



Cours réseaux locaux

1^{ère} Ingénieur en Sciences Appliquées et en Technologie

CHAPITRE 5: Commutation Ethernet

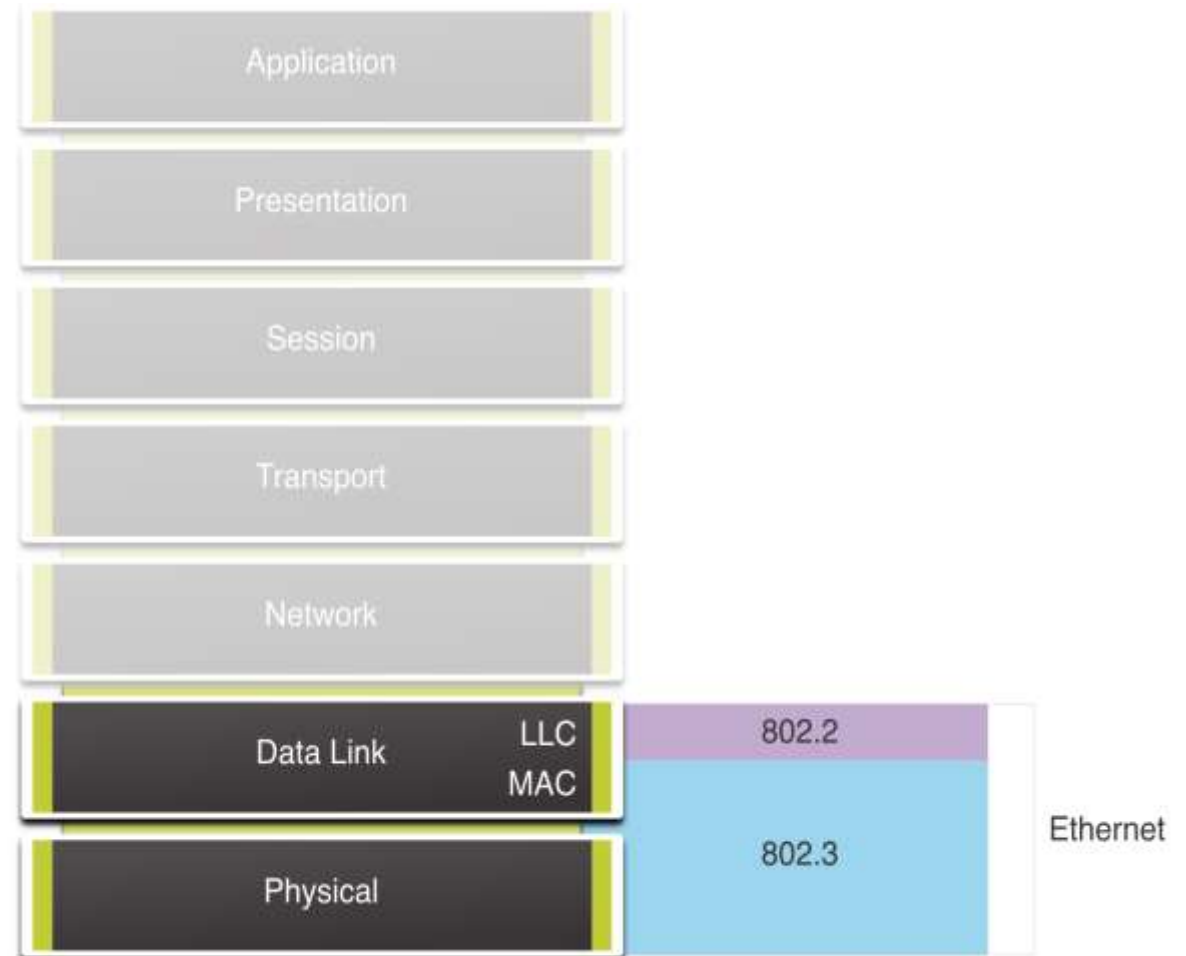
Dr. Imen Bouabidi
bouabidi.imene1@gmail.com

1. Encapsulation Ethernet

- Ethernet est une famille de technologies de réseau définies par les normes IEEE 802.2 et 802.3. Elle fonctionne au niveau de la couche liaison de données et de la couche physique.

Les normes 802 LAN/MAN, y compris Ethernet, utilisent deux sous-couches distinctes de la couche de liaison de données pour fonctionner :

- Sous-couche LLC:** (IEEE 802.2) Place des informations dans la trame pour identifier le protocole de couche réseau utilisé pour la trame.
- Sous-couche MAC :** (IEEE 802.3, 802.11 ou 802.15) Responsable de l'encapsulation des données et du contrôle d'accès aux supports, et fournit l'adressage de couche de liaison de données.



2. Sous couche MAC

La sous-couche MAC est responsable de l'encapsulation des données et de l'accès au support.

Encapsulation de données

L'encapsulation des données IEEE 802.3 comprend les éléments suivants :

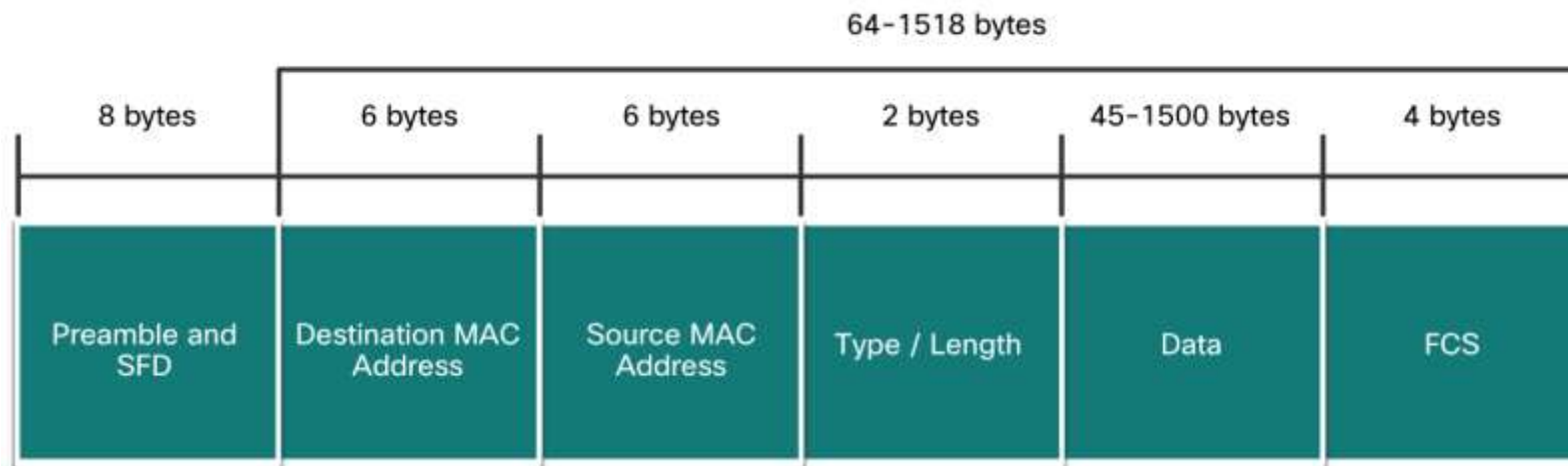
1. **Trame Ethernet** - Il s'agit de la structure interne de la trame Ethernet.
2. **Adressage Ethernet** - La trame Ethernet comprend à la fois une adresse MAC source et de destination pour fournir la trame Ethernet de la NIC Ethernet source à la NIC Ethernet destination sur le même réseau local.
3. **Détection des erreurs Ethernet** - La trame Ethernet comprend un champs FCS (trame Check Sequence) utilisée pour la détection des erreurs.

Accès aux supports

- La sous-couche MAC IEEE 802.3 comprend les spécifications des différentes normes de communication Ethernet sur différents types de supports, y compris le cuivre et la fibre optique.
- L'Ethernet utilisant une topologie de bus ou des concentrateurs est un support semi-duplex partagé. Ethernet sur un support semi-duplex utilise une méthode d'accès basée sur l'accès multiple et détection de collision (CSMA/CD).
- Les réseaux locaux Ethernet d'aujourd'hui utilisent des commutateurs qui fonctionnent en duplex intégral. Les communications duplex intégral avec commutateurs Ethernet ne nécessitent pas de contrôle d'accès via CSMA/CD.

3. Champs de trame Ethernet

- La taille minimale des trames Ethernet est de 64 octets et la taille maximale de 1 518 octets. Le champ préambule n'est pas inclus dans la description de la taille d'une trame.
- Toute trame inférieure à 64 octets est interprétée comme un «fragment de collision» ou une «trame incomplète» et est automatiquement rejetée par les périphériques récepteurs. Les trames de plus de 1 500 octets de données sont considérées comme des trames « jumbo » (géantes) ou « baby giant frames » (légèrement géantes).
- Si la taille d'une trame transmise est inférieure à la taille minimale ou supérieure à la taille maximale, le périphérique récepteur abandonne la trame. Les trames abandonnées sont souvent le résultat de collisions ou d'autres signaux rejetés et ils sont considérés comme invalides. Les trames Jumbo sont généralement prises en charge par la plupart des commutateurs et cartes réseau Fast Ethernet et Gigabit Ethernet.
- Le paquet commence toujours par un **préambule**, qui contrôle la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur, et un *Start Frame Delimiter (SFD)*, qui définit la trame.
- Une *Frame Check Sequence (FCS)* ferme la trame entière



3. Champs de trame Ethernet

2 Trame ETHERNET II

AA = 10101010

AB = 10101011



Préambule : (7 octets) Permet la synchronisation des horloges de transmission. Il s'agit d'une suite de 1 et de 0 soit 7 octets à la valeur 0xAA.

SFD : (1 octets) "Starting Frame Delimiter". Il s'agit d'un octet à la valeur 0xAB. Il doit être reçu en entier pour valider le début de la trame.

En-tête : (14 octets)

- Adresse MAC du destinataire (6 octets)
- Adresse MAC de l'émetteur (6 octets)
- EtherType (Type de protocole) (2 octets)

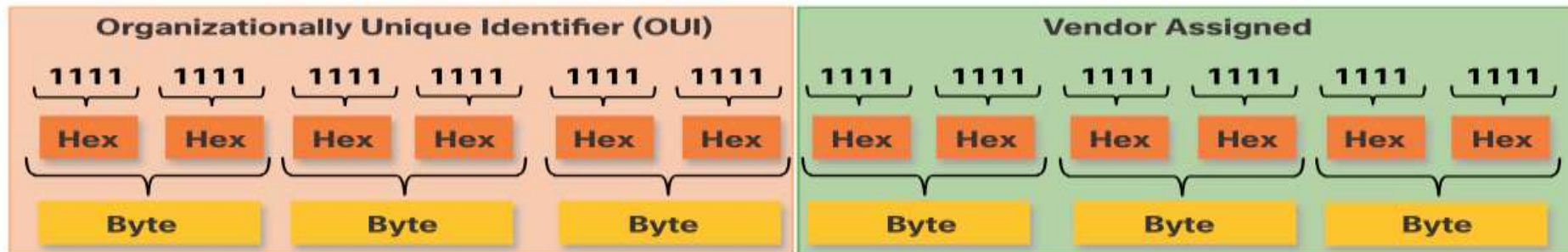
Exemples de valeurs du champ EtherType →

FCS : (4 octets) Frame Check Sequence.
Ensemble d'octets permettant de vérifier que la réception s'est effectuée sans erreur.

EtherType	Protocole
0x0800	IPv4
0x0806	ARP
0x809B	AppleTalk
0x8035	RARP
0x86DD	IPv6

4. Adresses MAC Ethernet

- Dans la norme Ethernet du réseau local, chaque périphérique réseau se connecte au même support partagé. L'adressage MAC fournit une méthode d'identification des périphériques au couche de liaison de données du modèle OSI.
- Une adresse MAC Ethernet est une adresse 48 bits exprimée en 12 chiffres hexadécimaux. Parce qu'un octet est égal à 8 bits, nous pouvons également dire qu'une adresse MAC a une longueur de 6 octets.
- En hexadécimal, les zéros non significatifs sont toujours affichés pour compléter la représentation de 8 bits. Par exemple, la valeur binaire 0000 1010 correspond à 0A au format hexadécimal.
- Les nombres hexadécimaux sont souvent représentés par la valeur précédée de **0x** (par exemple, 0x73) pour distinguer les valeurs décimales et hexadécimales dans la documentation.
- L'hexadécimal peut également être représenté par un indice 16, ou le nombre hexadécimal suivi d'un H (par exemple, 73H).
- Toutes les adresses MAC doivent être uniques au périphérique Ethernet ou à l'interface Ethernet. Pour ce faire, tous les fournisseurs qui vendent des périphériques Ethernet doivent s'inscrire auprès de l'IEEE pour obtenir un code hexadécimal unique à 6 (c'est-à-dire 24 bits ou 3 octets) appelé l'identifiant unique de l'organisation (OUI).
- Une adresse MAC Ethernet est constituée d'un code OUI de fournisseur hexadécimal à 6, suivi d'une valeur attribuée par le fournisseur hexadécimal à 6.



4. Adresses MAC Ethernet

Traitement des trames

- Lorsqu'un périphérique transfère un message à un réseau Ethernet, l'en-tête Ethernet inclut une adresse MAC source et une adresse MAC de destination.
- Lorsqu'une carte réseau reçoit une trame Ethernet, elle observe l'adresse MAC de destination pour voir si elle correspond à l'adresse MAC physique du périphérique stockée dans la mémoire vive (RAM). En l'absence de correspondance, la carte réseau ignore la trame. Si elle correspond, la carte réseau transmet la trame aux couches OSI, et la désencapsulation a lieu.

Remarque: les cartes réseau Ethernet acceptent également les trames si l'adresse MAC de destination est un groupe de diffusion ou de multidiffusion auquel l'hôte appartient.

- Tout périphérique qui est la source ou la destination d'une trame Ethernet possède une carte réseau Ethernet et, par conséquent, une adresse MAC. Cela inclut les postes de travail, les serveurs, les imprimantes, les appareils mobiles et les routeurs.

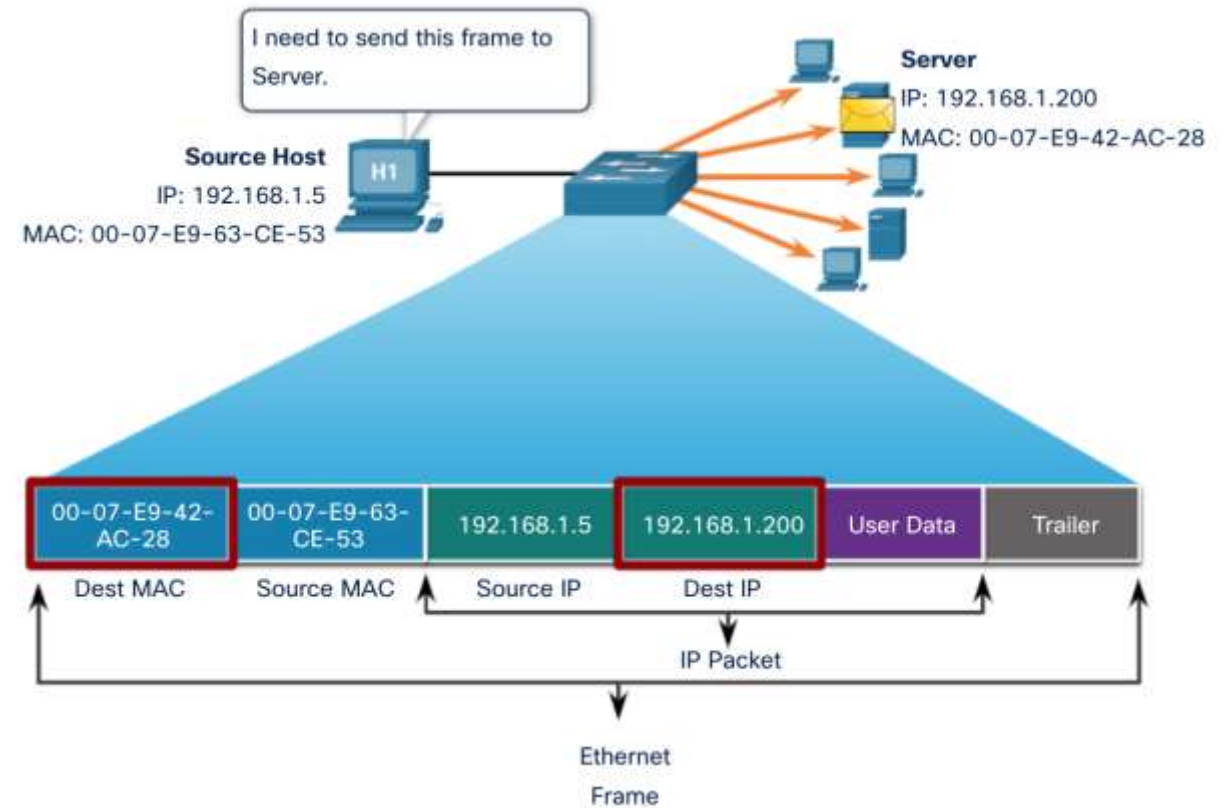
4. Adresses MAC Ethernet

Adresse MAC de monodiffusion

Avec Ethernet, des adresses MAC différentes sont utilisées pour la monodiffusion (unicast), la multidiffusion (multicast) et la diffusion (broadcast) sur la couche 2.

- L'adresse MAC de monodiffusion est l'adresse unique utilisée lorsqu'une trame est envoyée à partir d'un seul périphérique émetteur, à un seul périphérique destinataire.
- Le processus qu'un hôte source utilise pour déterminer l'adresse MAC de destination est appelé protocole ARP (Address Resolution Protocol). Le processus qu'un hôte source utilise pour déterminer l'adresse MAC de destination associée à une adresse IPv6 est connu sous le nom de découverte du voisin (ND).

Remarque: l'adresse MAC source doit toujours être une monodiffusion.

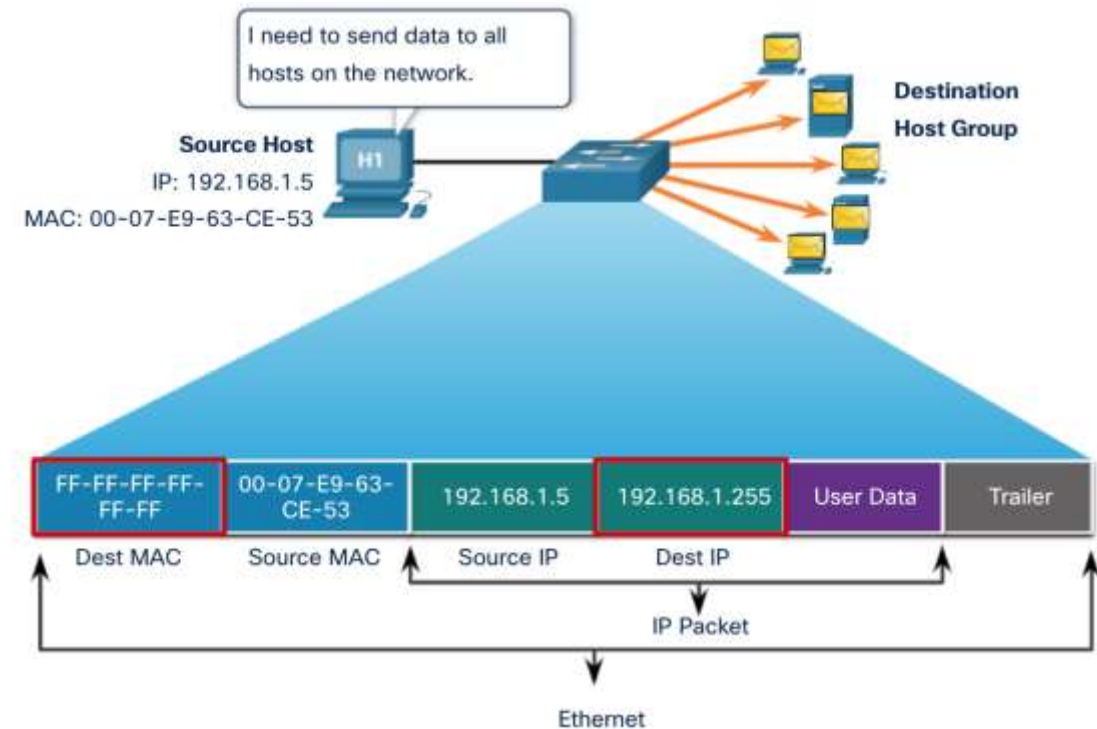


4. Adresses MAC Ethernet

Adresse MAC de diffusion

Une trame de diffusion Ethernet est reçue et traitée par chaque périphérique du réseau local Ethernet. Les caractéristiques d'une diffusion Ethernet sont les suivantes :

- L'adresse MAC de diffusion est l'adresse FF-FF-FF-FF-FF-FF au format hexadécimal.
- Elle est envoyée sur tous les ports de commutateur Ethernet sauf le port entrant.
- Si les données encapsulées sont un paquet de diffusion IPv4, cela signifie que le paquet contient une adresse IPv4 de destination qui a toutes les adresses (1) dans la partie hôte. Cette numérotation implique que tous les hôtes sur le réseau local (domaine de diffusion) recevront le paquet et le traiteront.

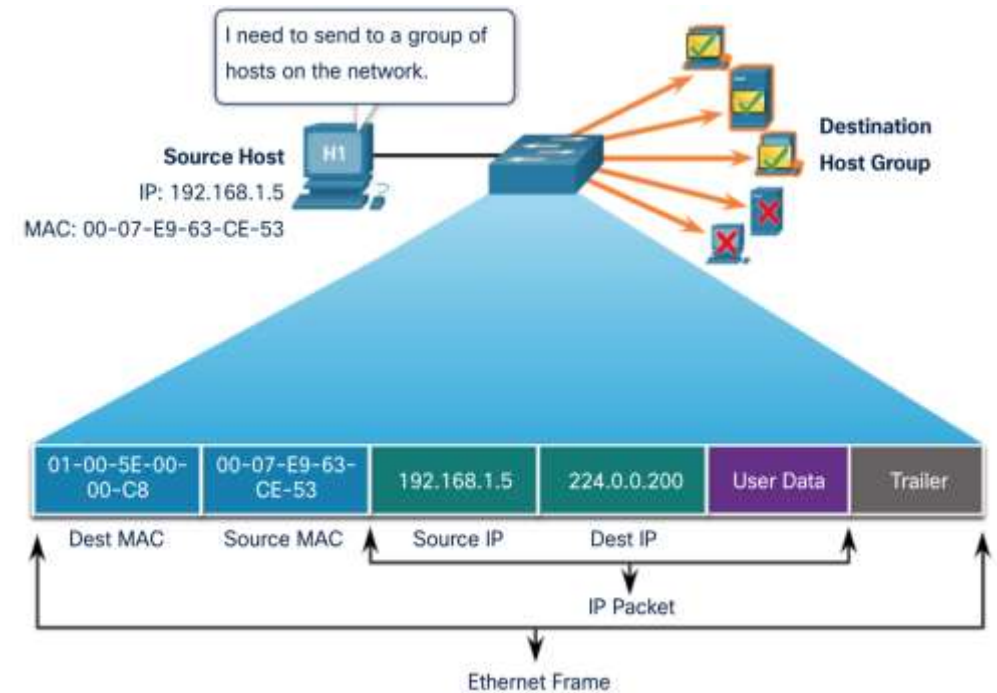


4. Adresses MAC Ethernet

Adresse MAC de multidiffusion

Une trame de multidiffusion Ethernet est reçue et traitée par un groupe de périphériques appartenant au même groupe de multidiffusion.

- Une adresse MAC de multidiffusion commence toujours par 01:00:5e lorsque les données encapsulées sont un paquet de multidiffusion IPv4 et une adresse MAC qui commence par 33-33 lorsque les données encapsulées sont un paquet de multidiffusion IPv6.
- Il existe d'autres adresses MAC de destination de multidiffusion réservées lorsque les données encapsulées ne sont pas IP, telles que STP (Spanning Tree Protocol).
- Dans la mesure où les adresses multidiffusion représentent un groupe d'adresses (parfois appelé groupe d'hôtes), elles ne peuvent s'utiliser que dans la destination d'un paquet. La source doit toujours être une adresse de monodiffusion.
- Comme avec les adresses monodiffusion et de diffusion, l'adresse IP multidiffusion nécessite une adresse MAC multidiffusion correspondante pour remettre les trames sur un réseau local.



5. Segmentation de réseaux

❑ La segmentation consiste à diviser un réseau en des domaines de collision ou domaines de diffusion,

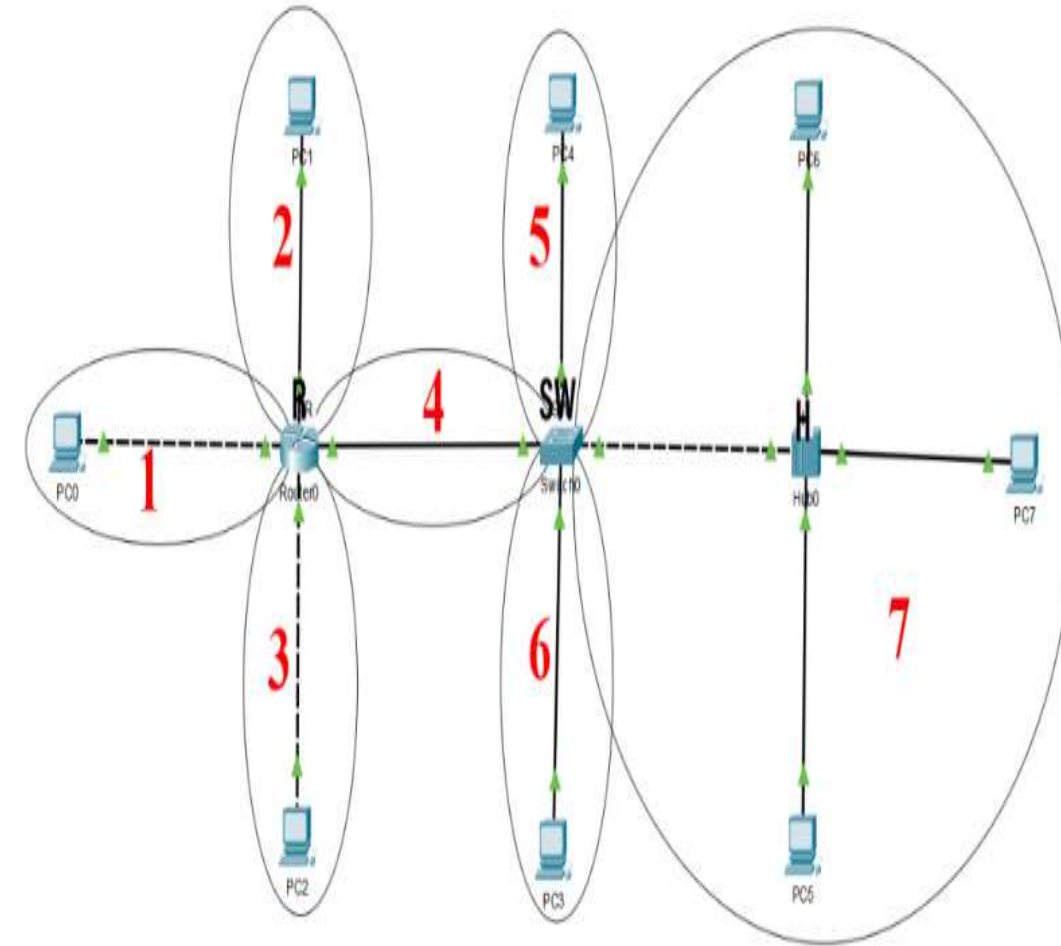
❑ Objectifs

- réduire la taille des domaines de collision
- Augmentation de la bande passante par segment
- Augmentation de la fiabilité par segment
- Taux de collisions proportionnel à la taille du domaine

5. Segmentation de réseaux

Domaine de collision

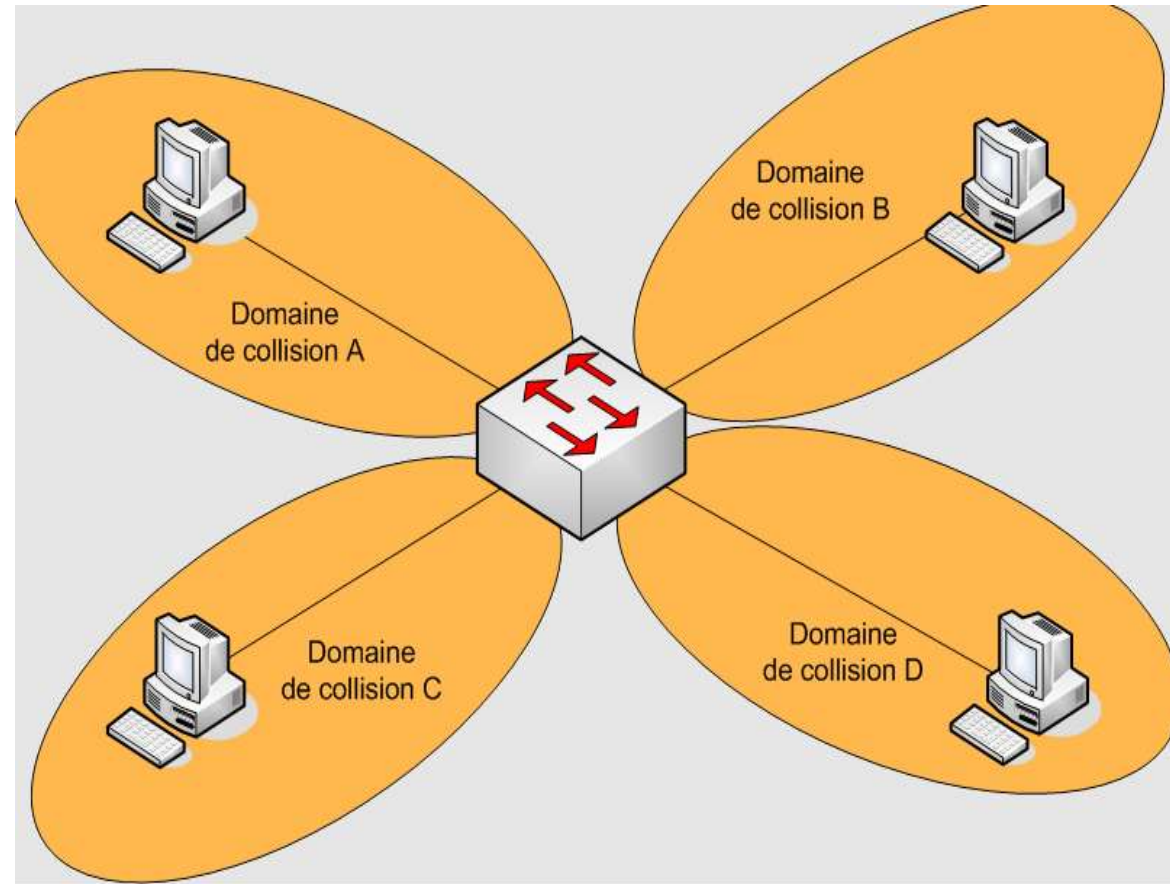
- **Un domaine de collision** est, comme son nom l'indique, la partie d'un réseau où des collisions de paquets peuvent se produire. Une collision se produit lorsque deux périphériques envoient un paquet simultanément sur le segment de réseau partagé. Les paquets entrent en collision et les deux appareils doivent renvoyer les paquets, ce qui réduit l'efficacité du réseau.
- Les collisions se produisent souvent dans un environnement de concentrateur, car chaque port sur un concentrateur est dans le même domaine de collision. En revanche, chaque port sur un pont, un commutateur ou un routeur est dans un domaine de collision séparé.



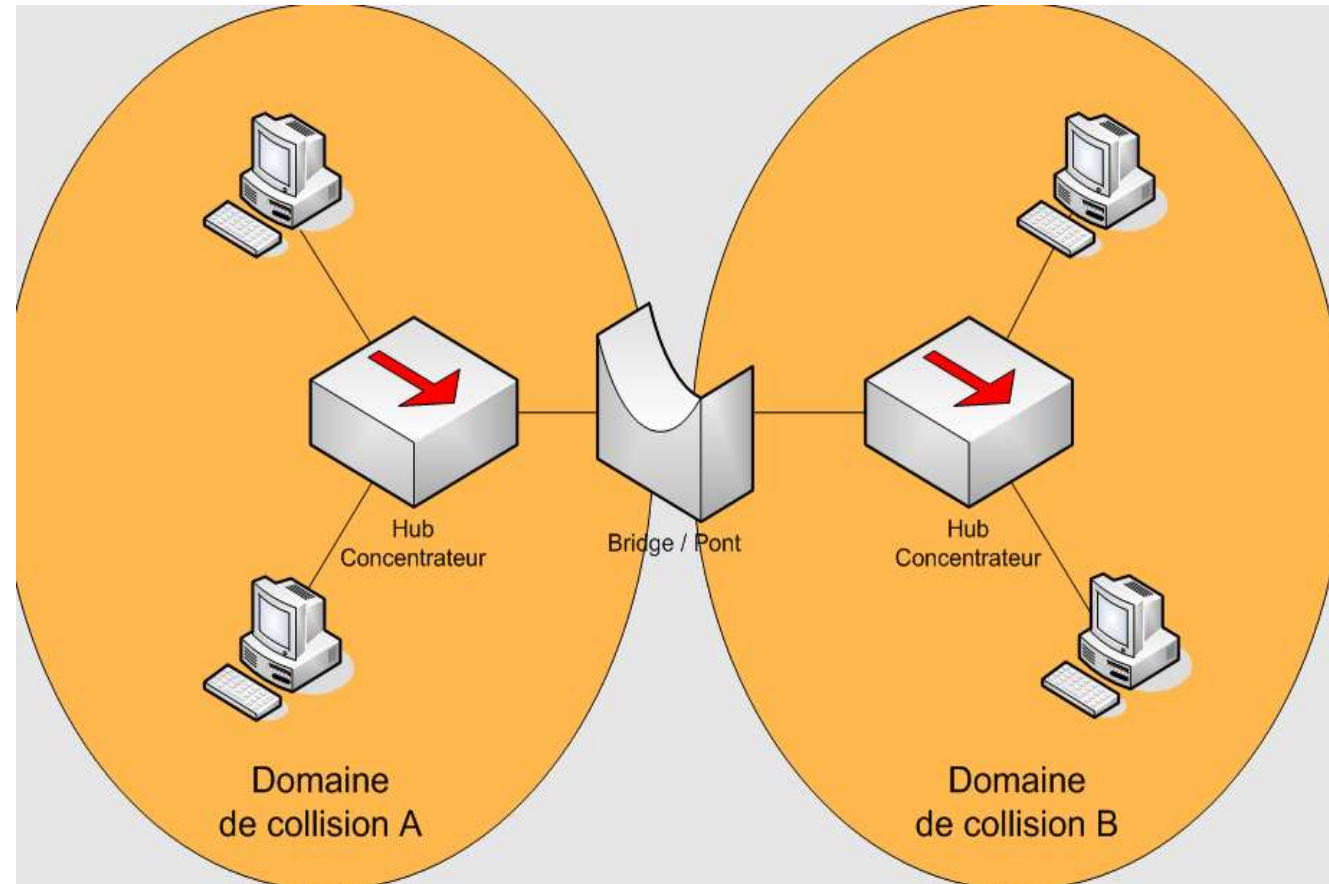
Domaines de collision

5. Segmentation de réseaux

Domaine de collision avec switch



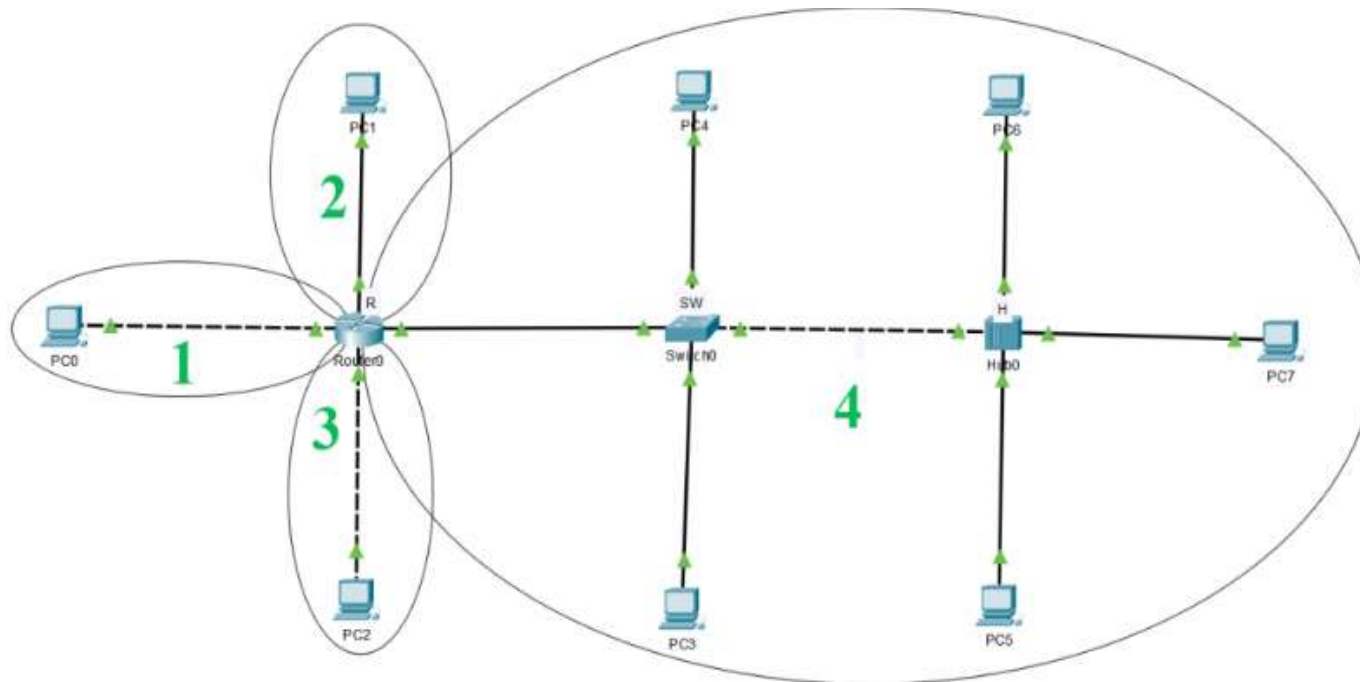
Domaine de collision avec Pont et avec hub



5. Segmentation de réseaux

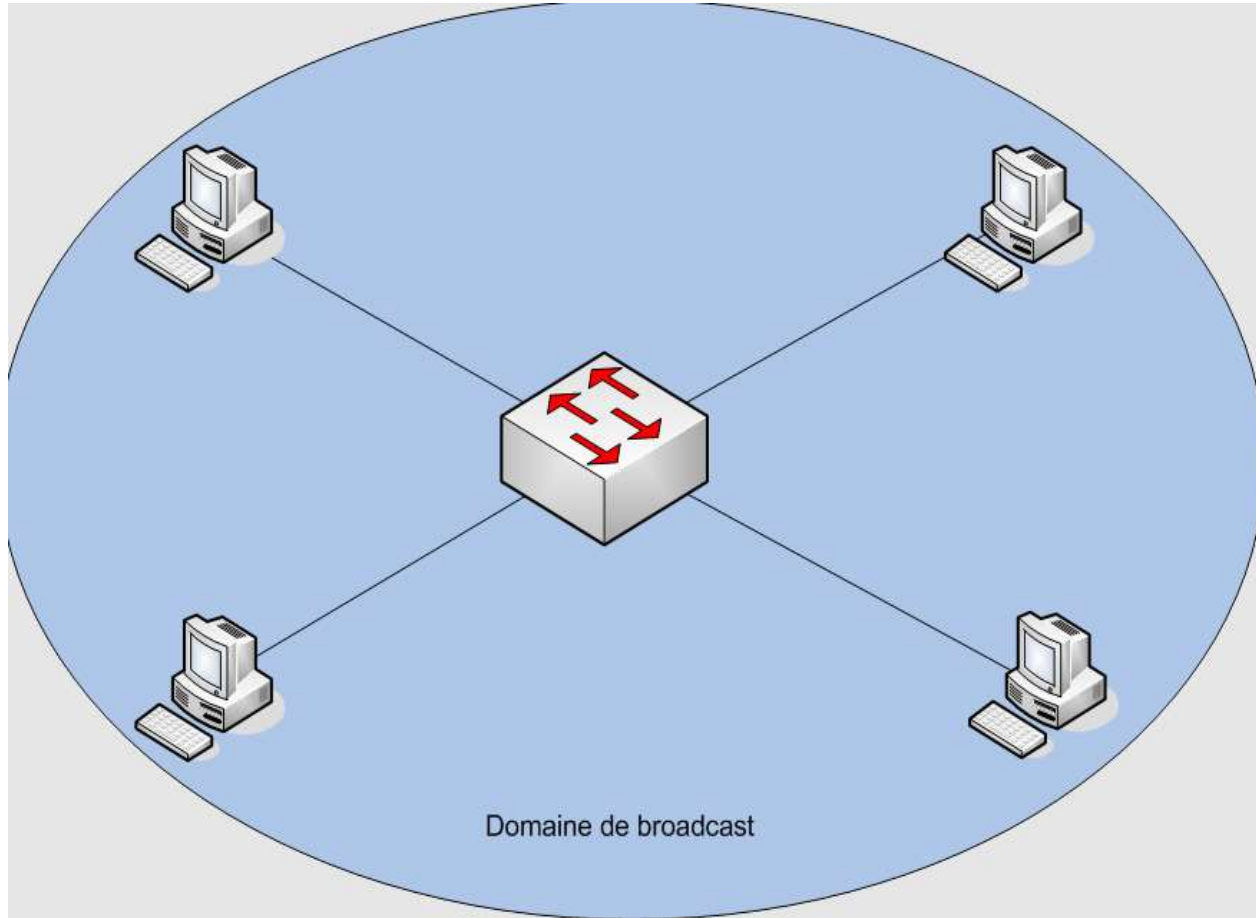
Domaine de diffusion

- Un domaine de diffusion est le domaine dans lequel une diffusion est transférée. Un domaine de diffusion contient tous les périphériques qui peuvent se joindre au niveau de la couche liaison de données en utilisant la diffusion.
- Tous les ports d'un concentrateur ou d'un commutateur sont par défaut dans le même domaine de diffusion.
- Tous les ports d'un routeur se trouvent dans les différents domaines de diffusion (les ponts et les commutateurs acheminent le trafic de diffusion (FF-FF-FF-FF-FF), ce que les routeurs ne font pas en règle générale).
- Le schéma ci-dessous illustre les domaines de diffusion dans une architecture :

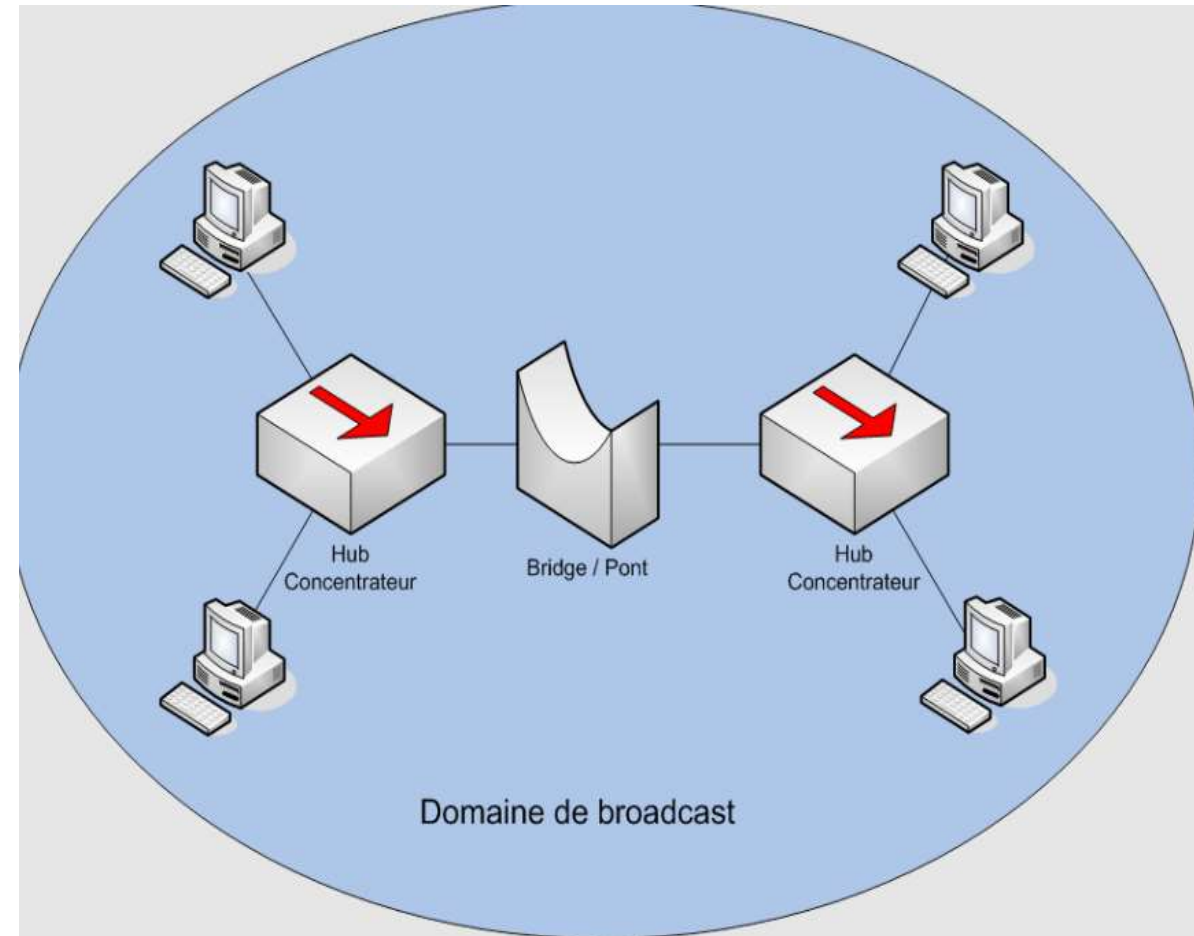


5. Segmentation de réseaux

Domaine de diffusion avec switch

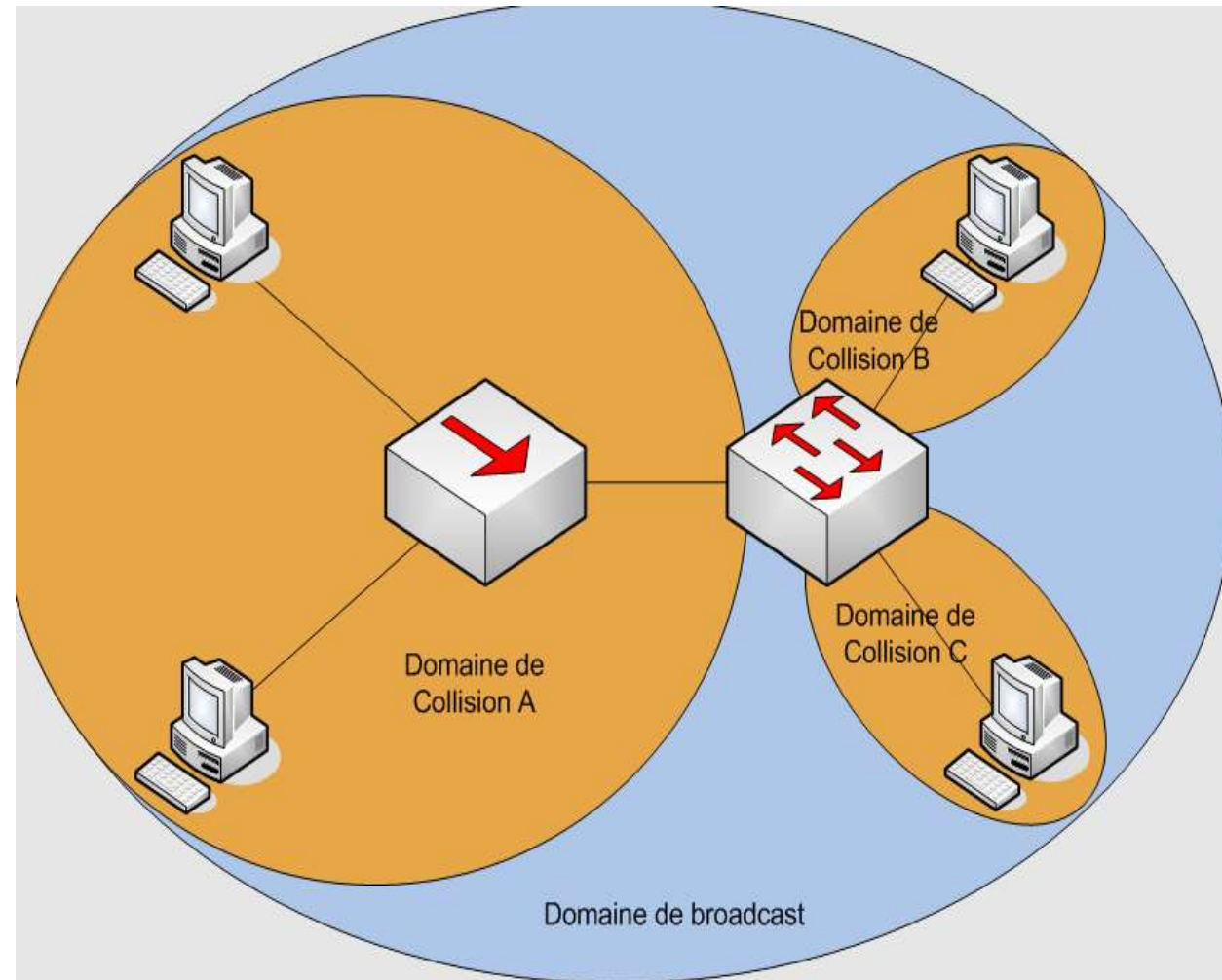


Domaine de diffusion avec hub/Pont

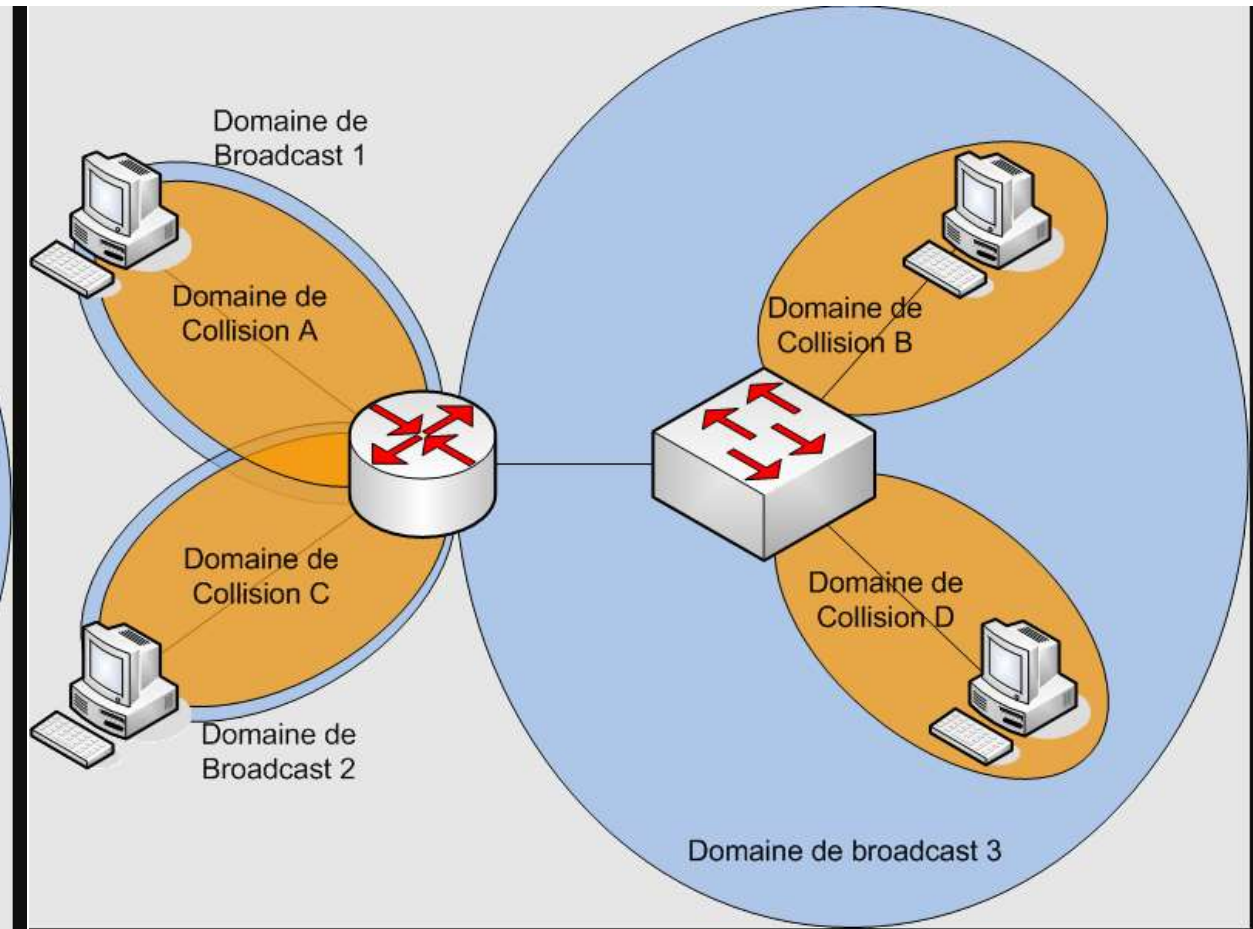


5. Segmentation de réseaux

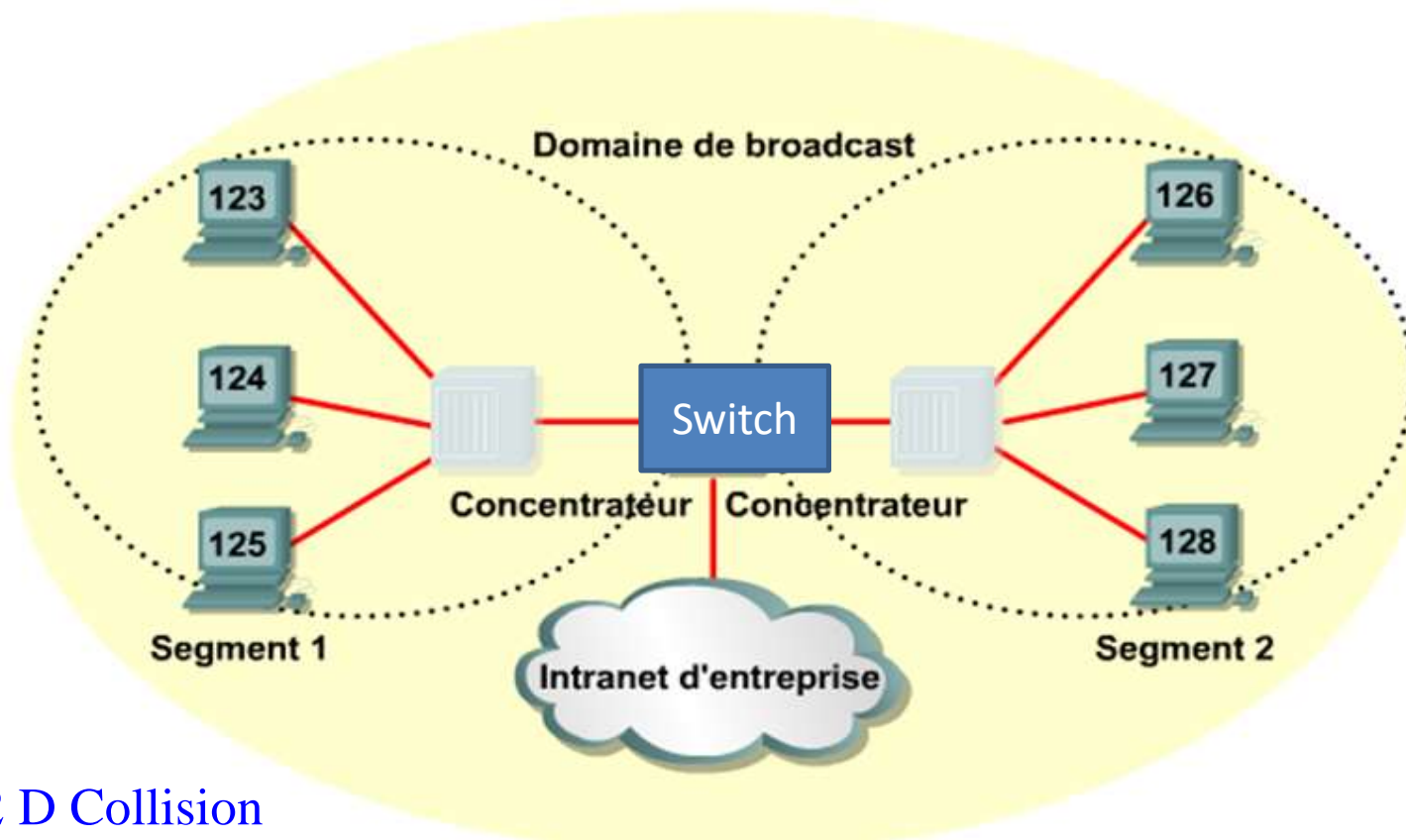
Deux domaines ensemble



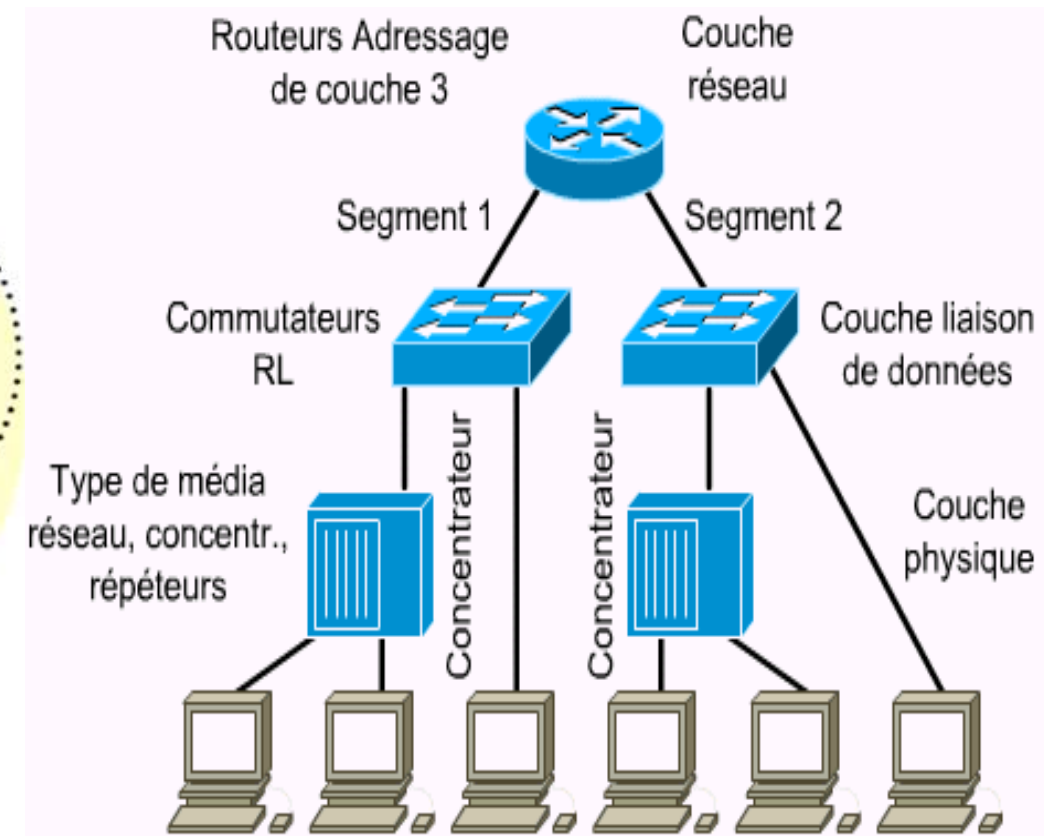
Deux domaines ensemble avec routeur



Déterminez le nombre de domaines de collision et de diffusion

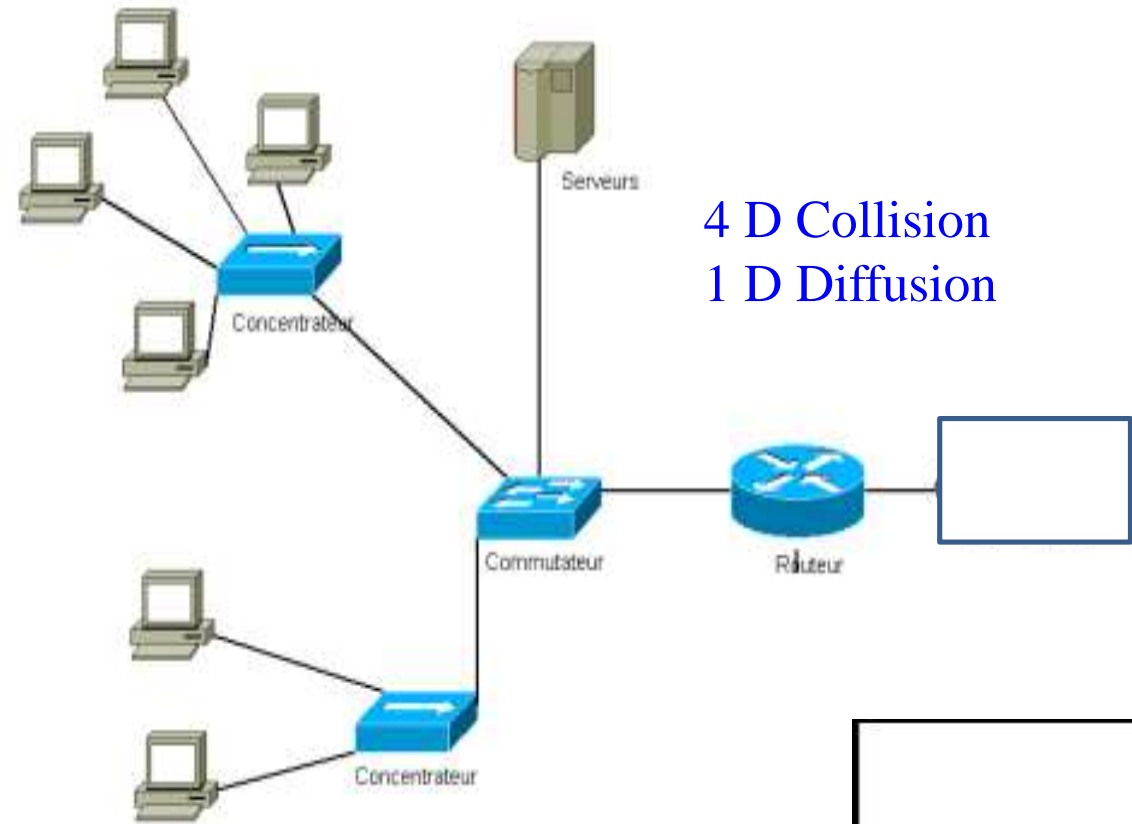


2 D Collision
1 D Diffusion

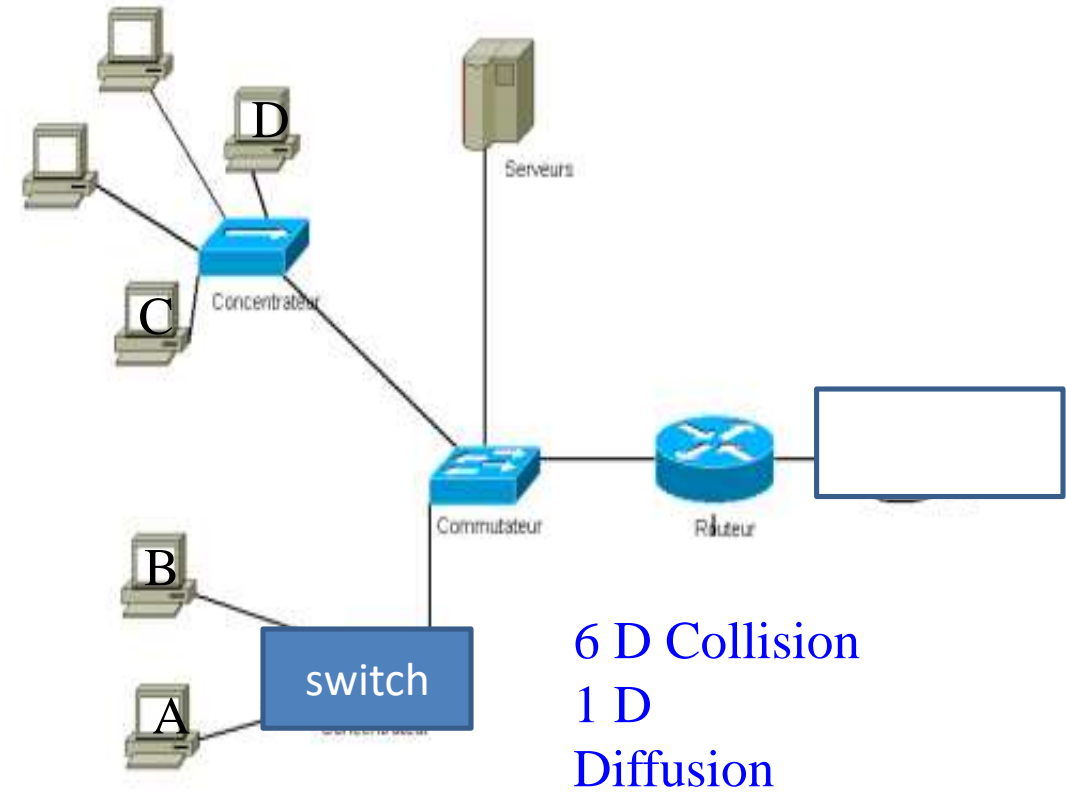


6 D Collision
2 D Diffusion

Déterminez le nombre de domaines de collision et de diffusion

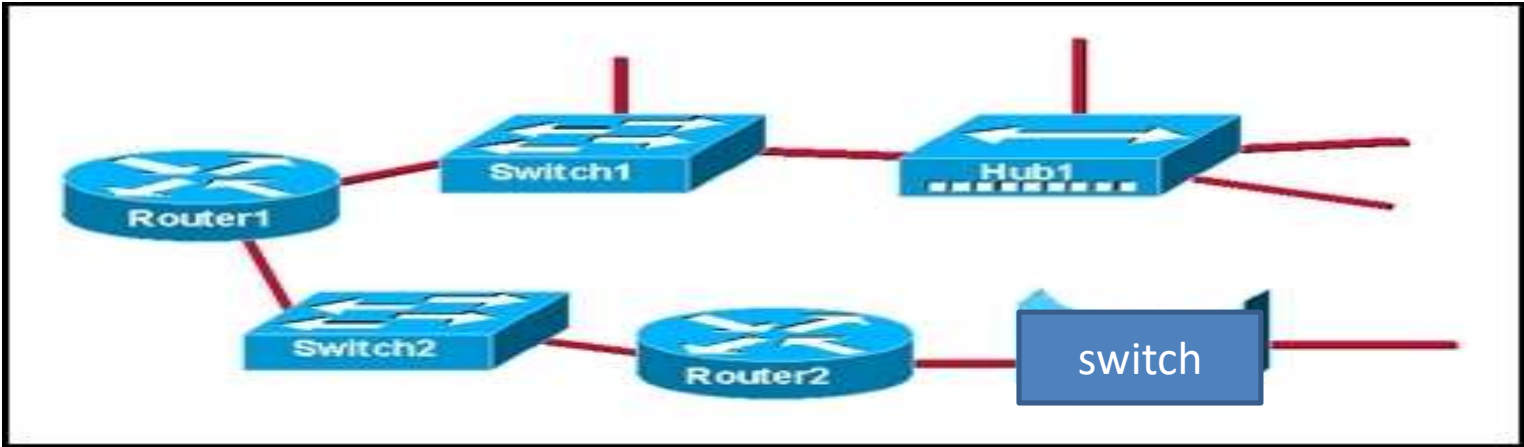


4 D Collision
1 D Diffusion



6 D Collision
1 D Diffusion

7 D Collision
3 D Diffusion



6. Table d'adresses MAC

Notions de base sur le commutateur

- Un commutateur Ethernet de couche 2 utilise des adresses MAC pour prendre des décisions de transmission. Il ignore totalement les données (protocole) transportées dans la partie données de la trame, comme un paquet IPv4, un message ARP ou un paquet ND IPv6. Les décisions du commutateur concernant la transmission de données reposent uniquement sur les adresses MAC Ethernet de couche 2.
- Contrairement à un concentrateur Ethernet qui répète les bits sur tous les ports sauf le port entrant, un commutateur Ethernet consulte une table d'adresses MAC pour décider de la transmission de chaque trame.
- Lorsqu'un commutateur est activé, la table d'adresses MAC **est vide**

Remarque: la table d'adresses MAC est parfois appelée **table de mémoire associative (CAM)**.

Examine l'adresse MAC source

Le commutateur vérifie si de nouvelles informations sont disponibles sur chacune des trames entrantes. Pour cela, il examine l'adresse MAC source de la trame et le numéro du port par lequel la trame est entrée dans le commutateur. Si l'adresse MAC source n'existe pas, elle est ajoutée à la table , tout comme le numéro du port d'entrée. Si l'adresse MAC source existe, le commutateur réinitialise le compteur de cette entrée. Par défaut, la plupart des commutateurs Ethernet conservent les entrées dans la table pendant 5 minutes.

Remarque: si l'adresse MAC source existe dans la table mais sur un port différent, le commutateur la traite comme une nouvelle entrée. L'ancienne entrée est alors remplacée par la même adresse MAC associée au numéro de port actuel.

6. Table d'adresses MAC

Changement d'apprentissage et de transmission

Rechercher l'adresse MAC de destination (Transférer)

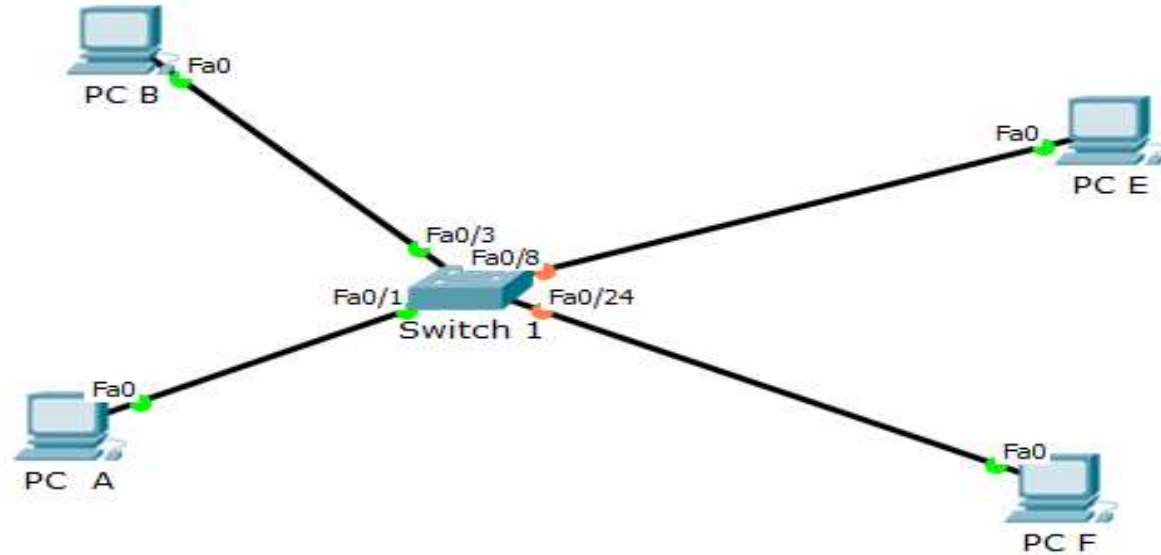
Si l'adresse MAC de destination est une adresse monodiffusion, le commutateur recherche une correspondance entre l'adresse MAC de destination de la trame et une entrée dans sa table d'adresses MAC. Si l'adresse MAC de destination se trouve dans la table, le commutateur transfère la trame par le port spécifié. Si l'adresse MAC de destination ne se trouve pas dans la table, le commutateur transfère la trame sur tous les ports sauf celui d'entrée. Cela s'appelle une monodiffusion inconnue.

Remarque: si l'adresse MAC de destination est une diffusion ou une multidiffusion, la trame est également envoyée sur tous les ports à l'exception du port entrant.

L'apprentissage des adresses MAC

1. T PCB \rightarrow PCF
2. T PCA \rightarrow PCE
3. T PCF \rightarrow PCB

CAM initial
autoapprentissage



@MAC	Numport
PC B	3
PC A	1
PC F	24

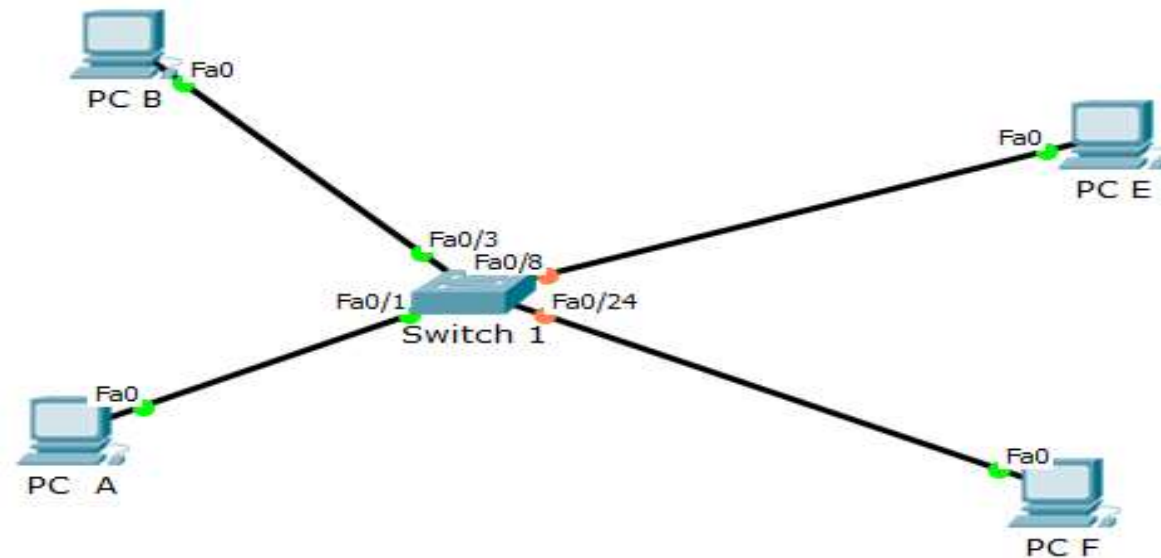
@MAC	Numport
PC B	3
PC A	1
PC F	24

L'apprentissage des adresses MAC

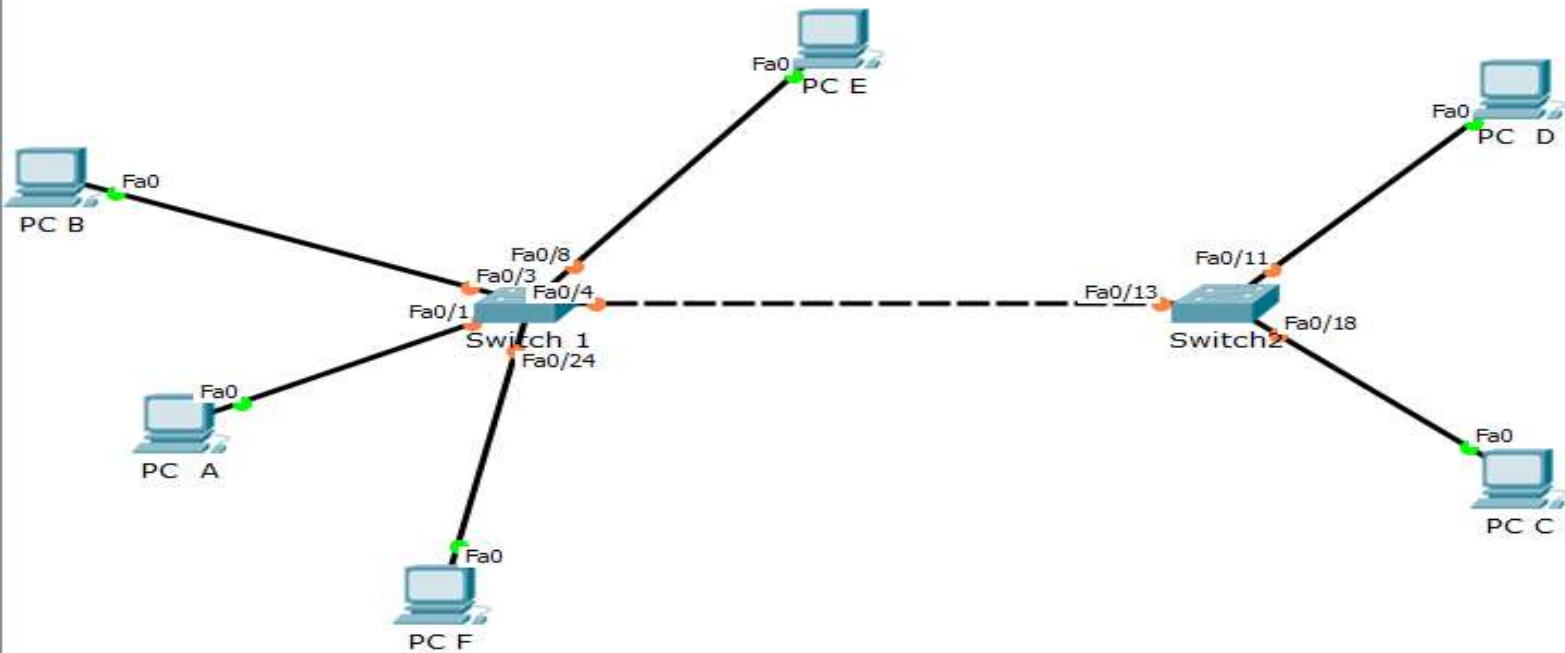
1. T PCA → PCB
2. T PCF → PCE
3. T PCB → PCA

CAM initial
autoapprentissage

@MAC	Numport
PCA	1
PCF	24
PC B	3



- 1. TramePC A → PC E
- 2. T PC B → PC C
- 3. T PC D → PC A
- 4. T PC F → PC D
- 5. PC A → PCB



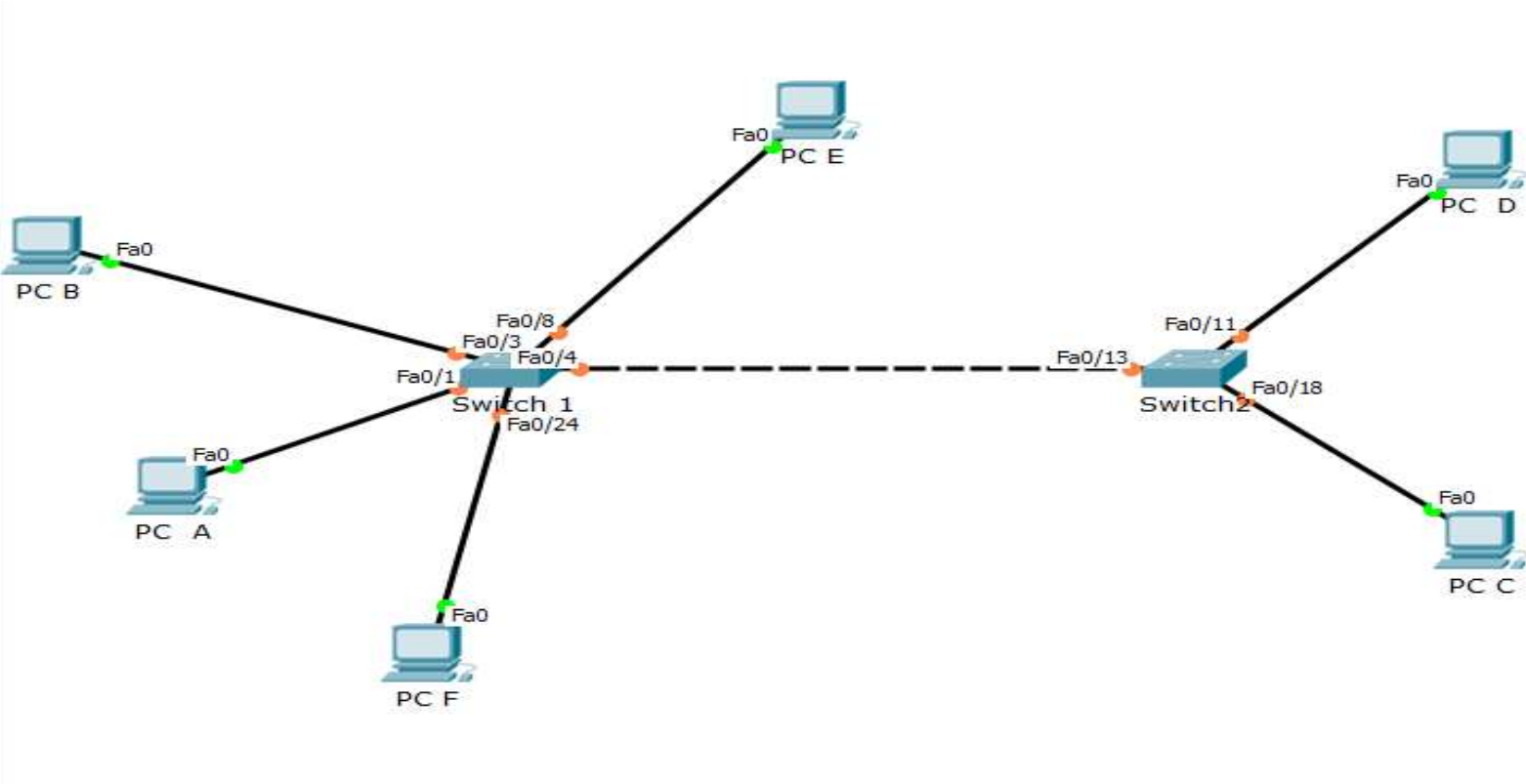
CAM S1

@MAC	Numport
PC A	1
PC B	3
PC D	4
PC F	24

CAM S2

@MAC	Numport
PC A	13
PC B	13
PC D	11
PC F	13

- 1. T PC A → PC E
- 2. T PC B → PC C
- 3. T PC D → PC A
- 4. T PC F → PC D
- 5. PC A → PCB



CAM S1

@MAC	Numport
PCA	1
PCB	3
PC D	4
F	24

CAM S2

@MAC	Numport
PCA	13
PCB	13
PC D	11
F	13

7. Méthodes de transmission et vitesses de commutation

Méthodes de transmission de trames sur les commutateurs Cisco

Les commutateurs utilisent l'une des méthodes suivantes de transmission des données entre des ports réseau :

- **La commutation Store and Forward** - Comme son nom l'indique, la commutation store-and-forward attend que la trame entière soit arrivée avant de la transférer. Ensuite, le commutateur LAN stocke chaque trame complète dans les tampons de mémoire du commutateur et vérifie les erreurs avant de prendre une décision de transfert. CRC (cyclic redundancy check) qui utilise une formule mathématique basée sur le nombre de bits (1s) dans la trame pour vérifier la trame reçue. Si aucune erreur n'est présente, la trame sera transmise à l'adresse de destination. Sinon, la trame corrompue sera rejetée. Ce processus garantit un haut degré de trafic réseau sans erreur, car le réseau de destination ne sera pas affecté par les trames corrompues.
- **La commutation cut-through** - Par rapport à la commutation "store-and-forward", la commutation "cut-through" est plus simple. Lorsque le commutateur reçoit la trame, il consulte les 6 premiers octets de la trame qui suivent le préambule. Ensuite, le commutateur LAN vérifie l'adresse MAC de destination dans sa table de commutation, détermine le port d'interface de sortie et transmet la trame à sa destination. Pas de contrôle d'erreur CRC dans le processus de commutation "cut-through". Par conséquent, toutes les trames, avec et sans erreurs, seront transmises aux commutateurs de réception. Et un processus de vérification des erreurs doit être effectué par le dispositif de réception pour garantir une transmission sans erreur.
- la commutation par stockage et retransmission (store-and-forward) est nécessaire pour l'analyse de la qualité de service (QOS) sur des réseaux convergés où la classification des trames pour la priorité du trafic est indispensable. Par exemple, les flux de données de voix sur IP doivent être prioritaires sur le trafic Web.

7. Méthodes de transmission et vitesses de commutation

Commutation cut-through

Dans le cas de la commutation cut-through, le commutateur agit sur les données à mesure qu'il les reçoit, même si la transmission n'est pas terminée. Le commutateur met une quantité juste suffisante de la trame en tampon afin de lire l'adresse MAC de destination et IL détermine ainsi le port auquel les données sont à transmettre. Le commutateur ne procède à aucun contrôle d'erreur dans la trame.

Il existe deux variantes de la commutation cut-through :

- **Commutation rapide (Fast-Forward)** - Offre le plus faible niveau de latence en transférant immédiatement un paquet après lecture de l'adresse de destination. Du fait que le mode de commutation Fast-Forward entame la transmission avant la réception du paquet tout entier, il peut arriver que des paquets relayés comportent des erreurs. La carte réseau de destination rejette le paquet défectueux à la réception. La commutation Fast-Forward est la méthode de commutation cut-through classique.
- **Commutation sans fragment** - le commutateur stocke et effectue un contrôle d'erreur sur les 64 premiers octets de la trame avant de la transmettre. Étant donné que la plupart des erreurs et des collisions réseau se produisent au cours des 64 premiers octets, cela garantit qu'aucune collision ne s'est produite avant le transfert de la trame.

7. Méthodes de transmission et vitesses de commutation

Mise en mémoire tampon sur les commutateurs

Un commutateur Ethernet peut utiliser une technique de mise en mémoire tampon pour stocker des trames avant de les transmettre.

Méthode	Description
Mémoire axée sur les ports	<ul style="list-style-type: none">•Les trames sont stockées dans des files d'attente liées à des ports entrants et sortants spécifiques.•Une trame est transmise au port sortant uniquement si toutes les trames qui la précèdent dans la file d'attente ont été correctement transmises.•Une seule trame peut retarder la transmission de toutes les trames en mémoire si un port de destination est saturé.•Ce retard se produit, même si les autres trames peuvent être transmises à des ports de destination libres.
Mémoire partagée	<ul style="list-style-type: none">•Dépose toutes les trames dans un tampon de mémoire commun partagé par tous les ports de commutateur et la quantité de mémoire tampon requise par un port est allouée dynamiquement.•ce qui permet de recevoir le paquet sur un port et de le transmettre sur un autre, sans avoir à le déplacer vers une autre file d'attente.

- La mise en mémoire tampon partagée entraîne également des images plus volumineuses. La commutation asymétrique permet l'utilisation de différents débits de données sur différents ports. Par conséquent, plus de bande passante peut être dédiée à certains ports (p. ex. port serveur).

7. Méthodes de transmission et vitesses de commutation

Paramètres de duplex et de vitesse

Les paramètres de bande passante et de mode duplex de chaque port de commutateur sont des paramètres fondamentaux. Il est essentiel que ceux du port de commutateur et des périphériques connectés (ordinateur ou autre commutateur) soient en adéquation.

Deux types de paramètres bidirectionnels sont employés pour les communications dans un réseau Ethernet :

- **Mode duplex intégral** - Les deux extrémités de la connexion peuvent envoyer et recevoir des données simultanément.
- **Mode semi-duplex** : une seule extrémité de la connexion peut envoyer des données à la fois.

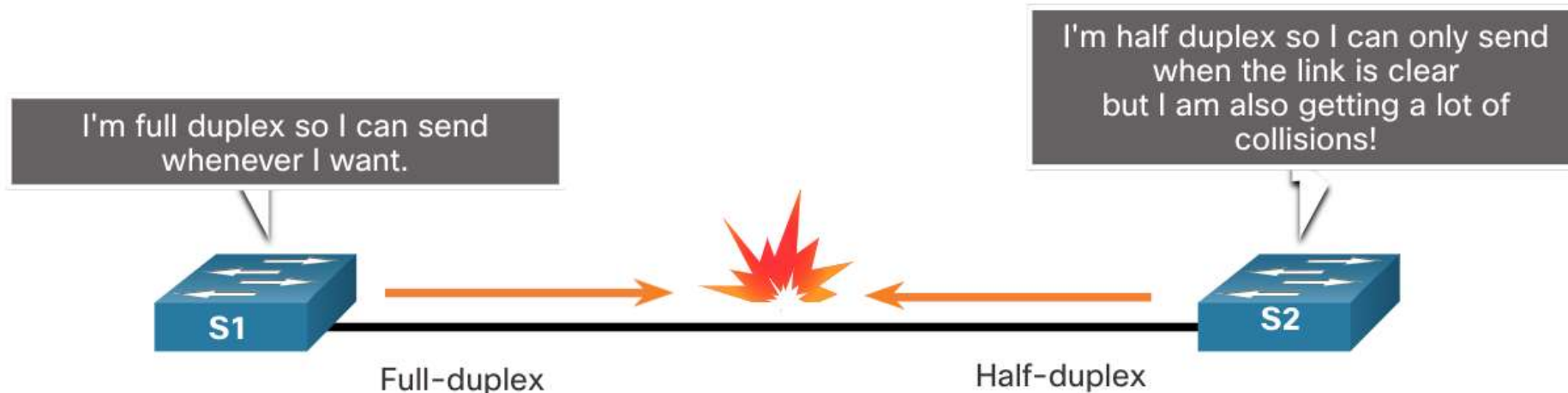
La négociation automatique est une option proposée sur la plupart des commutateurs Ethernet et des cartes réseau. Elle permet l'échange automatique d'informations sur le débit et le mode duplex entre deux périphériques.

Remarque: les ports Gigabit Ethernet ne fonctionnent qu'en duplex intégral.

7. Méthodes de transmission et vitesses de commutation

Paramètres de duplex et de vitesse

- Le conflit du mode duplex est l'une des causes les plus fréquentes de problèmes de performances sur les liaisons Ethernet 10/100 Mbps. Il se produit lorsqu'un port sur la liaison fonctionne en semi-duplex tandis que l'autre port fonctionne en mode duplex intégral.
- Cela se produit lorsque l'un des ports ou les deux ports d'une liaison sont réinitialisés et qu'après le processus de négociation automatique, les deux partenaires de la liaison ne possèdent plus la même configuration.
- Le problème peut également survenir lorsque des utilisateurs reconfigurent un côté d'une liaison et oublient d'en faire autant de l'autre côté. La négociation automatique doit être soit activée soit désactivée des deux côtés. La meilleure pratique consiste à configurer les deux ports de commutateur Ethernet en duplex intégral.



7. Méthodes de transmission et vitesses de commutation

Auto-MDIX

Les connexions entre les appareils nécessitaient une fois l'utilisation d'un câble croisé ou d'un câble direct. Le type de câble requis dépendait du type de dispositifs d'interconnexion.

Remarque : Une connexion directe entre un routeur et un hôte nécessite une connexion croisée.

- Désormais, la plupart des commutateurs prennent en charge la fonction de commutation automatique d'interface en fonction du support (auto-MDIX). Lorsque vous activez cette fonction, le commutateur détecte le type de câble connecté au port et configure les interfaces en conséquence.
- La fonction Auto-MDIX est activée par défaut sur les commutateurs qui fonctionnent avec la version Cisco IOS 12.2(18)SE ou une version ultérieure. Toutefois, la fonctionnalité peut être désactivée. Pour cette raison, vous devez toujours utiliser le type de câble correct et ne pas compter sur la fonction Auto-MDIX.
- Auto-MDIX peut être réactivé à l'aide de la commande **mdix auto** interface configuration.