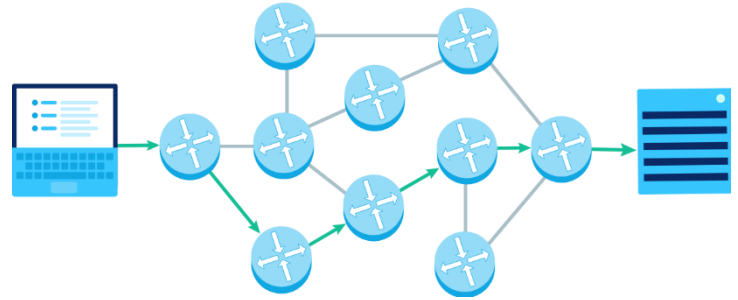


Objectifs :

- ⇒ Remobiliser ses connaissances sur les réseaux
- ⇒ Comprendre la notion de routage
- ⇒ Découvrir les protocoles RIP et OSPF



I - Rappels sur les réseaux IP

1) Désignation d'un réseau

Notation IP/masque ex : 192.168.23.0 / 255.255.255.0

Notation CIDR (Classless InterDomain Routing) ex : 192.168.23.0/24

2) Configuration d'une machine sur le réseau

Pour communiquer avec d'autres machines, une carte réseau doit être configurée au minimum avec son adresse IP et le masque de sous-réseau.

Une machine ne peut accéder directement qu'aux machines de son sous-réseau (pour accéder à d'autres machines, sur d'autres réseaux, elle devra passer par une passerelle).

Le masque lui permet de savoir si une autre adresse est dans le même sous-réseau qu'elle.

Pour savoir si une adresse IP fait partie du sous-réseau, il faut comparer le résultat d'un ET logique entre l'adresse IP et le masque de sous-réseau. Si le résultat de cette opération logique est égal à l'adresse du réseau, alors cette adresse IP est bien dans le sous-réseau. Sinon elle fait partie d'un autre sous-réseau et il faudra la joindre via une passerelle.

Application 1 :

Dans Filius, configurer 2 postes, l'un avec la configuration IP 172.16.1.1/255.255.255.0 et l'autre avec la configuration IP 172.16.1.25/255.255.255.0. Relier directement les deux postes par un câble.



1) Installer l'invite de commande sur un des postes et vérifier qu'on peut joindre l'autre poste avec la commande « ping ».

2) Passer le deuxième poste sur un autre sous-réseau (remplacer son IP 172.16.1.25 par 172.16.2.25 par exemple). Les deux ordinateurs peuvent-ils encore communiquer ?

Remettre son adresse IP originale au deuxième poste, supprimer le câble entre les deux machines (clic-droit sur le câble), puis ajouter 2 ou trois postes à votre réseau en leur choisissant des IP valides.

3) Comment peut-on relier plusieurs ordinateurs d'un même sous-réseau entre eux ? Faire le nécessaire et vérifier que les postes peuvent bien communiquer. En cliquant dessus, visualiser la table du commutateur au début puis après chaque échange entre les machines.

3) Configuration automatique : le DHCP

Configurer les adresses IP de plusieurs centaines ou milliers de postes d'un même sous-réseau peut être long et fastidieux. De plus il faut gérer la répartition des adresses IP en faisant attention à ce que deux machines n'aient jamais la même adresse.

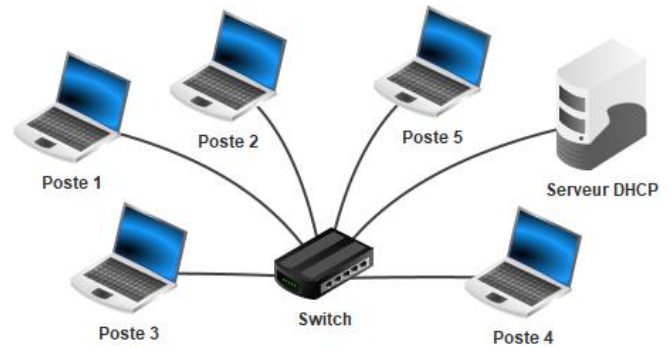
Pour cela on peut utiliser une configuration automatique des adresses IP d'un sous-réseau en installant un serveur DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Il suffira alors de configurer le serveur en lui donnant la plage d'adresses qu'il peut attribuer aux machines du réseau et à indiquer à chaque machine du réseau qu'elle doit

recevoir sa configuration automatiquement via DHCP. Lors de l'activation de la carte réseau, celle-ci va alors joindre le serveur DHCP pour lui demander une configuration IP complète (y compris le masque de sous-réseau).

Application 2 :

Dans Filius, reprendre le réseau précédent et ajouter un serveur DHCP (il s'agit d'un ordinateur pour lequel on aura configuré le service DHCP).

- 1) Configurer le DHCP pour qu'il ait l'adresse 172.16.1.2 et qu'il attribue les adresses entre 172.16.1.3 et 172.16.1.100 avec un masque de sous-réseau de 255.255.255.0.
- 2) Configurer chaque poste pour lui donner un nom unique et qu'il prenne sa configuration IP par DHCP.
- 3) Lancer la simulation et observer les communications au démarrage du réseau. En plaçant son curseur sur une machine on peut voir sa configuration IP. Vérifier que le serveur DHCP a bien configuré les postes correctement et que ceux-ci peuvent bien communiquer entre eux.



4) Relier deux réseaux entre eux

On a vu que des ordinateurs n'appartenant pas au même réseau IP ne pouvaient pas communiquer directement entre eux. Pour relier les réseaux on a besoin de **routeurs** (Router en anglais).

Application 3 :

Dans Filius, reprendre le réseau précédent et créer un deuxième réseau de 3-4 postes un peu plus loin avec l'IP 192.168.18.0/24. Vous pouvez également utiliser un serveur DHCP pour simplifier la configuration des postes.

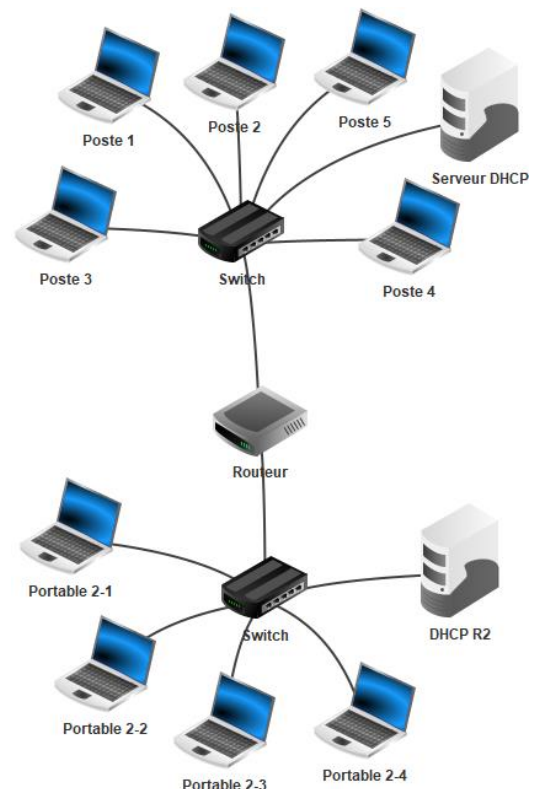
- 1) Relier les deux réseaux par l'intermédiaire d'un routeur et configurer les ports du routeur pour que le port 1 soit connecté au réseau 172.16.1.0/24 avec l'IP 172.16.1.1 et le port 2 sur le deuxième réseau avec l'IP 192.168.18.1. Un poste du premier réseau peut-il joindre un poste du deuxième réseau maintenant ?

Pour que la carte réseau puisse envoyer le paquet à destination de l'autre réseau, il faut qu'elle passe par la **passerelle** vers ce réseau. C'est le routeur qui joue ce rôle et il faut donc indiquer son adresse IP dans la section « passerelle » de la configuration IP de chaque machine du réseau.

- 2) Changer la configuration du serveur DHCP du premier réseau pour qu'il indique 172.16.1.1 comme passerelle. Relancer la simulation et effectuer un ping d'une machine du premier réseau vers le deuxième réseau. Expliquez ce que vous observez.

Le paquet réponse de la commande ping ne peut pas revenir vers l'ordinateur du premier réseau car nous n'avons pas encore défini de passerelle pour le deuxième réseau. Le poste cible du deuxième réseau sait qu'on a cherché à le joindre de l'extérieur, mais il ne peut pas répondre.

- 3) Compléter la configuration du deuxième réseau et vérifier que maintenant tous les ordinateurs des deux réseaux communiquent bien ensemble.



II - Routage des paquets

1) Principe du routage

Si l'hôte de destination se trouve sur le même réseau que l'hôte source, les paquets de données sont acheminés entre les deux hôtes sur le support local de niveau 2 via des commutateurs (« switches ») sans nécessiter la présence d'un routeur. Les commutateurs (« switches ») construisent une table d'adresses MAC des machines IP connectées à eux. Ils se basent sur ces adresses MAC enregistrées pour commuter les trames.

Cependant, si l'hôte de destination et l'hôte source ne se trouvent pas sur le même réseau, le réseau local achemine le paquet de la source vers son routeur de passerelle de niveau 3. Le routeur examine la partie réseau de l'adresse de destination du paquet et achemine le paquet à l'interface appropriée. Si le réseau de destination est connecté directement à ce routeur, le paquet est transféré directement vers cet hôte. Si le réseau de destination n'est pas connecté directement, le paquet est acheminé vers un second routeur qui constitue le routeur de tronçon suivant. Le transfert du paquet devient alors la responsabilité de ce second routeur. De nombreux routeurs ou sauts tout au long du chemin peuvent traiter le paquet avant qu'il n'atteigne sa destination. Contrairement aux commutateurs (« switches »), les routeurs se basent quant à eux sur les adresses IP pour transporter les données.

Aucun paquet ne peut être acheminé sans route. Que le paquet provienne d'un hôte ou qu'il soit acheminé par un routeur intermédiaire, le routeur a besoin d'une route pour savoir où l'acheminer. S'il n'existe aucune route vers un réseau de destination, le paquet ne peut pas être transféré¹. Les routeurs utilisent des tables de routage qui contiennent les routes qu'ils connaissent. Ces tables peuvent être construites manuellement (routage statique) ou automatiquement (routage dynamique). Dans ce cas, les routeurs s'appuient sur des protocoles spécifiques comme le protocole RIP (Routing Information Protocol) ou OSPF (Open Shortest Path First) par exemple.

¹ Dans ce cas le routeur envoie le paquet vers sa *passerelle par défaut*. Le paquet peut alors finalement trouver un chemin quand il rencontrera un routeur connaissant le réseau de destination ou finir par être éliminé par le système s'il reste trop longtemps en circulation.

Exemple de réseau :

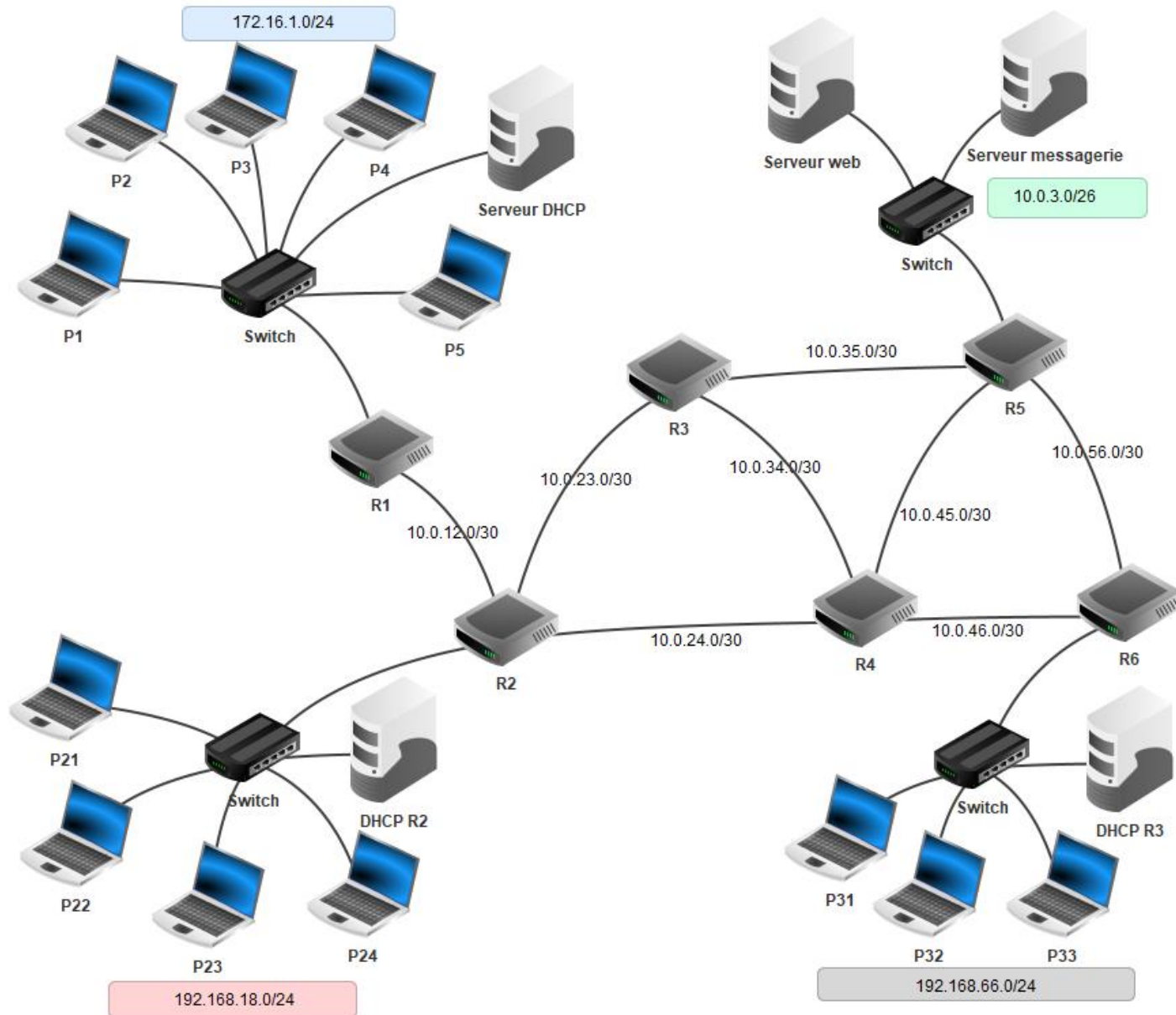


Table de routage de R2 :

Destination	Passerelle	Interface	Métrie

2) Tables de routage

Pour savoir à quel voisin transférer un paquet, le routeur utilise une table de routage. Cette table répertorie tous les réseaux connus par le routeur (une ligne par réseau) et associe à chaque destination une passerelle (l'adresse IP du routeur à qui transférer le paquet pour qu'il arrive à destination), une interface (le nom de la carte réseau ou l'adresse IP de la carte réseau par laquelle passer pour transférer le paquet) et une métrique (distance² entre le routeur et le réseau de destination).

Application 4 :

Remplir la table de routage du routeur R2 du schéma précédent. Dans la colonne « Destination » on écrira les réseaux avec la notation CIDR.

Dans la pratique, les tables de routage contiennent plutôt une colonne « destination » qui contient juste l'IP du réseau et une colonne « masque de sous-réseau » à la place de la notation CIDR.

Ainsi la table du routeur R2 serait :

Destination	Masque	Passerelle	Interface	Métrique
192.168.18.0	255.255.255.0	/	192.168.18.1	1
10.0.12.0	255.255.255.252	/	10.0.12.2	1
10.0.23.0	255.255.255.252	/	10.0.23.1	1
10.0.24.0	255.255.255.252	/	10.0.24.1	1
172.16.1.0	255.255.255.0	10.0.12.1	10.0.12.2	2
10.0.34.0	255.255.255.252	10.0.23.2	10.0.23.1	2
10.0.35.0	255.255.255.252	10.0.23.2	10.0.23.1	2
10.0.45.0	255.255.255.252	10.0.24.2	10.0.24.1	2
10.0.46.0	255.255.255.252	10.0.24.2	10.0.24.1	2
10.0.3.0	255.255.255.192	10.0.23.2	10.0.23.1	3
192.168.66.0	255.255.255.0	10.0.24.2	10.0.24.1	3
10.0.56.0	255.255.255.252	10.0.24.2	10.0.24.1	3

3) Protocoles de routage dynamique

Dans le routage statique, une autorité centrale a la connaissance de la topologie complète du réseau et calcule les tables de routage de chaque routeur qu'il envoie ensuite à chacun. L'avantage est qu'on a un meilleur contrôle sur le réseau, mais si une panne survient sur le gestionnaire du réseau ou le lien qui le relie au réseau, celui-ci se trouve dans l'incapacité de réagir en cas de modification dans le réseau (panne d'une liaison, ajout d'un routeur, ...). Les changements, même minimes peuvent alors grandement perturber le réseau.

Dans les protocoles de routage dynamique, la gestion du routage est décentralisée : aucun routeur ne joue de rôle particulier (et il n'y a pas d'autorité supérieure gérant le système) et chaque routeur, à son niveau, constitue sa propre table de routage à partir des informations qu'il va récupérer de ses voisins.

La mise à jour des tables de routage se fait de manière régulière, ce qui permet aux routeurs de s'adapter automatiquement à des changements dans le réseau.

Il existe plusieurs façons de constituer la table de routage. Nous verrons plus particulièrement deux protocoles explicitement au programme de NSI : RIP et OSPF.

a. Le protocole RIP

• Principe

Dans le protocole RIP, les routeurs vont envoyer périodiquement (toutes les 30 secondes par défaut) l'intégralité de leur table de routage à leurs voisins immédiats. Le routeur va alors modifier sa propre table de routage en examinant la table de son voisin :

- ⇒ Il découvre une route vers un nouveau réseau inconnu : il l'ajoute à sa table.
- ⇒ Il découvre une route vers un réseau connu, plus courte que celle qu'il possède dans sa table : il actualise sa table en remplaçant l'ancienne route par celle-ci.
- ⇒ Il découvre une route vers un réseau connu, plus longue que celle qu'il possède dans sa table et provenant d'un autre routeur : il ignore cette route.
- ⇒ Il reçoit une route vers un réseau connu en provenance du même routeur déjà existant dans sa table : il met à jour sa table en mettant la nouvelle valeur (plus grande) pour la distance car la topologie du réseau a été modifiée.

² Cette distance peut être mesurée de différentes façon suivant les protocoles. Il ne s'agit en aucune façon de la distance physique (en mètres) entre les routeurs.

En cas d'égalité de longueur de chemin pour une même destination, le routeur choisit "au hasard" ou en fonction d'un critère quelconque (« le nom du routeur », « la plus petite adresse ip »...).

Le protocole RIP met en œuvre un routage à vecteur de distance. Dans ce type de routage, le critère qui permet de choisir le chemin "le plus court" pour le paquet de données est le nombre de "sauts".

Ainsi le chemin P21 → R2 → R4 → R6 → P33 (4 sauts) sera choisi face au chemin P21 → R2 → R3 → R5 → R6 → P33 (5 sauts)

Ce critère a l'avantage d'être simple mais ne prend pas en compte la qualité des liaisons entre les routeurs. Par exemple si la liaison R4 → R6 est de très mauvaise qualité ou souvent encombrée par d'autres données, il peut être judicieux de choisir le chemin à 5 sauts.

Le protocole RIP choisit toujours le nombre de sauts le plus petit. On dit que c'est un **protocole à vecteur de distance**. Dans un protocole à vecteur de distance, le critère qui permet de choisir le plus court chemin est le nombre de liaisons traversées (le nombre de sauts), on minimise donc le nombre routeurs traversés. Il ne tient pas compte de l'état des liaisons entre les nœuds du réseau.

Voir activité « Le jeu du RIP »

- Mesures en cas de défaillances

Si un routeur devient injoignable (liaison défectueuse, routeur éteint ou en panne, ...), ses voisins s'en rendent rapidement compte car celui-ci ne leur envoie plus ses tables de routage. Chaque routeur voisin va alors modifier sa table de routage et mettre à 16 la distance pour tous les réseaux dont ce routeur est la passerelle. Cette valeur particulière signifie « infini » ou « injoignable » pour le protocole RIP.

La panne de la liaison va ainsi de proche en proche être diffusée au reste du réseau et de nouvelles routes (éventuellement plus longues, mais n'empruntant pas cette liaison) vont peu à peu remplacer les routes passant par la liaison défectueuse dans les tables de routage des routeurs du réseau.

Il se peut également que des « boucles » se créent dans le réseau, notamment lorsqu'un réseau devient complètement inaccessible (ce sera le cas du réseau 192.168.66.0/24 si R6 est en panne, les paquets en provenance de R1 pourraient faire la boucle R3 → R4 → R5 indéfiniment. Pour éviter cela, les paquets contiennent une valeur TTL (**T**ime **T**o **L**ive) qui est un nombre de 1 à 255 (fixée généralement à 64 à la création du paquet.

Ce nombre est décrémenté de 1 par chaque routeur traversé et lorsqu'il atteint 0, le paquet est détruit (non transmis).

- Conclusion

Le protocole RIP :

- ✓ est réservé aux « petits » réseaux (moins de 15 sauts pour transférer un paquet, 16 étant l'infini)
- ✓ inclut la gestion des pannes et sait détecter les boucles dans le routage
- ✓ a un « temps de convergence » (temps pour que les tables de routage se stabilisent) proportionnel à la taille du réseau et qui peut être assez important (raison également pour laquelle il est limité aux petits réseaux)
- ✓ échange beaucoup d'information (table de routage complète) entre les routeurs, mais pas souvent. L'impact de ce trafic sur le réseau est donc moyen.

b. Le protocole OSPF

- Principe

OSPF est un **protocole à état de liens**, c'est-à-dire qu'il se base sur la qualité des liaisons entre routeurs pour déterminer la meilleure route pour les paquets.

Contrairement à RIP, dans ce protocole chaque routeur va échanger avec ses voisins pour obtenir une cartographie complète du réseau et déterminer ensuite le meilleur chemin à inscrire dans sa table de routage pour joindre chaque réseau.

Chaque routeur va déterminer la liste de ses voisins et la qualité du lien avec chacun.

Pour OSPF, la qualité est liée au débit de la connexion qui permet de déterminer le « coût » de la liaison :

$$\text{Coût} = \frac{10^8}{\text{Débit en bits/s}}$$

C'est ce « coût » qui est inscrit dans la colonne « métrique » de la table de routage.

Coût des liaisons

Type	Débit	Coût
Modem 56k	56000	1786
Série	115200	868
Ethernet	10M	10
ADSL	20M	5
Fast Ethernet	100M	1
Gigabit	1G	0,1
10GBE	10G	0,01

La découverte des voisins et de l'état des liens par de petits messages (appelés « messages "Hello" »), puis chaque routeur envoie à tous routeurs du réseau la liste de ses voisins ainsi que l'état des liaisons.

- Détermination du plus court chemin

Une fois que chaque routeur a récupéré la cartographie complète du réseau, il calcule les routes entre lui et chaque routeur en utilisant l'**algorithme de Dijkstra** pour obtenir les routes les moins coûteuses³ et sans cycle. Chaque routeur est donc autonome dans le calcul et la gestion de sa table de routage.

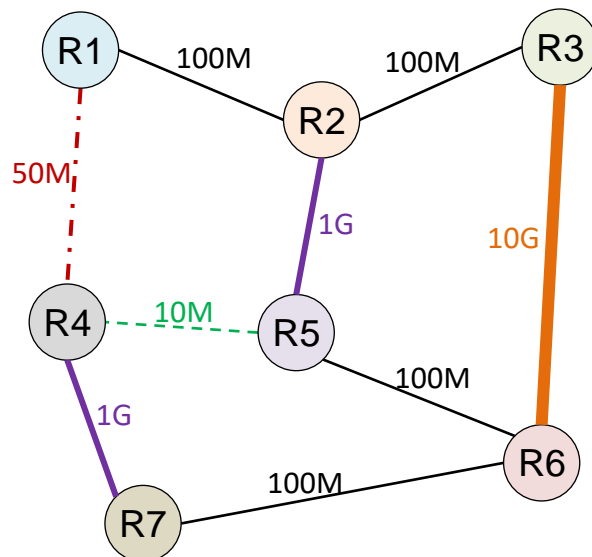
E.W. Dijkstra (1930-2002) a proposé en 1959 un algorithme qui permet de déterminer le plus court chemin entre deux sommets d'un graphe connexe pondéré (orienté ou non) dont le poids lié aux arêtes est positif ou nul.

Voir le diaporama « Algorithme de Dijkstra ».

Application 5 :

On considère le réseau représenté ci-contre.

- 1) A côté de chaque lien, écrire le coût de la liaison tel qu'il est défini par OSPF.
- 2) En utilisant l'algorithme de Dijkstra, déterminer la meilleure route pour chaque nœud (R2 à R7) du réseau en partant de R1.
- 3) En déduire la table de routage du routeur R1.



- Conclusion

Le protocole OSPF :

- ✓ n'a pas de limite de taille comme RIP. Pour pouvoir gérer des réseaux plus grands (qui demanderaient beaucoup trop d'échange de données et de puissance de calculs pour que les routeurs calculent toutes les routes), il peut segmenter le réseau en plusieurs aires.
- ✓ inclut la gestion des pannes et évite les boucles dans le routage (des messages de mises à jour circulent et chaque routeur refait ses calculs et met à jour sa table en conséquence).
- ✓ possède un temps de convergence court.
- ✓ échange peu d'information (uniquement les voisins et le coût des liaisons) entre les routeurs, mais avec tous les routeurs (et pas que les voisins, mais une seule fois). L'impact de ce trafic sur le réseau est modéré.
- ✓ Nécessite des routeurs plus puissants (quantité mémoire & puissance de calcul) que RIP.

Références :

Cours sur le routage (NSI) : <https://dlatreyte.github.io/terminales-nsi/chap-11/5-routage/>

Le CIDR : <https://www.ionos.fr/digitalguide/serveur/know-how/cidr/>

RIP : <https://www.fingerinthenet.com/rip/> ; <https://www.youtube.com/watch?v=kzablGaqUXM>

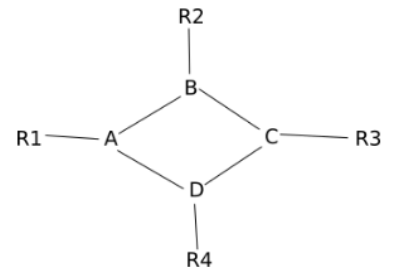
OSPF : <https://www.it-connect.fr/chapitres/routage-dynamique-et-caracteristiques-de-lospf/> ; <https://www.youtube.com/watch?v=utHPKREZV8>

Algorithme de Dijkstra : <http://jybaudot.fr/Optimisations/dijkstra.html> et <http://formations.telecom-bretagne.eu/pyrat/?p=138> ou en vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=MybdP4kice4>

³ Pour obtenir la métrique d'une route, il suffit d'additionner les coûts de chaque liaison.

Exercice 1 : RIP ou OSPF ?

Le réseau schématisé ci-contre est constitué de 4 réseaux locaux (switch + ordinateurs) : R1, R2, R3 et R4, et de 4 routeurs A, B, C et D.



On donne les débits (bandes passantes) de la connexion entre chaque routeur :
 $A \leftrightarrow B$: 100 Mbps ; $A \leftrightarrow D$: 1000 Mbps ; $B \leftrightarrow C$: 10 Mbps ; $C \leftrightarrow D$: 10 Mbps

On propose ci-dessous une table de routage pour le routeur A :

Destination	Interface	Métrieque RIP	Métrieque OSPF
R1	eth0		
B	eth1		
D	eth2		
R2	B		
R2	D		
R3	B		
R3	D		
R4	D		
R4	B		

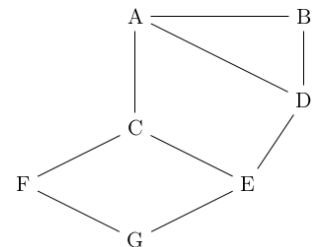
- 1) Complétez la colonne "métrieque RIP" du tableau ci-dessus.
- 2) Complétez la colonne "métrieque OSPF" du tableau ci-dessus.
- 3) Un ordinateur appartenant au réseau local R1 envoie un paquet de données à un ordinateur appartenant au réseau local R2.
 - a) Donnez le chemin suivi par ce paquet de données si le routeur A utilise le protocole de routage RIP. Justifiez votre réponse.
 - b) Donnez le chemin suivi par ce paquet de données si le routeur A utilise le protocole de routage OSPF. Justifiez votre réponse.
- 4) Le routeur D est en panne. Un ordinateur appartenant au réseau local R1 envoie un paquet de données à un ordinateur appartenant au réseau local R3. Donnez le chemin suivi par ce paquet de données si le routeur A utilise le protocole de routage OSPF. Justifiez votre réponse.
- 5) La liaison entre 2 routeurs a un coût de 0,2, calculez le débit de cette liaison en bps puis en Mbps.

Exercice 2 : Sujet 0 du bac NSI

On considère un réseau composé de plusieurs routeurs reliés de la façon suivante :

Le protocole RIP

Le protocole RIP permet de construire les tables de routage des différents routeurs, en indiquant pour chaque routeur la distance, en nombre de sauts, qui le sépare d'un autre routeur. Pour le réseau ci-dessus, on dispose des tables de routage ci-après :



1) Routage des paquets

- a) Le routeur A doit transmettre un message au routeur G, en effectuant un nombre minimal de sauts. Déterminer le trajet parcouru.
- b) Déterminer une table de routage possible pour le routeur G obtenu à l'aide du protocole RIP.

Destination	Routeur suivant	Distance
B	B	1
C	C	1
D	D	1
E	C	2
F	C	2
G	C	3

Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
C	A	2
D	D	1
E	D	2
F	A	3
G	D	3

Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
B	A	2
D	E	2
E	E	1
F	F	1
G	F	2

Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
B	B	1
C	E	2
E	E	1
F	A	3
G	E	2

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

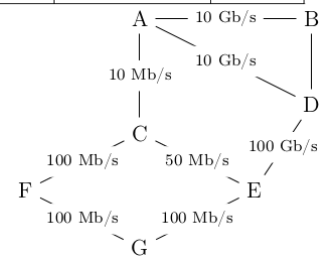
Le protocole OSPF

Contrairement au protocole RIP, l'objectif n'est plus de minimiser le nombre de routeurs traversés par un paquet. La notion de distance utilisée dans le protocole OSPF est uniquement liée aux coûts des liaisons. L'objectif est alors de minimiser la somme des coûts des liaisons traversées.

On a rajouté sur le graphe représentant le réseau précédent les différents débits des liaisons. On rappelle que 1 Gb/s = 1 000 Mb/s = 10⁹ bits/s.

3) Coût des liaisons

- a) Vérifier que le coût de la liaison entre les routeurs A et B est 0,01.
 - b) La liaison entre le routeur B et D a un coût de 5. Quel est le débit de cette liaison ?
- 4) Le routeur A doit transmettre un message au routeur G, en empruntant le chemin dont la somme des coûts sera la plus petite possible. Déterminer le chemin parcouru. On indiquera le raisonnement utilisé.



Exercice 3 : Algorithme de Dijkstra

Dans le graphe orienté ci-dessous valué par des longueurs d'arcs, utiliser l'algorithme de Dijkstra pour déterminer une arborescence de plus courts chemins depuis le sommet a jusqu'à tous les autres sommets. On pourra utiliser un tableau pour indiquer les valeurs initiales des champs coût (ou distance) et père (ou antécédent) puis, pour chaque étape, les actualisations de ces valeurs effectuées par l'algorithme ; on indiquera aussi au début de chaque ligne les pivots (sommet examinés) successifs.

On surlignera les arcs d'une arborescence de plus courts chemins.

