

Protocoles de routage

Table des matières

1	Un peu d'histoire !	2
2	Quelques rappels de première	3
2.1	L'infrastructure d'Internet	3
2.1.1	Le maillage	3
2.1.2	Les machines	3
2.2	Les différentes couches	4
2.3	La couche 1	4
2.4	La couche 2	4
2.4.1	Qu'est ce que la couche 2 ?	4
2.4.2	matériel	5
2.4.3	La table CAM	5
2.5	La couche 3	5
2.5.1	Définition	5
2.5.2	L'adresse IP	5
2.5.3	Le datagramme	5
2.5.4	Le matériel	6
2.5.5	La couche transport	6
2.5.6	Définition	6
2.5.7	Les ports logiques	6
2.5.8	Le segment TCP	6
3	Le routage	7
3.1	Un premier montage	7
3.2	Qu'est ce qu'une table de routage ?	9
3.3	Le routage en ligne de commande !	10
3.3.1	Obtenir son adresse IP et sa passerelle par défaut	10
3.3.2	Table de routage de mon pc	10
3.3.3	Communiquer avec la passerelle	10
3.3.4	Communiquer avec l'extérieur :-)	11
3.3.5	Quelle route ?	11
3.4	Routage par le plus court chemin	11
4	Protocoles de routages	12
4.1	Le protocole à vecteur de distance RIP	12
4.2	Protocole OSPF	15

CE QU'IL FAUT SAVOIR FAIRE À L'ISSUE DU CHAPITRE :

- Savoir identifier, suivant le protocole de routage utilisé, la route emprunté par un paquet.
- Connaître le protocole RIP et OSPF

1 Un peu d'histoire !

Histoire

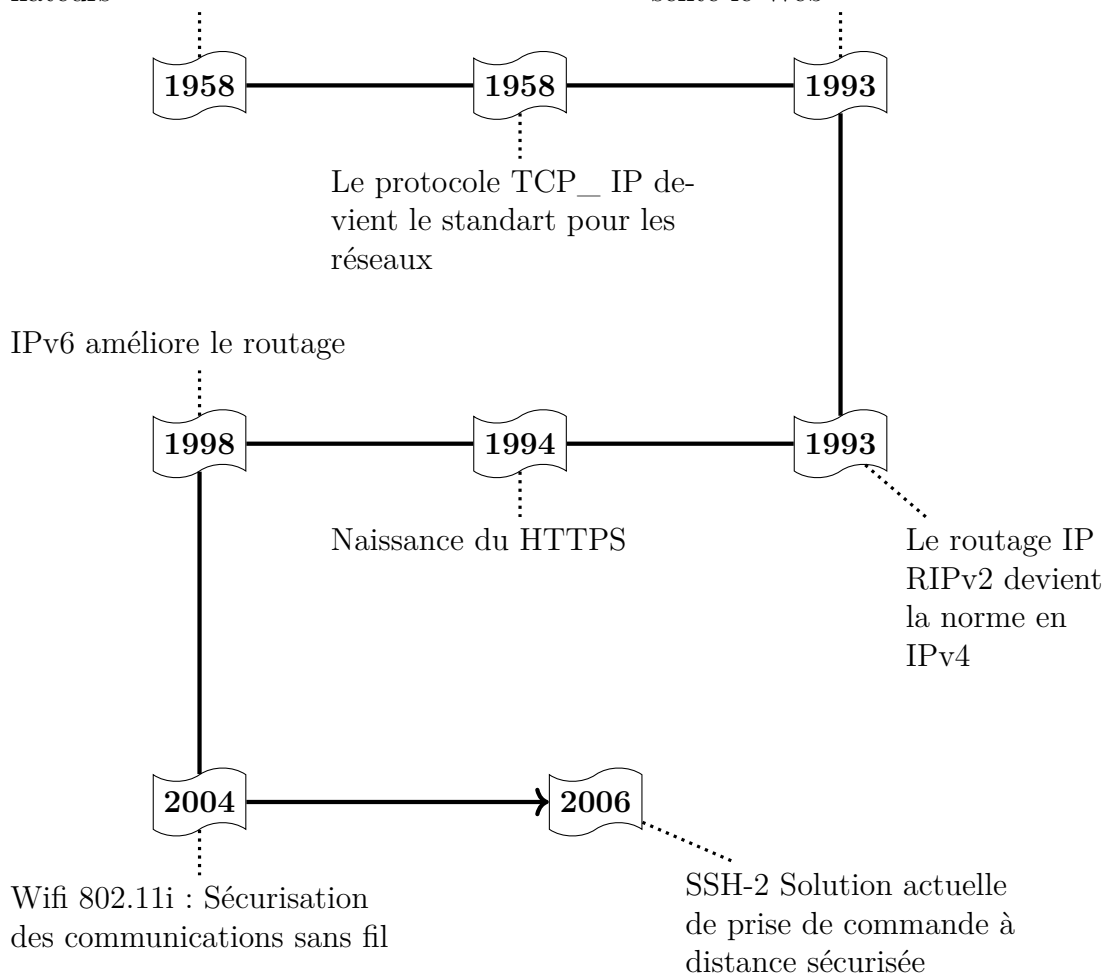
Internet n'a pas été inventé du jour au lendemain !

Il s'est constitué progressivement au fur et à mesure de l'apparition des technologies. Il en est de même pour les services qu'il propose, aujourd'hui innombrable et d'une grande diversité.

Aujourd'hui, la **sécurisation** est un enjeu majeur dans le monde Internet.

Premier modem, permettant de transmettre les données entre deux ordinateurs

Le CERN de Genève présente le Web



2 Quelques rappels de première

Voir à ce titre le chapitre de première qui concerne les réseaux.

2.1 L'infrastructure d'Internet

2.1.1 Le maillage

Internet est né de l'interconnexion de très nombreux réseaux locaux, de normes, de tailles et d'organisation très différente.

2.1.2 Les machines

Les éléments d'infrastructures, nombreux et hétérogènes :

Ordinateurs personnels, fixes, portables, serveurs... avec des caractéristiques, des logiciels différentes et système d'exploitation aussi.

Terminaux mobiles Téléphones, tablettes, consoles de jeux...

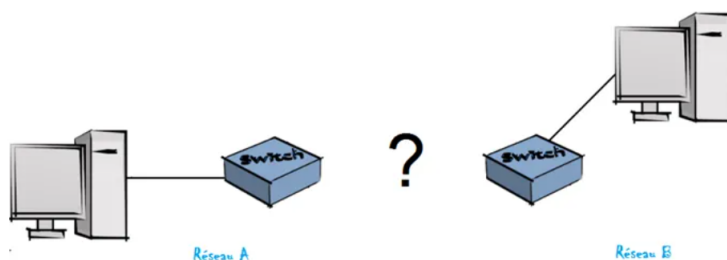
Périphériques Imprimantes, copieurs, scanners ...

Objets connectés Montres, appareils photos...

Commutateurs, Switches... Au cœur des réseaux locaux, ils sont en charge de l'interconnexion.

Routeurs En charge du trafic à travers le maillage Internet.

Comment deux ordinateurs situés dans deux réseaux locaux différents peuvent communiquer ?



Pourquoi ne pas utiliser un switch pour transmettre les données entre des ordinateurs situés dans des réseaux locaux différents ?

☞ Le commutateur se base sur les adresses MAC pour identifier le destinataire, il a une table dans sa mémoire qui contient une liste d'adresses MAC de tous les ordinateurs qui lui sont connectés.

- Problème 1 : Si on utilise un switch, il devrait garder en mémoire les adresses MAC de tous les ordinateurs de la terre. Ici on essaye de connecter un réseau WAN (pas un petit réseau local), donc un nombre important d'adresses MAC. C'est beaucoup trop pour un switch.

- Problème 2 : Lorsque le commutateur reçoit une trame dont il ignore l'adresse MAC, il diffuse la trame sur tous ses ports ! Internet tomberait rapidement en panne parce que le réseau serait trop encombré.

C'est pour ces raisons qu'un autre matériel d'interconnexion a vu le jour appelé « **Routeur** ».

Contrairement au commutateur, le routeur se base sur les adresses IP pour transporter les données.

La forme de l'adresse MAC ne permet pas de localiser le destinataire distant c'est la raison pour laquelle elle est utilisée seulement dans les réseaux locaux, contrairement à l'adresse IP dont la partie réseau et la partie Hôte permettent de localiser l'ordinateur d'une façon précise quelque soit son emplacement dans le monde.

C'est pour cela les routeurs se basent sur les adresses IP pour acheminer les données jusqu'à leurs destination approprié.

Définition 10.1

Le routeur est un matériel de couche 3 qui relie plusieurs réseaux. Il doit donc avoir une interface dans chacun des réseaux auquel il est connecté.

C'est donc tout simplement une machine qui a plusieurs interfaces (plusieurs cartes réseau), chacune reliée à un réseau. Son rôle va être d'aiguiller les paquets reçus entre les différents réseaux.

Remarque

Un ordinateur ayant deux cartes réseau pourra être un routeur.

2.2 Les différentes couches

2.3 La couche 1

Le rôle principal de la couche 1 est de fournir le support de transmission de la communication.

Matériel de la couche 1 : les câbles, les connecteurs du type RJ45, les switches, la fibre optique...etc

2.4 La couche 2

2.4.1 Qu'est ce que la couche 2 ?

La couche 2 se nomme la couche liaison, ou plus précisément, liaison de données.

Le rôle donné à la couche 2 est de connecter des machines sur un réseau local.

Une notion importante : les adresses **MAC**.

Le langage choisi pour que deux ordinateurs communiquent au sein du même réseau local est **Ethernet**. (Ce n'est pas le seul protocole de couche 2, mais il est de très loin le plus utilisé

aujourd'hui).

Le protocole va ainsi définir quelles informations vont être envoyées, et surtout dans quel ordre.

Le protocole va envoyer des *trames* sur le réseau.

Structure d'une trame

Adresse MAC DST	Adresse MAC SRC	Protocole Couche 3	Données à envoyer	CRC
-----------------	-----------------	--------------------	-------------------	-----

2.4.2 matériel

Le matériel de la couche 2 : le commutateur ou Switch.



Switch

2.4.3 La table CAM

Le commutateur contient en fait une table qui fait l'association entre un port du switch (une prise RJ45 femelle) et une adresse MAC. Cette table est appelée la table CAM.

2.5 La couche 3

2.5.1 Définition

La couche 3 est la couche *réseau*.

Le rôle de la couche 3 est donc d'interconnecter les réseaux. La couche 3 va donc permettre de joindre n'importe quel réseau sur Internet, en passant à travers d'autres réseaux. La connexion à une machine sur un autre réseau se fera à travers des réseaux, de proche en proche.

2.5.2 L'adresse IP

L'adresse IP est en fait l'adresse du réseau ET de la machine.

Une adresse IP est codée sur 32 bits (soit 4 octets).

2.5.3 Le datagramme

Les datagrammes

En-tête	Adresse IP source	Adresse IP dest	Segment TCP
---------	-------------------	-----------------	-------------

2.5.4 Le matériel

Le matériel de cette couche est notamment le **routeur**. Il s'agit d'un matériel dont la fonction principale est d'assurer l'acheminement des paquets vers leurs destinataires en effectuant des décisions logiques déterminées par le protocole de routage utilisé.

2.5.5 La couche transport

2.5.6 Définition

Le rôle de la couche transport est de rendre possible la communication logique entre applications.

Les deux fonctions principales de la couche transport sont :

- Découper des données, de taille variable, en paquets de taille fixe.
- Identifier les programmes destinataire et émetteur de la donnée.

Les protocoles de la couche transport les plus connus sont les protocoles TCP et UDP.

2.5.7 Les ports logiques

Quand un ordinateur reçoit un paquet, il doit savoir à quel programme est destiné ce paquet (navigateur, web, messagerie, jeux vidéo). Pour cela, on a défini des ports logiciels : ce sont des numéros, que chaque application va réserver en émettant des données.

Définition 10.2

Le **port** permet au système installé (Linux, Windows) de déterminer à quelle application les données venant du réseau sont destinées.

Pour comprendre ce qu'est un port logiciel (à ne pas confondre avec un port matériel, type USB ou autre), on peut faire une analogie avec le courrier. Quand quelqu'un envoie une lettre, il ne précise pas seulement l'adresse postale, mais aussi la personne à laquelle elle est destinée, au cas où plusieurs personnes vivent à la même adresse.

Ports logiciels courants :

21 : File Transfer Protocol (FTP), 22 : Secure Shell (SSH), 25 : Simple Mail Transfer Protocol (SMTP), 53 : Domain Name System (DNS) service, 80 : Hypertext Transfer Protocol (HTTP), 110 : Post Office Protocol (POP3), 143 : Internet Message Access Protocol (IMAP), 443 : HTTP Secure (HTTPS)

2.5.8 Le segment TCP

Le paquet créé par la couche transport est appelé *segment TCP* a pour format simplifié :

Port source	Port dest	N SYN	N ACK	Long	Données
-------------	-----------	-------	-------	------	---------

Segment TCP

● Exercice 10.1

Nous allons nous mettre dans la peau d'un routeur!!

Imaginons que nous sommes une machine ayant comme adresse MAC l'adresse 00 :11 :22 :33 :44 :55 et comme adresse IP 192.168.0.1/24.

Nous recevons la trame suivante (dans laquelle nous indiquons aussi l'en-tête de couche 3) sur une de nos interfaces :

Trame Ethernet avec en-tête de couche 3 :

00 :11 :22 : 33 :44 :55	01 :2B :45 : 56 :78 :ED	IP	???	IP SRC : 10.0.0.1	IP DST : 136.42.0.28	Données à envoyer	CRC
----------------------------	----------------------------	----	-----	----------------------	-------------------------	----------------------	-----

1. Quelle est l'adresse IP de la machine qui a envoyé ces informations?
2. La machine qui a envoyé ces informations était-elle sur le même réseau?
3. ⚠ Présence d'un piège! Quelle est l'adresse MAC de la machine qui a envoyé ces informations?
4. A quoi correspond l'adresse MAC source?
5. L'adresse MAC de destination est-elle correcte? Ce qui prouverait que la trame nous était bien destinée :-) (sinon : poubelle!)
6. L'adresse IP de destination est-elle la nôtre? Est-ce grave?

☞ Son rôle va maintenant être d'aiguiller le datagramme vers sa destination. Etudions donc le routage!

3 Le routage

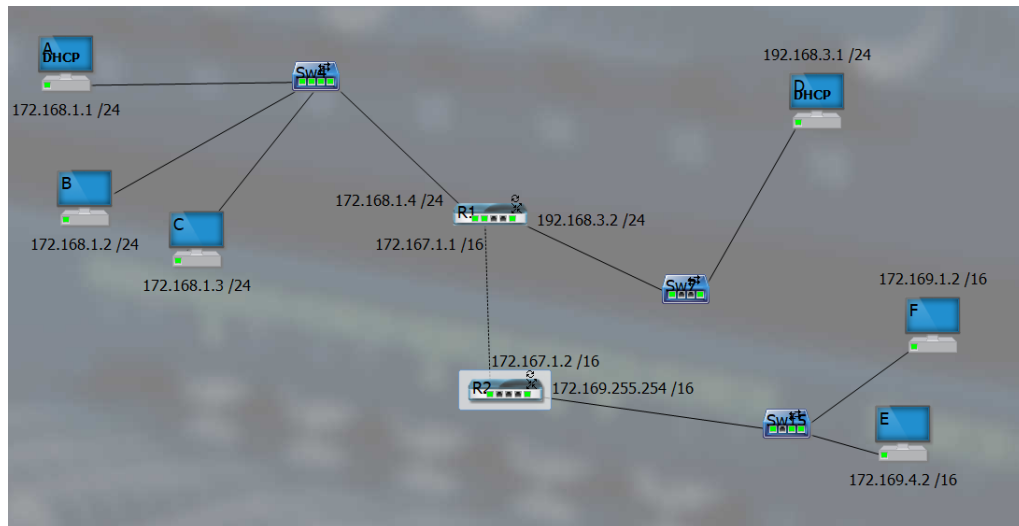
3.1 Un premier montage

Un algorithme de routage a pour but d'acheminer un datagramme à travers le réseau.

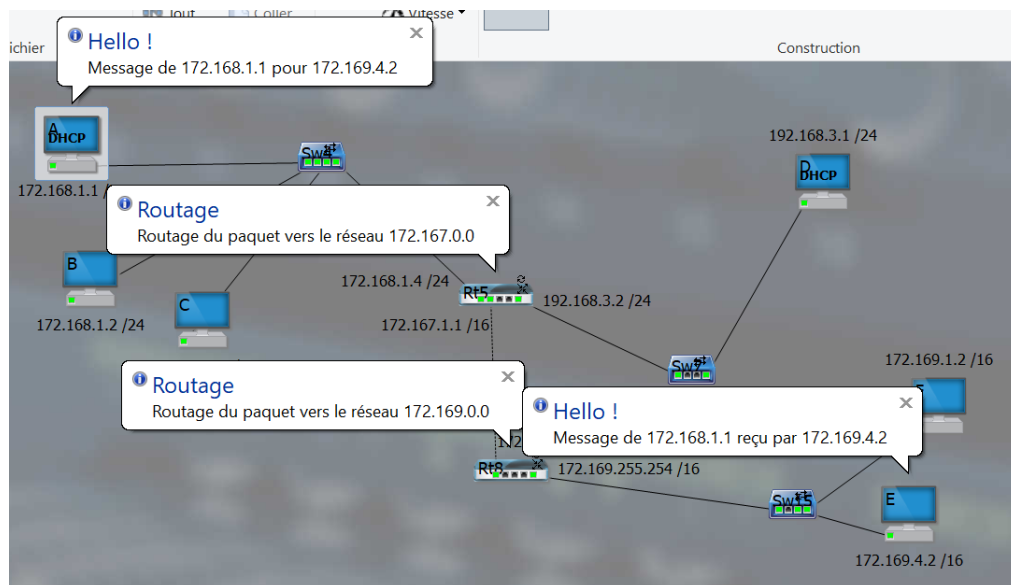
Savoir-Faire 10.1

Réaliser le montage suivant sur votre simulateur préféré, vérifier le bon fonctionnement en effectuant un envoi IP et un ping, comme le montre les figures :

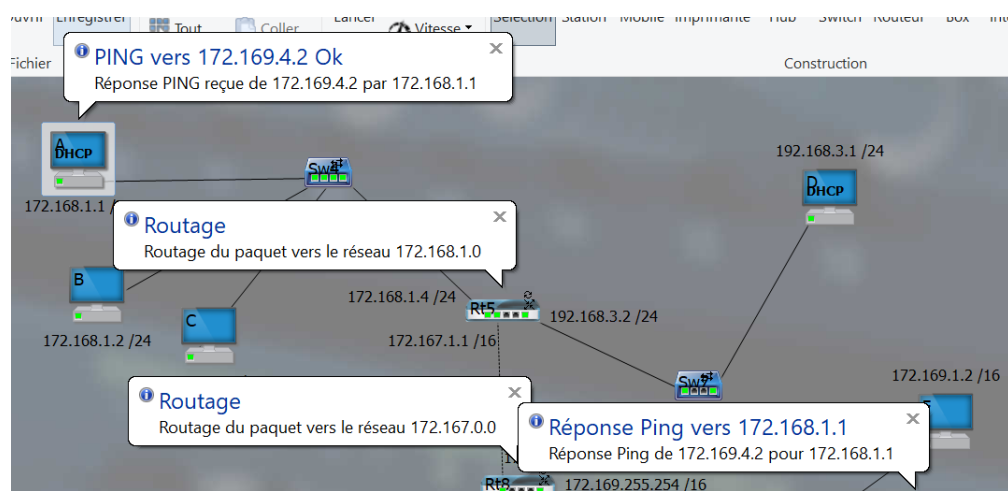
Montage avec 2 routeurs



Envoi d'un paquet IP



Ping



3.2 Qu'est ce qu'une table de routage ?

Voici les informations présentes dans la table de routage de R1 :

- le routeur 1 est directement relié au réseau 172.168.1.0/24 par l'intermédiaire de son interface 172.168.1.4/24
- le routeur 1 est directement relié au réseau 192.168.3.0/24 par l'intermédiaire de son interface 192.168.3.2/24
- Le routeur 1 est directement relié au réseau 172.167.0.0/16 par l'intermédiaire de son interface 172.167.1.1/16 (réseau uniquement composé des routeurs 1 et 2)
- Le routeur 1 n'est pas directement relié au réseau 172.169.0.0/16 mais par contre il "sait" que les paquets à destination de ce réseau doivent être envoyé à la machine d'adresse IP 172.167.1.2/16 (c'est à dire le routeur 2)

On a donc :

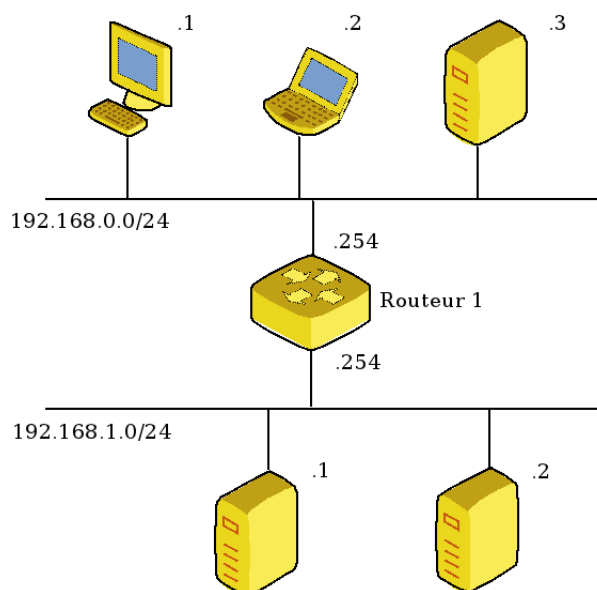
Réseau	Passerelle	Interface
172.168.1.0/24		172.168.1.4
192.168.3.0/24		192.168.3.2
172.167.0.0/16		172.167.1.1
172.169.0.0/16	172.167.1.2/16	172.167.1.1

● Exercice 10.2

Faire de même avec le routeur R2, sans remplir la colonne distance.

● Exercice 10.3

Voici en figure suivante un schéma réseau qui contient plusieurs réseaux. Nous allons essayer d'écrire les tables de routage du routeur.



3.3 Le routage en ligne de commande !

3.3.1 Obtenir son adresse IP et sa passerelle par défaut

```
C:\Users\DUTHOIT>ipconfig
```

```
Adresse IPv4. . . . . : 192.168.0.23
Masque de sous-réseau. . . . . : 255.255.255.0
Passerelle par défaut. . . . . : 192.168.0.1
```

3.3.2 Table de routage de mon pc

```
C:\Users\DUTHOIT>route print
```

```
IPv4 Table de routage
=====
Itinéraires actifs :
Destination réseau    Masque réseau    Adr. passerelle    Adr. interface    Métrique
0.0.0.0              0.0.0.0          192.168.0.1        192.168.0.23      55
127.0.0.0            255.0.0.0        On-link            127.0.0.1         331
127.0.0.1            255.255.255.255  On-link            127.0.0.1         331
127.255.255.255      255.255.255.255  On-link            127.0.0.1         331
192.168.0.0          255.255.255.0    On-link            192.168.0.23      311
192.168.0.23         255.255.255.255  On-link            192.168.0.23      311
192.168.0.255        255.255.255.255  On-link            192.168.0.23      311
224.0.0.0            240.0.0.0        On-link            127.0.0.1         331
224.0.0.0            240.0.0.0        On-link            192.168.0.23      311
255.255.255.255      255.255.255.255  On-link            127.0.0.1         331
255.255.255.255      255.255.255.255  On-link            192.168.0.23      311
=====
```

Remarque

On trouve mon réseau : 192.168.0.0, avec la passerelle 192.168.0.1.

Et également ma passerelle par défaut (Remarquer que 0.0.0.0 signifie ici défaut) avec la passerelle 192.168.0.1

3.3.3 Communiquer avec la passerelle

```
C:\Users\DUTHOIT>ping 192.168.0.1
```

```
Envoi d'une requête 'Ping' 192.168.0.1 avec 32 octets de données :
Réponse de 192.168.0.1 : octets=32 temps=1 ms TTL=64
Réponse de 192.168.0.1 : octets=32 temps=1 ms TTL=64
Réponse de 192.168.0.1 : octets=32 temps=1 ms TTL=64
Réponse de 192.168.0.1 : octets=32 temps=2 ms TTL=64
```

```
Statistiques Ping pour 192.168.0.1:
```

```
    Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
Durée approximative des boucles en millisecondes :
    Minimum = 1ms, Maximum = 2ms, Moyenne = 1ms
```

3.3.4 Communiquer avec l'extérieur :-)

```
C:\Users\DUTHOIT>ping google.fr

Envoi d'une requête 'ping' sur google.fr [172.217.168.227] avec 32 octets de données :
Réponse de 172.217.168.227 : octets=32 temps=23 ms TTL=116
Réponse de 172.217.168.227 : octets=32 temps=19 ms TTL=116
Réponse de 172.217.168.227 : octets=32 temps=18 ms TTL=116
Réponse de 172.217.168.227 : octets=32 temps=19 ms TTL=116

Statistiques Ping pour 172.217.168.227:
    Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
Durée approximative des boucles en millisecondes :
    Minimum = 18ms, Maximum = 23ms, Moyenne = 19ms
```

3.3.5 Quelle route ?

```
C:\Users\DUTHOIT>tracert www.google.Fr

Détermination de l'itinéraire vers www.google.Fr [172.217.168.227]
avec un maximum de 30 sauts :

 1      1 ms      23 ms      *      RT [192.168.0.1]
 2      *          *          *      Délai d'attente de la demande dépassé.
 3      *          6 ms      6 ms     10.148.2.2
 4     10 ms      8 ms      9 ms     10.148.2.1
 5      *          *          *      Délai d'attente de la demande dépassé.
 6      *          *          *      Délai d'attente de la demande dépassé.
 7      *          *          *      Délai d'attente de la demande dépassé.
 8      *          *          *      Délai d'attente de la demande dépassé.
 9      *          *          *      Délai d'attente de la demande dépassé.
10      *          *          *      Délai d'attente de la demande dépassé.
11      *          *          *      Délai d'attente de la demande dépassé.
12     18 ms     18 ms     19 ms    ams15s40-in-f3.1e100.net [172.217.168.227]

Itinéraire déterminé.
```

3.4 Routage par le plus court chemin

Un réseau maillé peut être représenté par un graphe $G=(X,E)$ avec X l'ensemble des routeurs, et E l'ensemble des lignes de transmission.

Un chemin entre deux routeurs correspond donc à une suite alternée de sommets et d'arêtes. Il est possible d'associer un coût à chaque arête, et d'obtenir ainsi un graphe valué (ou pondéré).

La recherche du plus court chemin consiste alors à trouver la chaîne dont la somme des coûts est la plus faible. Cette somme pourra correspondre, en fonction de la situation, au nombre de routeurs traversés, à la distance géographique, au trafic sur un chemin...

Dans des réseaux très complexes, chaque routeur aura une table de routage qui comportera de très nombreuses lignes (des dizaines voir des centaines...). En effet chaque routeur devra savoir vers quelle interface réseau il faudra envoyer un paquet afin qu'il puisse atteindre sa destination. On peut trouver dans une table de routage plusieurs lignes pour une même destination, il peut en effet, à partir d'un routeur donné, exister plusieurs chemins possibles pour atteindre la destination. Dans le cas où il existe plusieurs chemins possibles pour atteindre la même destination, le routeur va choisir le "chemin le plus court". Pour choisir ce chemin le plus

court, le routeur va utiliser la métrique : plus la valeur de la métrique est petite, plus le chemin pour atteindre le réseau est "court". Un réseau directement lié à un routeur aura une métrique de 0.

Comment un routeur arrive à remplir sa table de routage ?

La réponse est simple pour les réseaux qui sont directement reliés au routeur (métrique = 0), mais comment cela se passe-t-il pour les autres réseaux (métrique supérieure à zéro) ?

Il existe 2 méthodes :

- le routage statique : chaque ligne doit être renseignée "à la main". Cette solution est seulement envisageable pour des très petits réseaux de réseaux
- le routage dynamique : tout se fait "automatiquement", on utilise des protocoles qui vont permettre de "découvrir" les différentes routes automatiquement afin de pouvoir remplir la table de routage tout aussi automatiquement

4 Protocoles de routages

Les protocoles de routage de l'information permettent aux routeurs qui interconnectent les réseaux de partager des informations relatives à l'acheminement du trafic entre ces réseaux

On trouve plusieurs protocoles de routage, dont notamment les protocoles RIP (Routing Information Protocol) et OSPF (Open Shortest Path First).

4.1 Le protocole à vecteur de distance RIP

RIP : Routing Information Protocol

Au départ, les tables de routage contiennent uniquement les réseaux qui sont directement reliés au routeur.

Chaque routeur envoie périodiquement (toutes les 30 secondes) à tous ses voisins (routeurs adjacents) un message. Ce message contient la liste de tous les réseaux qu'il connaît.

À la fin de cet échange, les routeurs mettent à jour leur table de routage avec les informations reçues

Pour renseigner la colonne "métrique", le protocole utilise le nombre de sauts, autrement dit, le nombre de routeurs qui doivent être traversés pour atteindre le réseau cible.

Le protocole RIP s'appuie sur l'algorithme de Bellman-Ford (algorithme qui permet de calculer les plus courts chemins dans un graphe).

Le protocole RIP est aujourd'hui très rarement utilisé dans les grandes infrastructures. En effet, il génère, du fait de l'envoi périodique de message, un trafic réseau important. De plus, le protocole RIP est limité à 15 sauts (on traverse au maximum 15 routeurs pour atteindre sa destination).

☞ On lui préfère donc souvent le protocole OSPF.

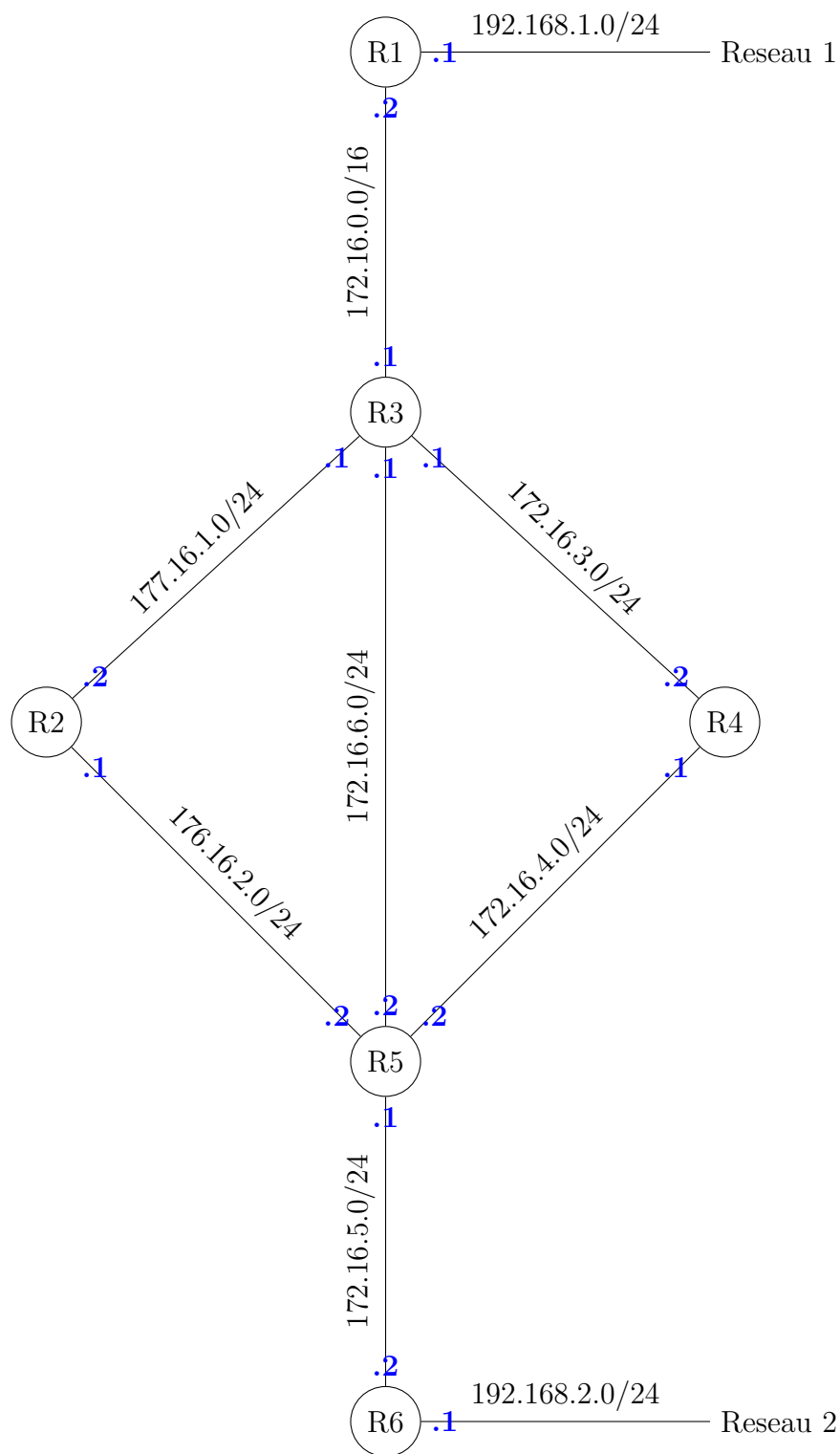


FIGURE 1 – Un réseau

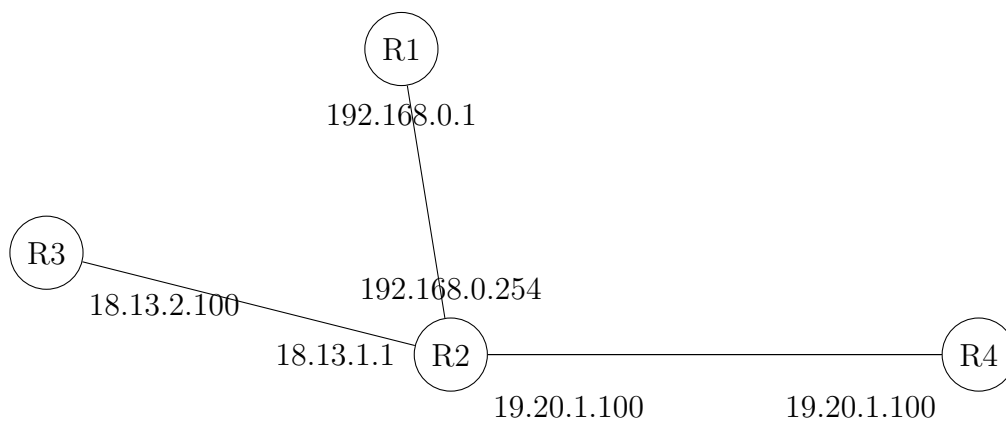
Savoir-Faire 10.2

On considère le réseau de la figure 1 ci-dessus. R1,R2,R3,R4,R5 et R6 sont des routeurs.

1. Routeur R1 :
 - a) (étape 0) Etablir la table de routage initiale de R1 , avant qu'il ne reçoive d'informations de ses voisins.
 - b) (étape 1) Etablir la table de routage de R1 , après qu'il ait reçu des informations de ses voisins (Protocole RIP).
 - c) (fin du processus) Etablir la table de routage de R1 , après la convergence du protocole RIP.
2. Donner la table de routage de R3, après convergence du protocole RIP.
3. Même question avec R5

Exercice 10.4

Soit le réseau suivant :

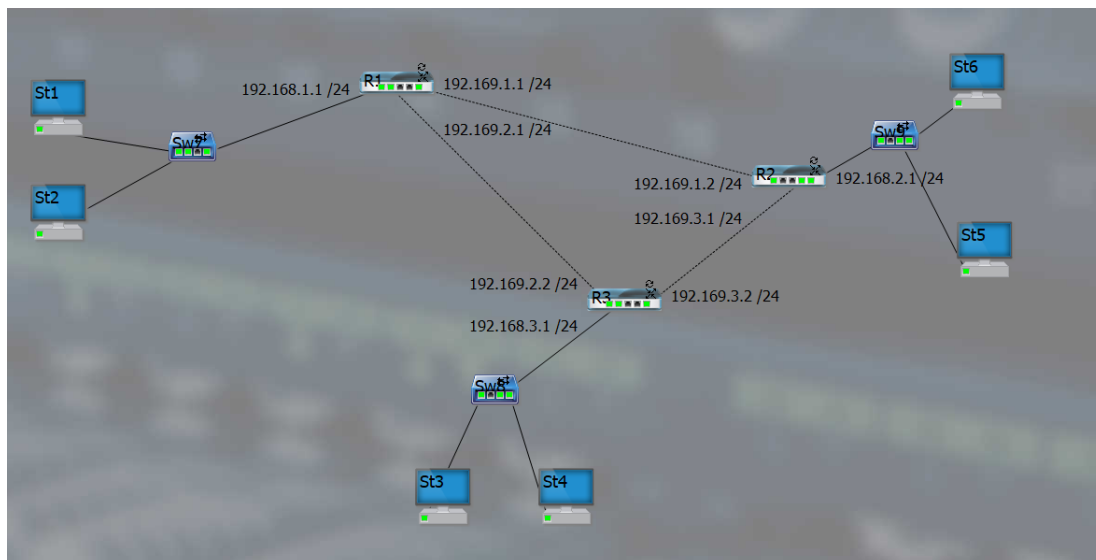


Donner la table de routage RIP du routeur R1 sous la forme :

Réseau	Passerelle	Interface	distance
défaut			1

Exercice 10.5

On considère le montage suivant :



Déterminer la table de routage de chaque routeur, en se basant sur le protocole RIP.
 Quel est le chemin qui sera utilisé pour aller d'un ordinateur du réseau 192.168.1.0 à un ordinateur du réseau 192.168.2.0 ?

4.2 Protocole OSPF

OSPF : Open Shortest Path First

Comme avec le protocole RIP, le protocole OSPF repose sur l'échange d'informations entre les routeurs. Mais cette échange est plus "intelligent".

Le protocole OSPF, au contraire de RIP, n'utilise pas le "nombre de sauts nécessaire" pour établir la métrique, mais la notion de "coût des routes". Dans les messages échangés par les routeurs on trouve le coût de chaque liaison (plus le coût est grand et moins la liaison est intéressante). Quand on parle de "liaison" on parle simplement du câble qui relie un routeur à un autre routeur. Le protocole OSPF permet de connaître le coût de chaque liaison entre routeurs, et donc, de connaître le coût d'une route (en ajoutant le coût de chaque liaison traversée). On notera que pour effectuer ces calculs, le protocole OSPF s'appuie sur **l'algorithme de Dijkstra**

Vidéo explicative sur l'algorithme de Dijkstra

La notion de coût est directement liée au débit des liaisons entre les routeurs. Le débit correspond au nombre de bits de données qu'il est possible de faire passer dans un réseau par seconde :

$$\text{coût} = \frac{\text{vitesse de référence}}{\text{débit en bits/s}}$$

● Exercice 10.6

Calculer les coûts des routes suivantes, en prenant comme vitesse de référence 10^8 :

Route	1	2	3	4	5	6	7	8
Débit	50 kbps	100 kbps	500 kbps	1 Mbps	10 Mbps	100 Mbps	1 Gbps	10 Gbps
Coût							1	1

Remarque

Le coût est forcément un entier !



Savoir-Faire 10.3

On reprend le montage précédent, mais on va établir les tables de routages avec le protocole OSPF. On considère les débits suivants :

Routeur 1 - Routeur 2 : 2 megabits/s

Routeur 1 - Routeur 3 : 5 megabits/s

Routeur 2 - Routeur 3 : 5 megabits/s

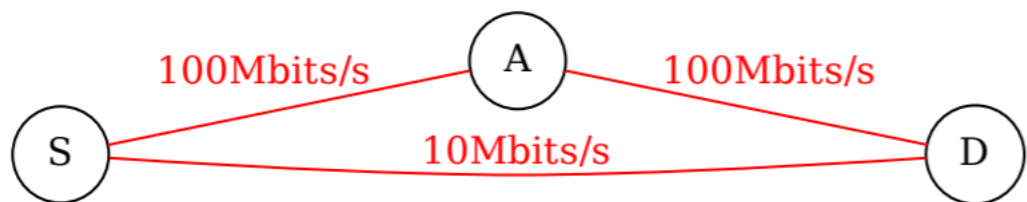
On prendra comme vitesse de référence 10^8 .

Quel est le chemin qui sera utilisé pour aller d'un ordinateur du réseau 192.168.1.0 à un ordinateur du réseau 192.168.2.0 ?



Exercice 10.7

On cherche à aller du routeur S au routeur D.



Déterminer le chemin choisi en considérant dans un premier temps le protocole RIP et dans un second temps le protocole OSPF.

On prendra comme vitesse de référence 10^8 .



Exercice 10.8

Dans cet exercice, nous nous intéressons au calcul de la table de routage. Supposons que le noeud F du réseau a la vision suivante du réseau :

liaison	coût
A vers B	1
A vers D	3
B vers D	3
B vers E	1
C vers F	1
C vers D	2
D vers A	3
D vers B	3
D vers F	4
E vers B	1
E vers F	2
F vers C	1
F vers D	4
F vers E	2

1. Dessinez le réseau à partir des informations ci-dessus.
2. Ecrivez la table de routage du noeud F, en utilisant le protocole OSPF.

Exercice 10.9

Utilisez l'algorithme de Dijkstra pour établir la table de routage du routeur M dans le réseau ci-dessous :

