

# Réseau : les protocoles de routage

## Capacités attendues

- ✓ Identifier, suivant le protocole de routage utilisé, la route empruntée par un paquet.
  - En mode débranché, les tables de routage étant données, on se réfère au nombre de sauts (protocole RIP) ou au coût des routes (protocole OSPF).
  - Le lien avec les algorithmes de recherche de chemin sur un graphe est mis en évidence.

Contrairement au **routage statique**, où les tables de routage sont dressées « à la main », les protocoles de routage désignent des méthodes automatisées permettant à un routeur de générer et de mettre à jour ses tables de routage à partir d'informations transitant via le réseau. On parle de **routage dynamique**.

Le programme mentionne l'étude des protocoles RIP et OSPF.

## 1 Le protocole RIP

### 1.1 Principe

Le protocole RIP (*Routing Information Protocol*) fait partie de la famille des protocoles de routage à **vecteur de distances** : ceux-ci permettent de construire des tables de routage où aucun routeur ne possède la vision globale du réseau, la diffusion des routes se faisant de proche en proche. Le terme « vecteur de distances » vient du fait que le protocole utilise des tableaux (vecteurs) de distances vers les autres nœuds du réseau.

Chaque routeur RIP dispose d'une table de routage, qui répertorie, pour chaque destination connue :

- la **passerelle**, adresse du prochain routeur (appelée « prochain saut » ou « next hop ») ;
- la **métrique**, qui est une mesure de la « distance » jusqu'à la destination, égale au nombre de sauts (*hops*) permettant d'atteindre la destination.

Lors de la connexion d'un routeur au réseau, ses tables de routage ne contiennent que les réseaux directement accessibles. Chacun des routeurs communique à intervalles réguliers (toutes les 30 secondes, **mais pas de manière synchronisée**) sa table de routage à ses voisins immédiats.

Lorsqu'un routeur reçoit une table de routage d'un voisin, il examine chaque destination communiquée et met à jour sa propre table selon les principes suivants.

1. Le routeur découvre une **nouvelle route** vers un sous-réseau jusqu'alors inconnue, il l'inscrit dans sa table.
2. Le routeur découvre une route **plus courte** vers un sous-réseau connu mais **passant par un autre routeur**. Il efface l'ancienne route de sa table et y inscrit la nouvelle.
3. Il reçoit une **nouvelle route plus longue**. Il l'ignore.
4. Il reçoit une route **existante mais plus longue** passant par le **même voisin**. Cela signifie qu'un **problème** est apparu sur son ancienne route. Il **met donc à jour sa table** avec cette nouvelle route.

### Point histoire

RIP est le premier protocole de routage mis en œuvre sur Arpanet, l'ancêtre d'Internet.

## 1.2 Limites du protocole RIP

Dans ce protocole, un routeur ne peut avoir accès à un réseau distant de plus de **15 sauts** : une métrique égale à 16 désigne une route invalide. Cette restriction permet d'éviter le « comptage à l'infini » (voir exercice 2 et vidéo).

La **convergence** d'un protocole de routage est sa capacité à aligner toutes les tables de routage lorsque le réseau subit un changement (panne d'un routeur ou d'une interface, ajout/suppression d'un réseau, etc.). Avec des informations transmises toutes les 30 secondes, le protocole RIP converge lentement (penser au temps nécessaire pour diffuser une information à un sous-réseau situé à 15 sauts) d'autant que, pour des raisons de stabilité, il faut attendre 2 minutes pour qu'une route désignée invalide soit remplacée.

Par ailleurs, comme les tables de routage sont diffusées dans leur intégralité à intervalles de temps réguliers, ce protocole engendre un **trafic** sur le réseau au détriment des « vraies données ».

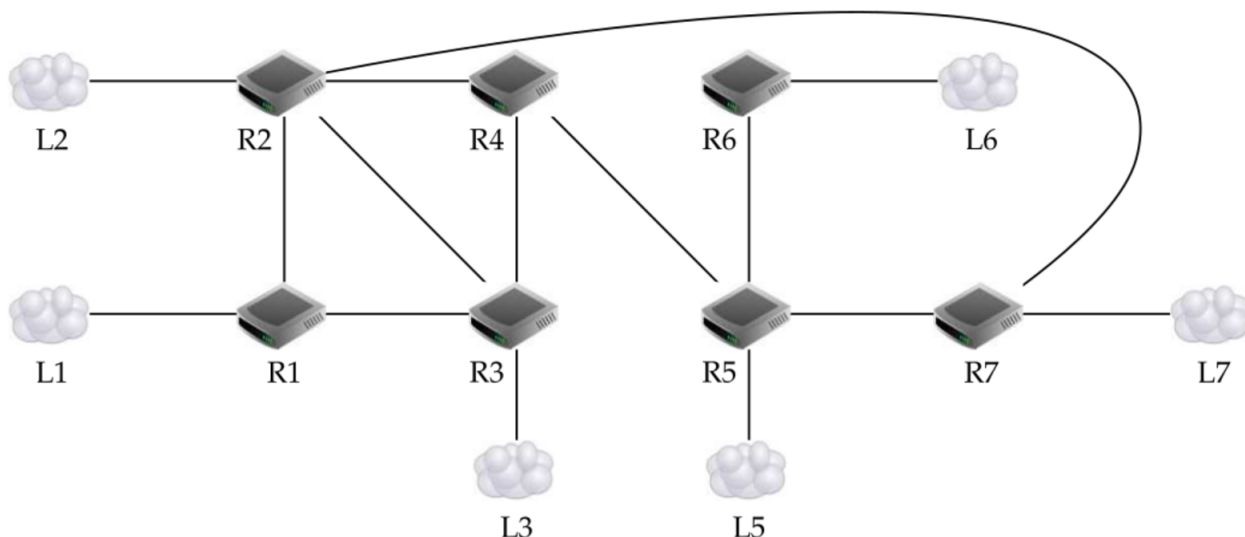
Enfin, le choix de minimiser le nombre de sauts peut avoir pour effet qu'une route sélectionnée soit moins performante en terme de bande passante qu'une route plus longue.

## 1.3 Intérêt du protocole RIP

Le protocole RIP est simple, facile à mettre en œuvre, adapté à des réseaux de petites tailles, et les constructeurs de routeur l'ont implémenté en garantissant une bonne compatibilité entre les différentes marques.

## Exercice 1

Le schéma ci-dessous représente un réseau constitué de 7 routeurs et de 6 réseaux locaux.



- On suppose que la table de routage de chacun des routeurs a été établie et stabilisée en utilisant le protocole RIP : compléter les tables de routage ci-dessous.

| Table de routage de R1 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

| Table de routage de R2 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

| Table de routage de R3 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

| Table de routage de R4 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

| Table de routage de R5 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

| Table de routage de R7 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

- La liaison entre les routeurs R5 et R7 est rompue : après convergence, quelles seront les nouvelles tables de routage des routeurs R1, R3 et R5 ?

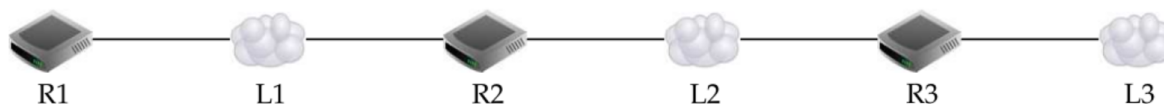
| Table de routage de R1 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

| Table de routage de R3 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

| Table de routage de R5 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |
| L5                     |            |          |
| L6                     |            |          |
| L7                     |            |          |

## Exercice 2

Le schéma ci-dessous représente un réseau constitué de 3 routeurs et de 3 réseaux locaux.



1. On suppose que les tables de routages des routeurs ont été générées et stabilisées par le protocole RIP. Compléter ci-dessous les tables de R1 et R2.

| Table de routage de R1 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

| Table de routage de R2 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

2. Suite à une panne, le routeur R3 n'a plus accès au réseau L3 et **communique à R2 une mise à jour** indiquant que la métrique associée vaut 16. Quel est l'état des tables de R1 et R2 juste après cette mise à jour ? (Aucune autre communication n'a été faite.)

| Table de routage de R1 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

| Table de routage de R2 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

3. Compléter l'évolution des tables de R1 et R2 dans le déroulement du scénario proposé ci-dessous.

(a) Le routeur R1 publie sa table de routage.

| Table de routage de R1 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

| Table de routage de R2 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

(b) Le routeur R2 publie sa table de routage.

| Table de routage de R1 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

| Table de routage de R2 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

(c) Le routeur R1 publie sa table de routage.

| Table de routage de R1 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

| Table de routage de R2 |            |          |
|------------------------|------------|----------|
| Dest.                  | Passerelle | Métrique |
| L1                     |            |          |
| L2                     |            |          |
| L3                     |            |          |

(d) Expliquer l'expression « comptage à l'infini » utilisée pour décrire le scénario ci-dessus.

Pour en savoir plus.

## 2 Le protocole OSPF

### 2.1 Principe

Pour les réseaux étendus et complexes, le protocole RIP a été supplanté par le protocole OSPF (*Open Shortest Path First*), qui fait partie de la famille des protocoles de routage **à état de lien**. Dans ce type de protocole, chaque routeur possède une vision globale (d'une partie) du réseau. Le protocole OSPF s'appuie sur les principes suivants.

1. **Mises à jour** (*updates*). Chaque routeur transmet des mises à jour (LSA – *Link-state advertisements*) à ses voisins contenant une description des liaisons (liens) du réseau, identifiées par les adresses IP des interfaces correspondantes. Cette description indique notamment la nature des liens (point à point, multipoint) et leur coût d'accès (voir plus bas). Ces mises à jour ne sont effectuées que lorsque des liens changent d'état (modification du coût, indisponibilité, etc.), et les informations transmises ne concernent que ces liens.
2. **Calcul des routes**. Chaque routeur disposant ainsi d'une cartographie complète du réseau (la LSDB – *Link State DataBase*), il applique l'algorithme de Dijkstra afin de déterminer, pour chaque destination, la route (la succession des liens et routeurs) qui minimise la somme des coûts pour l'atteindre (voir vidéo). L'algorithme de Dijkstra est basé sur un parcours en profondeur de graphe dit *pondéré*, c'est-à-dire avec un poids associé à chaque arête. Ce calcul n'est effectué que s'il est nécessaire, c'est-à-dire si une mise à jour reçue le justifie.
3. **Réactivité**. Un routeur retransmet immédiatement vers ses voisins les mises à jour reçues, le calcul des routes ayant lieu après. Ce mécanisme permet à ce protocole de réagir rapidement lors d'un changement de la topologie du réseau.

### 2.2 Coût d'une liaison

Le coût d'une liaison est **inversement proportionnel à sa bande passante**.

On peut par exemple utiliser une bande passante de référence de 100 Mbits/s (métrique Cisco), soit  $10^8$  bits/s, et le coût d'une liaison, de bande passante BP, exprimée en bits/s, est alors donné par la formule

$$\text{coût} = \frac{10^8}{\text{BP}}.$$

#### Exercice 3

Quel est le coût d'une liaison dont la bande passante est égale à 10 Mb/s ? 1 Gb/s ? 100 ko/s ?

### 2.3 Division en zones

Il n'est évidemment pas souhaitable que chaque routeur stocke dans sa LSDB l'intégralité du réseau Internet ! Le réseau est ainsi partitionné en « systèmes autonomes » (*Autonomous System*), eux-mêmes divisés en zones (*Area*). Une zone contient un ensemble de réseaux IP et de routeurs qui communiquent entre eux pour constituer leur LSDB : le calcul des routes se fait donc uniquement entre les routeurs d'une même zone.

Si des paquets doivent être acheminés vers un réseau qui ne figure pas dans la zone, ils sont dirigés vers des « routeurs de bordure » (*Area Border Router*) qui assure l'interconnexion entre les zones. En particulier, il existe une « aire dorsale » (*backbone area*) à laquelle toutes les zones OSPF sont connectées.

## 2.4 Inconvénients du protocole OSPF

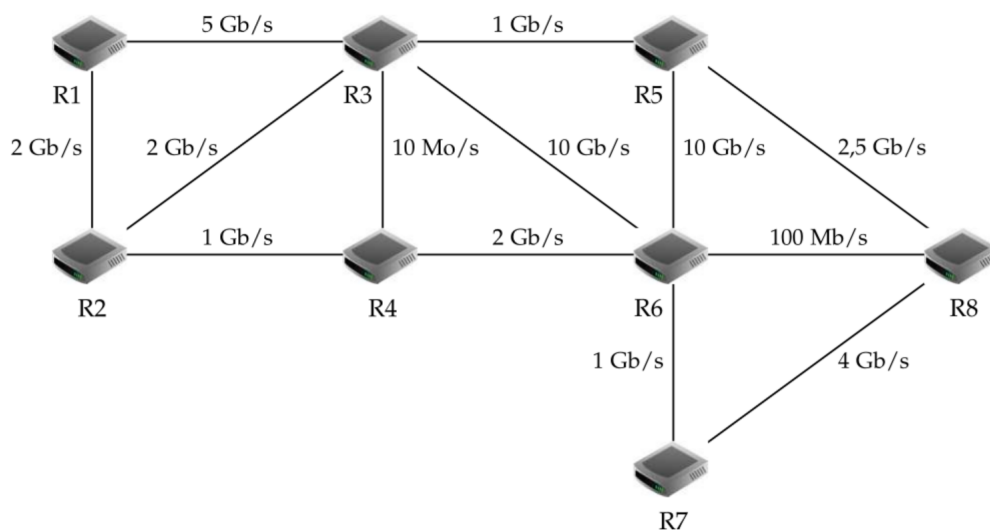
Le stockage de la LSDB et le calcul des routes peut s'avérer gourmand en mémoire et en performances CPU si le réseau est très étendu : c'est la raison pour laquelle un routeur OSPF coûte plus cher qu'un routeur RIP.

La réactivité du protocole peut aussi être problématique, par exemple en cas de micro-coupures où les tables de routage sont inutilement mises à jour. Des solutions existent mais nécessitent des réglages précis.

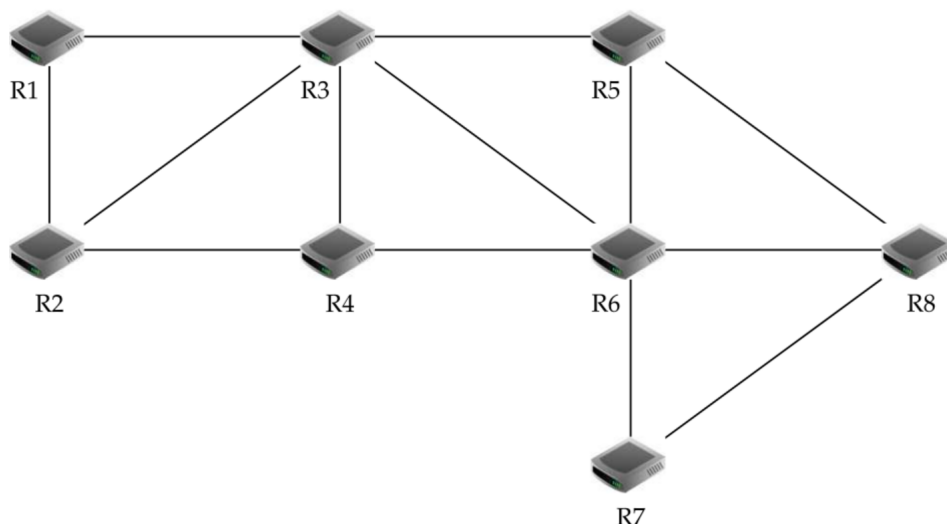
La mise en œuvre réelle du protocole OSPF est évidemment plus complexe que le laisse entendre ce cours. Voici un lien pour en savoir plus et une vidéo -jusqu'à 7 min- qui illustre les deux protocoles.

### Exercice 4

On considère un réseau représenté par le graphe suivant, où figurent les bandes passantes des différentes liaisons.



1. Compléter le graphe ci-dessous en indiquant le coût de chacune des liaisons.



2. Un paquet doit être acheminé depuis le routeur R1 jusqu'au routeur R8 : déterminer la route qui minimise la somme des coûts.
3. On suppose que chacun des routeurs est connecté à un réseau local  $L_x$ , où  $x$  est le numéro du routeur. Déterminer la table de routage du routeur R3 obtenue selon le principe du protocole OSPF, en précisant le coût de chacune des routes.
4. Même question pour le routeur R6.