

**Classe :  
terminale**

**LYCÉE INTERNATIONAL COURS LUMIÈRE**

**séquence 3**

Protocoles de routage

**Mr BANANKO K.**

**Objectifs :**

Contenus	Capacités attendues	Commentaires
Protocoles de routage.	Identifier, suivant le protocole de routage utilisé, la route empruntée par un paquet.	<i>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.</i>

Référence Manuels hachette Education : Page

## I. Rappels

### A. Notion d'adressage

Deux types d'adresse existent :

#### Définition 1

**Une adresse MAC (*Media Access Control address*)** est un identifiant physique stocké dans une interface réseau. Elle est unique au monde.

Elle constitue la couche inférieure de la couche de liaison, c'est-à-dire la couche deux du modèle **OSI**. Elle est constituée de **six octets**, il existe donc potentiellement 2 (environ 281 000 milliards) **d'adresses MAC** possibles.

#### Définition 2

**Une adresse IP (*Internet Protocol*)** est un numéro d'identification qui est attribué de façon permanente ou provisoire à chaque périphérique relié à un réseau informatique qui utilise **l'Internet Protocol**.

**L'adresse IP** est à la base du système d'acheminement (le routage) des paquets de données sur Internet.

Il existe deux types d'adresse IP :

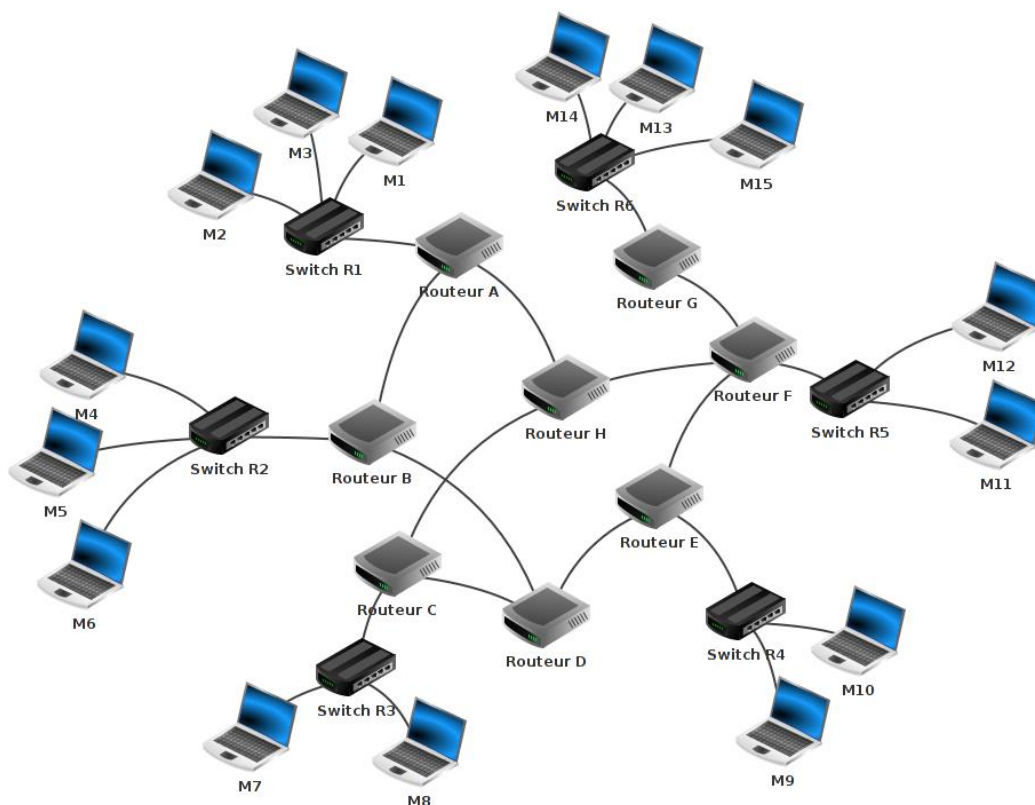
- IPv4 : adresse IP codée sur 32 bits en binaire découpée 4 groupes de 8 bits.
- IPv6 : adresse IP codée sur 128 bits en hexadécimal découpée en 8 groupes de 16 bits. Elle tend à remplacer l'IPv4 qui ne propose plus assez d'adresses.

### B. Notion de réseau

#### Définition 3

**Un réseau** est un ensemble d'objets interconnectés les uns avec les autres via une interface réseau. Il permet de faire circuler des éléments entre chacun de ces objets selon des règles bien définies.

Les réseaux locaux peuvent être reliés entre eux par l'intermédiaire de routeurs. Il ne faut jamais perdre de vue qu'Internet résulte de l'interconnexion de réseaux par des routeurs.



*Plusieurs réseaux locaux reliés entre eux*

Nous avons sur ce schéma les éléments suivants :

- 15 ordinateurs : M1 à M15
- 6 switchs : R1 à R6
- 8 routeurs : A, B, C, D, E, F, G et H

Comme nous l'avons déjà dit ci-dessus, un routeur permet de relier ensemble plusieurs réseaux locaux.

Un routeur est composé d'un nombre plus ou moins important d'interfaces réseau (cartes réseau).

Les routeurs les plus simples que l'on puisse rencontrer permettent de relier ensemble deux réseaux (ils possèdent alors 2 interfaces réseau), mais il existe des routeurs capables de relier ensemble une dizaine de réseaux. N'importe quel ordinateur peut jouer le rôle de routeur (à partir du moment où il possède au moins 2 interfaces réseau), mais on rencontre souvent des "machines" dédiées (par exemple de marque CISCO)



*Routeur de marque CISCO*

Revenons maintenant à l'analyse de notre schéma :

Nous avons 6 réseaux locaux, chaque réseau local possède son propre switch.

Les ordinateurs M1, M2 et M3 appartiennent au réseau local 1. Les ordinateurs M4, M5 et M6 appartiennent au réseau local 2. Nous pouvons synthétiser tout cela comme suit :

- Réseau local 1 : M1, M2 et M3
- Réseau local 2 : M4, M5 et M6

### Activité 1

Complétez la liste ci-dessus avec les réseaux locaux 3, 4, 5 et 6

Voici quelques exemples de communications entre 2 ordinateurs :

#### Cas n°1 : M1 veut communiquer avec M3

Le paquet est envoyé de M1 vers le switch R1, R1 "constate" que M3 se trouve bien dans le réseau local 1, le paquet est donc envoyé directement vers M3. On peut résumer le trajet du paquet par :

**M1 → R1 → M3**

#### Cas n°2 : M1 veut communiquer avec M6

Le paquet est envoyé de M1 vers le switch R1, R1 « constate » que M6 n'est pas sur le réseau local 1, R1 envoie donc le paquet vers le routeur A. Le routeur A n'est pas connecté directement au réseau local R2 (réseau local de la machine M6), mais il "sait" que le routeur B est connecté au réseau local 2. Le routeur A envoie le paquet vers le routeur B. Le routeur B est connecté au réseau local 2, il envoie le paquet au Switch R2. Le Switch R2 envoie le paquet à la machine M6.

**M1 → R1 → Routeur A → Routeur B → R2 → M6**

#### Cas n°3 : M1 veut communiquer avec M9

**M1 → R1 → Routeur A → Routeur B → Routeur D → Routeur E → R4 → M9**

Restons sur ce cas n°3 : comme vous l'avez peut-être constaté, le chemin donné ci-dessus n'est pas l'unique possibilité, en effet on aurait pu aussi avoir :

**M1 → R1 → Routeur A → Routeur H → Routeur F → Routeur E → R4 → M9**

Il est très important de bien comprendre qu'il existe souvent plusieurs chemins possibles pour relier 2 ordinateurs :

#### Cas n°4 : M13 veut communiquer avec M9

Nous pouvons avoir : **M13 → R6 → Routeur G → Routeur F → Routeur E → R4 → M9**

ou encore : **M13 → R6 → Routeur G → Routeur F → Routeur H → Routeur C → Routeur D → Routeur E → R4 → M9**

On pourrait penser que le chemin "**Routeur F → Routeur E**" est plus rapide et donc préférable au chemin "**Routeur F → Routeur H**", cela est sans doute vrai, mais imaginez qu'il y ait un problème technique entre le Routeur F et le Routeur E, l'existence du chemin "**Routeur F → Routeur H**" permettra tout de même d'établir une communication entre M13 et M9.

### Activité 2

Déterminer un chemin possible permettant d'établir une connexion entre la machine M4 et M14.

## Propriété 1

Une adresse **IPv4** d'une machine connectée à Internet se compose de deux parties : l'adresse du réseau auquel appartient cette machine, le numéro de poste de la machine (appelée aussi hôte) dans ce réseau.

### Exemple 1.

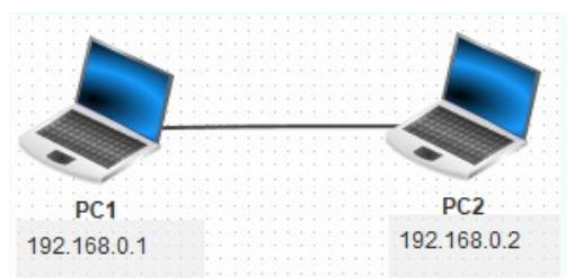
Considérons une machine dont l'adresse IP est **165.139.207.56**, adresse qui s'écrit en binaire comme 10100101.10001011.11001111.00111000

1. Si les deux premiers octets sont utilisés pour l'adresse du réseau :
  - le réseau a pour adresse **165.139.0.0** soit en binaire 10100101.10001011.00000000.00000000,
  - la machine hôte est celle ayant pour numéro **207.56** dans ce réseau.
2. Si les trois premiers octets sont utilisés pour l'adresse du réseau :
  - le réseau a pour adresse **165.139.207.0** soit en binaire 10100101.10001011.11001111.00000000,
  - la machine hôte est celle ayant pour numéro 56 dans ce réseau.

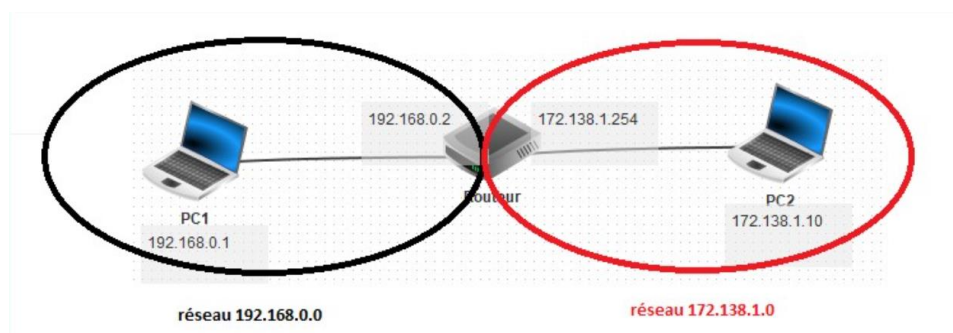
### Exemple 2.

On suppose ici que les trois premiers octets sont utilisés pour le nom du réseau.

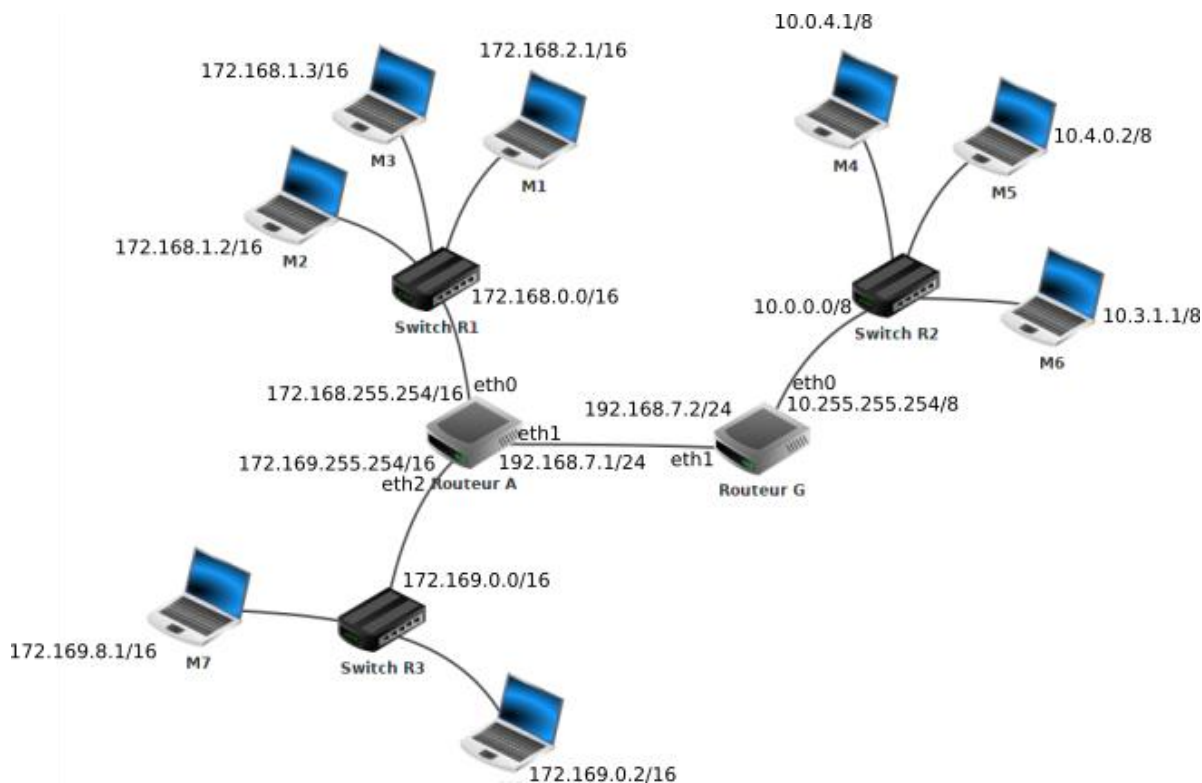
Voici deux PC reliés par un câble Ethernet appartenant au même réseau (Sur les anciennes cartes réseaux, il fallait même un câble croisé).



Voici deux PC appartenant à deux réseaux différents, réseaux reliés par un routeur.



### Exemple 3.



Vous avez sans doute remarqué que nous avons 2 routeurs :

- Le **routeur A** qui possède 3 interfaces réseau que l'on nomme **eth0**, **eth1** et **eth2**. Les adresses IP liées à ces interfaces réseau sont : **172.168.255.254/16 (eth0)**, **172.169.255.254/16 (eth2)** et **192.168.7.1/24 (eth1)**
- Le **routeur G** qui possède 2 interfaces réseau que l'on nomme **eth0** et **eth1**. Les adresses IP liées à ces interfaces réseau sont : **10.255.255.254/8 (eth0)** et **192.168.7.2/24 (eth1)**

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

- Le routeur A est directement relié au réseau **172.168.0.0/16** par l'intermédiaire de son interface **eth0**
- Le routeur A est directement relié au réseau **172.169.0.0/16** par l'intermédiaire de son interface **eth2**
- Le routeur A est directement relié au réseau **192.168.7.0/24** par l'intermédiaire de son interface **eth1** (le réseau **192.168.7.0/24** est un peu particulier car il est uniquement composé des routeurs A et G)
- Le routeur A n'est pas directement relié au réseau **10.0.0.0/8** mais par contre il "sait" que les paquets à destination de ce réseau doivent être envoyés à la machine d'adresse IP **192.168.7.2/24** (c'est à dire le routeur G qui lui est directement relié au réseau **10.0.0.0/8**)

On peut résumer tout cela avec le tableau suivant (table de routage simplifiée de A) :

Réseau	Moyen de l'atteindre	Métrieque
172.168.0.0/16	eth0	0
192.168.7.0/24	eth1	0
172.169.0.0/16	eth2	0
10.0.0.0/8	192.168.7.2/24	1

Même si dans les véritables tables de routage ont utilisé exclusivement les adresses IP, on pourra, dans le cadre de ce cours, utiliser les noms à la place des adresses IP (On dira pour le schéma ci-dessus que **M1, M2 et M3** appartiennent au réseau **R1, M4, M5 et M6** appartiennent au réseau R2 et que M7 et M8 appartiennent au réseau R3).

On aura alors la table de routage écrit de cette façon :

Réseau	Moyen de l'atteindre	Métrieque
réseau R1	eth0	0
Routeur G	eth1	0
Réseau R3	eth2	0
Réseau R2	Routeur G	1

On peut traduire ce tableau par :

- Pour atteindre le réseau R1, on doit "sortir" du routeur par eth0 (le réseau R1 est directement relié au routeur A)
- Pour atteindre le réseau R3, on doit "sortir" du routeur par eth2 (le réseau R3 est directement relié au routeur A)
- Pour atteindre le routeur G, on doit "sortir" du routeur par eth1 (le routeur G est directement relié au routeur A)
- Pour atteindre le réseau R2, on doit "envoyer" le paquet de données vers le routeur G qui "saura quoi faire avec" (le réseau R2 n'est pas directement relié au routeur A)

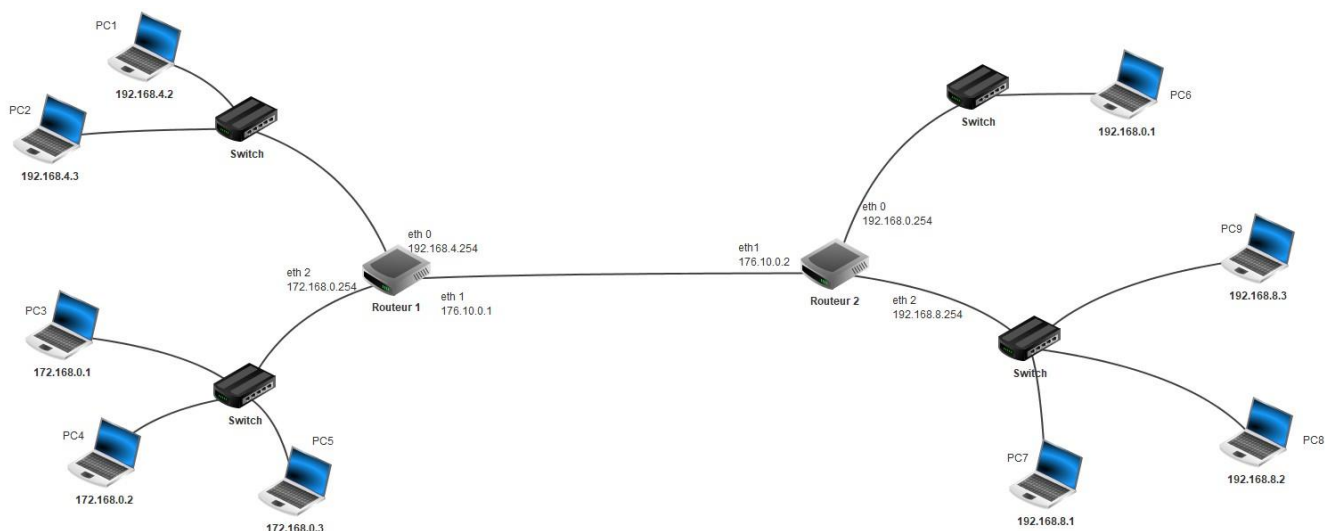
#### Activité 4

Déterminez la table de routage du routeur G (ne pas tenir compte de la colonne métrique pour le moment)

#### Exercice 1

Quelle est la particularité des adresses IP d'un même réseau ?

#### Exercice 2



1. Entourer les différents réseaux.
2. Donner le nom de ces réseaux.

Définition 4

Pour extraire facilement le groupe de bits correspondant à l'adresse du réseau, on utilise un masque de sous-réseau.

Le masque sous réseau est la donnée d'une suite de nombres qui ressemble à un adresse IPv4 dont les valeurs non nulles identifient le réseau.

Exemple

Considérons de nouveau une machine dont l'adresse IP est 165.139.207.56, adresse qui s'écrit en binaire comme 10100101.10001011.11001111.00111000

Le masque de sous-réseau 255.255.0.0 permet d'obtenir l'adresse du réseau

165.139.207.56 par addition binaire ET entre l'adresse IP et le masque de sous-réseau

10100101.10001011.11001111.00111000

+

11111111.11111111.00000000.00000000

10100101.10001011.00000000.00000000

soit en écriture décimale :

+

255.255. 0. 0

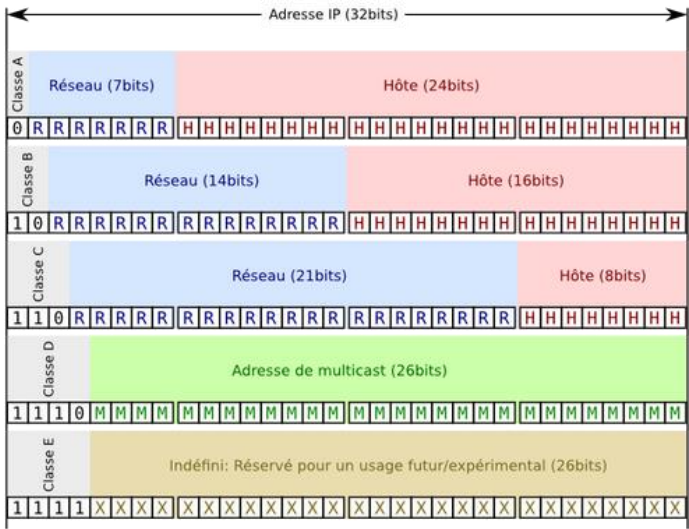
165.139. 0. 0

Les masques de sous-réseau sont essentiels pour structurer et organiser les adresses IP au sein d'un réseau, facilitant ainsi la gestion, la sécurité et l'efficacité des communications.

Soif de culture

Avant 1993, la notion de classe d'adresses avait été définie et utilisée afin de connaître l'adresse du réseau auquel appartient une machine connectée à

Internet uniquement à partir de son adresse IPv4.





*Cette adresse du réseau était utilisée dans les protocoles de routage.*

*Du fait de l'accroissement fulgurant de la taille d'Internet, de la limitation en nombre des adresses IPv4, et la mauvaise répartition de la distribution de l'espace d'adressage à partir des classes d'adresses, le système d'agrégation*

*CIDR a été mis en place en 1993.*

## Définition 5

**CIDR (Classless InterDomain Routing)** (routage sans classes entre domaines) est un schéma d'adressage IP.

Une adresse IP avec CIDR est une IP normale suivie d'un slash (/) et du nombre de bits de l'adresse IP correspondant à l'adresse du réseau.

**Le CIDR permet une utilisation plus efficace des adresses IP en évitant le gaspillage d'espace d'adressage et en permettant une allocation plus précise des adresses aux réseaux, ce qui est crucial compte tenu de la pénurie d'adresses IPv4 et de la nécessité de gérer efficacement l'espace d'adressage IPv6**

## Exemple 4.

L'adresse **149.236.23.47/16** signifie que :

- L'adresse IP est 149.236.23.47
- L'adresse du réseau est écrite sur 16 bits donc que le masque de sous-réseau est 11111111.11111111.00000000.00000000, c'est-à-dire ce masque est 255.255.0.0.
- L'adresse du réseau est donc 149.236.0.0.

## Exercice 3

Pour chacune des adresses suivantes, préciser l'adresse IP, le masque de sous-réseau ainsi que l'adresse IP du réseau :

1. 201.34.156.75/24.
2. 201.34.156.75/26.
3. 201.34.156.75/20.

### Correction

#### 1. 201.34.156.75/24 :

- **Adresse IP** : 201.34.156.75
- **Masque de sous-réseau** : /24 indique que les 24 premiers bits sont réservés pour le réseau.
- **Adresse IP du réseau** : En utilisant les 24 premiers bits pour le réseau, l'adresse IP du réseau serait 201.34.156.0.

#### 2. 201.34.156.75/26 :

- **Adresse IP** : 201.34.156.75
- **Masque de sous-réseau** : /26 indique que les 26 premiers bits sont réservés pour le réseau.
- **Adresse IP du réseau** : En utilisant les 26 premiers bits pour le réseau, l'adresse IP du réseau serait 201.34.156.64.

### EXPLICATION

L'adresse IP du réseau, dans le cas de 201.34.156.75/26, est déterminée en utilisant les 26 premiers



bits pour identifier le réseau. Le masque de sous-réseau /26 signifie que les 26 premiers bits de l'adresse IP sont réservés pour le réseau, laissant 6 bits pour les adresses des hôtes. Pour comprendre pourquoi l'adresse IP du réseau est 201.34.156.64, examinons les parties binaires de l'adresse IP et du masque de sous-réseau :

- Adresse IP binaire : 11001001.00100010.10011100.01001011
- Masque de sous-réseau binaire (/26) : 11111111.11111111.11111111.11000000

En appliquant le masque de sous-réseau, les 26 premiers bits sont préservés pour le réseau. Les bits restants (les 6 derniers) sont utilisés pour les adresses des hôtes. Le résultat après application du masque serait le suivant :

- Adresse réseau binaire : 11001001.00100010.10011100.01000000 (les 6 derniers bits sont tous mis à zéro)

En convertissant cette adresse réseau binaire en notation décimale, on obtient 201.34.156.64.

Ainsi, 201.34.156.64 est l'adresse IP du réseau correspondant à l'adresse IP 201.34.156.75 avec un masque de sous-réseau /26, où les 26 premiers bits sont utilisés pour identifier le réseau.

### 3. 201.34.156.75/20 :

- **Adresse IP** : 201.34.156.75
- **Masque de sous-réseau** : /20 indique que les 20 premiers bits sont réservés pour le réseau.
- **Adresse IP du réseau** : En utilisant les 20 premiers bits pour le réseau, l'adresse IP du réseau serait 201.34.144.0.

Ces informations sont dérivées en réservant un certain nombre de bits pour le réseau en fonction de la notation CIDR (/xx) fournie. Le masque de sous-réseau spécifie la longueur de la partie réseau de l'adresse IP

## Exercice 4

On considère la notation CIDR "/28".

1. Quel est le masque de sous-réseau correspondant à cette notation ?
2. Combien d'adresses différentes peut-on écrire dans un même réseau ?
3. Pourquoi le nombre d'hôtes est limité à 14 dans ce réseau ?

### Correction

#### 1. Masque de sous-réseau pour la notation CIDR "/28" :

- Le masque de sous-réseau correspondant à la notation CIDR "/28" est 255.255.255.240 en format décimal ou /28 en notation CIDR. Cela signifie que les 28 premiers bits de l'adresse IP sont réservés pour le réseau, laissant 4 bits pour les adresses des hôtes.

#### 2. Nombre d'adresses différentes dans un réseau /28 :

- Avec un masque de sous-réseau /28, il y a 32 bits au total dans une adresse IPv4. Si 28 bits sont réservés pour le réseau, cela laisse  $32 - 28 = 4$  bits pour les adresses des hôtes. Le nombre d'adresses différentes est calculé comme  $2^{\text{nombre de bits pour les hôtes}}$ .
- Ainsi, avec 4 bits pour les hôtes, il y a  $2^4 = 16$  adresses différentes.

#### 3. Pourquoi le nombre d'hôtes est limité à 14 dans ce réseau ?

- Dans un réseau /28, bien que le calcul donne 16 adresses différentes, deux adresses sont généralement réservées pour l'adresse réseau et l'adresse de diffusion. Cela réduit le nombre d'adresses d'hôtes utilisables à  $16 - 2 = 14$ .
- Par conséquent, le nombre d'hôtes est limité à 14 en raison de la nécessité de réserver une adresse pour le réseau et une pour la diffusion, laissant 14 adresses pour les appareils individuels sur le réseau.

En résumé, la notation CIDR "/28" permet de définir un réseau avec un masque de sous-réseau qui alloue 14 adresses utilisables pour les hôtes. Cela est dû à la nécessité de réserver certaines adresses pour le réseau et la diffusion.

### Remarque :

Dans toute la suite du cours nous considérerons que pour les adresses IP, le masque de sous-réseau est 255.255.255.0, comme cela on peut facilement identifier le réseau.

Par exemple : l'IP 192.168.0.156 est dans le réseau 192.168.0.0, l'IP 172.154.1.254 est dans le réseau 172.154.1.0

### Définition 6

Il existe quatre types de réseaux qui sont classés en fonction de la localisation, de la distance, ou encore du débit :

1. **PAN (Personal Area Network)** : Il s'agit d'un réseau personnel ou domestique couvrant une courte distance, généralement de quelques mètres. C'est le type de réseau que l'on trouve dans un foyer, connectant des dispositifs tels que des ordinateurs, des smartphones et d'autres appareils à la box Internet.

*Exemple 1 : Connexion Bluetooth entre votre smartphone et vos écouteurs sans fil.*

*Exemple 2 : Réseau infrarouge entre votre télécommande et votre téléviseur.*

2. **LAN (Local Area Network)** : Réseau local couvrant une distance allant de 10 mètres à 1 kilomètre. Il est généralement utilisé à l'intérieur d'une entreprise ou d'une organisation pour permettre l'échange de données et le partage de ressources entre différents dispositifs connectés.

*Exemple 1 : Un réseau informatique dans un bureau ou une école, permettant aux ordinateurs de partager des fichiers et des imprimantes.*

*Exemple 2 : Un réseau Wi-Fi domestique connectant plusieurs appareils à Internet via une box.*

3. **MAN (Metropolitan Area Network)** : Réseau métropolitain couvrant une distance jusqu'à 10 kilomètres. Il permet la connexion de plusieurs sites à l'échelle d'une ville, facilitant ainsi la communication entre différents emplacements géographiques dans une zone métropolitaine.

**Exemple 1 : Un réseau reliant plusieurs campus universitaires à travers une ville.**

**Exemple 2 : Un réseau métropolitain permettant la communication entre différentes succursales d'une entreprise dans une zone métropolitaine.**

4. **WAN (Wide Area Network)** : Réseau étendu à l'échelle d'un pays, généralement géré par des opérateurs. Internet est l'exemple le plus connu de WAN, connectant des réseaux locaux, métropolitains et d'autres WAN à travers le monde, permettant une communication à l'échelle globale.

*Exemple 1 : Internet, qui relie des réseaux du monde entier, permettant la communication mondiale.*

*Exemple 2 : Le réseau de télécommunications d'un opérateur téléphonique, reliant des sites dans tout le pays.*

Ces distinctions sont essentielles pour comprendre comment les réseaux sont structurés en fonction de leur portée géographique et de leur utilisation spécifique.

## II. PROTOCOLES DE ROUTAGE

### A- Définition

Le **routing** est le processus qui permet de sélectionner un chemin dans un ou plusieurs réseaux pour transmettre des données depuis un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires.

Le routage n'est pas exclusivement destiné aux réseaux informatiques tel qu'internet, il existe aussi dans d'autres domaines comme les réseaux de transports, les réseaux téléphoniques.

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 deux types de routage :*

**Le routage statique** qui consiste à indiquer l'adresse IP des réseaux que l'on cherche à atteindre. Les administrateurs vont configurer les routeurs un à un au sein du réseau afin d'y saisir les routes (Ils vont renseigner manuellement pour chaque adresse le nom de l'interface du routeur ou l'adresse IP du routeur voisin) à emprunter pour aller sur tel ou tel réseau. Chaque routeur ainsi paramétré permettra de faire le lien entre deux réseaux.

*Si le réseau global est complexe, la configuration peut être fastidieuse et source d'erreurs.*

*De plus si le réseau évolue, il faudra le mettre à jour manuellement.*

*Ce type de routage peut-être intéressant pour des raisons de sécurité si on veut maîtriser la route des paquets.*

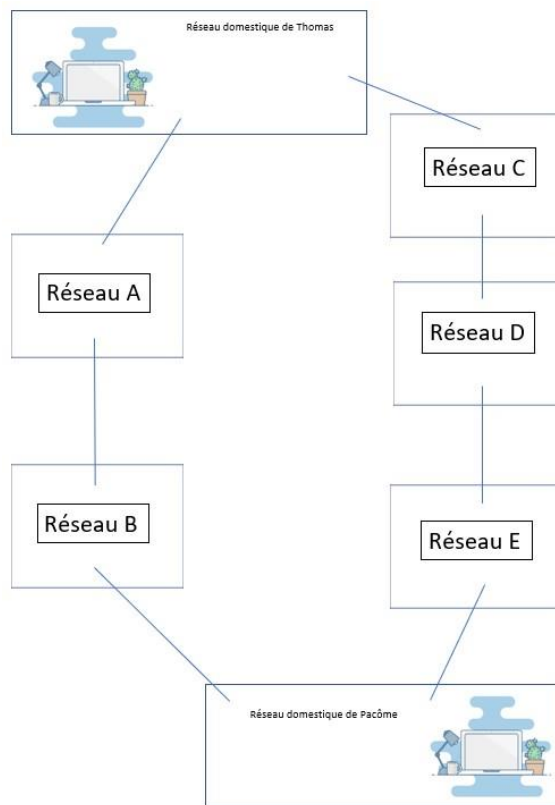
*Ce type de routage reste très localisé.*

**Le routage dynamique** permet quant à lui de se mettre à jour de façon automatique.

*Un protocole de routage va permettre aux différents routeurs de se comprendre et d'échanger des informations de façon périodique ou événementielle afin que chaque routeur soit au courant des évolutions du réseau sans aucune intervention de l'administrateur du réseau.*

### **Pourquoi définir des protocoles de routage ?**

Thomas veut envoyer un message à son ami Pacôme



Mais pour qu'un paquet de données puisse aller de l'ordinateur de Thomas à l'ordinateur de Pacôme, doit-il passer par les réseaux A et B ou les réseaux C, D et E ?

On pourrait penser que la première proposition est préférable car le chemin est plus court, il n'y a que deux réseaux à traverser, mais il est possible que le chemin passant par les réseaux C, D et E soit plus rapide.

On trouve plusieurs protocoles de routage, nous allons en étudier deux : **RIP (Routing Information Protocol)** et **OSPF (Open Shortest Path First)** afin de tenter de répondre à cette question.

**Un réseau de réseaux** comportant des routeurs peut être modélisé par un graphe (si nécessaire revoir le cours sur les graphes): chaque routeur est un sommet et chaque liaison entre les routeurs ou entre un routeur et un switch est une arête. Les algorithmes utilisés par les protocoles de routages sont donc des algorithmes issus de la théorie de graphes.

## B- Le protocole RIP

Le protocole **RIP (Routing Information Protocol ou protocole d'information de routage)** est un protocole de routage IP à **vecteur de distance** (couple adresse, distance) s'appuyant sur [l'algorithme de Bellman-Ford](#) afin de déterminer la route permettant d'atteindre la destination en traversant le moins de routeurs (on parle de nombre de sauts minimum)

Au départ, les tables de routage contiennent uniquement les réseaux qui sont directement reliés au routeur (dans notre exemple ci-dessus, à l'origine, la table de routage de A contient uniquement les réseaux **172.168.0.0/16**, **192.168.7.0/24** et **172.169.0.0/16**).

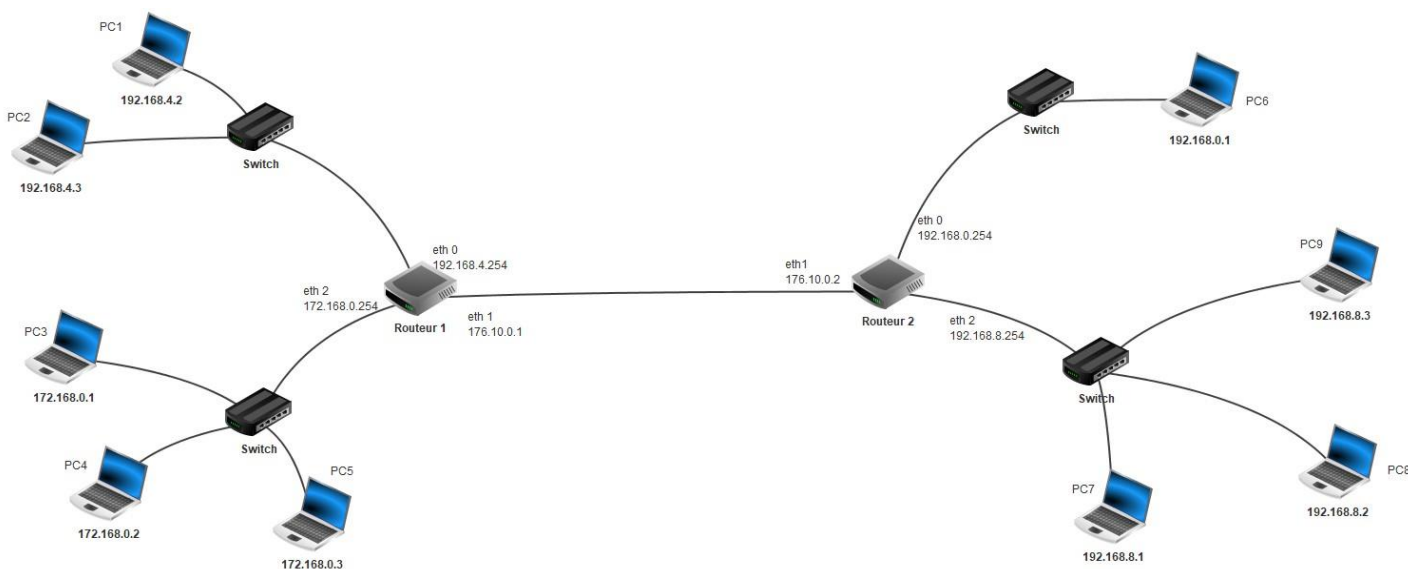
Chaque routeur envoie périodiquement (**toutes les 30 secondes**) à tous ses voisins (**routeurs adjacents**) un message. Ce message contient la liste de tous les réseaux qu'il connaît (dans l'exemple ci-dessus, le routeur A envoie un message au routeur G avec les informations suivantes : "**je connais les réseaux 172.168.0.0/16, 192.168.7.0/24 et 172.169.0.0/16**". De la même manière G envoie un message à A avec les informations suivantes : "**je connais les réseaux 192.168.7.0/24 et 10.0.0.0/8**").

À la fin de cet échange, les routeurs mettent à jour leur table de routage avec les informations reçues (dans l'exemple ci-dessus, le routeur A va pouvoir ajouter le réseau **10.0.0.0/8** à sa table de routage. Le routeur A "sait" maintenant qu'un paquet à destination du réseau **10.0.0.0/8** devra transiter par le routeur G). 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 (dans la table de routage de A, on aura donc une métrique de 1 pour le réseau **10.0.0.0/8** car depuis A il est nécessaire de traverser le routeur G pour atteindre le réseau **10.0.0.0/8**).

**Le protocole RIP** s'appuie sur l'algorithme **de Bellman-Ford** (algorithme qui permet de calculer les plus courts chemins dans un graphe, revoir si nécessaire le cours Algorithmes sur les graphes).

### Exemple 1 : Construction d'une table de routage

On considère le schéma suivant représentant des réseaux locaux différents reliés par des routeurs, où tous les masques sont en 255.255.255.0 (les trois premiers octets indiquent donc le réseau)



La machine PC1 veut communiquer avec PC6, or PC1 a pour IP 192.168.4.2/24 et PC6 192.168.0.1/24 elles ne sont donc pas sur le même réseau.

Quand PC1 va envoyer des paquets au routeur 1, ce dernier va voir que PC6 n'est pas dans le même réseau et va devoir trouver un moyen de joindre PC6.

**Pour cela il va consulter sa table de routage. Mais comment est-elle construite?**

Pour le comprendre, commençons par décrire un peu le schéma ci-dessus.  
Le routeur 1 a trois interfaces réseaux :

- eth0 qui a pour IP 192.168.4.254 et qui est relié au réseau 192.168.4.0/24,
- eth1 qui a pour IP 176.10.0.1 et qui est relié au réseau 176.10.0.0/24,
- eth2 qui a pour IP 172.168.0.254 et qui est relié au réseau 172.168.0.0/24.

Le routeur 1 peut donc joindre directement trois réseaux le 192.168.4.0/24, le 176.10.0.0/24 et le 172.168.0.0/24.  
Pour ces trois réseaux atteignables sans sauts, la métrique vaut 0.  
Il peut donc faire une première table de routage :

Réseau	Interface	Métrique
192.168.4.0/24	eth0	0
176.10.0.0/24	eth1	0

Le routeur 2 a également trois interfaces réseaux:

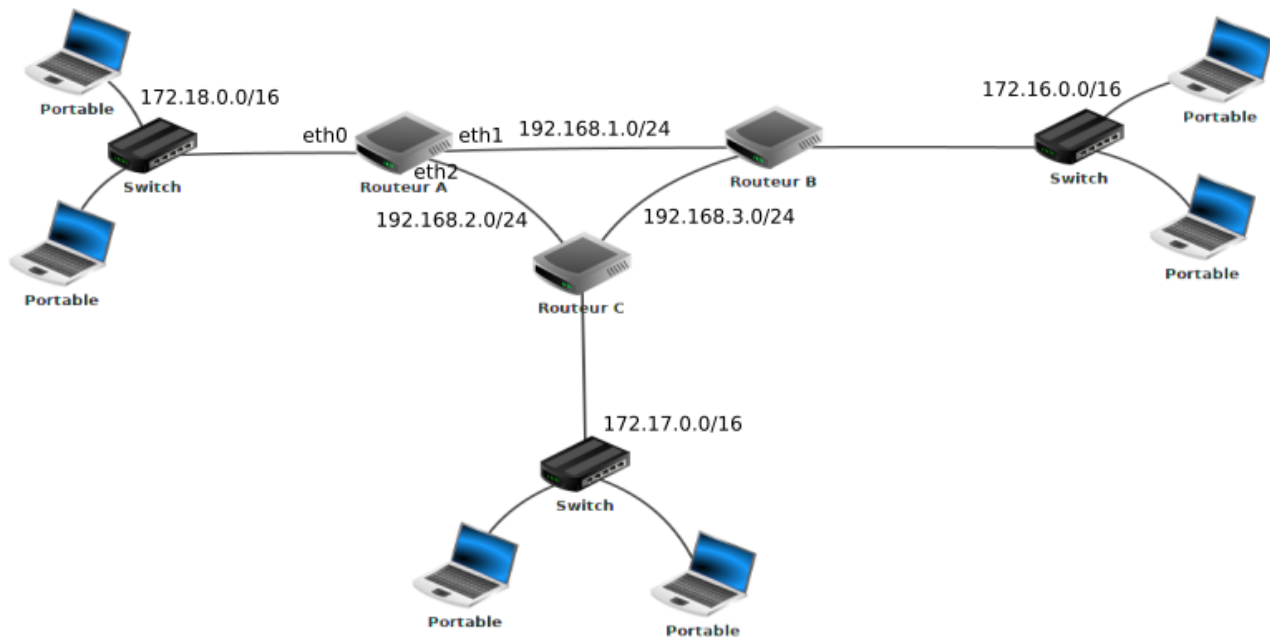
- eth0 qui a pour IP 192.168.0.254 et qui est relié au réseau 192.168.0.0/24,
- eth1 qui a pour IP 176.10.0.2 et qui est relié au réseau 176.10.0.0/24,
- eth2 qui a pour IP 192.168.8.254 et qui est relié au réseau 192.168.8.0/24.

Le routeur 2 peut donc joindre directement trois réseaux le 192.168.0.0/24, le 176.10.0.0/24 et le 192.168.8.0/24,  
il peut donc faire lui aussi une première table de routage :

Réseau	Interface	Métrique
192.168.0.0/24	eth0	0
176.10.0.0/24	eth1	0
192.168.8.0/24	eth2	0

## Exemple 2

Soit le réseau suivant :



Établissons la table de routage du routeur A en nous basant sur le protocole RIP :

- le routeur A est directement relié au réseau R1 (adresse réseau 172.18.0.0/16) par eth0.
- le routeur A est directement relié au routeur B (réseau 192.168.1.0/24) par eth1
- le routeur A est directement relié au routeur C (réseau 192.168.2.0/24) par eth2
- le routeur A n'est pas directement relié au réseau R2 (adresse réseau 172.17.0.0/16) mais par contre il "sait" qu'il peut l'atteindre soit en passant par le routeur C (adresse 192.168.2.2/24) en une étape ou soit en passant par le routeur B (adresse 192.168.1.2/24) en deux étapes (B et C)
- le routeur A n'est pas directement relié au réseau R3 (adresse réseau 172.16.0.0/16) mais il "sait" qu'il peut l'atteindre soit en passant par le routeur B (192.168.1.2/24) en une étape ou soit en passant par le routeur C (192.168.2.2/24) en deux étapes (C et B)

Ce qui nous donne donc la table de routage suivante :

réseau	moyen de l'atteindre	métrique
172.18.0.0/16	eth0	0
192.168.1.0/24	eth1	0



réseau	moyen de l'atteindre	métrique
192.168.2.0/24	eth2	0
172.17.0.0/16	192.168.2.2/24	1
172.17.0.0/16	192.168.1.2/24	2
172.16.0.0/16	192.168.1.2/24	1
172.16.0.0/16	192.168.2.2/24	2

Comme déjà vu plus haut, on peut aussi donner la table de routage de manière simplifiée, en utilisant les noms des éléments à la place des adresses IP (mais c'est aussi moins "réaliste") :

réseau	moyen de l'atteindre	métrique
R1	eth0	0
Réseau Routeur B	eth1	0
Réseau Routeur C	eth2	0
R2	Routeur C	1
R2	Routeur B	2
R3	Routeur B	1
R3	Routeur C	2

Pour un paquet de données allant de **R1 à R2**, la route privilégiée sera donc :

### R1 -> Routeur A -> Routeur C -> R2.

Mais en cas de problème (panne notamment) la route **R1 -> Routeur A -> Routeur B -> Routeur C -> R2** sera possible.

Pour un paquet de données allant de R1 à R3, la route privilégiée sera donc : **R1 -> Routeur A -> Routeur B -> R3**.

Mais en cas de problème la route **R1 -> Routeur A -> Routeur C -> Routeur B -> R3** sera possible.

Dans certains exercices, pour le calcul de la métrique, on compte le nombre total de routeurs traversés (y compris, dans notre exemple le routeur A), cela nous donne donc un décalage de un, et on obtient alors :

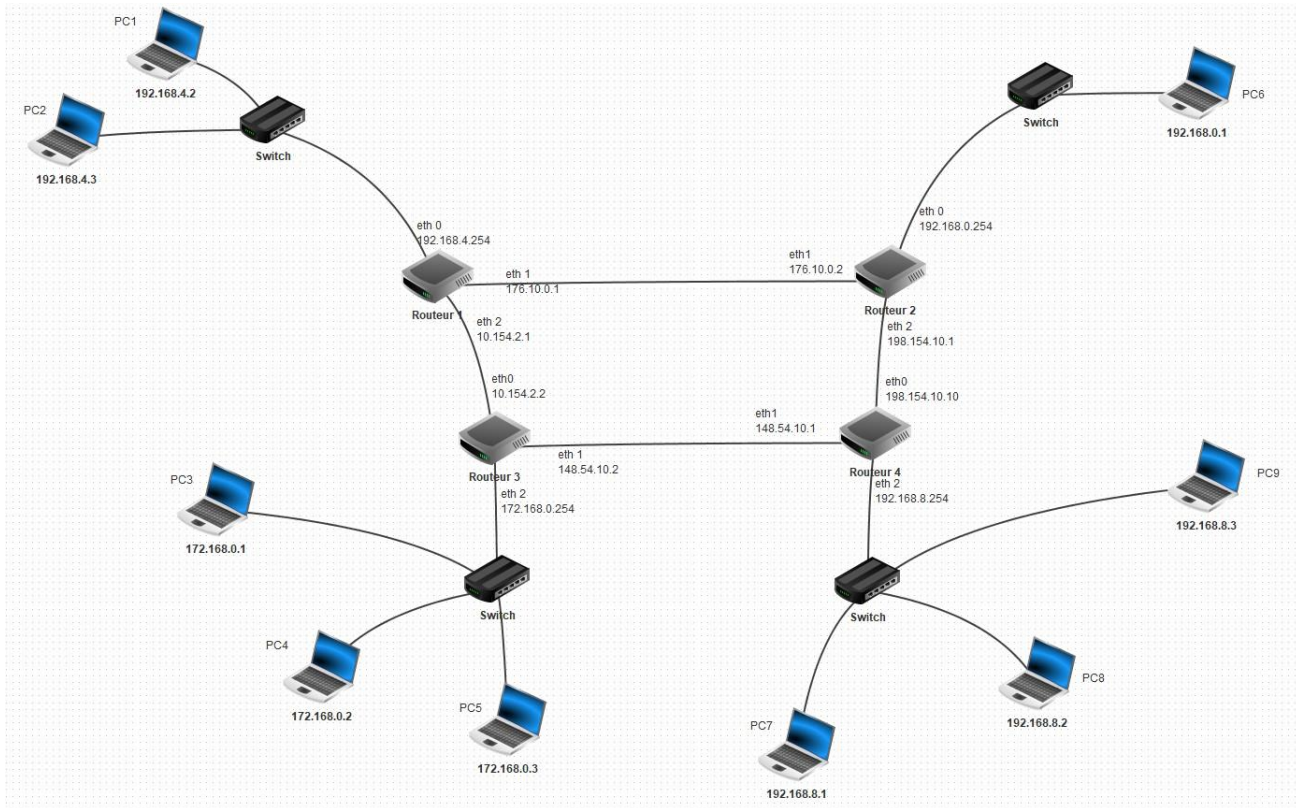
réseau	moyen de l'atteindre	métrique
R1	eth0	0
Réseau Routeur B	eth1	0
Réseau Routeur C	eth2	0
R2	Routeur C	2
R2	Routeur B	3
R3	Routeur B	2
R3	Routeur C	3

Comme c'est juste une histoire de convention, il suffit de se mettre d'accord au départ sur la convention utilisée.

**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 (surtout si les tables de routages contiennent beaucoup d'entrées). 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**.

### Exercice

On considère le schéma où tous les masques sont en 255.255.255.0



En vous appuyant sur le protocole RIP, écrire la table de routage du routeur 2.

### C- le protocole OSPF

**Le protocole OSPF (Open Shortest Path First)** est un protocole de routage IP à état de liens s'appuyant sur l'algorithme de Dijkstra afin de déterminer la meilleure route (en terme de débit) permettant d'atteindre la destination.

Dans ce protocole le coût est la métrique utilisée (plus il est faible, meilleur est le chemin).

Comme dans le cas du protocole RIP, nous allons retrouver des échanges d'informations entre les routeurs (ces échanges sont plus "intelligents" dans le cas d'OSPF, ils permettent donc de réduire l'occupation du réseau). Nous n'allons pas rentrer dans les détails de ces échanges et nous allons principalement insister sur la métrique produite par **OSPF**. 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** (revoir si nécessaire le cours Algorithmes sur les graphes) .

Mais sur quoi repose cette notion de coût ?

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. Le débit est donc donné en bits par seconde (bps), mais on trouve souvent des kilo bits par seconde (kbps) ou encore des méga bits par seconde (Mbps) => 1 kbps = 1000 bps et 1 Mbps = 1000 kbps. Connaissant le débit d'une liaison, il est possible de calculer le coût d'une liaison à l'aide de la formule suivante :

$$\text{coût} = \frac{10^8}{\text{débit}}$$

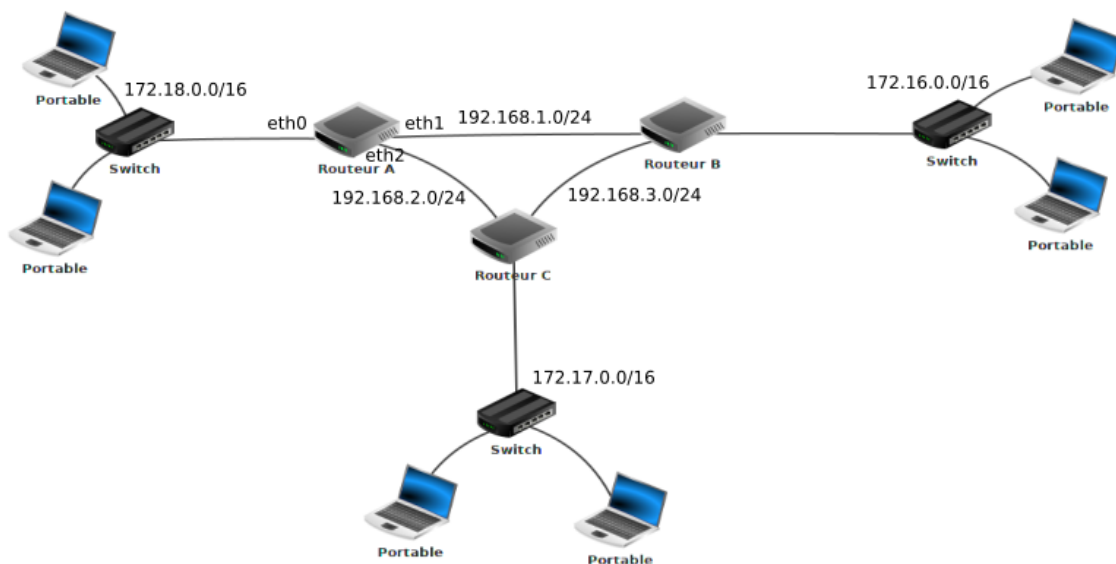
dans la formule ci-dessus le débit est en bits par seconde

Pour obtenir la métrique d'une route, il suffit d'additionner les coûts de chaque liaison (par exemple si pour aller d'un réseau 1 à un réseau 2 on doit traverser une liaison de coût 1, puis une liaison de coût 10 et enfin une liaison de coût 1, la métrique de cette route sera de  $1 + 10 + 1 = 12$ )

Évidemment, comme dans le cas de RIP, les routes ayant les métriques les plus faibles sont privilégiées.

## Activité 2

Soit le réseau suivant :



En vous basant sur le protocole OSPF (métrique = somme des coûts), déterminez la table de routage du routeur A

On donne les débits suivants :

- liaison routeur A - routeur B : 1 Mbps
- liaison routeur A - routeur C : 10 Mbps
- liaison routeur C - routeur B : 10 Mbps

Quel est, d'après la table de routage construite ci-dessus, le chemin qui sera emprunté par un paquet pour aller d'une machine ayant pour adresse IP 172.18.1.1/16 à une machine ayant pour adresse IP 172.16.5.3/16 ?

Commençons par calculer les coûts des liaisons inter-routeurs

- liaison routeur A - routeur B :  $10^8/10^6 = 100$
- liaison routeur A - routeur C :  $10^8/10^7 = 10$
- liaison routeur C - routeur B :  $10^8/10^7 = 10$

pour faire :

- Routeur A -> Routeur C le coût est de 10
- Routeur A -> Routeur B le coût est de 100
- Routeur A -> Routeur C -> Routeur B le coût est  $10+10=20$
- Routeur A -> Routeur B -> Routeur C le coût est  $100+10=110$

Ce qui nous donne la table de routage suivante :

réseau	moyen de l'atteindre	métrique
172.18.0.0/16	eth0	0
192.168.1.0/24	eth1	0
192.168.2.0/24	eth2	0
172.17.0.0/16	192.168.2.2/24	10
172.17.0.0/16	192.168.1.2/24	110
172.16.0.0/16	192.168.1.2/24	100
172.16.0.0/16	192.168.2.2/24	20

ou encore en se passant des adresses IP :

réseau	moyen de l'atteindre	métrique
R1	eth0	0
Réseau Routeur B	eth1	0
Réseau Routeur C	eth2	0
R2	Routeur C	10
R2	Routeur B	110
R3	Routeur B	100
R3	Routeur C	20

Pour un paquet de données allant de R1 à R2, la route privilégiée sera donc : **R1 -> Routeur A -> Routeur C -> R2.**

Pour un paquet de données allant de R1 à R3, la route privilégiée sera donc : **R1 -> Routeur A -> Routeur C -> Routeur B -> R3** (on constate une différence avec ce que nous avons trouvé avec le protocole RIP).

## Exercices du bac

- [Sujet 1 2021 Exercice 5](#)
- [Sujet 2 2021 Exercice 5](#)
- [Sujet 3 2021 Exercice 3](#)
- [Sujet 6 2021 Exercice 4](#)
- [Sujet 10 2021 Exercice 1](#)
- [Sujet 2 2022 Exercice 3](#)
- [Sujet 3 2022 Exercice 3](#)
- [Sujet 4 2022 Exercice 2](#)

- [Sujet 6 2022 Exercice 5](#)
- [Sujet 7 2022 Exercice 5](#)
- [Sujet 10 2022 Exercice 5](#)
- [Sujet 12 2022 Exercice 2](#)
- [Sujet 13 2022 Exercice 5](#)

#### Ce qu'il faut savoir



- un routeur permet de relier ensemble plusieurs réseaux locaux.
- chaque routeur possède une table de routage. Une table de routage peut être vue comme un tableau qui va contenir des informations permettant au routeur d'envoyer le paquet de données dans la "bonne direction".
- il existe 2 méthodes permettant de renseigner la table de routage d'un routeur :
  - 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.
- un réseau de réseaux comportant des routeurs peut être modélisé par un graphe : chaque routeur est un sommet et chaque liaison entre les routeurs ou entre un routeur et un switch est une arête. Les algorithmes utilisés par les protocoles de routages sont donc des algorithmes issus de la théorie de graphes.
- les 2 protocoles au programme de terminale NSI sont les protocoles RIP (Routing Information Protocol) et OSPF (Open Shortest Path First) :
  - protocole RIP : 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 utilise le nombre de sauts comme métrique. Ce protocole est aujourd'hui très rarement utilisé dans les grandes infrastructures.
  - protocole OSPF : le protocole OSPF s'appuie sur l'algorithme de Dijkstra. Le protocole OSPF utilise le "coût" comme métrique (la notion de coût est directement liée au débit des liaisons entre les routeurs).

#### Ce qu'il faut savoir faire

Vous devez être capable d'identifier la route empruntée par un paquet suivant le protocole de routage utilisé (RIP ou OSPF).