

## Notion de réseaux : protocole de routage

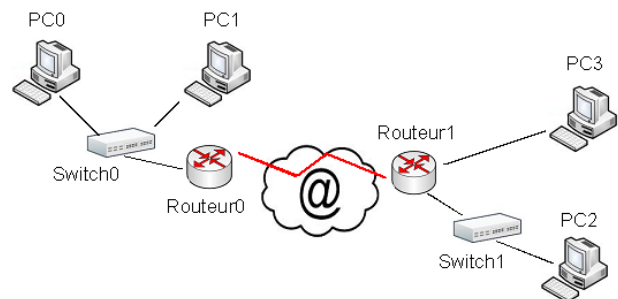
### Résumé

Internet est un réseau de réseaux. Les routeurs sont chargés d'interconnecter les différents réseaux entre eux.

Des unités autonomes de gestion, où AS, représentent les briques macroscopiques de l'organisation d'Internet.

Les informations sont échangées et transmises via un cheminement arbitré dans les routeurs par des protocoles adéquats à l'intérieur d'un AS. C'est le routage interne objet de ce cours.

Entre les AS des protocoles particuliers appelés routage externe sont utilisés et ne seront pas explicités ici.



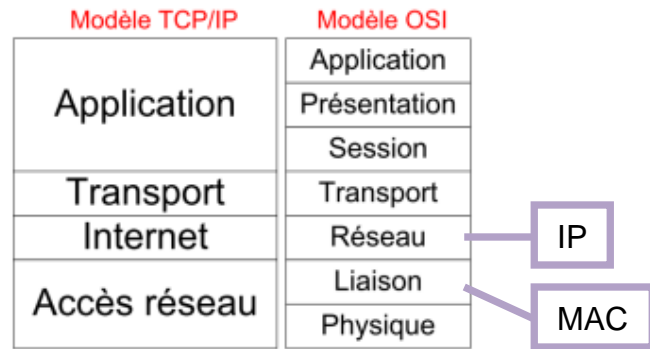
### Sommaire :

<b>1</b>	<b>Rappel sur l'adressage</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Analyse d'un réseau, internet un réseau de réseaux</b> .....	<b>3</b>
2.1	Étude de la topologie d'un réseau.....	3
2.2	Internet un réseau de réseau .....	3
<b>3</b>	<b>Routage interne</b> .....	<b>5</b>
3.1	Présentation du fonctionnement du protocole RIP (Routing Information Protocol) .....	5
3.2	Étudions le fonctionnement du protocole RIP sur le schéma présenté en dernière page. ....	6
3.3	Table de routage exercice 1 ( Source NSI Ellipses ) .....	8
3.4	Table de routage exercice 2 (Source sujet0).....	9
3.5	Table de routage exercice 3 ( Source Compétences attendues TNSI Ellipses ) .....	10
3.6	Chercher l'erreur ! .....	10
<b>4</b>	<b>Le routage interne routage à états de liens</b> .....	<b>11</b>
4.1	Présentation.....	11
4.2	Le protocole OSPF (Open Shortest Path First).....	11
4.3	Conclusion.....	12
4.4	Le protocole OSPF exercice .....	12
<b>5</b>	<b>Algorithme de Dijkstra</b> .....	<b>13</b>
5.1	Présentation générale de l'algorithme .....	13
5.2	Utilisation de l'algorithme version graphique.....	13
5.3	Utilisation de l'algorithme version table .....	13
5.4	Algorithme de Dijkstra résolution graphique.....	14
5.5	Algorithme de Dijkstra résolution tabulaire .....	15
5.6	Comparaison des protocoles RIP et OSPF étude d'un réseau.....	16
<b>6</b>	<b>Ressources :</b> .....	<b>18</b>

# 1 Rappel sur l'adressage

Pour aborder le routage il est nécessaire de se rappeler la notion d'adresses réseaux, couche du modèle OSI et adresses MAC et adresses IP.

## Pour le faire :

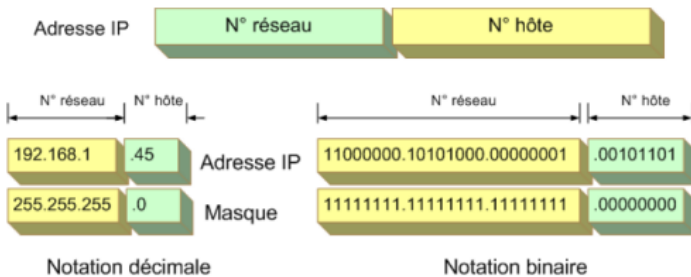


🚧 Principes des réseaux de données S4-1 Protocole IP Adressage

🚧 Principes des réseaux de données S4-3 Protocole IP Adresse IP

- Q1. Quel est le rôle de l'adresse ?
- Q2. Sur quelle couche est utilisée l'adresse MAC ?
- Q3. Quel est le domaine d'emploi de l'adresse MAC ?
- Q4. La couche 3 OSI permet l'acheminement des informations sur le réseau global. Comment s'appelle l'adressage de cette couche ?
- Q5. Combien de bits pour l'IPv6 ?

## Quelques tableaux bilans :



- Certaines adresses sont publiques et d'autres privées
  - ♦ C'est une des solutions trouvées pour limiter le nombre d'adresses IP sur Internet
  - ♦ Les adresses privées ne sont pas visibles sur Internet
- Les adresses privées sont définies pour chaque classe d'adresse

- Classe A 10.0.0.0 à 10.255.255.255 → 1 réseau de classe A
- Classe B 172.16.0.0 à 172.31.255.255 → 16 réseaux de classe B
- Classe C 192.168.0.0 à 192.168.255.255 → 256 réseaux de classe C

La classe est déterminée par les 4 premiers bits de l'adresse :

Bits de poids fort	Intervalle du 1 <sup>er</sup> octet	Classe
0	1 à 126	A
10	128 à 191	B
110	192 à 223	C
1110	224 à 239	D
1111	Réservé	E

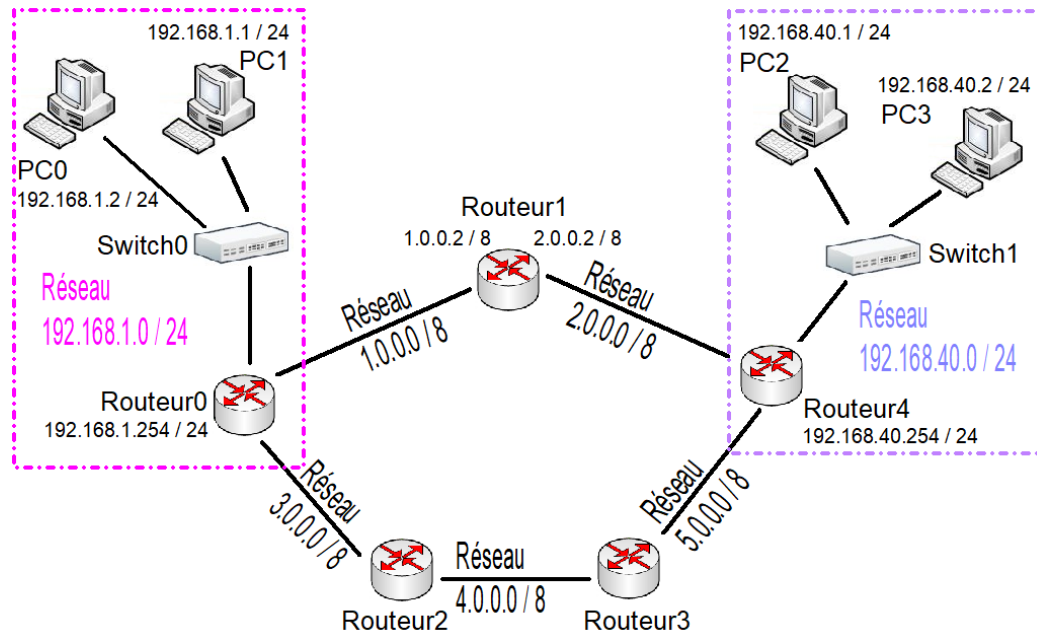
				Plage d'adresses IP	
				Adresse mini	Adresse max.
Classe A	0	Adresse réseau	Adresse machine	0.0.0.0	127.255.255.255
		7 bits	24 bits		
Classe B	1 0	Adresse réseau	Adresse machine	128.0.0.0	191.255.255.255
		14 bits	16 bits		
Classe C	1 1 0	Adresse réseau	Adresse machine	192.0.0.0	223.255.255.255
		21 bits	8 bits		



## 2 Analyse d'un réseau, internet un réseau de réseaux

### 2.1 Étude de la topologie d'un réseau

#### Routeur d'accès et routeurs internes analyse du schéma



Q6. Identifiez les différents réseaux présents sur le schéma :

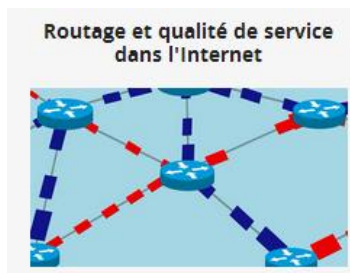

Q7. Quelle est la passerelle du poste PC0 ?


Q8. Donner les noms des routeurs d'accès ?

Q9. Donner les noms des routeurs internes ?

### 2.2 Internet un réseau de réseau

Nous présentons, grâce aux excellent MOOC de l'IMT, l'organisation générale d'internet avant de nous intéresser au routage dans un réseau particulier.

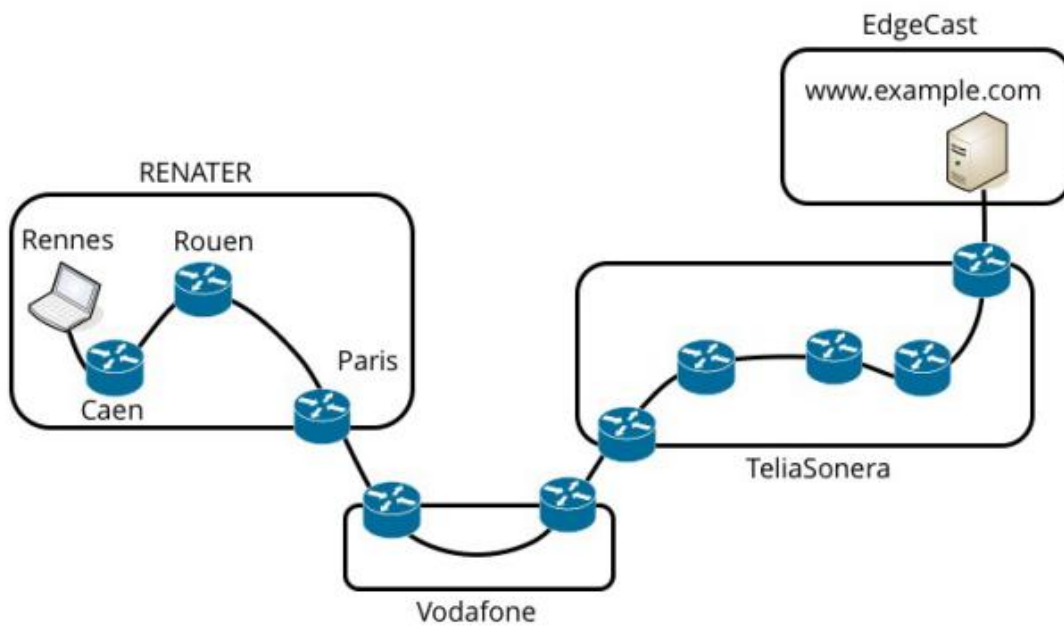


 Routage\_et\_QoS\_S2-1\_Le routage Externe Structure Internet

 Routage\_et\_QoS\_S2-2\_Le routage Externe Interconnections des SA



## Internet un réseau de réseaux<sup>1</sup>



### Internet est une interconnexion de systèmes autonomes ou SA

Le routage de l'information dans ces réseaux est appelé routage externe. Il est dépendant des accords techniques et de transit passés entre les différents AS : Autonomous System.

- Q1. Qu'est-ce qu'un AS ?
- Q2. Comment définir internet ?
- Q3. Comment est identifié un SA aujourd'hui ?

#### Systeme Autonome

- Une seule entité de gestion
- Une seule entité pour le routage externe
- Exemples:
  - Fournisseur de contenu
  - Fournisseur d'accès à Internet
  - Toute entreprise avec un accès à Internet



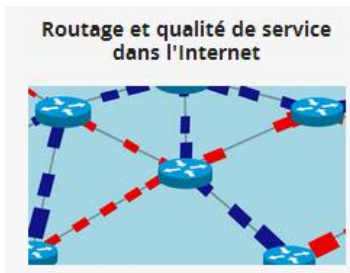
<sup>1</sup> Source Fun-Mooc Parcours réseaux IMT


### 3 Routage interne

Le paragraphe précédent nous a fait entrevoir la structure d'internet. A l'intérieur d'un AS les informations sont routées automatiquement, tous les routeurs présents dans cet AS échangent des informations leur permettant de construire des tables de routage : c'est le routage interne.

Le routage est basé sur des tables de routage qui peuvent être décrites manuellement pour les très petits réseaux, c'est le routage statique, ou bien créées et mises à jour automatiquement on parle alors de routage dynamique.

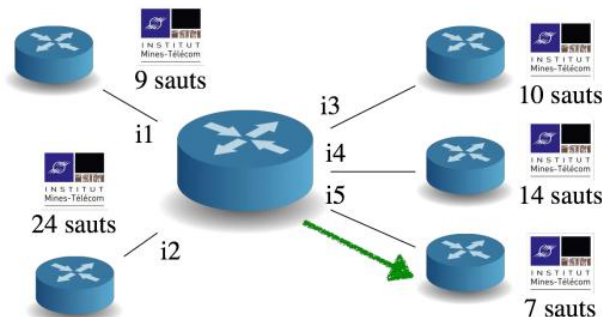
Q4. Citez au moins un avantage à l'utilisation de tables de routage dynamiques plutôt que statiques.



 Routage\_et\_QoS\_S1-1\_Le routage interne

#### 3.1 Présentation du fonctionnement du protocole RIP<sup>2</sup> (*Routing Information Protocol*)

 Routage\_et\_QoS\_S1-2\_Le routage interne Routage a vecteur de distance



#### Le protocole RIP :

Les tables de routage, pour chacun des routeurs, contiennent la liste des destinations connues avec pour chacune d'entre elles la passerelle qui permet d'atteindre la prochaine étape du cheminement vers cette destination. L'identification de l'interface physique comme par exemple une carte Ethernet **eth** ou un réseau sans fil **wlan** ou autres, et le nombre de sauts pour arriver à destination (**hop** en anglais).

Toutes les tables de routage sont construites de proches en proches par l'échange des informations entre les routeurs.

Cela conduit à une consommation de bande passante pour cet échange de flux

Table de routage			
Destination	Passerelle	Interface	Distance

<sup>2</sup> Voir également ici <https://www.youtube.com/watch?v=kzablGaqUXM>

d'informations et donc cela représente un coût pour cet algorithme. 

Au bout d'un certain temps on considère que toutes les tables de tous les routeurs interconnectés sont identiques : **c'est ce qu'on appelle la convergence.**

Les tables sont échangées toutes les 30s pour permettre de suivre les évolutions de la topologie du réseau. Les routeurs sont au maximum à une distance de 15 sauts. De ce fait une distance infinie est représentée dans ce protocole par la valeur de 16 par exemple pour un routeur détecté en panne.

Le suivi dynamique des tables de routage est réalisé par l'application des quatre règles suivantes quand un routeur reçoit la table de routage de l'un de ses voisins :

- Il découvre une nouvelle route vers un sous-réseau qui lui était inconnu : il l'inscrit dans sa table en l'incrémentant de un (il faut ajouter 1 pour atteindre le routeur voisin qui vient d'envoyer les éléments de sa table).
- Il découvre une route plus courte vers un sous-réseau qu'il connaissait déjà il modifie sa table (toujours en ajoutant 1).
- Il reçoit une nouvelle route plus longue que celle qu'il connaissait jusque là en provenance d'un nouveau routeur : il ignore cette route et ne fait pas de modification.
- Il reçoit une route existante vers un routeur, mais plus longue, par le même voisin qui lui avait fourni la valeur précédente de la route. Cela veut dire qu'un problème est apparu sur son ancienne route. Il met donc à jour sa table avec cette nouvelle route. Donc éventuellement avec la distance 16 pour un serveur détecté en panne.

3.2 Étudions le fonctionnement du protocole RIP sur le schéma présenté en dernière page.

### Première étape initialisation

INITIALISATION ROUTEUR0			
<u>Table de routage</u>			
Destination	Passerelle	Interface	Distance
192.168.1.0	-	i1	1
3.0.0.0	-	i2	1
1.0.0.0	-	i3	1

INITIALISATION ROUTEUR1			
<u>Table de routage</u>			
Destination	Passerelle	Interface	Distance

INITIALISATION ROUTEUR4			
<u>Table de routage</u>			
Destination	Passerelle	Interface	Distance

Tous les routeurs s'initialisent de la sorte.



**Les routeurs échangent leurs tables de routage avec leurs voisins proche.**

LE ROUTEUR0 RECOIT LA TABLE DU ROUTEUR1

Table de routage			
Destination	Passerelle	Interface	Distance

LE ROUTEUR4 RECOIT LA TABLE DU ROUTEUR1

Table de routage			
Destination	Passerelle	Interface	Distance

LE ROUTEUR1 RECOIT LA TABLE DU ROUTEUR0

Table de routage			
Destination	Passerelle	Interface	Distance

LE ROUTEUR1 RECOIT LA TABLE DU ROUTEUR4

Table de routage			
Destination	Passerelle	Interface	Distance

Le processus d'échange de tables se répète jusqu'à la convergence générale, c'est-à-dire jusqu'à ce que toutes les tables de routage soient stabilisées. Ce processus peut prendre un certain temps.

**Table de routage après convergence du routeur R0**

TABLE DU ROUTEUR0 APRES CONVERGENCE

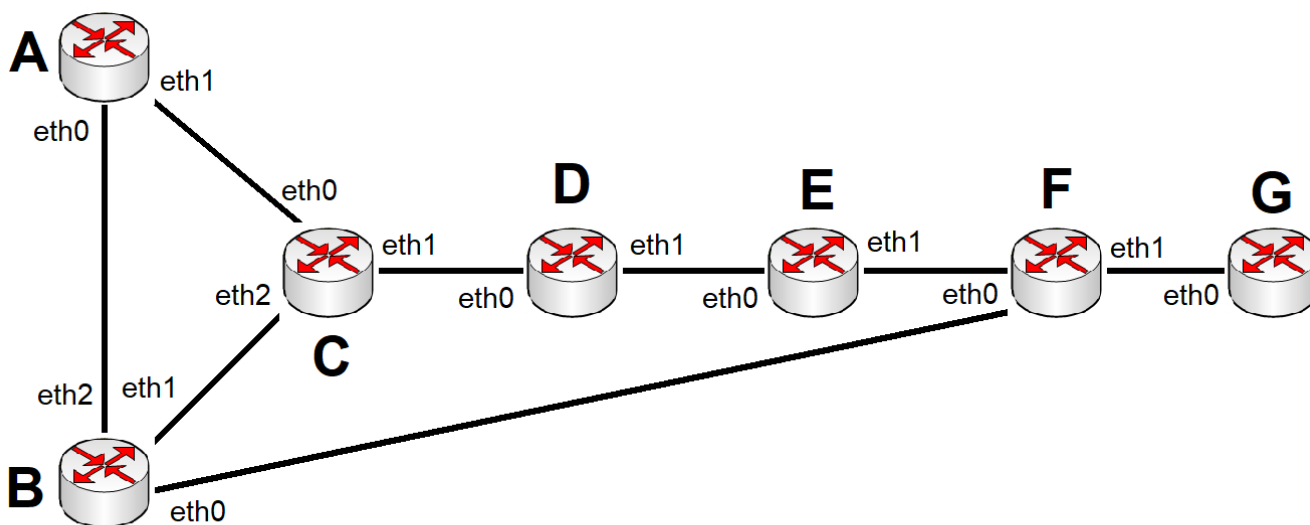
Table de routage			
Destination	Passerelle	Interface	Distance
5.0.0.0			
5.0.0.0			

Deux routes possibles



### 3.3 Table de routage exercice 1 ( Source NSI Ellipses )

Voilà un réseau constitué des routeurs A à G. Le protocole RIP est utilisé pour le routage. On suppose que la convergence est réalisée.



D'après NSI Ellipses 24 leçons et exercices  
Page 402

Q5. Remplir le tableau ci-dessous qui représente pour chaque machine une partie de sa table de routage pour la destination :

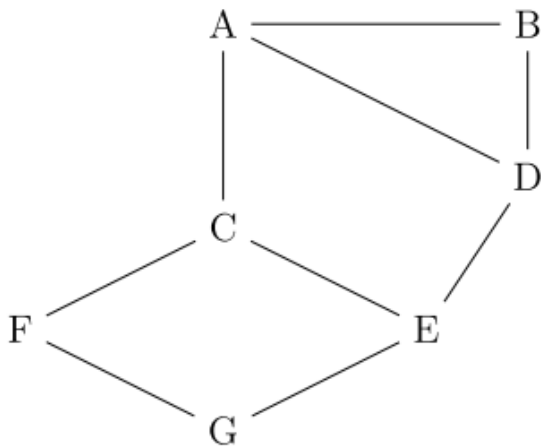
Machine	Destination	Passerelle	Interface	Distance
A	G			
B	G			
C	G			
D	G			
E	G			
F	G			





### 3.4 Table de routage exercice 2 (Source sujet0)

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



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 suivantes :

Table de routage du routeur A		
Destination	Routeur suivant	Distance
B	B	1
C	C	1
D	D	1
E	C	2
F	C	2
G	C	3

Table de routage du routeur B		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
C	A	2
D	D	1
E	D	2
F	A	3
G	D	3

Table de routage du routeur C		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
B	A	2
D	E	2
E	E	1
F	F	1
G	F	2

Table de routage du routeur D		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
B	B	1
C	E	2
E	E	1
F	A	3
G	E	2

Table de routage du routeur E		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	C	2
B	D	2
C	C	1
D	D	1
F	G	2
G	G	1

Table de routage du routeur F		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	C	2
B	C	3
C	C	1
D	C	3
E	G	2
G	G	1



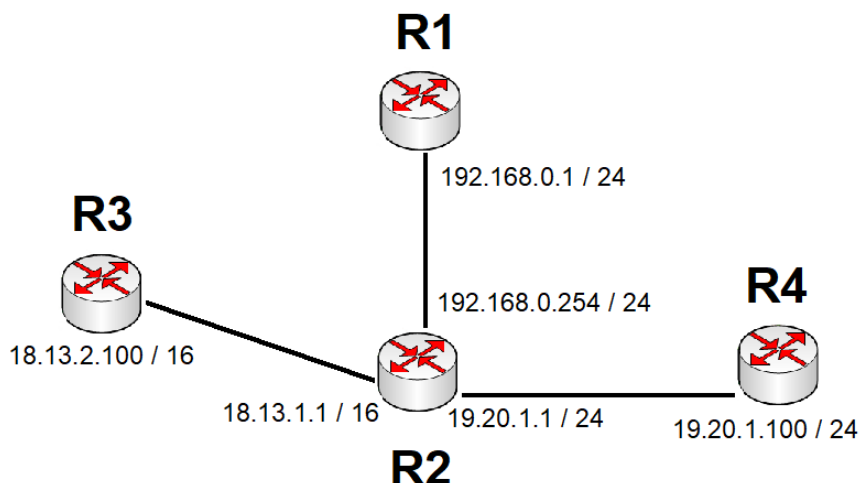
Q6. Le routeur A doit transmettre un message au routeur G, en effectuant un nombre minimal de sauts. Déterminer le trajet parcouru.

Q7. Le routeur C tombe en panne. Reconstruire la table de routage du routeur A en suivant le protocole RIP.

3.5 Table de routage exercice 3 ( Source Compétences attendues TNSI Ellipses )

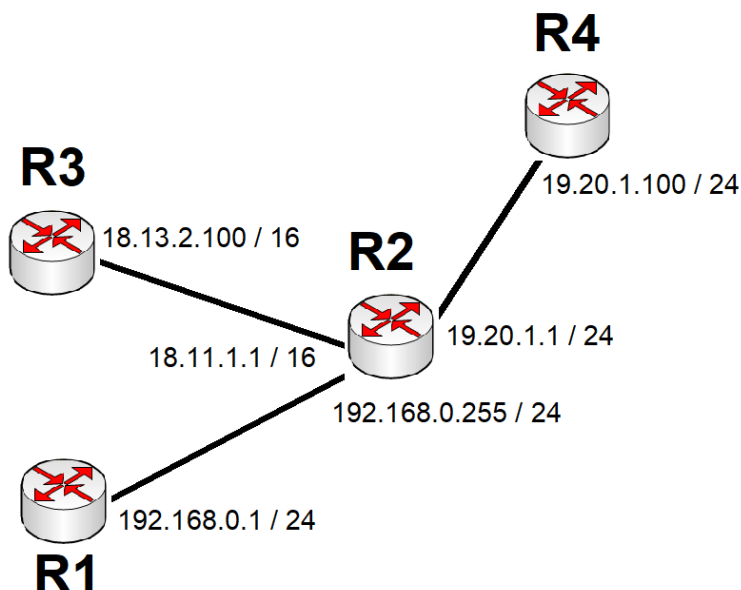
Q8. Donnez la table de routage du routeur R1

Machine	Destination	Passerelle	Distance
R1	R2		
R1	R3		
R1	R4		



3.6 Chercher l'erreur !

Il y a quelques erreurs dans la configuration du schéma ci-dessous, lesquelles ?

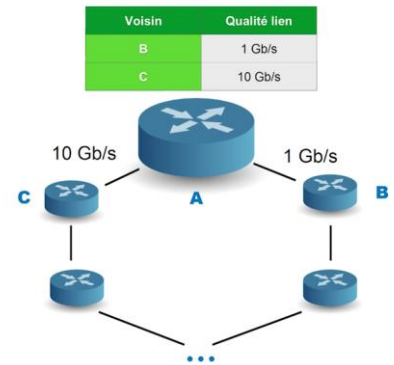


## 4 Le routage interne routage à états de liens

### 4.1 Présentation

Une autre façon de concevoir le routage est de s'adapter à l'état des liaisons entre les routeurs. Les tables de routage sont alors construites en prenant en compte des paramètres numériques indiquant la qualité de la route reliant deux routeurs.

Le critère de la minimisation du nombre de sauts, ou vecteur de distance, ou distance, entre deux routeurs n'est plus utilisé dans ce cas.



### Principe de fonctionnement :

- Construction de la table de routage messages hello
- Détermination du plus court chemin algorithme de Dijkstra.

Routage\_et\_QoS\_S1-3\_Le routage interne Routage à état de liens.mp4

Q9. En reprenant la conclusion de la vidéo ci-dessus, donnez quelques éléments comparatifs entre les protocoles à vecteur de distances et ceux à états de liens.

Q10. Que veut dire convergence dans ce contexte de routage dans les réseaux ?

### Bilan sur les stratégies de routages :

Routage\_et\_QoS\_S1-4\_Le routage interne Performances des algorithmes de routage.mp4

Algorithme	Surcoût	Qualité des routes	Robustesse	Réactivité
Routage aléatoire	😊	😞	😊	😊
Inondation	😊	😊	😊	😊
Vecteur de distance	😞	😊	😊	😞
État de lien	😞	😊	😊	😞
Statique centralisé	😞	😊	😞	😞
Pré-calculé	😞	😞	😞	😞

### 4.2 Le protocole OSPF (*Open Shortest Path First*)

Le protocole OSPF utilise une base de données distribuée qui garde en mémoire l'état des liens. Ces informations forment une description de la topologie du réseau et de l'état des nœuds, qui permet de définir l'algorithme de routage par un calcul des chemins les plus courts.

Routage\_et\_QoS\_S1-5\_Le routage interne OSPF.mp4



Q11. Expliquer comment est mis en œuvre le principe diviser pour régner dans le cadre du routage OSPF.

#### 4.3 Conclusion

Avoir des routes valides et efficaces donne une bonne utilisation du réseau (critère opérateur) et un relayage efficace des paquets qui assure une bonne qualité de service QoS (critère utilisateur).

Les items importants dans l'étude des performances d'algorithme de routage :

- le volume du trafic de contrôle
- la réactivité
- la robustesse face aux pannes
- la qualité des routes empruntées par les paquets.

#### Une vidéo pour conclure :

 Routage\_et\_QoS\_S1-6\_Le routage interne Conclusion.mp4

#### 4.4 Le protocole OSPF exercice

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.

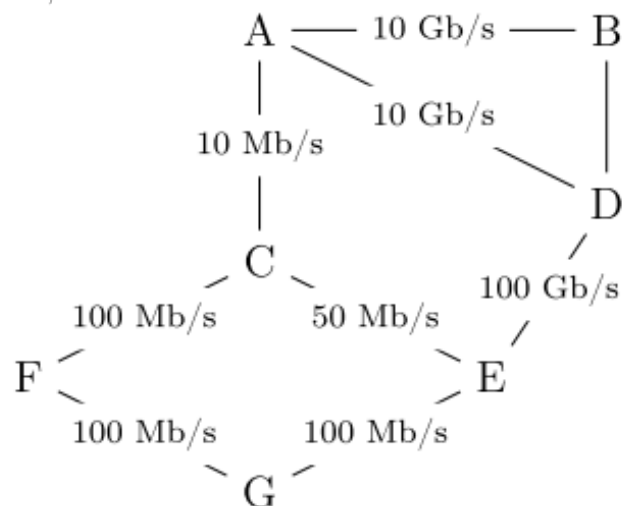
Le coût d'une liaison est donné par la formule suivante :

$$\text{coût} = \frac{10^8}{d}$$

où  $d$  est la bande passante en bits/s entre les deux routeurs.

On a rajouté sur le graphe représentant le réseau précédent les différents débits des liaisons.

On rappelle que  $1 \text{ Gb/s} = 1\,000 \text{ Mb/s} = 10^9 \text{ bits/s}$ .



#### Question 3

1. Vérifier que le coût de la liaison entre les routeurs A et B est 0,01.
2. La liaison entre le routeur B et D a un coût de 5. Quel est le débit de cette liaison ?

**Question 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.



## 5 Algorithme de Dijkstra

### 5.1 Présentation générale de l'algorithme

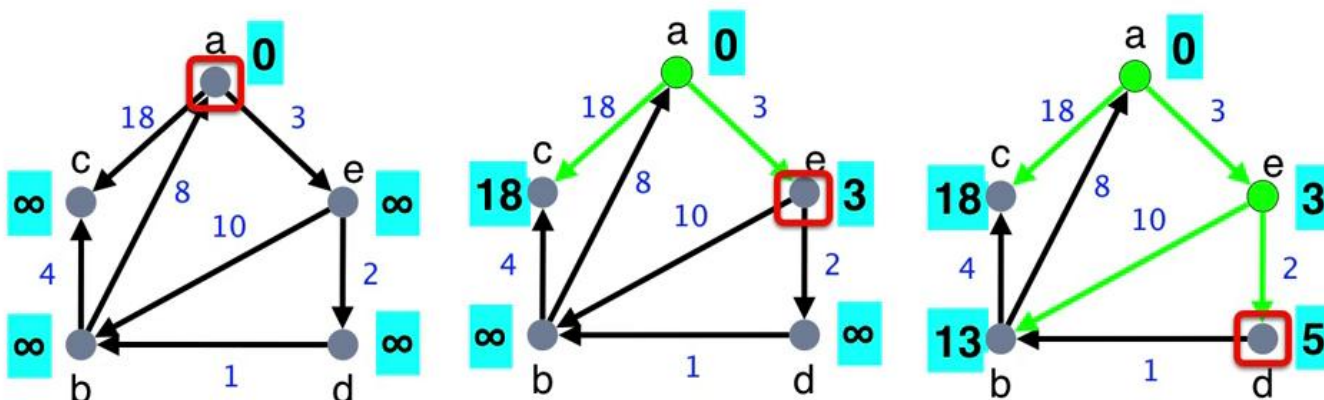
L'algorithme de **Dijkstra**, crée par l'informaticien néerlandais Edsger Dijkstra, et publié en 1959, est un algorithme permettant de déterminer le plus court chemin entre deux sommets dans un *graphe orienté pondéré de réels positifs* (on définira plus tard ces termes dans le chapitre sur les graphes).

#### Une vidéo de présentation

 AlgorithmeDeDijkstra.mp4

### 5.2 Utilisation de l'algorithme version graphique

 Algorithme\_de\_Dijkstra\_utilisation\_graphique.mp4



### 5.3 Utilisation de l'algorithme version table

 Utiliser\_l\_algorithme\_de\_Dijkstra.mp4

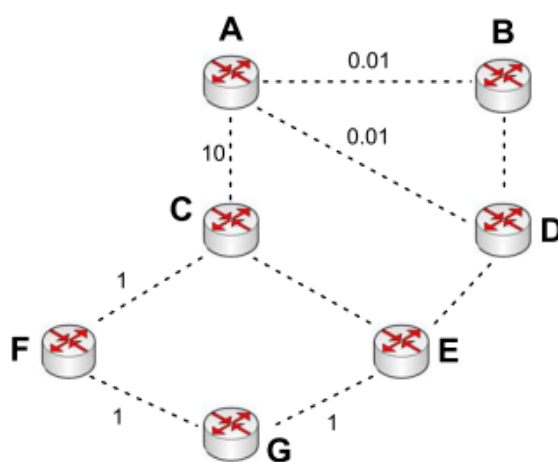
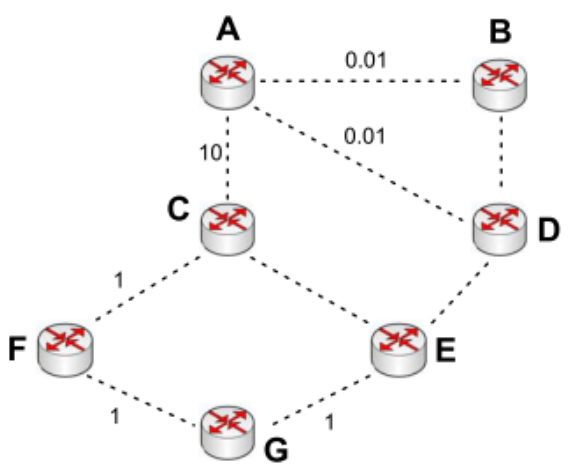
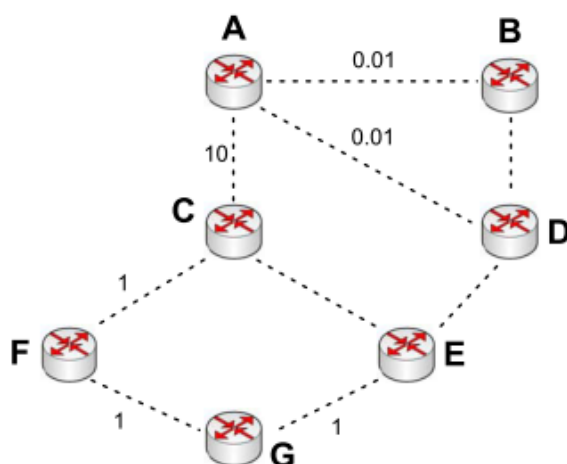
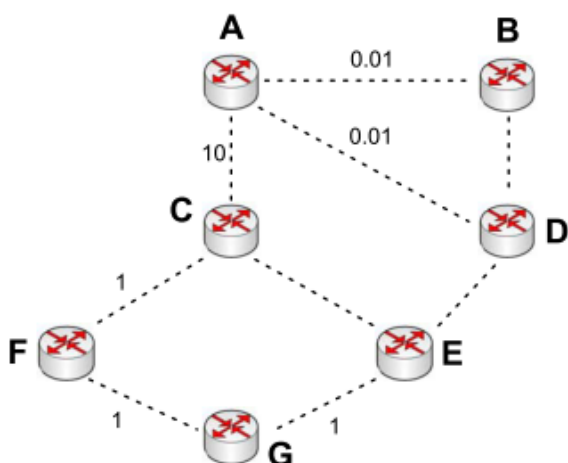
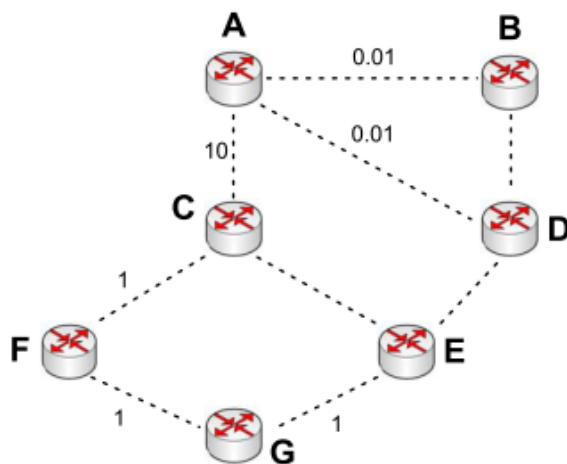
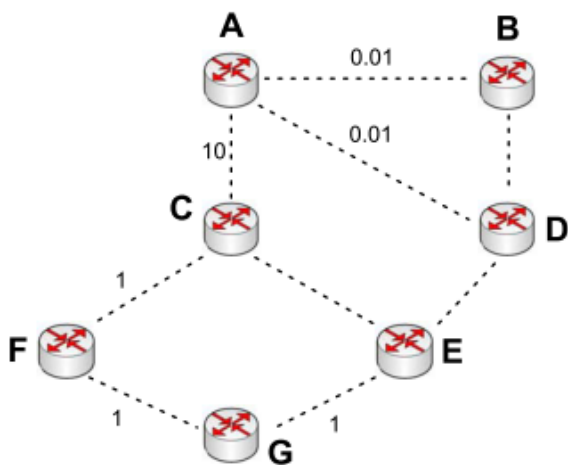


## 5.4 Algorithme de Dijkstra résolution graphique

Reprenons le réseau étudié précédemment.

a) Compléter les coûts manquants des différentes liaisons.

b) Déterminer la route avec le coût minimum en utilisant Dijkstra.

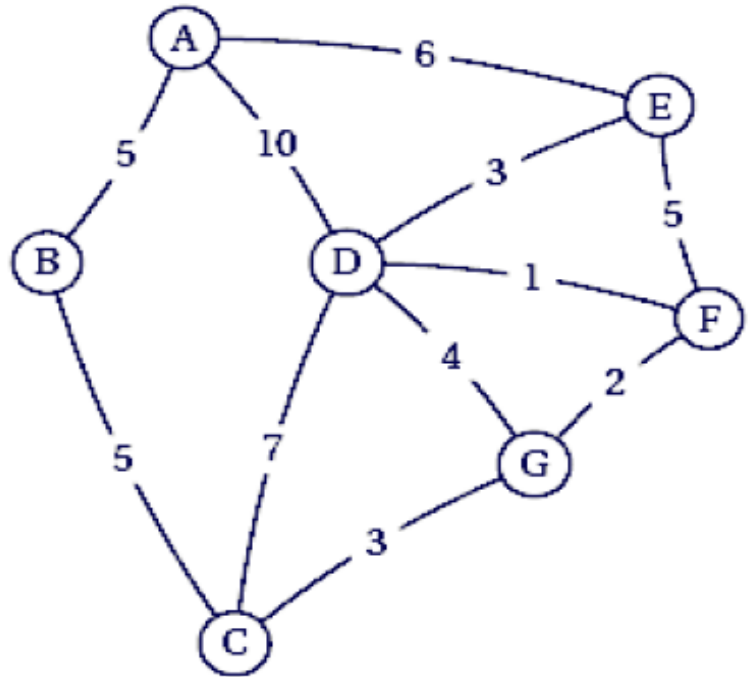


### 5.5 Algorithme de Dijkstra résolution tabulaire<sup>3</sup>

Laurent s'occupe de distribuer le courrier dans les bureaux d'une grande entreprise. Le graphe ci-dessous représente les différents parcours qu'il peut faire pour distribuer le courrier dans les bureaux A, B, C, D, E, F et G.

Le poids de chaque arête indique le nombre d'obstacles (portes, escaliers, machines à café.) qui nuisent à la distribution du courrier.

Laurent se voit confier par le bureau A un colis à livrer au bureau G.



Q12. Indiquer un parcours qui permette à Laurent de partir du bureau A pour arriver au bureau G en rencontrant le minimum d'obstacles.

Q13. Indiquer le coût de ce parcours.

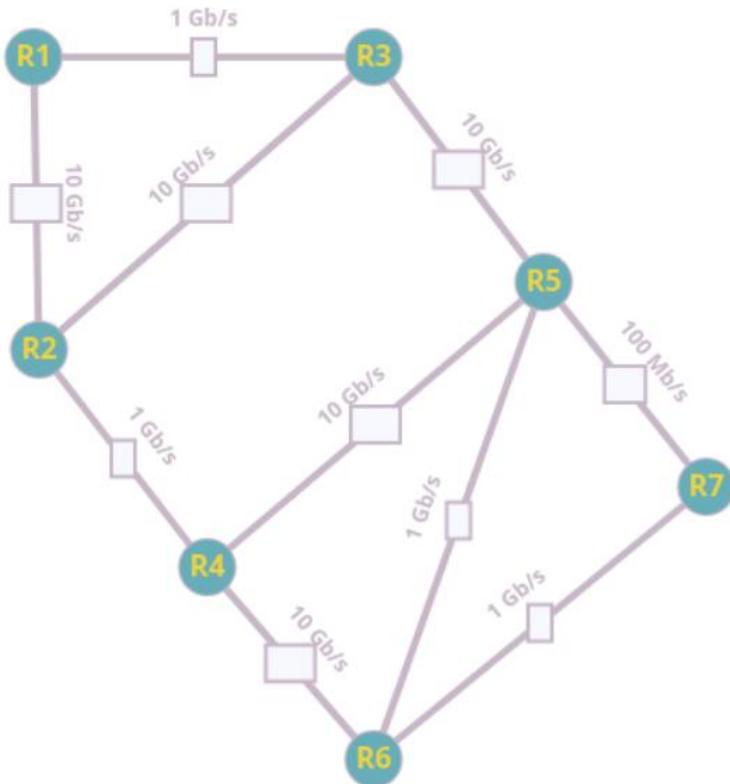
A	B	C	D	E	F	G	Etape
							1
							2
							3
							4
							5
							6
							7



<sup>3</sup> D'après <http://dominique.frin.free.fr/>

## 5.6 Comparaison des protocoles RIP et OSPF étude d'un réseau<sup>4</sup>

On considère le réseau suivant :



### Protocole RIP à vecteur de distance

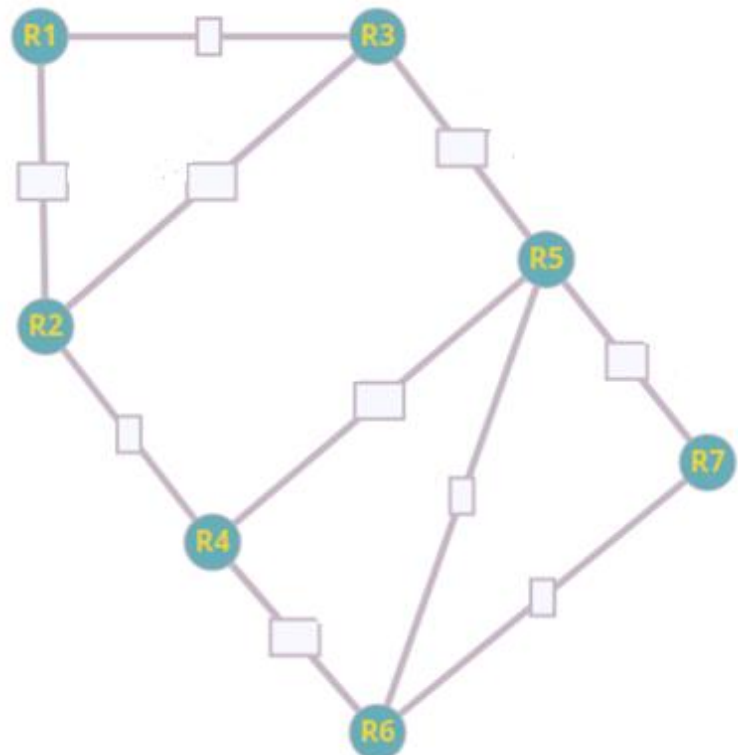
Q14. On utilise le protocole RIP quel est le chemin emprunté par les paquets entre les routeurs R1 et R7 ?

### Protocole OSPF à état de liens

Q15. Établir le schéma du réseau en mettant en évidence les inverses des bandes passantes aussi :

- 1 Gb/s sera affecté du poids 1
- 10 Gb/s sera affecté du poids 0.1
- 100 Mb/s sera affecté du poids 10

Q16. Utiliser l'algorithme de Dijkstra pour déterminer le trajet le plus efficace en termes de débits.



<sup>4</sup> A partir d'une idée initiale du site [https://www.lecluse.fr/nsi/NSI\\_T/archi/routage/OSPF/](https://www.lecluse.fr/nsi/NSI_T/archi/routage/OSPF/)



R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Etape
							1
							2
							3
							4
							5
							6
							7
							8

Q17. La liaison R4-R5 est hors service. Quel est la nouvelle route utilisée après convergence des tables de routage ?

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Etape
							1
							2
							3
							4
							5
							6
							7
							8



## 6 Ressources :

---

### Liens utiles

<https://marion.szpieg.fr/NSI-1-AMSE.html>

<https://formip.com/ospf-protocole-de-routage-a-etat-de-lien/>

[https://stringfixer.com/fr/Count\\_to\\_infinity](https://stringfixer.com/fr/Count_to_infinity)

<https://www.zonensi.fr/NSI/Terminale/C07/OSPF/>

[https://www.lecluse.fr/nsi/NSI\\_T/archi/routage/OSPF/](https://www.lecluse.fr/nsi/NSI_T/archi/routage/OSPF/)

### MOOC sur Fun Mooc

Routage et qualité de service

### Livre spécialisé

Les réseaux, Pujolle, Eyrolles, Edition 2014, 780 pages.



