

Chapitre : Réseaux : adressage et routage

17 janvier 2022

1 Le protocole RIP

1.1 Activité



Algorithme :

- À tous vos voisins : envoyez le message :
Mon IP est [votre IP] et je suis ton voisin.
Indiquez sur le papier votre prénom et votre numéro whatsapp.
- Complétez votre table de routage avec les informations reçues.
- Quand le professeur donne le signal. Envoyez à chacun de vos voisins directs la photo de votre table de routage.
- A chaque table reçue, mettez à jour votre table si besoin, (traiter chaque photos, une par une et dans l'ordre de réception).

1.2 Le protocole RIP (Routing Information Protocol)



Chaque routeur reçoit en permanence (toutes les 30 secondes environ) de ses voisins les informations de routage qu'ils possèdent.

Il va alors exploiter ces informations pour se construire lui-même sa table de routage en ne retenant que les informations les plus pertinentes : une simple comparaison permet de ne garder que le chemin le plus avantageux. Il transmettra à son tour ces informations à ses voisins et ainsi de suite. C'est l'algorithme de Belman-Ford : un des algorithmes de recherche de plus court chemin dans un graphe.

A l'issue de quelques étapes, les tables se stabilisent et le routage est pleinement opérationnel. Le temps nécessaire à la stabilisation des tables est proportionnel au diamètre du graphe modélisant le réseau (c'est à dire au nombre maximal d'étapes nécessaires pour relier deux points quelconques du réseau).^a

^a. Olivier Lecluse — 2020 <https://www.lecluse.fr/nsi/>



Routage RIP

Regardez cette vidéo de Claude Chaudet (Institut Mines-Télécom) qui expose le principe du routage à vecteur de distance.

Protocole RIP (Routing Information Protocol)

Le protocole RIP rentre dans la catégorie des protocoles à vecteur de distance. Un vecteur de distance est un couple (adresse, distance).

Le principe simplifié de ce protocole est de chercher à minimiser le nombre de routeurs à traverser pour atteindre la destination (on minimise le nombre de sauts).^a

a. Olivier Lecluse — 2020 <https://www.lecluse.fr/nsi/>

1.3 Exercice

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

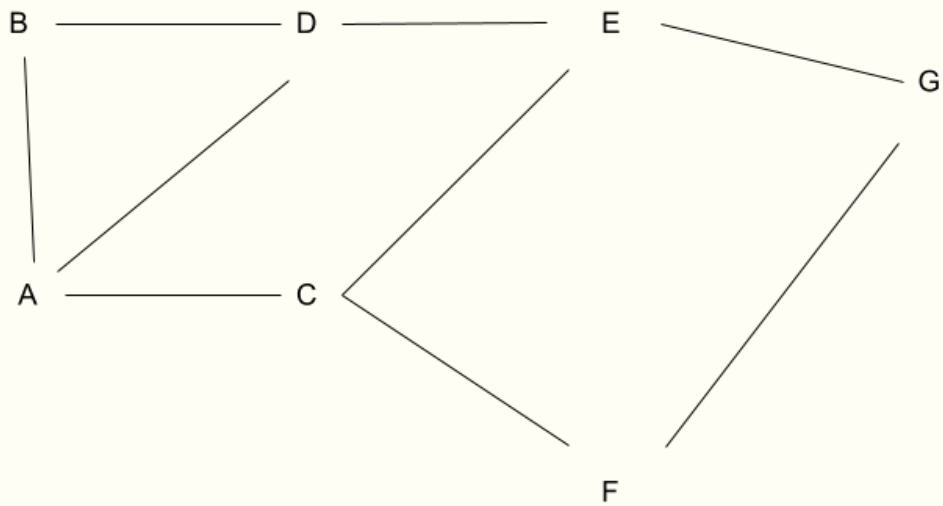
Table de routage du routeur C		
Destination	Routeur suivant	Distance
A	A	1
B	A	2
D	E	2
E	E	1
F	F	1
G	F	2

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

Question 1 - On considère un réseau composé de plusieurs routeurs A, B, C, D, E, F, et G. Reconstituer la topologie du réseau de routeurs en observant, ci-dessus, les tables de routages dressées selon le protocole RIP.



Question 2 - Dressez la table de routage du routeur G. Dire pourquoi ce n'est pas la seule solution possible, et donner alors un exemple de ligne de votre table qui pourrait être modifiée.

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

Pour les destinations A et C, on pourrait changer le routeur suivant pour F sans changer le nombre de sauts nécessaires.



Exercices complémentaires

214301

1.4 Exercice

Table de routage du routeur B		
Destination	Suivant	Distance
A	A	1
C	A	2
D	D	1
E	D	2
F	D	3
G	D	5
H	D	4

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

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

Question 1 - Les sommets B et D sont-ils voisins ?

Dans la table de B, le routeur D fait partie des routeurs suivants (passerelles), il est donc directement accessible.

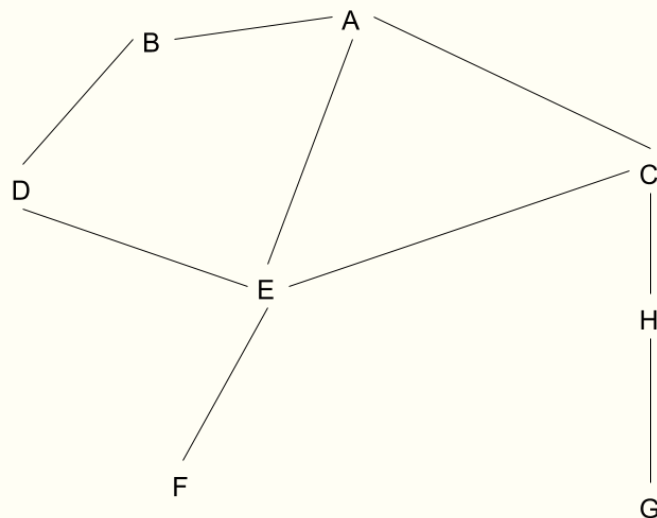
Question 2 - Les sommets E et G sont-ils voisins ?

Dans la table de E, pour atteindre le routeur G, il est indiqué que 3 sauts sont nécessaires. Il y a donc deux routeurs intermédiaires.

Question 3 - Les tables ont-elles convergées ?

On constate que le nombre de sauts entre les trois routeurs, sont égaux dans un sens comme dans l'autre, c'est un bon indice de convergence.

Question 4 - Dessiner le réseau.



Question 5 - Construire la table de routage de A

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

2 Adressage IP, Sous-réseaux et Masques

2.1 Préliminaires

Rappels de classe de première : visionner les vidéos et écouter la présentation du professeur pour vous rafraîchir la mémoire au sujet des adressages IP. Répondre ensuite aux questions posées.



214302

Visionner la vidéo Internet, comment ça marche ?



Visionner la : Internet IP : un protocole universel ?



214302

Visionner la vidéo INRIA : Les réseaux de communications

2.2 Adresses IP et masques de sous-réseau :



214302

Présentation par le professeur : Rappels sur les adresses IP et les masques de sous-réseaux (support (notebook 214302))

Question 1 - Pour traduire les réponses en binaire de cette activité : on noircira une case pour un 1 et on laissera blanche pour 0

Sur la table de routage que tu as construite à l'activité 1.1,

- Convertir en binaire l'IP de ton sous-réseau, et reporte le masque également.
- Faire de même pour les sous-réseaux qui figurent dans la table de routage.

Question 2 - Tu reçois un message ayant pour destinataire l'ordinateur ayant une IP :

- Traduire en binaire l'adresse IP du destinataire sur le calque distribué.
- Vérifier si le destinataire fait partie de votre réseau.
- Si il fait partie de votre sous-réseau : identifier la machine en question et lui remettre le message.
- S'il ne fait pas partie de votre sous-réseau : identifier à l'aide de votre table de routage à quel routeur et lui transmettre.

Faire la même chose à chaque réception d'un nouveau message.

2.3 Adressage IP

IP (Internet Protocol)

Chaque *objet IP* est identifié par une adresse IP qui contient ^a :

- l'adresse du réseau IP local (extraite grâce au « netmask » ou « masque de sous réseau ») ;
- le numéro de la machine dans le réseau IP local.

Une adresse IPv4 est un identifiant numérique à 32 bits (4 octets).

- La communication avec d'autres *objets IP* appartenant au même réseau se fait directement via le réseau local de par l'intermédiaire d'un switch (commutateur).
- La communication avec d'autres *objets IP* d'autres réseaux IP distants se fait via des routeurs.

^a. Inspiré du polycopié de cours du Lycée Saint-Exupéry de Mantes-la-Jolie, et largement simplifié, on s'y reportera pour un ensemble plus complet

Remarque : grâce à des adresses de 128 bits au lieu de 32 bits, IPv6 dispose d'un espace d'adressage bien plus important qu'IPv4. Il résout donc le problème de pénurie d'adresses IPv4 publiques liée à la multiplication des objets connectés dans la vie quotidienne

2.4 Questionnaire :

Répondre aux questions suivantes ^{1 2 3 4} :

Question 1 - Quelle est le format d'une adresse IPv4 ? En déduire le nombre possibles d'adresses IPv4 différentes. Même question avec IPv6.

IPv4 comporte 32 bits soit 2^{32} possibilités, c'est à dire 4 294 967 296 machines.

Avec Ipv6 on passe sur 128 bits soit : 340 sextillions adresses possibles.

340 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 Machines

Question 2 - Trouver l'adresse de votre routeur domestique.

Commande terminal linux :

curl ifconfig.me pour l'adresse publique

ifconfig -a pour l'adresse dans le réseau local.

Question 3 - Une des adresses suivantes n'est pas une adresse IP, Laquelle ?

192.168.1.21 1.1.1.1 172.20.6.100 172.26.6.256

La dernière ne correspond pas à un groupe de 4 octets puisque le dernier nombre 256 nécessite 9 bits pour être représenté.

1. David Roche - Pixees.fr <https://pixees.fr/informatiquelycee/>

2. extrait de « Numérique et Sciences Informatiques - Première - 30 leçons avec exercices corrigés »- Ellipses

3. extrait de « Spécialité Numérique et Sciences Informatiques - Première »- collection Prépas Sciences - Ellipses

4. extrait de « Les vrais exos - Première »- collection Interros des lycées - Nathan



Question 4 - À quel site web correspond l'adresse IP suivante : 128.93.162.83 ? Quel système d'annuaire permet de mettre en relation adresse IP et nom de domaine ?

Il suffit de saisir l'adresse dans un navigateur pour être dirigé vers le site en question (www.inria.fr).

Dans le terminal, la commande : `whois 128.93.162.83` permet de connaître le nom du site (si on a installé `whois`)

Réciproquement : `nslookup www.inria.fr` permet d'obtenir l'adresse IP du serveur correspondant au nom de domaine *inria.fr*

Ce sont les serveurs DNS (Domain Name Service) qui enregistrent et servent la correspondance entre les noms de domaines et l'adresse IP des serveurs qui servent les sites internet.



visionner la vidéo suivante https://www.youtube.com/watch?v=5AVY6E-7yCc&feature=emb_logo

Question 5 - Quelle est la surface de la Terre en km^2 puis en m^2 ? Combien d'appareils connectés à internet avec une IPv4 peut-on placer dans 1km^2 ? Combien d'appareils en IPv6 dans un m^2 ?

Une petite recherche sur internet ou un calcul mathématiques nous donne une surface terrestre de 510,1 millions km^2 . On a 2^{32} IP possible en version 4 soit 4 294 967 296.

Nombre d'adresse IPv4 au km^2 :

$$\frac{4\,294\,967\,296}{510,1 \times 10^9}$$

Nombre d'adresse IPv6 au m^2 :

$$\frac{340 \times 10^{36}}{510,1 \times 10^9 \times 10^6}$$

Question 6 - Déterminez les adresses réseaux à partir des adresses IP suivantes :

- 147.12.1.24/16
- 192.168.2.45/24
- 5.23.65.87/20

Dans le cas où on a un nombre d'octet entier, c'est très simple : pour le premier : l'adresse du réseau sera 147.12.0.0/16, pour le second : 192.168.2.0/24

Lorsque le masque ne couvre pas un nombre d'octets entiers, alors il faut repasser en binaire :
 5.23.65.87/20 : 00000101 00010111 01000001 01010111
 et mettre à zéro les 12 bits de poids faibles réservés pour les machines :
 00000101 00010111 01000000 00000000 : 5.23.64.0/20

Question 7 - Soit 2 machines A et B connectées à un switch, dites dans quels cas ces 2 machines pourront communiquer ensemble :

- adresse IP de A : 172.23.4.7/16 ; adresse IP de B : 172.23.5.8/16
- adresse IP de A : 24.2.8.127/8 ; adresse IP de B : 24.23.5.52/8
- adresse IP de A : 193.28.7.2/24 ; adresse IP de B : 193.28.8.3/24

Dans le premier cas c'est possible, car le masque de longueur 16 bits (deux octets entiers) est identique : 172.23.0.0. Dans le deuxième cas également, la masque est de 1 octet soit 24.0.0.0 dans les deux cas.

Par contre dans le dernier cas, il faut considérer 3 octets entiers, alors 193.28.7.0 et 193.28.8.0 nous indiquent deux réseaux différents.

Question 11 - On considère le réseau ci-dessous, constitués de sept machines (A,B,C,D,E,F) possédant chacune trois interfaces (nommées a,b, ou c). Chaque interface réseau est associée à une adresse IPv4. On suppose que toutes les interfaces sont configurées pour utiliser le masque de sous-réseau 255.255.248.0. Combien y-a-t-il de sous-réseaux ?

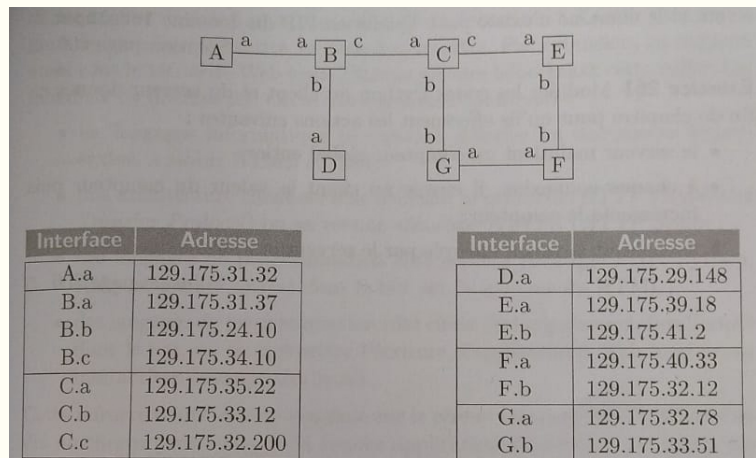


Figure 26.4 – Un réseau de sept machines et les adresses des interfaces réseau.

Il faut analyser les 21 premiers bits, en effet 248 correspond à 11111000 en binaire. On peut donc regarder les 5 premiers bits du troisième octet :

31 : 0001 1111
 31 : 0001 1111
 24 : 0001 1000
 34 : 0010 0010
 35 : 0010 0011
 33 : 0010 0001
 32 : 0010 0000
 29 : 0001 1101
 39 : 0010 0111
 41 : 0010 1001
 40 : 0010 1000
 32 : 0010 0000
 32 : 0010 0000
 33 : 0010 0001

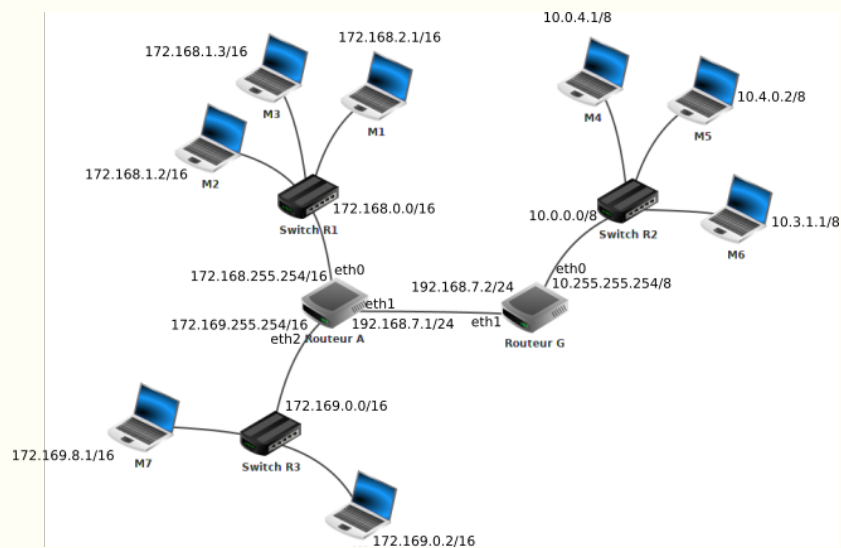
Et si les 5 bits de poids forts à gauche correspondent alors les IPs correspondent au même sous-réseau.



visionner la vidéo suivante https://www.youtube.com/watch?v=5AVY6E-7yCc&feature=emb_logo



Question 12 - Étudiez attentivement le schéma ci-dessous. Le choix des adresses IP des machines a été fait au "hasard" (ne cherchez pas une signification là où il n'y en a pas). En revanche, vérifiez que tout est cohérent : adresses machines avec adresses réseaux (les adresses réseaux sont notées à côté des différents switch (par exemple le switch R1 est utilisé dans le réseau d'adresse 172.168.0.0/16)).



214302

On peut se servir du notebook pour vérifier ses réponses à certaines des questions précédentes.

3 Le protocole OSPF (Open Shortest Path First)

3.1 Limites du protocole RIP

- Pour construire ses tables de routage, le routeur reçoit en permanence (toutes les 30 secondes environ) de ses voisins les informations de routage qu'il possède. Le protocole RIP génère donc un trafic important. Ces échanges d'informations vont nuire à la rapidité des communications dans le réseau.
- Le protocole RIP est en général utilisé sur de petits réseaux : il est en effet limité à 15 sauts (distance maximale de 16).
- Dans le protocole à vecteur de distance RIP, on cherche à minimiser le nombre de sauts, mais sans aucune garantie que le chemin emprunté soit en réalité le plus performant (en termes de débit par exemple). De plus avec RIP, chaque routeur ne connaît que ses voisins immédiats, il n'a donc pas connaissance de l'ensemble de la topologie du réseau.

Pour des structures plus importantes, on va lui préférer le protocole OSPF.

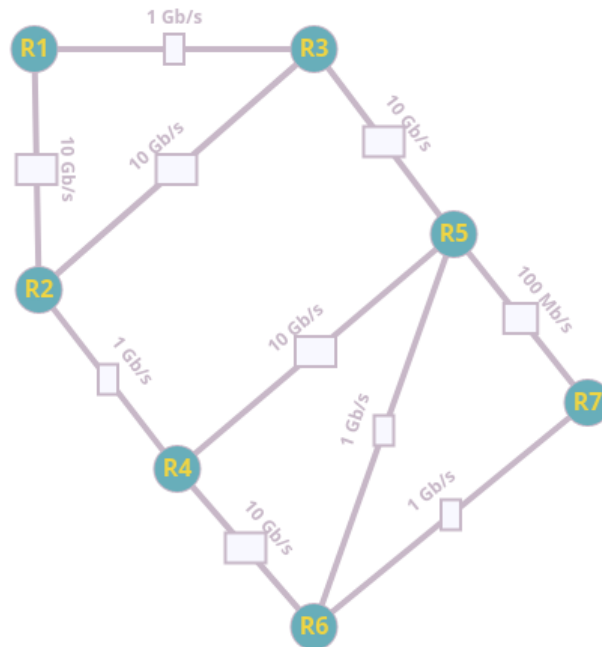
3.2 Le protocole OSPF

Protocole OSPF (Open Shortest Path First)

Le protocole OSPF propose une approche différente : au lieu de s'intéresser au nombre de sauts, on va chercher à optimiser le débit des liaisons empruntées. C'est un routage à états de liens. Pour cela, chaque routeur va devoir connaître l'intégralité du réseau avec le débit associé à chaque lien afin d'appliquer un algorithme de recherche de chemin optimal.



3.3 Exemple de topologie de réseau



Question - Protocole OSPF : Indiquer le chemin **le plus rapide** entre les routeurs R1 et R7
 Contrairement à RIP, le chemin qu'OSPF nous indiquera sera R1 => R2 => R3 => R5 => R4 => R6 => R7.
 Ce chemin n'est clairement pas le plus efficace en termes de sauts mais est le plus rapide en termes de débit car il n'exploite pratiquement que des liaisons à 10 Gb/s.

Question - Pour le protocole RIP, quel aurait été le chemin emprunté pour acheminer une information du routeur R1 au routeur R7
 Si on minimise le nombre de sauts alors on passer par la route R1 => R3 => R5 => R7

3.4 coût des liaisons

En pratique on utilisera la formule suivante pour déterminer les coûts des liaisons (ou une formule du même type) :

$$C = \frac{10^9}{BP}$$

où BP est la bande passante de la connexion en bp/s (bits par seconde).

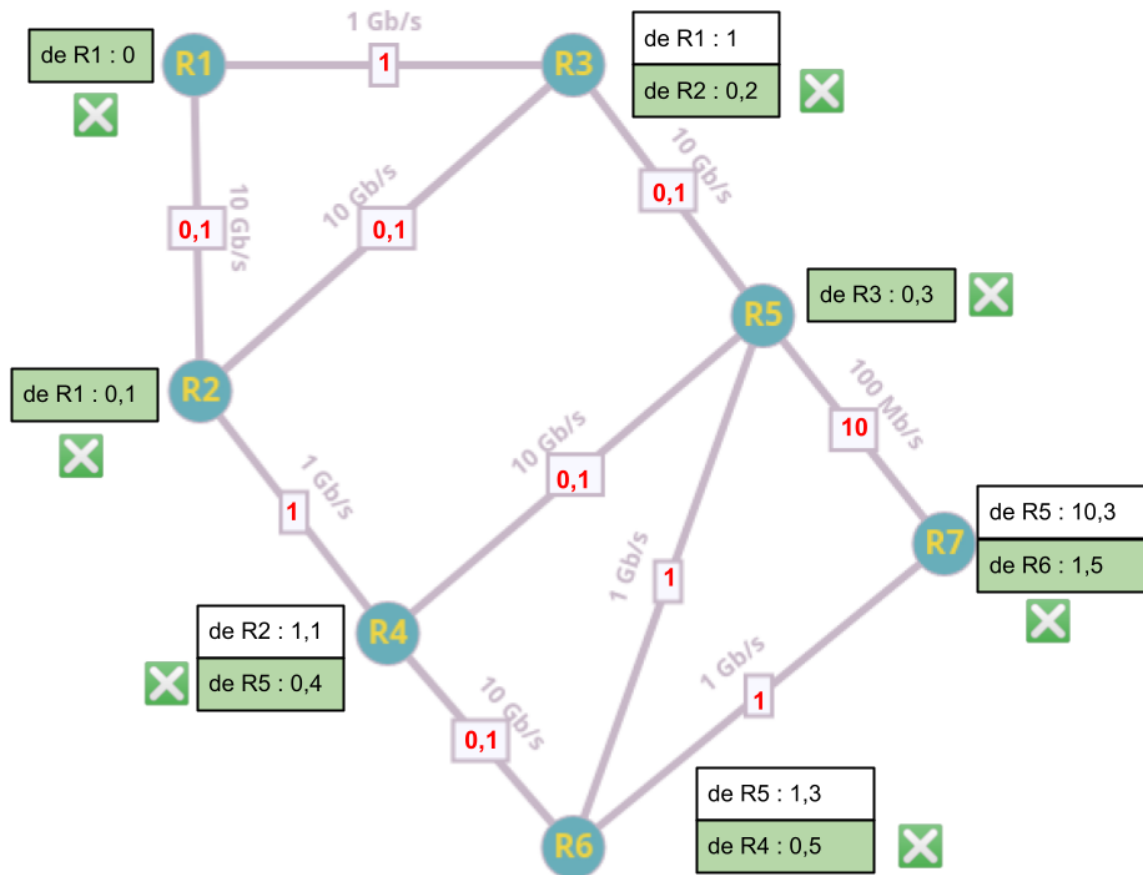
On rappelle que $1\text{ Gb/s} = 1\,000\text{ Mb/s} = 10^9\text{ bits/s}$.

On pourra alors si nécessaire appliquer l'algorithme de Dijkstra pour déterminer le plus court chemin entre deux points du réseau.



214309

L'algorithme de Dijkstra appliqué au routage réseau (application du protocole OSPF)



de R1 à R1	de R1 à R2	de R1 à R3	de R1 à R4	de R1 à R5	de R1 à R6	de R1 à R7
0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
R1(0,1)	0,1 par R1	1 par R1				
x	R2	0,2 par R2	1,1 par R2			
x	x	R3		0,3 par R3		
x	x	x	0,4 par R5	R5	1,3 par R5	10,3 par R5
x	x	x	R4	x	0,5 par R4	
x	x	x	x	x	R6	10,3 par R6
x	x	x	x	x	x	R7



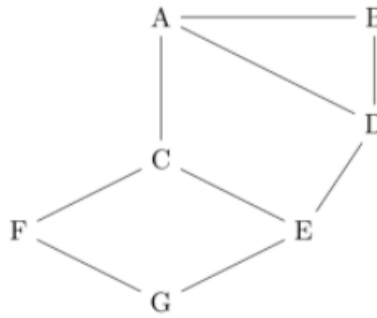
L'algorithme de Dijkstra est un algorithme classique vu en enseignement scientifique de terminale permettant de déterminer le plus court chemin sur un graphe pondéré (chaque liaison entre deux noeud à un coût). Nous l'avons aussi vu en classe de seconde. Ici une vidéo pour le mettre en pratique. La présentation de l'algorithme en classe de mathématiques se fait généralement dans un tableau comme ci-dessus.

4 Exercice de baccalauréat

Cet exercice porte sur les réseaux en général et les protocoles RIP et OSPF en particulier.

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





Le protocole RIP

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

Question 1-1 - Le routeur A doit transmettre un message au routeur G, en effectuant un nombre minimal de sauts. Déterminer le trajet parcouru.

La table de G nous indique que le message est à transmettre à C. Puis le table de C, indique de transmettre à F, puis enfin la table de F, indique que G est un voisin de F :

A -> C -> F -> G



Question 1-2 - Déterminer une table de routage possible pour le routeur G obtenu à l'aide du protocole RIP.

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

Pour les destinations A et C, on pourrait changer le routeur suivant pour F sans changer le nombre de sauts nécessaires.

Question 2 - Le routeur C tombe en panne.
Reconstruire la table de routage du routeur A en suivant le protocole RIP.

Table de routage du routeur A		
Destination	Routeur suivant	Distance
B	B	1
C	-	∞
D	D	1
E	D	2
F	D	4
G	D	3

Le protocole OSPF

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.

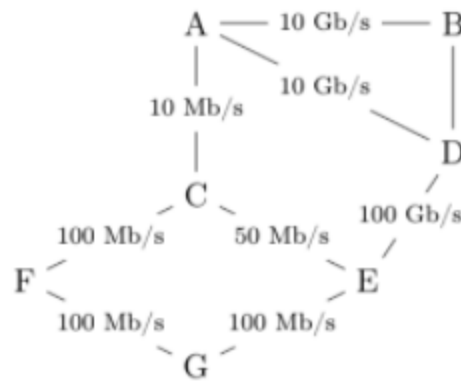
Le coût d'une liaison est donné par la formule suivante :

$$cout = \frac{10^8}{d}$$

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.
 10Gb/s c'est $10 \times 10^9 \text{bits/s}$ soit 10^{10}bits/s

$$\text{cout}_{A-B} = \frac{10^8}{10^{10}} = \frac{1}{10^2} = \frac{1}{100} = 0,01$$

Question 3-2 - La liaison entre le routeur B et D a un coût de 5. Quel est le débit de cette liaison ?

$$\text{cout}_{B-D} = 5$$

$$\frac{10^8}{d_{B-D}} = 5$$

$$d_{B-D} = \frac{10^8}{5}$$

$$d_{B-D} = \frac{10 \times 10^7}{5}$$

$$d_{B-D} = 2 \times 10^7$$

$$d_{B-D} = 20 \times 10^6$$

La liaison B-D a un débit de 20 Mb/s

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.

Il faut calculer les coûts de toutes les liaisons.

100Gb/s : $\text{cout} = 0,001$

10Gb/s : $\text{cout} = 0,01$

1Gb/s : $\text{cout} = 0,1$

100Mb/s : $\text{cout} = 1$

50Mb/s : $\text{cout} = 2$

10Mb/s : $\text{cout} = 10$

Ensuite on donnera la solution :

On part de A (possible d'aller en B, en D ou en C), on trouve le débit le plus important au niveau de la liaison A \rightarrow D.

Une fois en D, on va vers E et une fois en E, on rejoint directement G (car le coût du chemin E \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G serait plus grand).

d'où le chemin : A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G avec un $\text{cout} = 1,011$

On pourra justifier brièvement car la solution est évidente.

Remarque : Dans la correction officielle, on indique l'algorithme de Dijkstra. Peut-être il est attendu de le dérouler sur la copie si le temps le permet le jour de l'examen.