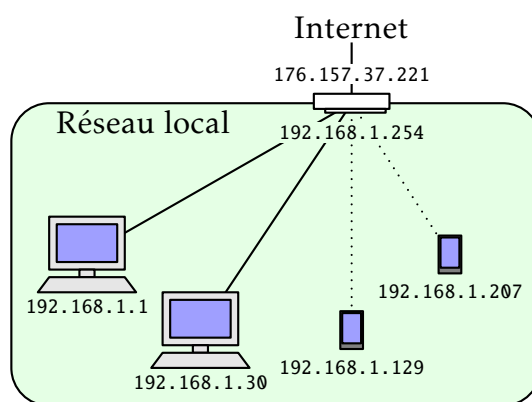


Routage sur un réseau

Réseau local

Internet est un réseau de réseaux. Il permet de relier entre eux des millions de réseaux locaux. Par exemple, le réseau formé chez vous entre votre box Internet et vos appareils est un **réseau local**. Les ordinateurs du lycée forment aussi un réseau local. Un réseau local est relié à Internet par l'intermédiaire d'un **routeur**.

La figure ci-contre montre un réseau local composé de 2 ordinateurs branchés en ethernet et deux smartphones connectés en Wi-Fi.



Rappel sur les adresses IP

Un adresse IPv4 est composée de 4 octets, donc 32 bits, souvent représentés par 4 entiers entre 0 et 255 séparés par des points.

Chaque machine possède une adresse unique dans son réseau local. Mais il n'y a pas assez d'adresses pour tous les appareils connectés à Internet. C'est pour cela qu'il y a deux types d'adresses IP : les adresses locales (192.168.1.X sur le schéma) et les adresses publiques (176.157.37.221). L'adresse publique permet d'identifier le réseau local sur Internet. Du point de vue de l'extérieur, toutes les machines du même réseau ont la même adresse.

On peut remarquer que les machines du réseau local ont toutes des adresses qui commencent de la même manière. Chaque réseau est défini par une adresse (192.168.1.0 dans l'exemple) et un masque de réseau indiquant les bits qui peuvent être modifiés. Pour le cas d'un réseau local, en général, ce masque est 255.255.255.0, signifiant que seul le dernier octet peut être modifié. On écrit aussi 192.168.1.0/24 pour dire que les 24 premiers bits ne doivent pas changer. Aucune machine ne peut avoir cette adresse.

La dernière adresse du réseau, 192.168.1.255 dans l'exemple, est l'**adresse de broadcast**, sert à envoyer un message à toutes les machines. Elle ne peut pas être attribuée.

Le routeur d'accès

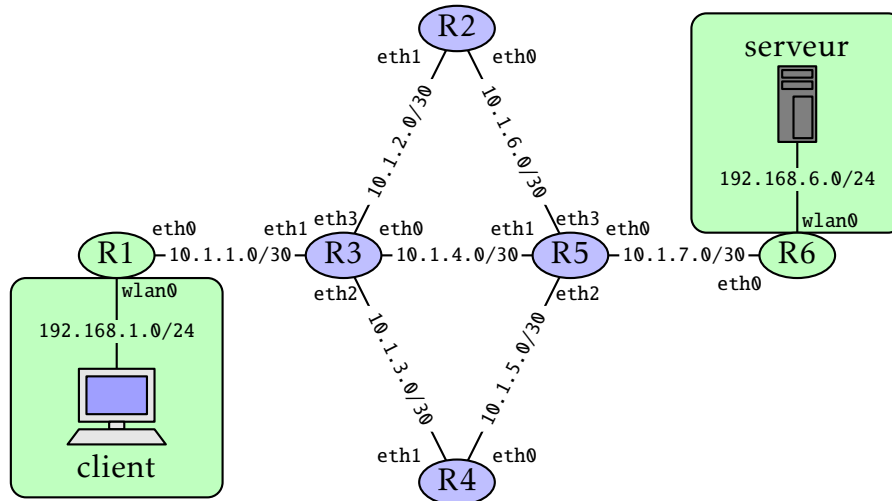
Les routeurs servent à connecter des réseaux entre eux. Pour cela, chaque routeur possède plusieurs **interfaces** (eth0, eth1... pour les ports ethernet et wlan0 pour un réseau Wi-Fi) correspondant chacune à un réseau différent. Ainsi, votre box fait le lien entre Internet, le réseau local filaire et le réseau Wi-Fi. Ces deux derniers forment le réseau local. Dans ce cas particulier, on dit que c'est un **routeur d'accès**.

Le routeur reçoit les messages des ordinateurs sur les différentes interfaces et les dirige vers l'interface adaptée. C'est ce que l'on appelle le **routing**. À l'intérieur du réseau local, cela ne pose pas de problème puisque le nombre d'appareils est relativement faible. Le routeur associe chaque adresse IP à son adresse MAC et envoie donc le message vers la bonne machine. S'il y a beaucoup de machines, des **switchs** peuvent prendre le relai, mais le routage reste simple puisque l'architecture du réseau reste proche d'une arborescence.

Si le message vient du réseau local pour aller vers Internet, dans ce cas, le routeur change l'adresse IP locale par l'adresse publique afin que le paquet puisse revenir. Cette adresse publique sert à identifier ce réseau local sur Internet. Lorsque la réponse revient, le routeur utilise le port indiqué pour retrouver la bonne machine sur le réseau local.

Les routeurs internes

Les réseaux locaux ne sont pas directement reliés les uns aux autres. Ils sont connectés par toute une infrastructure de **routeurs internes** qui transfèrent les messages jusqu'à ce qu'ils atteignent leur destination. L'architecture formée par les réseaux de routeurs est plus complexe que celle des réseaux locaux et le routage est plus complexe. Le schéma ci-dessous correspond à une partie du réseau d'une entreprise.



Tables de routage

Afin de savoir vers quelle interface transmettre les paquets, les routeurs utilisent des **tables de routage**. Ces tables contiennent plusieurs colonnes parmi lesquelles on retrouve essentiellement **la destination** (le réseau dans lequel se trouve l'adresse voulue) et **la passerelle** (le routeur par lequel passer) et l'interface à utiliser.

Table de routage de R1

destination	passerelle	interface
10.1.1.0/30		eth0
192.168.1.0/24		wlan0
10.1.2.0/30	10.1.1.2	eth0
10.1.3.0/30	10.1.1.2	eth0
10.1.4.0/30	10.1.1.2	eth0
10.1.7.0/30	10.1.1.2	eth0
192.168.6.0/24	10.1.1.2	eth0

Table de routage de R3

destination	passerelle	interface
10.1.1.0/30		
10.1.2.0/30		
10.1.3.0/30		
10.1.4.0/30		
10.1.7.0/30		
192.168.1.0/24		
192.168.6.0/24		

La passerelle vide veut dire que le routeur est déjà connecté à ce réseau. On peut aussi mettre 0.0.0.0. Lorsqu'un routeur reçoit un paquet, il regarde l'adresse de destination et l'envoie sur la route correspondant le plus à cette adresse. Ainsi, si R1 doit envoyer un message vers 192.168.6.2, qui est une adresse du réseau local connecté à R6, il l'enverra à R3 qui lui aussi l'enverra à un autre routeur, jusqu'à arriver au routeur d'accès concerné.

EXERCICE 1 : Compléter la table de routage de R3. On pourra indiquer le nom des routeurs pour la colonne **passerelle**.

Le problème, c'est que les routeurs peuvent tomber en panne ou être surchargés de paquets. Ainsi, les routes à emprunter doivent évoluer avec le temps. Afin de permettre aux tables de routage d'évoluer de façon dynamique, on utilise des **protocoles de routage** qui permettent de reconstruire ou de modifier les tables de routage en temps réel.

Protocole RIP

Le **protocole RIP** (*Routing Information Protocol*) repose sur l'algorithme de Bellman-Ford. Afin de déterminer la meilleure route possible, cet algorithme cherche le chemin passant par le moins de routeurs possibles. Les routeurs voisins sont à distance 1. Deux routeurs séparés par un troisième sont à distance 2, et ainsi de suite.

Pour établir ces tables, les routeurs commencent par n'indiquer que les sous-réseaux auxquels ils sont reliés. Pour simplifier, on n'indiquera que le nom des routeurs pour les passerelles. On obtient les tables suivantes pour R1 et R3 :

Table de R1

dest.	pass.	dist.
10.1.1.0/30		0
192.168.1.0/24		0

Table de R3

dest.	pass.	dist.
10.1.1.0/30		0
10.1.2.0/30		0
10.1.3.0/30		0
10.1.4.0/30		0

Ensuite, chaque routeur envoie toutes les 30 s à ses voisins des **vecteurs de distance** contenant les couples (adresse, distance). Lorsqu'un routeur reçoit les vecteurs de ses voisins, il y a 4 possibilités :

- Il découvre une nouvelle route vers un sous-réseau inconnu. Il l'inscrit dans sa table.
- Il découvre une nouvelle route plus courte vers un sous-réseau connu passant par un autre routeur. Il remplace l'ancienne route par celle-ci.
- Il reçoit une nouvelle route plus longue passant par un autre routeur. Il l'ignore.
- Il reçoit une route plus longue mais passant par le même routeur. C'est qu'il y a un problème dans le reste de la route et il la met donc à jour.

Après que R1 et R3 aient reçu les tables de leurs voisins (en enlevant les réseaux directement liés), on obtient ces tables :

Table de R1

dest.	pass.	dist.
10.1.2.0/30	R3	1
10.1.3.0/30	R3	1
10.1.4.0/30	R3	1

Table de R3

dest.	pass.	dist.
192.168.1.0/24	R1	1
10.1.5.0/30	R5	1
10.1.6.0/30	R2	1
10.1.7.0/30	R5	1

EXERCICE 2 : Compléter les tables de R1 et R2 obtenues à la fin de l'échange des vecteurs de distance.

Table de R1

dest.	pass.	dist.
10.1.1.0/30		0
192.168.1.0/24		0
10.1.2.0/30	R3	1
10.1.3.0/30	R3	1
10.1.4.0/30	R3	1
10.1.5.0/30		
10.1.6.0/30		
10.1.7.0/30		
192.168.6.0/24		

Table de R2

dest.	pass.	dist.
10.1.1.0/30		
10.1.2.0/30		
10.1.3.0/30		
10.1.4.0/30		
10.1.5.0/30		
10.1.6.0/30		
10.1.7.0/30		
192.168.1.0/24		
192.168.6.0/24		

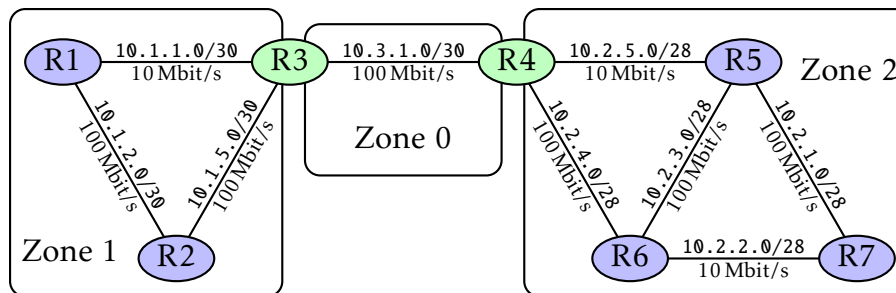
Ce protocole a l'avantage de converger assez vite. En effet, une distance de 16 est considérée comme "infinie". Ainsi, un routeur à distance 16 est considéré comme inaccessible. Il ne peut pas y avoir de distances plus grandes. Ce protocole est donc limité à des infrastructures de taille limitée.

Le fonctionnement du protocole RIP permet de détecter les pannes sur le réseau. Lorsqu'un routeur n'a pas de nouvelle d'un de ses voisins au bout de 180 s, il met à 16 sa distance. Ainsi, il est considéré comme inaccessible.

Le protocole intègre aussi un système pour éviter les boucles de routage, où un message tourne en rond entre plusieurs routeurs sans jamais atteindre sa destination.

Protocole OSPF

Le **protocole OSPF** (*Open Shortest Path First*) présente plusieurs avantages sur RIP. Il permet de gérer de plus grandes infrastructures et il prend également en compte la qualité des connexions. En effet, tous les câbles n'ont pas le même débit et il est parfois préférable de passer par plus de routeurs qui ont tous une excellente connexion plutôt que par un seul en utilisant une liaison de faible débit.



Tout d'abord, l'infrastructure est découpée en plusieurs zones, chacune n'étant connectée qu'à la zone 0, appelée **backbone**. Les routeurs faisant le lien entre ces zones s'appellent des **ABR** (*Area Border Router*). Le protocole OSPF permet de faire le routage au sein de chaque zone. Il repose sur l'algorithme de Dijkstra. Chaque routeur envoie aux autres de la zone les routeurs auxquels il est connecté, avec le débit de la connexion dans des messages appelés LSA. Chacun peut alors utiliser l'algorithme pour déterminer la passerelle à utiliser pour obtenir le chemin de coût minimal pour chacune des destinations.

Le coût d'une connexion est calculée avec $10^8/d$, où d est le débit de la liaison. Ainsi, le coût de la liaison R4–R5 est de $10^8/(10 \times 10^6) = 10$, alors que celle de la liaison R4–R6 est de $10^8/(100 \times 10^6) = 1$.

Les communications entre les routeurs de la zone 2 leur permettent d'établir la topologie du réseau dans cette zone. La table ci-contre correspond au réseau vu par R5. Le coût d'un chemin est la somme des coûts de chaque liaison. Ainsi, le coût de R4–R5–R7 est de $10 + 1 = 11$. Le chemin de coût minimal entre R4 et R7 est en fait R4–R6–R5–R7, qui a un coût de 3.

lien	sous-réseau	coût
R5–R4	10.2.5.0/28	10
R5–R6	10.2.3.0/28	1
R5–R7	10.2.1.0/28	1
R4–R6	10.2.4.0/28	1
R6–R7	10.2.2.0/28	10

Table de R5

destination	pass.	coût
10.2.1.0/28		1
10.2.3.0/28		1
10.2.5.0/28		1
10.2.4.0/28	R6	2
10.2.2.0/28	R7	2

Au final, on obtient la table de routage ci-contre pour R5. Les réseaux auxquels il est connecté ont un coût de 1. Dans le cas d'un réseau contenant des connexions avec des débits supérieurs à 100 Mbits/s, on pourra modifier la formule de calcul de coût par $10^9/d$. Les ABR transmettent leurs tables aux routeurs des zones auxquelles ils sont connectés pour pouvoir enrichir les tables de routage.

EXERCICE 3 :

- 1) Déterminer le coût du chemin R1–R3–R4–R5–R7.
- 2) Déterminer le chemin de coût minimal permettant d'aller de R1 à R7.
- 3) La liaison entre R5 et R7 est coupée. Quel est alors de chemin de coût minimal pour aller de R1 à R7.