

Chapitre **1**

Routage

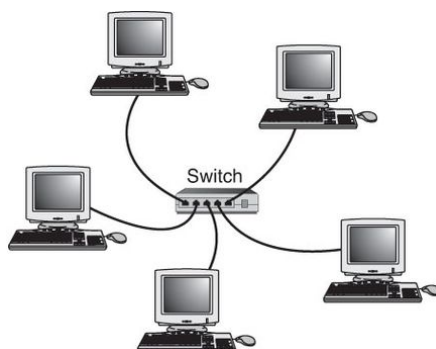


1.1 Quelques rappels

Sur un réseau, la communication entre machines (ordinateurs, smartphones, imprimantes...) se fait en suivant certaines règles, appelées **protocoles**.

Protocole Ethernet et commutateurs

Quelle que soit sa nature, toute machine possède une adresse appelée **adresse MAC** qui l'identifie de manière unique sur le réseau auquel elle appartient. Grâce à ces adresses et au **protocole Ethernet**, les machines d'un même réseau peuvent communiquer entre elles, via un **commutateur** (ou *switch*) dont le rôle est d'aiguiller les différentes **trames** envoyées par une machine vers le bon destinataire.



Protocole IP et routeurs

Pour faire communiquer plusieurs réseaux entre eux, il faut les identifier de façon unique. C'est le rôle du **protocole IP**. Avec ce protocole, chaque réseau dispose d'une adresse propre, l'**adresse IP**, et chaque machine de ce réseau se voit également affectée d'une adresse IP, liée à celle du réseau par le **masque de sous-réseau**.

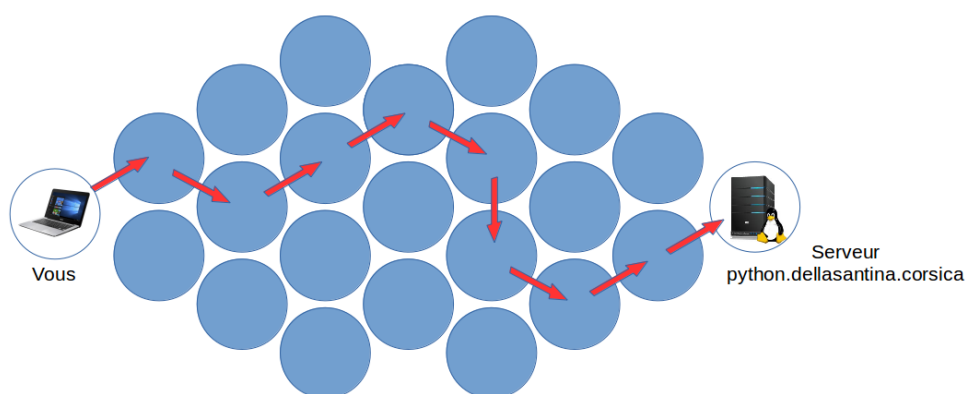
Par exemple, l'adresse IPv4 *202.52.27.21/24* se décompose en deux parties, réseau et machine :

202 11001010	52 00110100	27 00011011	21 00010101
<i>Réseau</i>			<i>Machine</i>

Cette séparation est déterminée par le masque de sous-réseau, noté ici */24*, et signifiant que les 24 premiers bits de l'adresse IP *202.52.27.21* désignent la partie réseau. Le masque est ici donné en *notation CIDR*, et peut encore s'écrire *255.255.255.0*.

☞ Pour plus de détails, on pourra se référer au cours de l'ère : http://nsi.dellasantina.corsica/fichiers/1%C3%A8re/04.Architecture%20et%20R%C3%A9seaux/04.communication_reseau.pdf

La transmission de données inter-réseaux est assurée par les **routeurs**, qui sont en quelque sorte l'analogue des commutateurs pour le protocole IP. Ce sont les routeurs qui distribuent de manière efficace les **paquets** échangés entre deux réseaux.



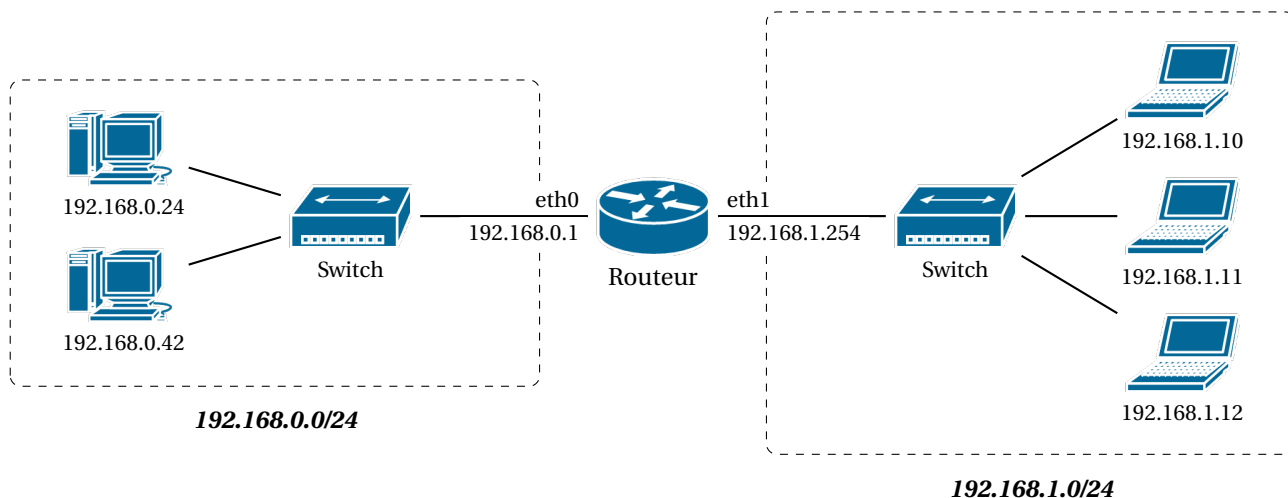
Le lien entre deux réseaux est rarement direct, et les données envoyées par une machine vers une machine extérieure à son réseau empruntent alors un chemin à travers une multitude de réseaux intermédiaires. Ce chemin n'est pas unique, et peut changer selon « l'encombrement » des réseaux intermédiaires.

La question qui surgit alors est la suivante :

Comment déterminer le (meilleur) chemin entre deux réseaux ?

1.2 Tables de routage

Exemple 1 : un cas très simple



Le réseau ci-dessus se compose de deux sous-réseaux :

- Le réseau *192.168.0.0*, composé de deux machines
- Le réseau *192.168.1.0*, composé de trois machines

Le masque de sous-réseau étant /24 en notation CIDR, on en déduit que seuls les 8 derniers bits de l'adresse IPV4, autrement dit le dernier nombre inscrit sous chaque machine, servent à identifier une machine dans le réseau.

Quant au routeur, **il appartient aux deux réseaux**. Il dispose en effet de deux **interfaces**, une pour chaque réseau, et possède ainsi **deux adresses IP** :

- *192.168.0.1* pour le réseau *192.168.0.0/24*, associée à l'interface *eth0*
- *192.168.1.254* pour le réseau *192.168.1.0/24*, associée à l'interface *eth1*

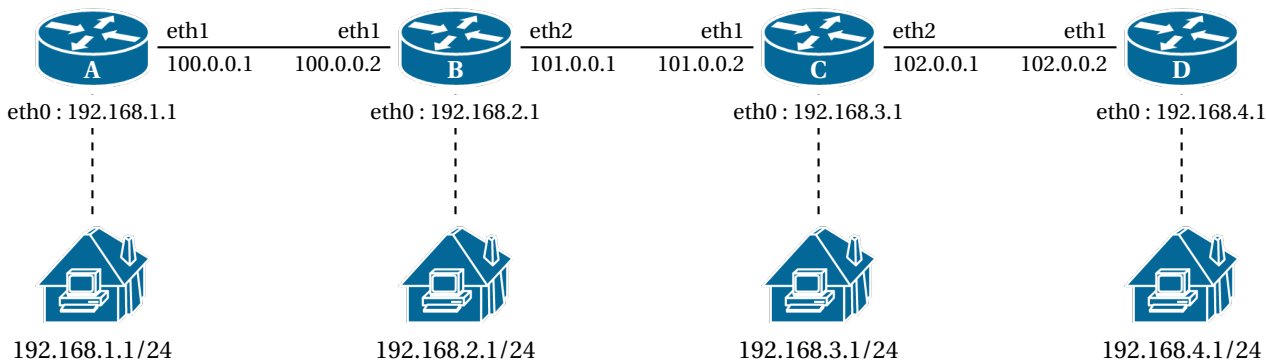
Dans cet exemple simple, le routeur ne dispose que de deux interfaces, car il relie seulement deux réseaux. Mais en pratique, un routeur peut avoir beaucoup plus d'interfaces.

Chaque routeur dispose également d'une **table de routage**. Une table de routage est une liste contenant essentiellement trois types d'informations : des adresses réseau avec le masque réseau associé et le moyen de les atteindre. Soit le réseau est directement connecté au routeur, dans ce cas le moyen de l'atteindre est le nom de l'interface, soit il s'agit de l'adresse du prochain routeur situé sur la route vers ce réseau.

Dans notre cas, la table de routage est simple, puisqu'il n'existe que 2 réseaux, auxquels appartient le routeur :

Destination	Masque	Interface
192.168.0.0	255.255.255.0	eth0
192.168.1.0	255.255.255.0	eth1

Exemple 2 : un réseau linéaire



Ce réseau fait intervenir 4 routeurs, répartis de façon linéaire, disposant chacun de 2 ou 3 interfaces. Les switches et les machines d'un même réseau sont représentés par le même symbole :



Question 01 Citer tous les réseaux qui apparaissent dans le diagramme ci-dessus.

Considérons le routeur *A* : il est directement connecté aux réseaux 192.168.1.0 et 100.0.0.0. Sa table de routage contient donc les lignes suivantes :

Destination	Masque	Interface
192.168.1.0	255.255.255.0	eth0
100.0.0.0	255.0.0.0	eth1
...		

Mais la table de routage doit également contenir les autres réseaux auxquels le routeur *A* peut accéder, même indirectement. Tous ces réseaux sont accessibles via le routeur *B*, en passant par l'interface *eth1*. La table de routage complète de *A* est :

Destination	Masque	Interface
192.168.1.0	255.255.255.0	eth0
100.0.0.0	255.0.0.0	eth1
101.0.0.0	255.0.0.0	eth1
102.0.0.0	255.0.0.0	eth1
192.168.2.0	255.255.255.0	eth1
192.168.3.0	255.255.255.0	eth1
192.168.4.0	255.255.255.0	eth1

En général, on précise également la **passerelle** utilisée pour chaque ligne de la table de routage. La passerelle est l'**adresse IP du routeur suivant**, c'est à dire l'adresse IP du routeur permettant d'atteindre un réseau donné.

Destination	Passerelle	Masque	Interface
192.168.1.0	192.168.1.1	255.255.255.0	eth0
100.0.0.0	100.0.0.1	255.0.0.0	eth1
101.0.0.0	100.0.0.2	255.0.0.0	eth1
102.0.0.0	100.0.0.2	255.0.0.0	eth1
192.168.2.0	100.0.0.2	255.255.255.0	eth1
192.168.3.0	100.0.0.2	255.255.255.0	eth1
192.168.4.0	100.0.0.2	255.255.255.0	eth1

▷ Et si le routeur doit contacter un réseau qui n'est pas inscrit dans sa table de routage ?

Dans ce cas, le routeur ne pourra pas contacter ce réseau, tout simplement.

Pour pallier à ce problème, on peut définir une **adresse par défaut** ou **passerelle par défaut** dans la table de routage, qui permettra au routeur de savoir qui contacter si le réseau spécifié n'est pas déjà défini dans la table de routage.

On note cette adresse par défaut 0.0.0.0, associée au masque 0.0.0.0, ou encore /0 en notation CIDR.

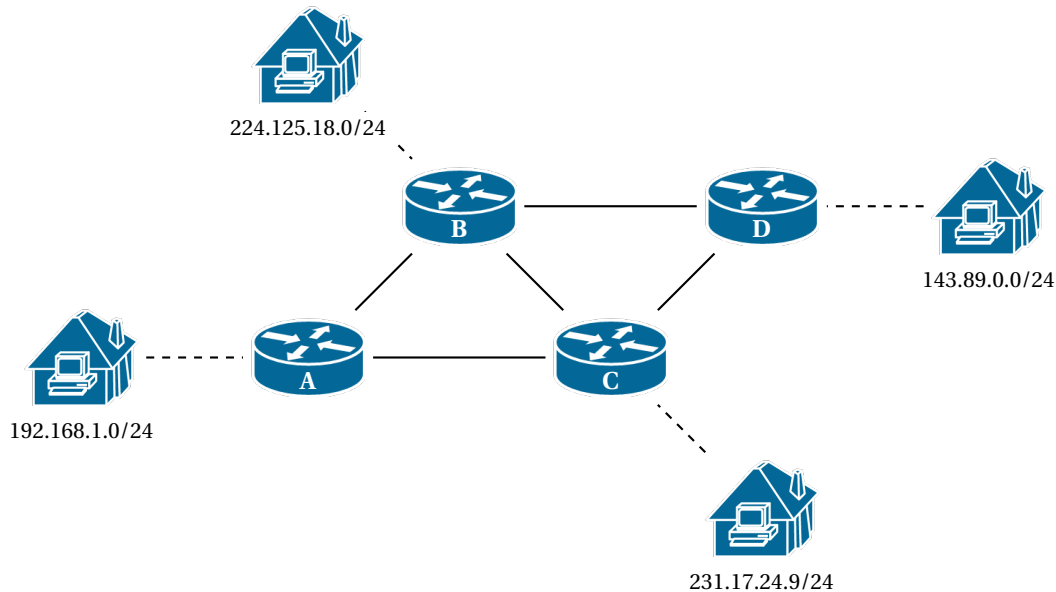
Dans notre exemple, on peut considérer que la passerelle par défaut correspond au routeur B.

Destination	Passerelle	Masque	Interface
0.0.0.0	100.0.0.2	0.0.0.0	eth1
192.168.1.0	192.168.1.1	255.255.255.0	eth0
100.0.0.0	100.0.0.1	255.0.0.0	eth1
101.0.0.0	100.0.0.2	255.0.0.0	eth1
102.0.0.0	100.0.0.2	255.0.0.0	eth1
192.168.2.0	100.0.0.2	255.255.255.0	eth1
192.168.3.0	100.0.0.2	255.255.255.0	eth1
192.168.4.0	100.0.0.2	255.255.255.0	eth1

Question 02 Donner la table de routage complète du routeur B.

Exemple 3 : un réseau maillé

Le cas le plus complexe mais aussi celui le plus utilisé est le cas du réseau maillé : tous les routeurs sont interconnectés.



Question 03 Citer tous les chemins permettant d'aller du réseau 192.168.1.0/24 au réseau 231.17.24.9/24.

Question 04 Peut-on dire quel est le *meilleur* chemin parmi les chemins précédents ?

Si l'on veut minimiser le **nombre de sauts**, c'est à dire le nombre de passages par des routeurs différents, alors le meilleur est le chemin A-C. On peut également chercher à minimiser le **temps d'échange** entre deux routeurs. Ce temps d'échange dépend du débit maximal entre les deux routeurs, généralement exprimé en Mb/s (mégabits/seconde).

La définition des tables de routage peut prendre du temps. De plus, ces tables sont amenées à être modifier assez souvent. En effet :

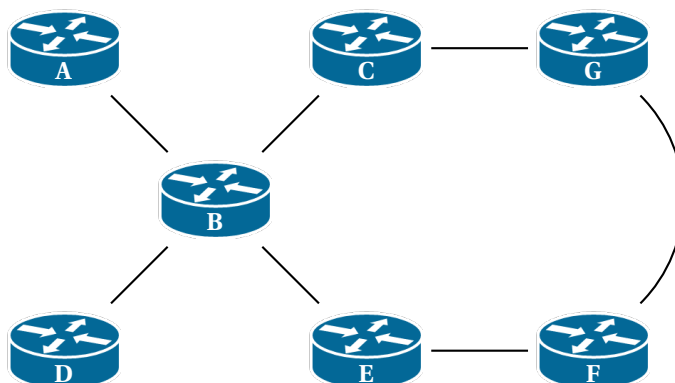
- l'architecture du réseau, c'est à dire les liens entre les routeurs, peut changer au cours du temps, à cause d'une panne d'un routeur par exemple, et certaines routes peuvent alors être coupées
- certaines routes peuvent être plus ou moins encombrées, un peu à la manière des embouteillages dans une ville aux heures de pointes

Ainsi, la définition de tables de routage statiques (ne changeant pas au cours du temps) peut poser des problèmes. Il faut donc définir nos tables de routage de manière **dynamique**, en s'adaptant à l'évolution de l'architecture du réseau et des différents débits entre routeurs.

C'est le rôle des algorithmes RIP et OSPF.

1.3 Protocoles RIP et OSPF

Considérons le réseau suivant, dans lequel uniquement des routeurs sont représentés :



Nous allons découvrir 2 algorithmes utilisés pour définir, de façon dynamique, les tables de routages de chacun des routeurs.

1.3.1 Aller au plus court : le protocole RIP

RIP signifie *Routing Information Protocol* (protocole d'information de routage). Avec ce protocole, chaque routeur communique aux autres routeurs la distance qui les sépare (le nombre de sauts qui les sépare). Les **messages RIP** échangés permettent de créer les tables de routage. Mais que contiennent ces messages ?

Un message RIP envoyé par un routeur *R* contient la liste des routeurs accessibles à *R*, chaque routeur étant associé à une **métrieque**. La métrieque est un nombre indiquant le nombre de sauts nécessaires pour joindre un routeur donné.

Lorsqu'un routeur reçoit un de ces messages, il met à jour sa table de routage :

- Si un routeur n'est pas présent dans sa table de routage, il l'ajoute avec la métrieque associée
- Sinon, si la métrieque est inférieure, il modifie la ligne correspondante en mettant à jour l'adresse IP du routeur, la passerelle (définie comme le routeur émetteur du message) et la métrieque

Une fois la table mise à jour, il peut maintenant émettre à son tour un message RIP à destination des routeurs qui lui sont directement accessibles. Ce message contient la liste des routeurs qui lui sont accessibles, ainsi que les métrieques associées, **incrémentées de 1**.

Les routeurs envoient ces messages de façon périodique (toutes les 30s) à tous les routeurs adjacents. De cette façon, si un routeur tombe en panne, un nouveau chemin (s'il existe) peut être déterminé à partir d'un seul message RIP reçu.

▷ Ça paraît compliqué!

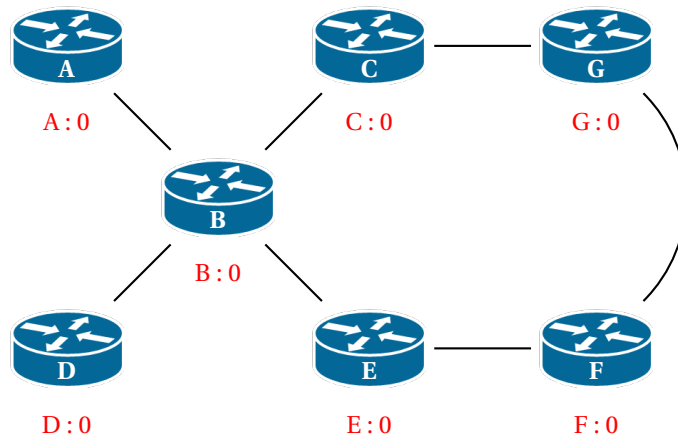
En fait, c'est très simple. Voyons un exemple ce qui se passe sur le réseau précédent.

Pour simplifier le problème, nous allons considérer des tables de routage de la forme suivante :

Destination	Passerelle	Métrie
R_1	R_2	n

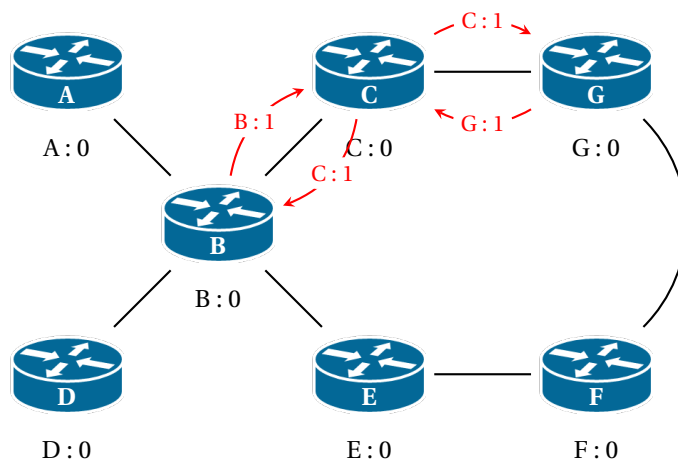
où R_1 et R_2 désignent des routeurs par leurs noms, et n est un nombre entier. On oublie ainsi les adresses IP, pour un temps.

Initialement, chaque routeur s'ajoute lui même à sa table de routage, avec la métrie 0.

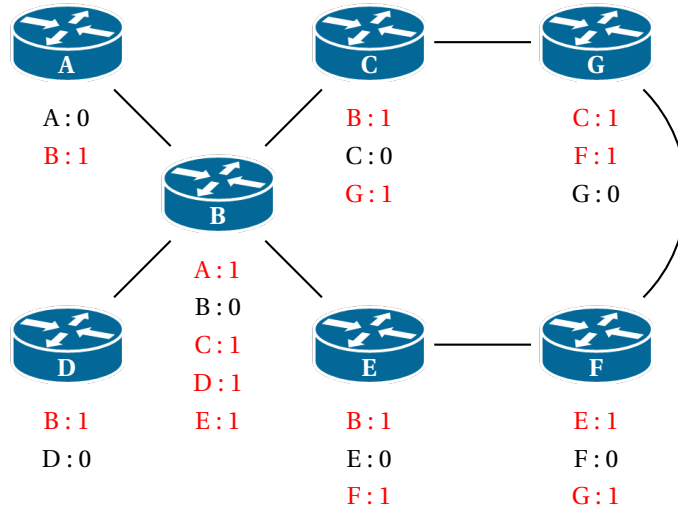


Chaque routeur transmet des messages RIP, avec des métriques incrémentées de 1.

Par exemple, voici les messages reçus et envoyés par le routeur C lors de la « première itération » :



À l'issue de cette « première itération », les tables de routage peuvent être schématisées de la manière suivante :



Les tables de routage des routeurs A et B sont alors, au bout d'une itération :

Destination	Passerelle	Métriq
A	A	0
B	B	1

Destination	Passerelle	Métriq
A	A	1
B	B	0
C	C	1
D	D	1
E	E	1

À la « seconde itération », le routeur A envoie donc le message RIP suivant :

Destination	Métriq
A	1
B	2

Le routeur B reçoit ce message, et le compare à sa table de routage :

- Il voit que A est accessible en 1 saut, mais il connaît déjà une passerelle permettant d'atteindre A en 1 saut (A). Il ne met pas à jour sa table de routage.
- Il voit que B est accessible en 2 sauts, mais il connaît déjà une passerelle permettant d'atteindre B en 0 saut (B). Il ne met pas à jour sa table de routage.

Après réception du message de A, B ne met donc pas à jour sa table de routage.

Question 05 Quel est le message envoyé par le routeur C lors de la deuxième itération ?

Question 06 Donner la table de routage du routeur B après la deuxième itération.

De nombreux messages sont ainsi envoyés périodiquement, et les tables de routage finissent par être complètes après plusieurs itérations.

☞ Avec le protocole RIP, le nombre de sauts maximum est de 15 : c'est donc la plus grande valeur pour la métrique.

Question 07 Donner la table de routage de chacun des routeurs du réseau, en précisant la destination, la passerelle utilisée et la métrique associée.

Et là, c'est la panne!

Le routeur *G* tombe en panne pour une raison inconnue. On associe alors une métrique infinie pour chaque ligne dont *G* est la passerelle utilisée. Par exemple, la table de routage de *F* devient :

Destination	Passerelle	Métrique
<i>A</i>	<i>E</i>	3
<i>B</i>	<i>E</i>	2
<i>C</i>	<i>G</i>	∞
<i>D</i>	<i>E</i>	3
<i>E</i>	<i>E</i>	1
<i>F</i>	<i>F</i>	0
<i>G</i>	<i>G</i>	∞

Question 08 Que devient la table de routage du routeur *C*?

Question 09 Expliquer comment est reconstituée la table de routage du routeur *C* après plusieurs messages RIP.

Question 10 Donner alors les tables de routage complètes de tous les routeurs du réseau (sauf *G* qui est en panne).

Grâce au protocole RIP, les routeurs peuvent conserver la route optimale d'un message en stockant l'adresse du routeur suivant dans la table de routage de telle façon que le nombre de sauts pour atteindre un réseau soit minimal. Toutefois, ce protocole ne prend en compte que la distance entre deux machines en termes de saut, mais il ne considère pas l'état de la liaison afin de choisir la meilleure bande passante possible. C'est le rôle du protocole OSPF.

1.3.2 Aller au plus rapide : le protocole OSPF

OSPF (Open Shortest Path First) est plus performant que RIP et commence donc à le remplacer petit à petit. Il s'agit d'un protocole de type protocole route-link (que l'on pourrait traduire par Protocole d'état des liens), cela signifie que, contrairement à RIP, ce protocole n'envoie pas aux routeurs adjacents le nombre de sauts qui les sépare, mais l'état de la liaison qui les sépare. De cette façon, chaque routeur est capable de dresser une carte de l'état du réseau et peut par conséquent choisir à tout moment la route la plus appropriée pour un message donné.

De plus, ce protocole évite aux routeurs intermédiaires d'avoir à incrémenter le nombre de sauts, ce qui se traduit par une information beaucoup moins abondante, ce qui permet d'avoir une meilleure bande passante utile qu'avec RIP.

Sources

<https://inetdoc.developpez.com/tutoriels/routage-dynamique-protocole-ospf/>