeur transmet à ses voisins les adresses de ses propres voisins ainsi que celles qu'il a reçu par d'autres routeurs.
- En plus des adresses, le routeur indique la distance, en nombre de sauts qui le sépare d'une machine donnée, c'est à dire le nombre de routeurs à traverser pour atteindre cette machine depuis lui.
- Les informations transmises entre routeurs sont donc de la forme :
 - **adresse de destination | adresse du prochain routeur(passerelle) | distance.**

Exercice 3 :

On reprend le réseau précédemment étudié. Le but de cet exercice est de dérouler le fonctionnement du protocole RIP pour les routeurs R1 et R3, depuis son initialisation.



1. Au début du protocole, les tables de R1 et R3 sont initialisées avec les informations concernant les voisins immédiats, c'est à dire les adresses des réseaux auxquels ils sont directement connectés (donc à une distance 1).

Voici la table du routeur R1 :

Destination	Passerelle	Distance
192.168.1.0		1
10.1.1.0		1

Dresser celle du routeur R3 :

2.

- Après cette phase les routeurs R1 et R3 vont se communiquer leurs informations. Lorsqu'un routeur reçoit les informations d'un voisin, il y a quatre cas possibles:
 - Il découvre une nouvelle route vers une destination qui lui est inconnue. Il l'inscrit dans sa table.
 - Il découvre une route plus courte vers une destination qu'il connaît, mais passant par un autre routeur. Il efface l'ancienne route et inscrit la nouvelle.

- Il reçoit une nouvelle route plus longue vers une destination connue, il l'ignore.
- Il reçoit une route existante, mais plus longue, passant par le même voisin. Il met à jour sa table avec cette nouvelle route. Cela veut dire qu'un problème est apparu sur son ancienne route.
- Lorsqu'un routeur reçoit une route, il doit prendre en compte que la distance associée à cette route est augmentée de 1 puisque les paquets devront passer par lui.

Voici la table du routeur R1 après échange des informations avec R3:

Destination	Passerelle	Distance
192.168.1.0		1
10.1.1.0		1
10.1.2.0	10.1.1.2	2
10.1.3.0	10.1.1.2	2
10.1.4.0	10.1.1.2	2

Compléter celle du routeur R3 après échange des informations avec R1:

3.

- En répétant ces échanges, tous les routeurs vont finir au bout d'un certain temps par avoir la même "vision" du réseau et la connaissance des routes les plus courtes (en terme de sauts) pour acheminer un paquet.

Voici la table de routage finale de R1 :

Destination	Passerelle	Distance
192.168.1.0		1
10.1.1.0		1
10.1.2.0	10.1.1.2	2
10.1.3.0	10.1.1.2	2
10.1.4.0	10.1.1.2	2
10.1.5.0	10.1.1.2	3
10.1.6.0	10.1.1.2	3
10.1.7.0	10.1.1.2	3
192.168.6.0	10.1.1.2	4

Compléter la table finale du routeur R3:

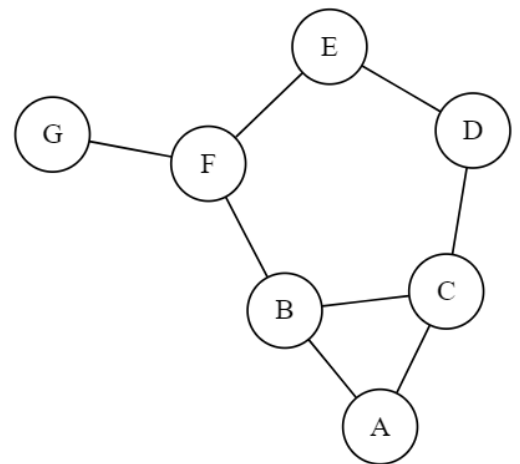
Remarques :

- Le protocole RIP convient pour des réseaux de petite taille dans lesquels les liaisons sont techniquement similaires.
- Ainsi, dans ce protocole la distance maximale est fixée à 15. Toute route plus longue est ignorée. Cela permet de réduire le délai de convergence, c'est à dire le temps que tous les routeurs du réseau aient la même perception du réseau.
- Détection de pannes : Lorsque un routeur ne reçoit pas d'informations de l'un de ses voisins après un certain laps de temps, il le considère inaccessible et transmet cette information à ses autres voisins en leur indiquant une route de distance 16 (c'est à dire infinie).
- Le protocole RIP repose sur l'algorithme de Bellman Ford, qui permet de déterminer un plus court chemin dans un graphe.

Exercice 4 :

- On considère le réseau de routeurs simplifié ci-contre.
- On suppose que l'on a exécuté le protocole RIP sur ce réseau.

Compléter la table suivante qui indique pour chaque routeur la portion de table de routage vers le routeur G :

**Réponse:**

Routeur	Destination	Passerelle	Distance
F	G	-	1

Exercice 5

- On considère le réseau de routeurs simplifié ci-contre.
- On suppose que l'on a exécuté le protocole RIP sur ce réseau et que l'on a obtenu les tables ci-dessous :

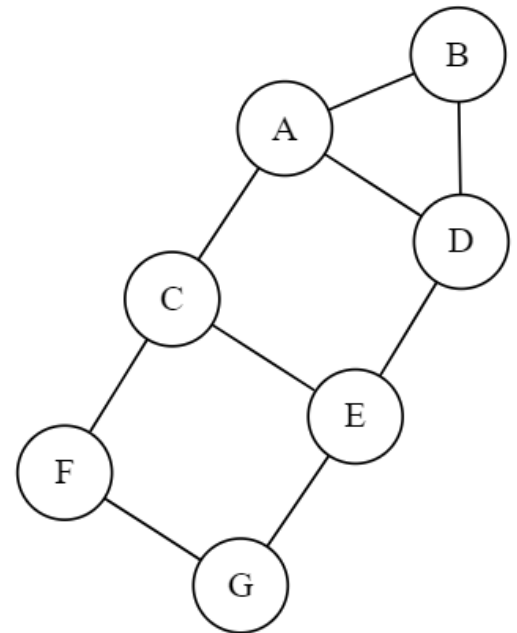


Table de routage du routeur A		
Destination	Routeur suivant	Distance
B	B	1
C	C	1
D	D	1
E	C	2
F	C	2
G	C	3

Table de routage du routeur B		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
C	A	2
D	D	1
E	D	2
F	A	3
G	D	3

Table de routage du routeur C		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
B	A	2
D	E	2
E	E	1
F	F	1
G	F	2

Table de routage du routeur D		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
B	B	1
C	E	2
E	E	1
F	A	3
G	E	2

Table de routage du routeur E		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	C	2
B	D	2
C	C	1
D	D	1
F	G	2
G	G	1

Table de routage du routeur F		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	C	2
B	C	3
C	C	1
D	C	3
E	G	2
G	G	1

1. Le routeur A doit transmettre un message au routeur G, en effectuant un nombre minimal de sauts. Déterminer le trajet parcouru.

Réponse:

2. Déterminer une table de routage possible pour le routeur G obtenu à l'aide du protocole RIP.

Destination Routeur suivant Distance

Destination	Routeur suivant	Distance
-------------	-----------------	----------

3. Le routeur C tombe en panne. Reconstruire la table de routage du routeur A en suivant le protocole RIP.

Destination	Routeur suivant	Distance
-------------	-----------------	----------

Protocole OSPF (Open Shortest Path First)

Le protocole précédent a ses limites :

- Il ne garantit pas que les routes choisies soient les meilleures en termes de débit puisque la nature des liens n'est pas prise en compte.
- Il n'est pas adapté aux grands réseaux car il ignore les routes de plus de 15 sauts.
- C'est pour pallier ces défauts que le protocole OSPF a été développé dans les années 90.
- Le protocole OSPF prend compte la bande passante des liaisons pour calculer la meilleure route. Peu importe le nombre de routeurs traversés, la notion de distance est uniquement liée aux coûts des liaisons qu'il faut emprunter pour relier deux routeurs.

Définitions :

- **Bande passante** : quantité d'informations qui peut être transmise par unité de temps. Habituellement, on mesure ce débit en nombre de bits par seconde.
 - Exemples :
 - ADSL : 13 Mbits/s (13 Mégabits par seconde, 13×10^6 bits/s)
 - 4G : 100 Mbits /s (10^8 bits/s)
 - FTTH (Fibre) : 10 Gbits/s (10 Gigabits par seconde, 10×10^9 bits/s)
- **Coût d'une liaison** :
 - Le coût d'une liaison entre deux routeurs est fixé à $\frac{10^8}{d}$ ou d est la bande passante en bits/s de la liaison.
 - La valeur de 10^8 a été choisie pour associer un coût de 1 à une liaison avec un débit de 100 Mbits/s(FastEthernet).

Exercice 6 :

Compléter ce tableau.

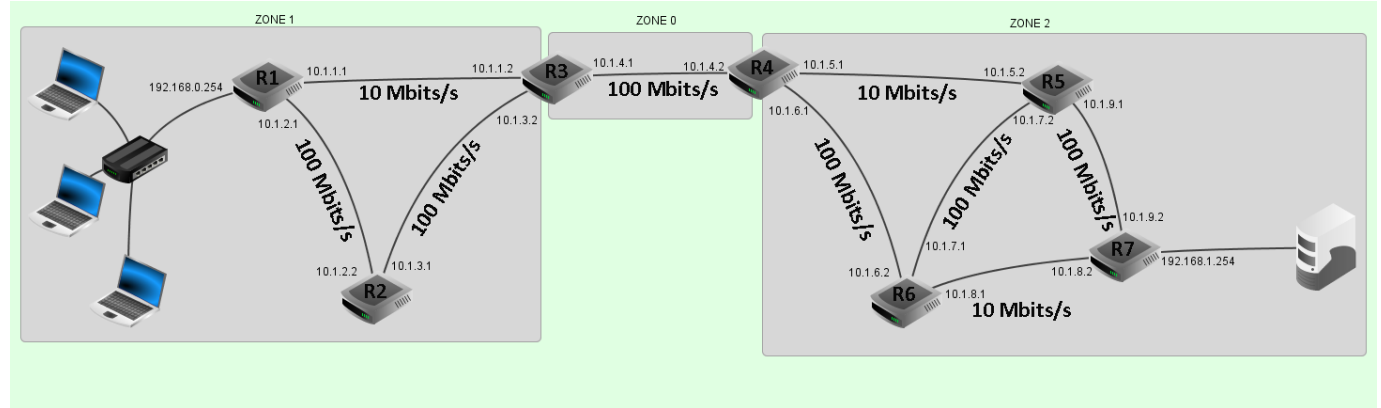
Technologie	Bande passante descendante(download)	Coût
FastEthernet	100 Mbits/s	1
Satellite	50 Mbits/s	
5G	1 Gbits/s	
4G		1
ADSL	13 Mbits/s	
Wi-Fi	11 Mbits/s à 10Gbits/s	
Ethernet		10
Bluetooth	3 Mbits/s	
Modem		1785
FFTH(fibre)	10 Gbits/s	

Principes

- **Découpage en zones** : Dans le protocole OSPF, le réseau est structuré hiérarchiquement en zones.
 - La zone 0, appelée *Backbone* (littéralement épine dorsale) est la zone centrale à laquelle sont connectées toutes les autres zones.
 - Pour être connectée à la *Backbone*, chaque zone dispose d'un routeur particulier qui est le seul à être connecté à deux zones (ils sont appelés *Area Border Router*, ou ABR en abrégé).
- **Découverte de la topologie de la zone** : On appelle cette phase *flooding*.
 - Dans un premier temps, les routeurs d'une même zone vont échanger leurs informations en communiquant en particulier les états des liaisons avec leurs voisins.
 - Après plusieurs échanges, tous les routeurs ont la même vision de la zone.
 - Ce procédé est interne à chaque zone, les messages n'en sortent pas. Ceci permet de réduire la charge de calcul pour les routeurs et le nombre de messages nécessaires pour découvrir la totalité du réseau.
- **Calcul du coût** :
 - Dans un second temps, chaque routeur exécute un algorithme pour calculer les meilleures routes entre lui et n'importe quel autre routeur de la zone.
 - Le coût d'une route est la somme des coûts des liens qui la composent. La meilleure route est celle qui a le coût le plus faible.
- **Echanges inter-zones** :
 - Pour échanger des paquets inter-zones, il faut que les routeurs envoient nécessairement ces paquets vers le routeur ABR situé en bordure de zone.
 - Ce routeur est chargé de ne communiquer que les meilleures routes de sa zone (mais pas l'état des liens) à toutes les autres zones via la zone *Backbone*. Ces informations sont ensuite utilisées par les routeurs internes à chaque zone pour calculer les plus courts chemins de l'ensemble du réseau sans avoir à connaître sa topologie intégrale.

Exercice 7 :

On considère le réseau ci-dessous :



1. Quels sont les routeurs ABR des zones 1 et 2 ?

Réponse :

2. Pour simplifier, on suppose que chaque routeur est identifié par son nom. Au démarrage du protocole, voici la vision de la topologie du réseau par R5, situé dans la zone 2 :

Lien	Sous-réseau	Coût	Zone
R5-R4	10.1.5.0	10	2
R5-R6	10.1.7.0	1	2
R5-R7	10.1.9.0	1	2

Dresser la table du routeur R1 de la zone 1 au démarrage du protocole.

3. Après cette phase d'initialisation, R5 reçoit de ses voisins les informations sur les liaisons existantes entre ses voisins, ici les informations sur la liaison R4-R6 et R6-R7 :

Lien	Sous-réseau	Coût	Zone
R5-R4	10.1.5.0	10	2
R5-R6	10.1.7.0	1	2
R5-R7	10.1.9.0	1	2
R4-R6	10.1.6.0	1	2
R6-R7	10.1.8.0	10	2

Dresser ci-dessous du routeur R1 de la zone 1 après qu'il a reçu les informations des autres liaisons de la zone 1.

4. Puisque R5 a maintenant la topologie complète de la zone dans laquelle il est situé, il peut désormais calculer les plus courts chemins entre lui et tous les autres routeurs de la zone 2.

Voici le résultat obtenu :

Destination	Liaison	Coût
-------------	---------	------

Destination	Liaison	Coût
10.1.6.0	10.1.7.1	2
10.1.7.0		1
10.1.9.0		1
10.1.5.0		10
10.1.8.0	10.1.7.1	11

Dresser la table du routeur R1 de la zone 1 après qu'il a calculé les plus courts chemins de la zone 1.

5. Pour construire une table de routage pour l'ensemble du réseau, le routeur R5 reçoit de R4, qui est le routeur de bordure de zone, les informations sur les plus courts chemins de la zone 1. Ces informations transitent via la zone *backbone*. Cela permet ainsi à R5 de calculer sa table de routage pour l'ensemble du réseau :

Destination	Liaison	Coût
10.1.6.0	10.1.7.1	2
10.1.7.0		1
10.1.9.0		1
10.1.5.0		10
10.1.8.0	10.1.7.1	11
10.1.4.0	10.1.7.1	3
10.1.2.0	10.1.7.1	5
10.1.3.0	10.1.7.1	4
10.1.1.0	10.1.7.1	13

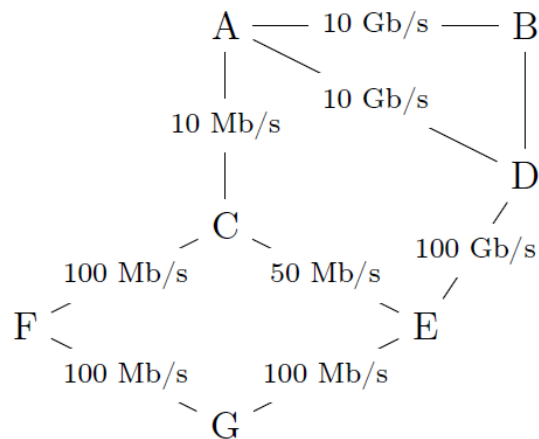
Dresser la table de routage finale ci-dessous du routeur R1 de la zone 1.

Remarques :

- L'algorithme utilisé pour calculer les meilleures routes est issu de la théorie des graphes et a été inventé par le mathématicien Edsger Dijkstra en 1959.
- Cet algorithme fait qu'il ne peut pas y avoir de boucle de routage. La limite du nombre de routeurs traversés n'est plus nécessaire.

Exercice 8 :

On considère le réseau simplifié ci dessous.



1. Vérifier que le coût de la liaison entre les routeurs A et B est 0,01.

Réponse :

2. La liaison entre le routeur B et D a un coût de 5. Quel est le débit de cette liaison ?

Réponse :

3. Le routeur A transmet un message au routeur G. Quelle route est empruntée ? Quel est son coût ?

Réponse :