

Couche réseau

Chapitre 5

Plan

- Introduction
- Rôle et fonctions de la couche 3
- Protocole IP
- Adressage IP
- Routage
- Segmentation

Introduction

- Dans le chapitre précédent, nous avons vu comment communiquent des machines d'un même réseau.
- Dans ce présent chapitre, nous étudierons la communication entre machines de réseaux différents.
- Nous y verrons principalement le **protocole IP** et le **routage**

Rôle & Fonctions

Rôle & Fonctions

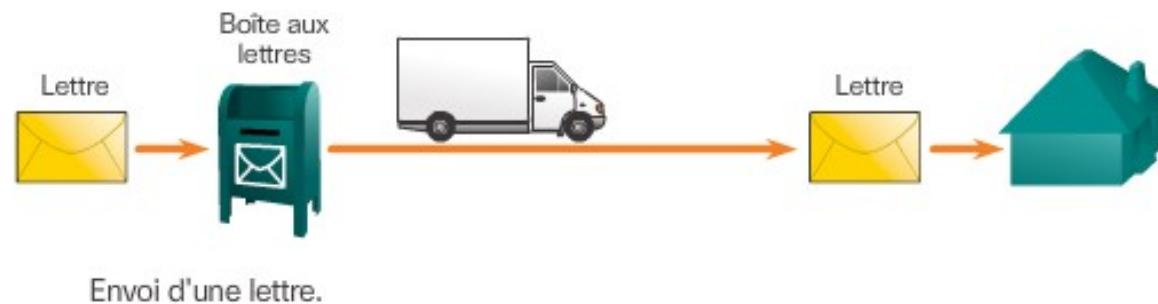
- Le rôle principal de la couche réseau (couche 3) est **l'interconnexion des réseaux**
- Il est assurée par deux principales fonctions :
 - L'**adressage IP** et
 - Le **routage**
- Par le biais
 - du protocole **IP**
 - et des protocoles de routage : **RIP, OSPF, BGP, ...**
- Il existe d'autres protocoles de couche réseau
 - **ICMP**

Protocole IP

Protocole IP : Caractéristiques

- **Sans connexion**
- **Acheminement au mieux** : best effort
- **Indépendance du support**

Protocole IP : sans connexion



L'expéditeur ignore :

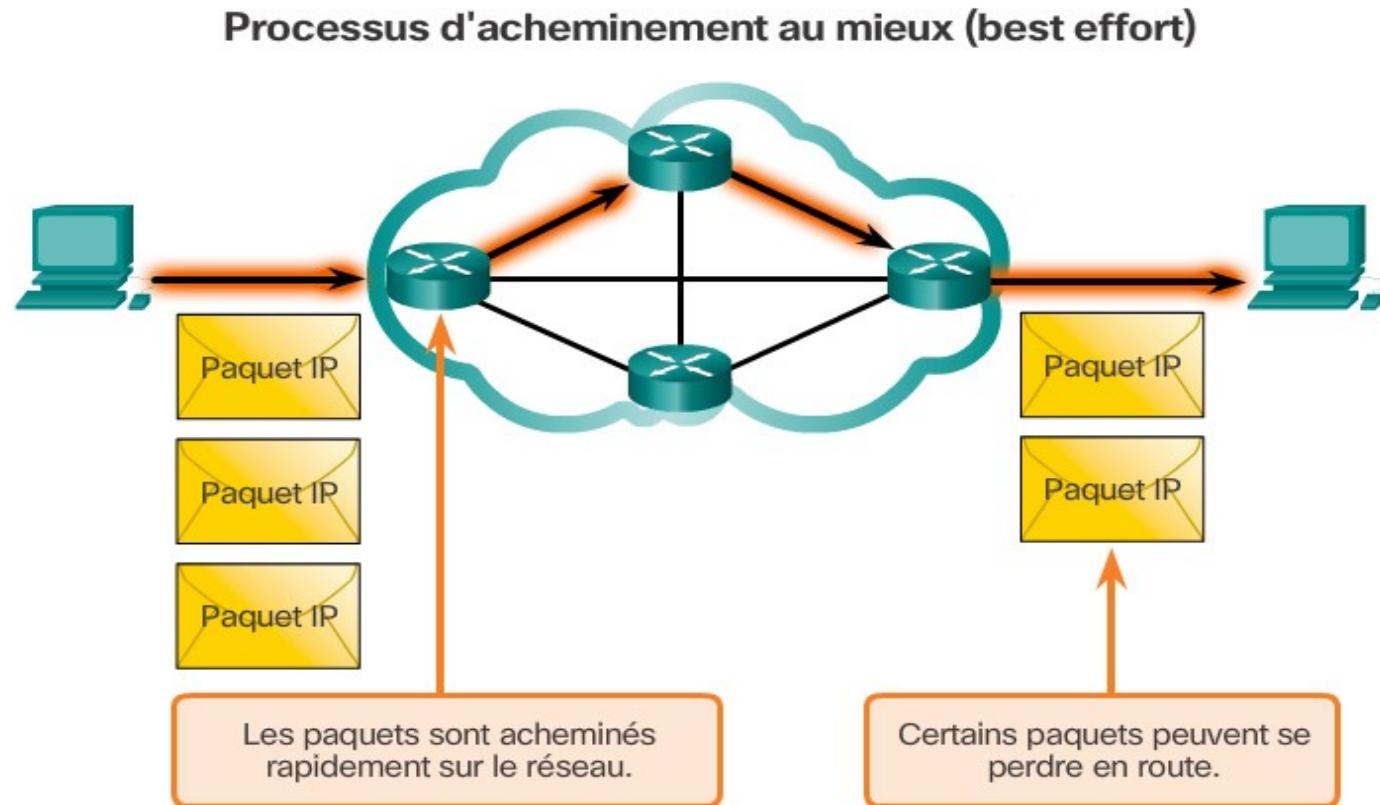
- si le destinataire est présent ;
- si la lettre est arrivée ;
- si le destinataire peut lire la lettre.

Le destinataire ignore :

- quand elle va arriver.

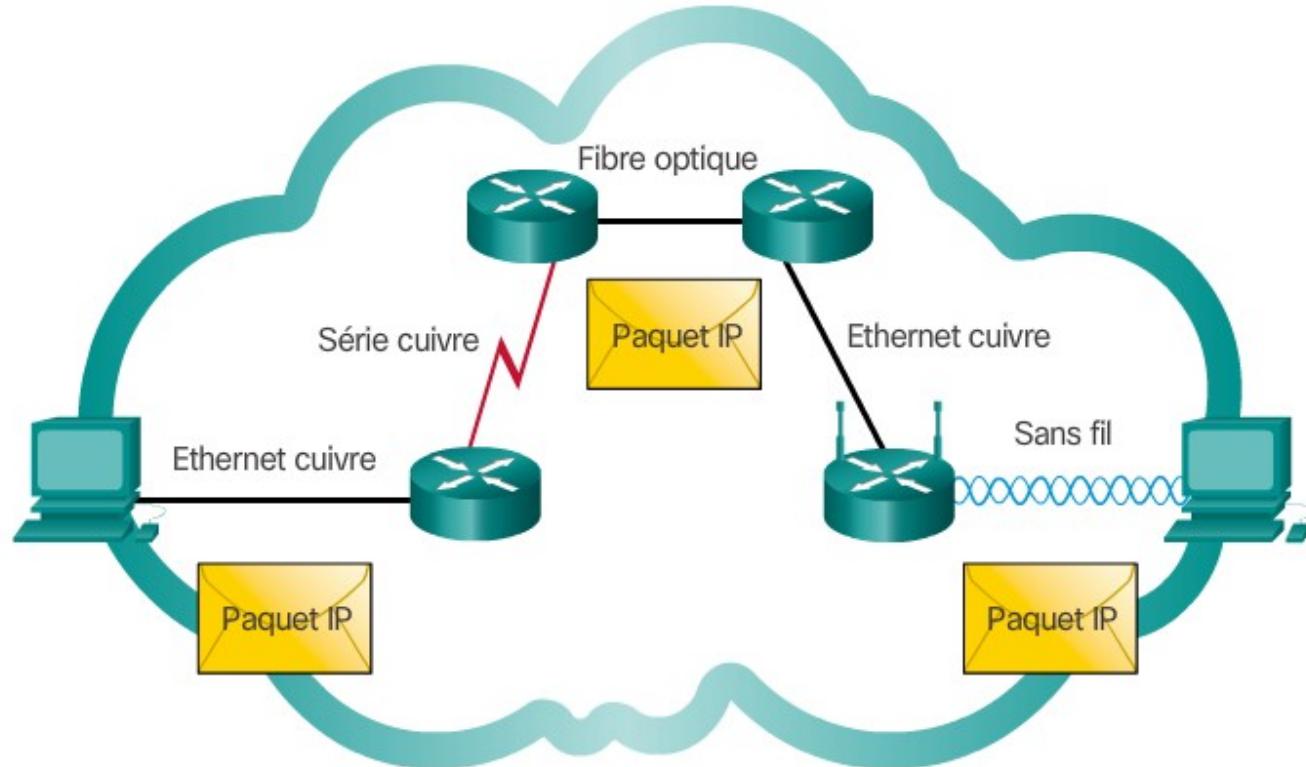
Aucune connexion avec le destinataire avant l'envoi des paquets

Protocole IP : acheminement au mieux



IP est un protocole de couche réseau peu fiable, il ne garantit donc pas que tous les paquets envoyés seront reçus. D'autres protocoles gèrent le processus de suivi des paquets et garantissent leur livraison.

Protocole IP : indépendance du support

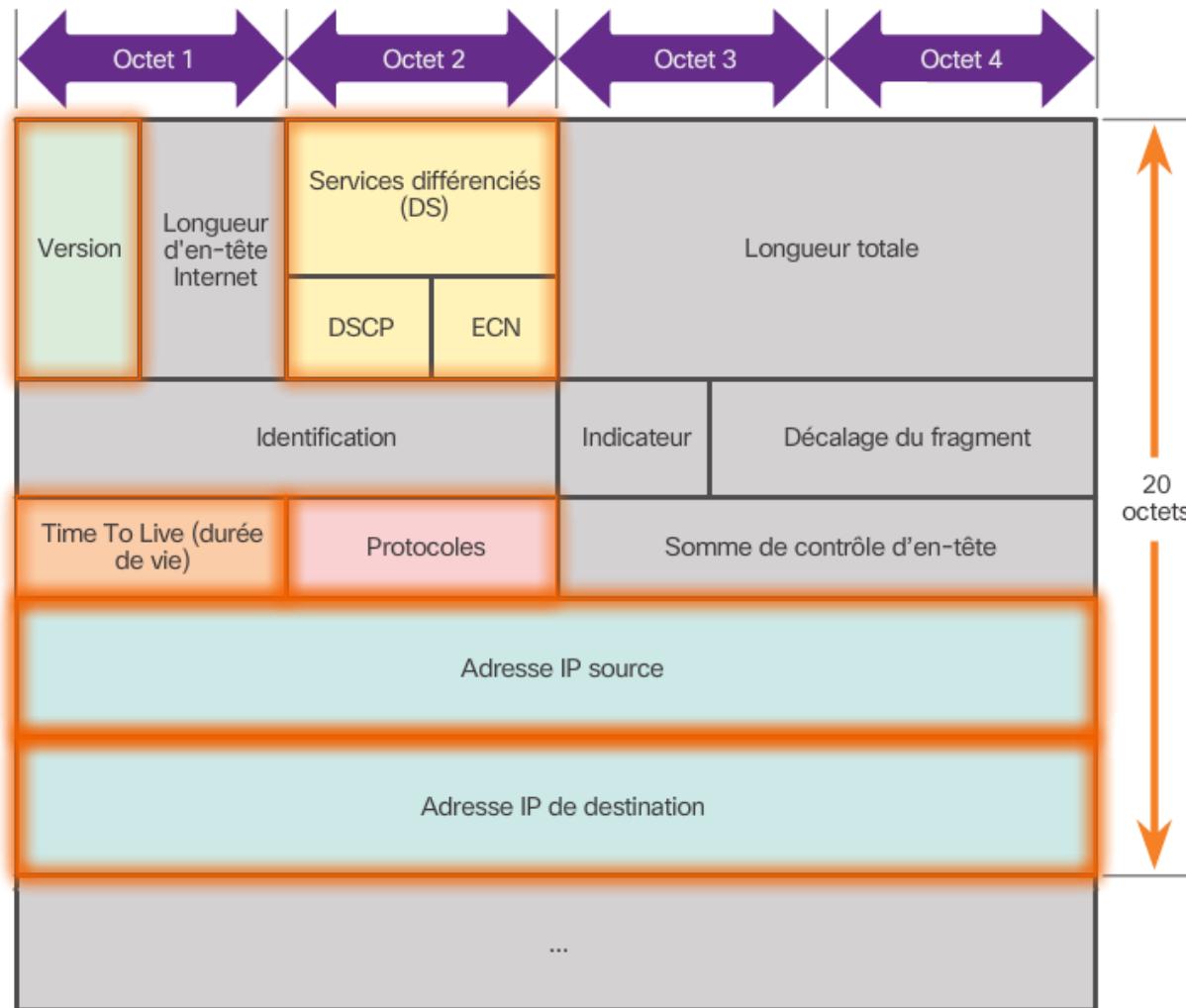


Les paquets IP peuvent transiter par différents supports.

Protocole IP: paquet IP

- Principe de base : Mettre les données à transmettre dans un format de paquet donné : **paquet IP**
- On note deux formats : **IPv4** et **IPv6**

IPv4

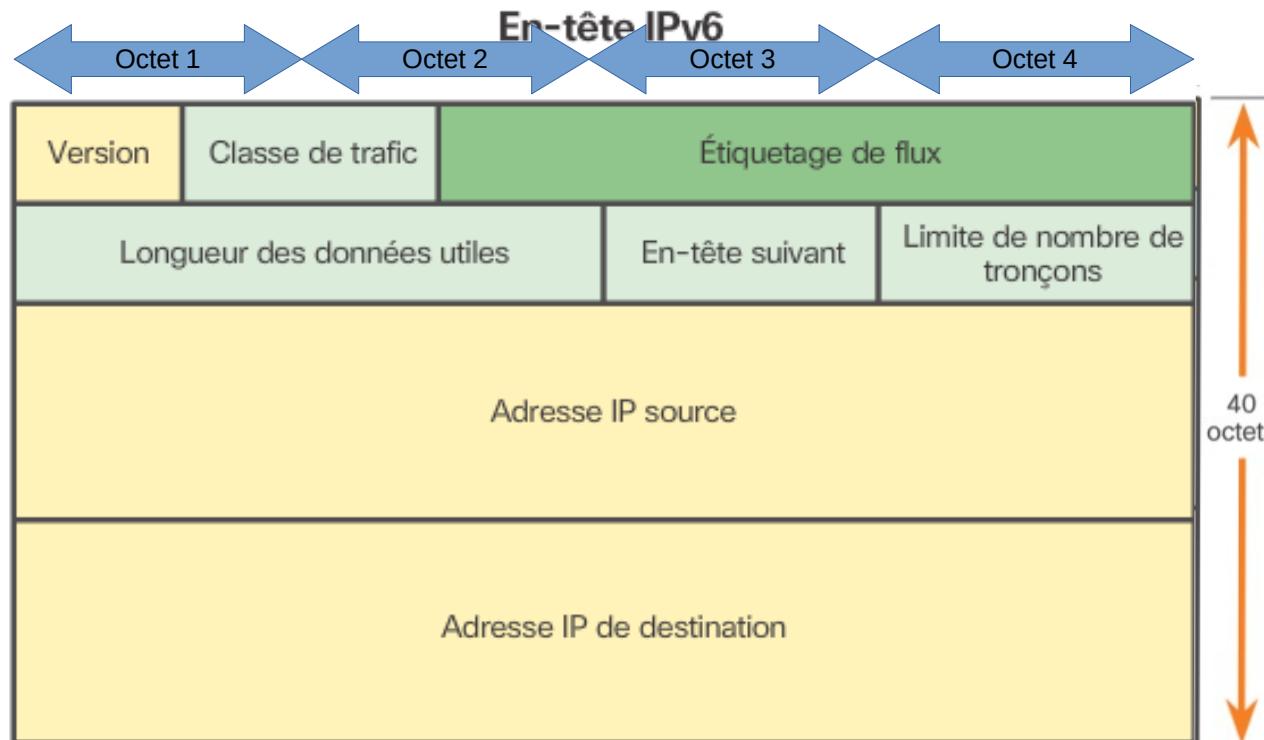


- Version = 0100
- DS = priorité du paquet
- TTL = limite la durée de vie du paquet
- Protocol = protocole de la couche supérieure tel que TCP
- Source IP Address = source du paquet
- Destination IP Address = destination du paquet

Limites d'IPv4

- Pénurie d'adresses
 - 32 bits → 2^{32} adresses au plus (~ 4 milliards)
 - Connectivité de bout-en-bout limitée
- Solutions provisoires :
 - NAT (Network Address Translation)
 - Adressage CIDR (Classless InterDomain Routing)

IPv6



- En-tête simplifiée
- Plus besoin de NAT
- version = 0110
- Classe de trafic = priorité
- étiquetage de flux=id flux
- en-tête suivant= protocole de couche 4 (ou protocole encapsulé)
- limite de nombre de tronçons : remplace TTL

Légende

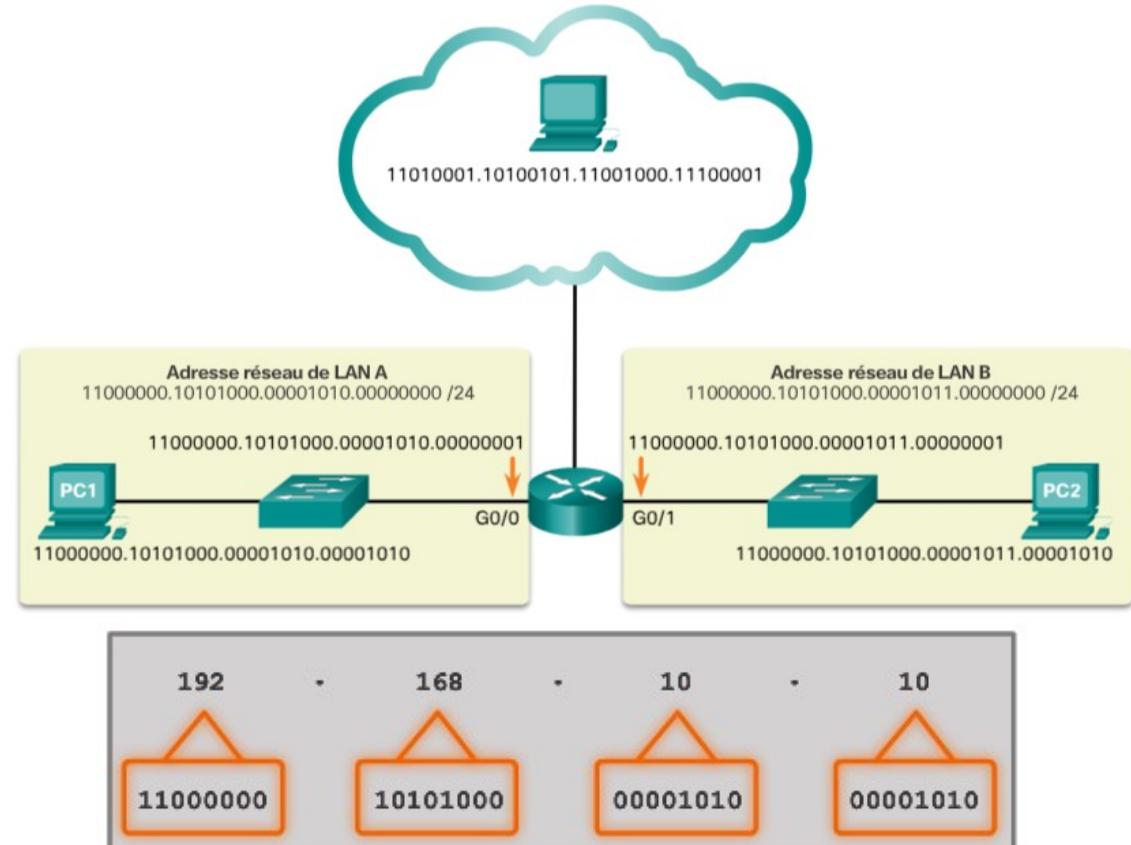
- [Yellow box] - Noms des champs conservés de IPv4 à IPv6
- [Light Green box] - Nom et position modifiés dans IPv6
- [Dark Green box] - Nouveau champ dans IPv6

Adressage IP

Adressage IPv4

Adresses IPv4 au format binaire

- 4 octets : **32 bits**
- Écrits en notation décimale pointée

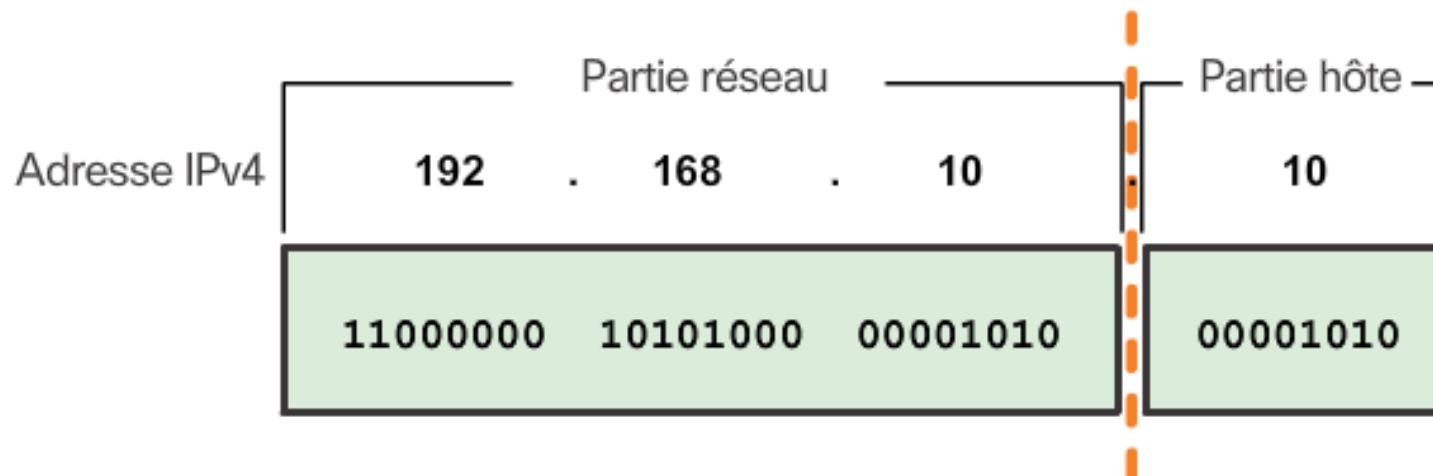


Cette adresse se compose de quatre octets différents.

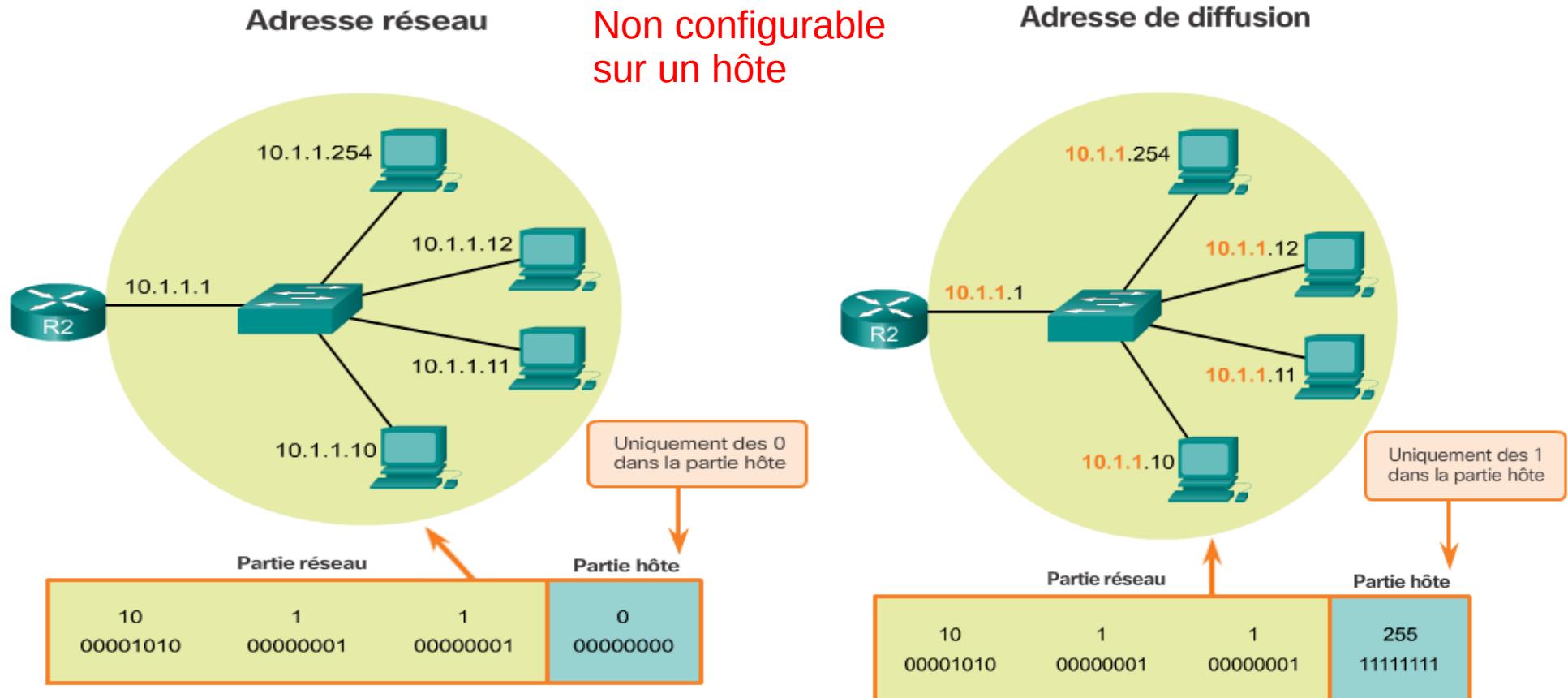
Structure d'une adresse IPv4

2 parties :

- Partie réseau : identifie le réseau
- Partie hôte : détermine l'hôte

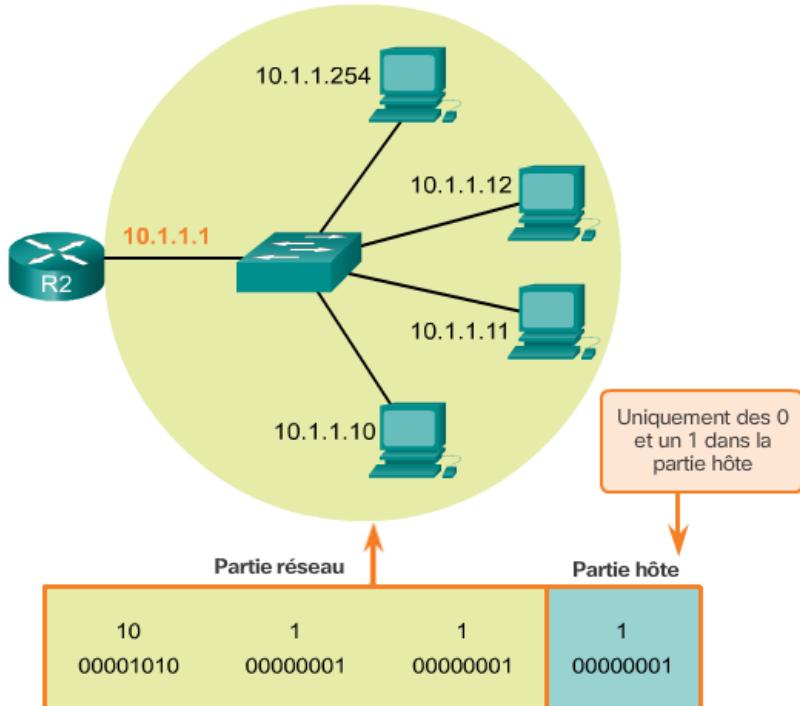


Adresse réseau, hôte & diffusion(1)

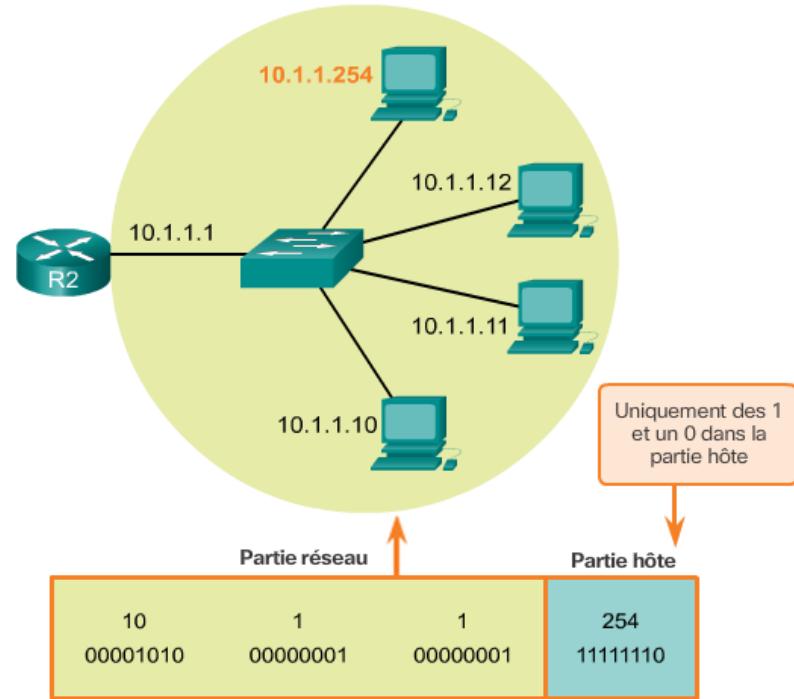


Adresse réseau, hôte & diffusion(2)

Première adresse d'hôte

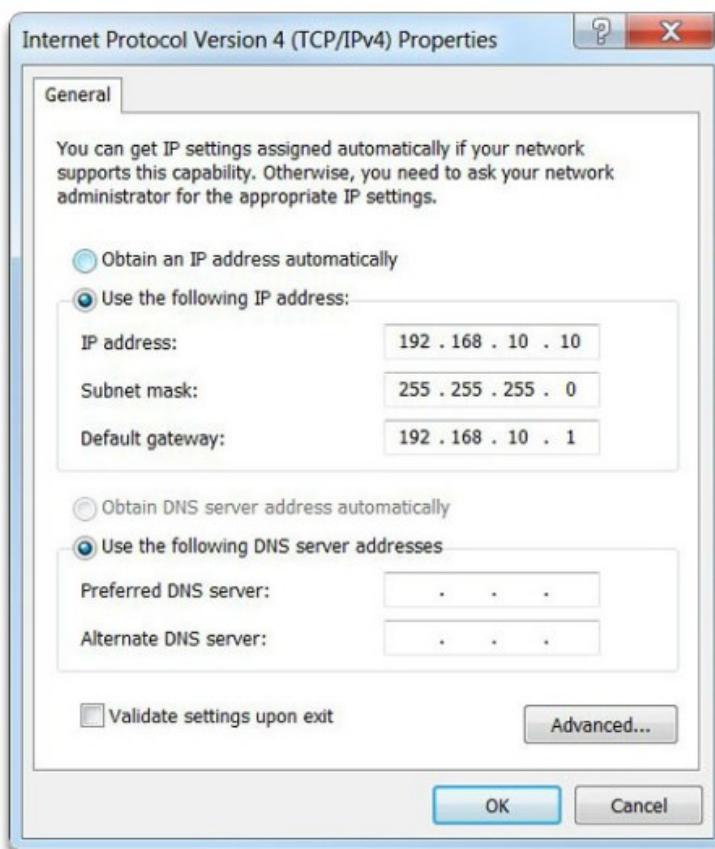


Dernière adresse d'hôte

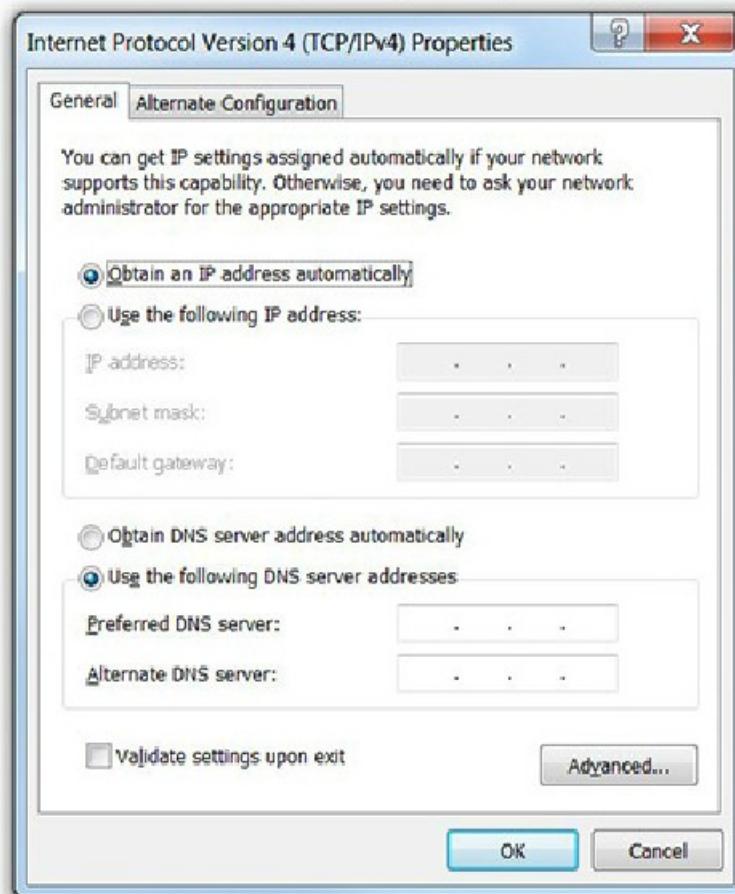


Configuration (1)

Configuration IP sur un hôte



Attribution dynamique



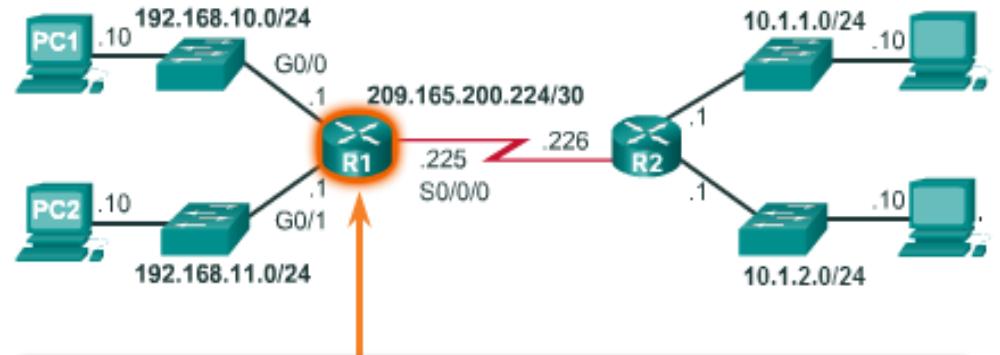
- Configuration manuelle

Ou

- Configuration automatique (via un serveur DHCP)

Configuration (2)

- Configuration sur un routeur

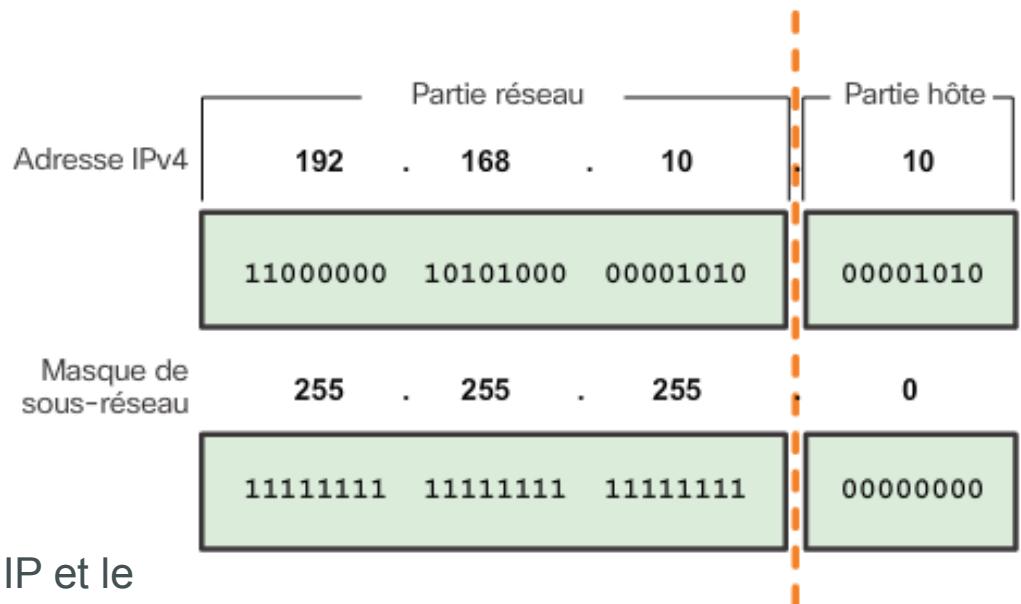


```
R1#conf t
Enter configuration commands, one per line.
End with CNTL/z.

R1(config)#
R1(config)#interface gigabitethernet 0/0
R1(config-if)#ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
R1(config-if)#description Link to LAN-10
R1(config-if)#no shutdown
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0,
changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface
GigabitEthernet0/0, changed state to up
```

Masque de sous-réseau

- Sur 32 bits
- Permet d'identifier les 2 parties d'une @
 - Les **1** identifient la partie réseau
 - Les **0**, la partie hôte



L'application de l'opération AND entre l'adresse IP et le masque de sous-réseau permet de déterminer l'adresse réseau.

Longueur de préfixe

- Raccourci qui permet d'identifier un masque de sous-réseau.
- La longueur de préfixe correspond au nombre de bits définis sur 1 dans le masque de sous-réseau.
- Elle est notée au moyen de la « notation de barre oblique », c'est-à-dire une barre oblique, « / », suivie du nombre de bits définis sur 1.

| Masque de sous-réseau | Adresse 32 bits | Longueur de préfixe |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------|
| 255.0.0.0 | 11111111.00000000.00000000.00000000 | /8 |
| 255.255.0.0 | 11111111.11111111.00000000.00000000 | /16 |
| 255.255.255.0 | 11111111.11111111.11111111.00000000 | /24 |
| 255.255.255.128 | 11111111.11111111.11111111.10000000 | /25 |
| 255.255.255.192 | 11111111.11111111.11111111.11000000 | /26 |
| 255.255.255.224 | 11111111.11111111.11111111.11100000 | /27 |
| 255.255.255.240 | 11111111.11111111.11111111.11110000 | /28 |
| 255.255.255.248 | 11111111.11111111.11111111.11111000 | /29 |
| 255.255.255.252 | 11111111.11111111.11111111.11111100 | /30 |

Passerelle par défaut

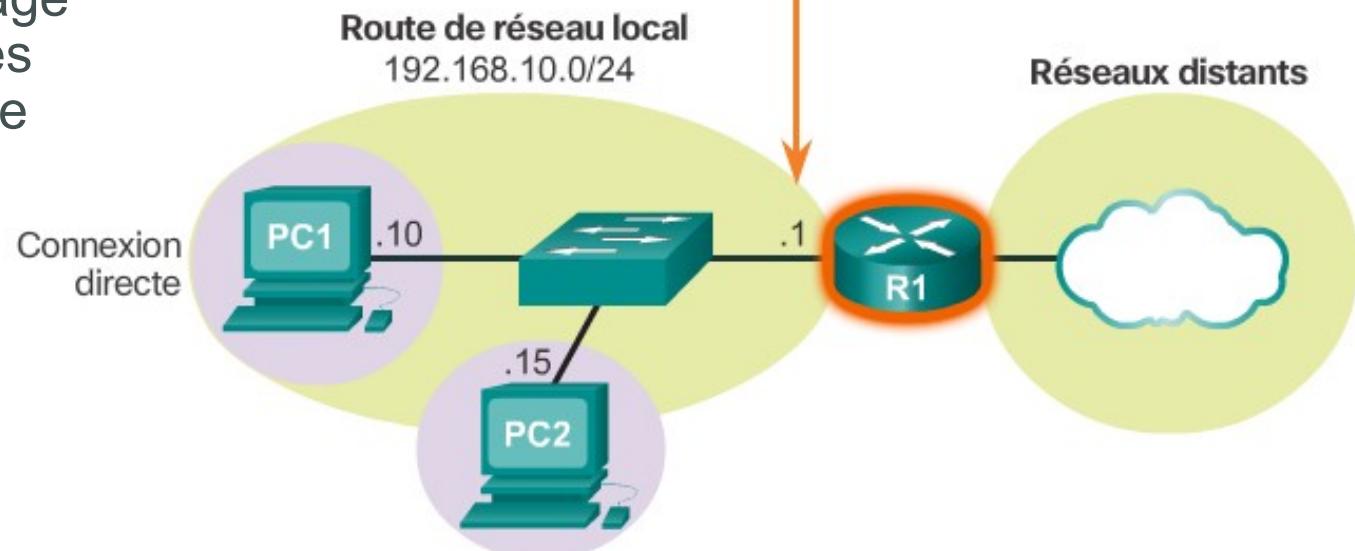
Adresse de la passerelle par défaut de l'hôte

Route le trafic vers d'autres réseaux

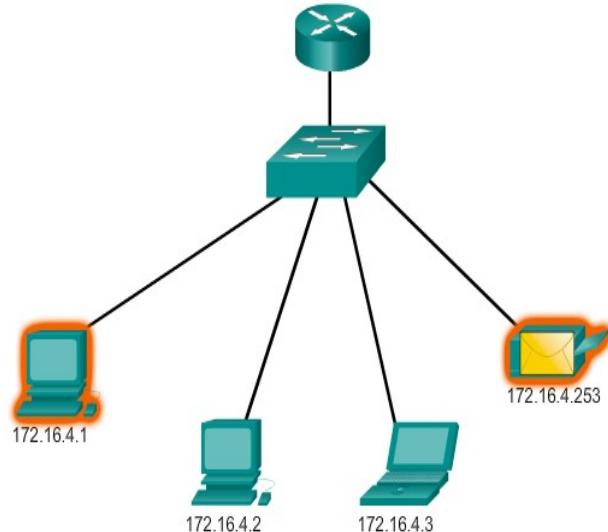
A une adresse IP locale dans la même plage d'adresses que les autres hôtes sur le réseau

Peut recevoir et transmettre des données

L'adresse IP de l'interface du routeur R1 est l'adresse de la passerelle par défaut pour le PC1 et le PC2.

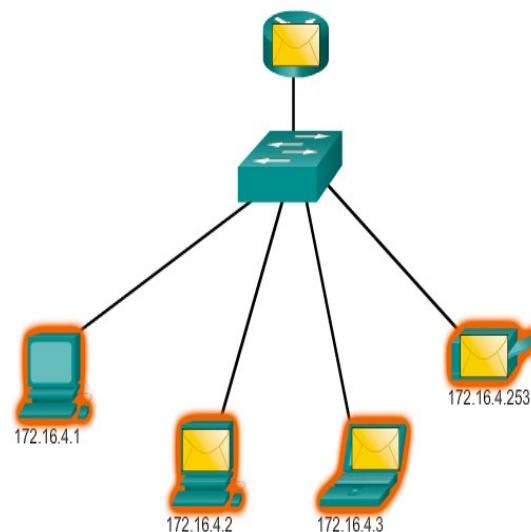


Adresses unicast, multicast & broadcast



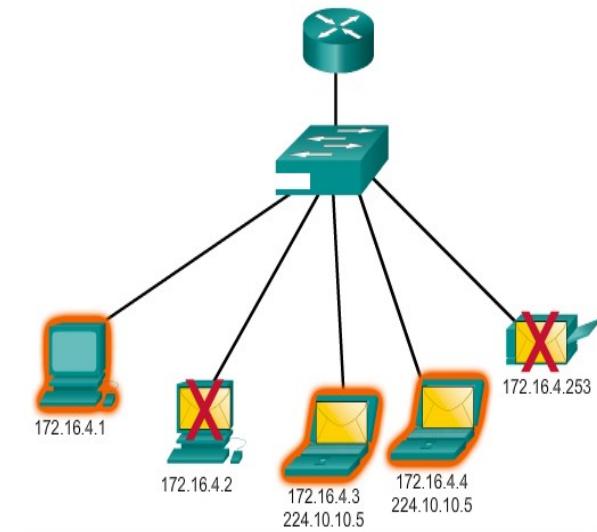
unicast

Communication
hôte ↔ hôte
@ d'un hôte



broadcast

Un hôte envoie un seul paquet à tous les hôtes du réseau



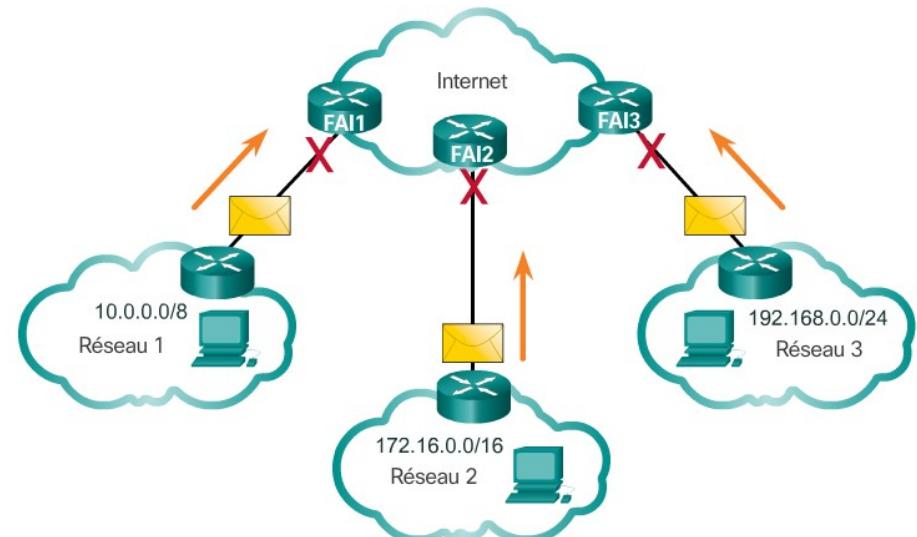
multicast

Un hôte envoie un seul paquet à un ensemble précis d'hôtes qui sont abonnés à un groupe multicast.
La plage d'@ 224.0.0.0 à 239.255.255.255 est réservée au multicast

Adresses privées, réservées & publiques

- Adresses privées :
- Plages :
 - **10.0.0.0/8** ou 10.0.0.0 à 10.255.255.255
 - **172.16.0.0 /12** ou 172.16.0.0 à 172.31.255.255
 - **192.168.0.0/16** ou 192.168.0.0 à 192.168.255.255

Les adresses privées ne sont pas routables sur Internet



Adresses réservées

- **Adresses de bouclage**

- 127.0.0.0 /8 ou 127.0.0.1 à 127.255.255.254
 - pour tester la pile IP
 - pour l'accès à un serveur local

Adresses link-local ou adresses APIPA (Automatic Private IP Addressing)

- 169.254.0.0 /16 ou
169.254.0.1 à 169.254.255.254

Adresses TEST-NET

192.0.2.0 /24 ou 192.0.2.0 à
192.0.2.255

Adresses publiques

- @ non privées et non réservées
- Attribuées par l'**IANA**(Internet Assigned Numbers Authority) via des registres régionaux **RIR**(Registre Internet Régional)



Adressage par classe

Ancien système d'adressage (classfull):

- 5 classes : A, B, C, D(multicast), E(réservée)
- Mauvaise gestion des adresses :
 - @ inutilisées
- Taille importante des tables de routage

| Classe | Bits d'ordre haut | Début | Fin |
|------------------------------|-------------------|-----------|-----------------|
| Classe A | 0xxxxxx | 0.0.0.0 | 127.255.255.255 |
| Classe B | 10xxxxx | 128.0.0.0 | 191.255.255.255 |
| Classe C | 110xxxx | 192.0.0.0 | 223.255.255.255 |
| Classe D (multidiffusion) | 1110xxx | 224.0.0.0 | 239.255.255.255 |
| Classe E (réservée) | 1111xxx | 240.0.0.0 | 255.255.255.255 |

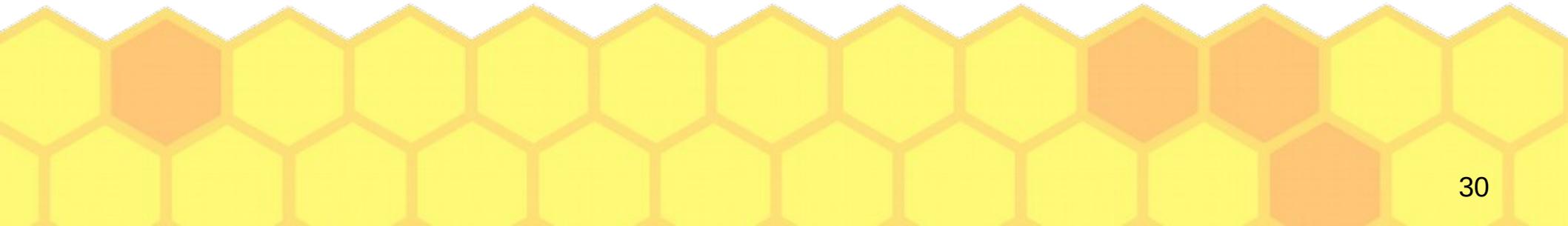
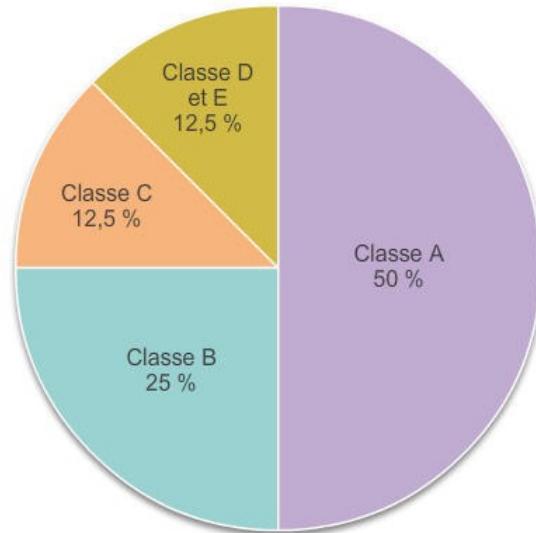
Adressage par classe

Attribution d'adresses IP par classe = inefficace

Classe A (1 - 126)
Nb de réseaux possibles : 126
Nb d'hôtes/réseau : 16 777 214
Nb d'hôtes max. : 2 113 928 964

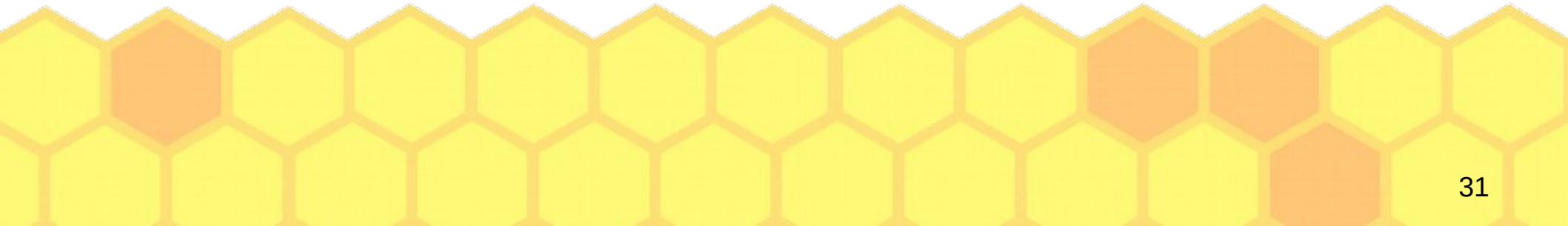
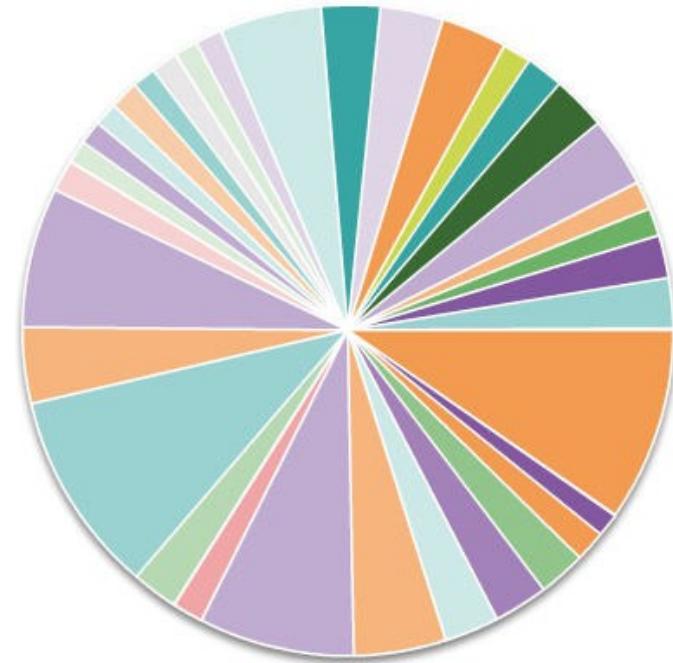
Classe B (128 – 191)
Nb de réseaux possibles : 16 384
Nb d'hôtes/réseau : 65 534
Nb d'hôtes max. : 1 073 709 056

Classe C (192 – 223)
Nb de réseaux possibles : 2 097 152
Nb d'hôtes/réseau : 254
Nb d'hôtes max. : 532 676 608



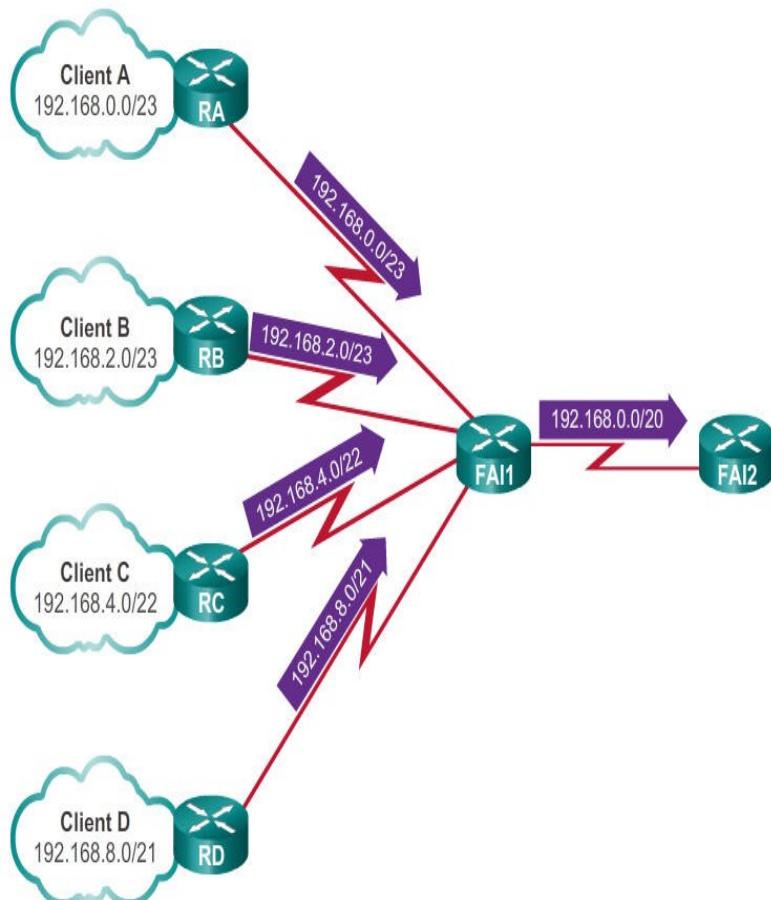
Adressage sans classe

- **CIDR** (Classless inter Domaine Routing)
 - Réseaux de toutes tailles (préfixe de longueur variable)
 - Moins de gaspillage d'adresses
 - Tailles des tables de routage réduites
 - Grâce à la récapitulation de routes

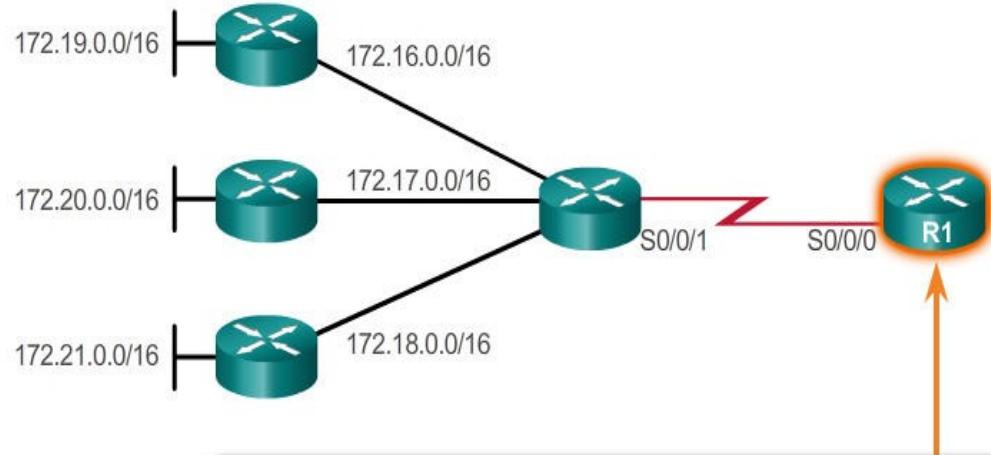


Adressage sans classe

Récapitulation des routes de super-réseau

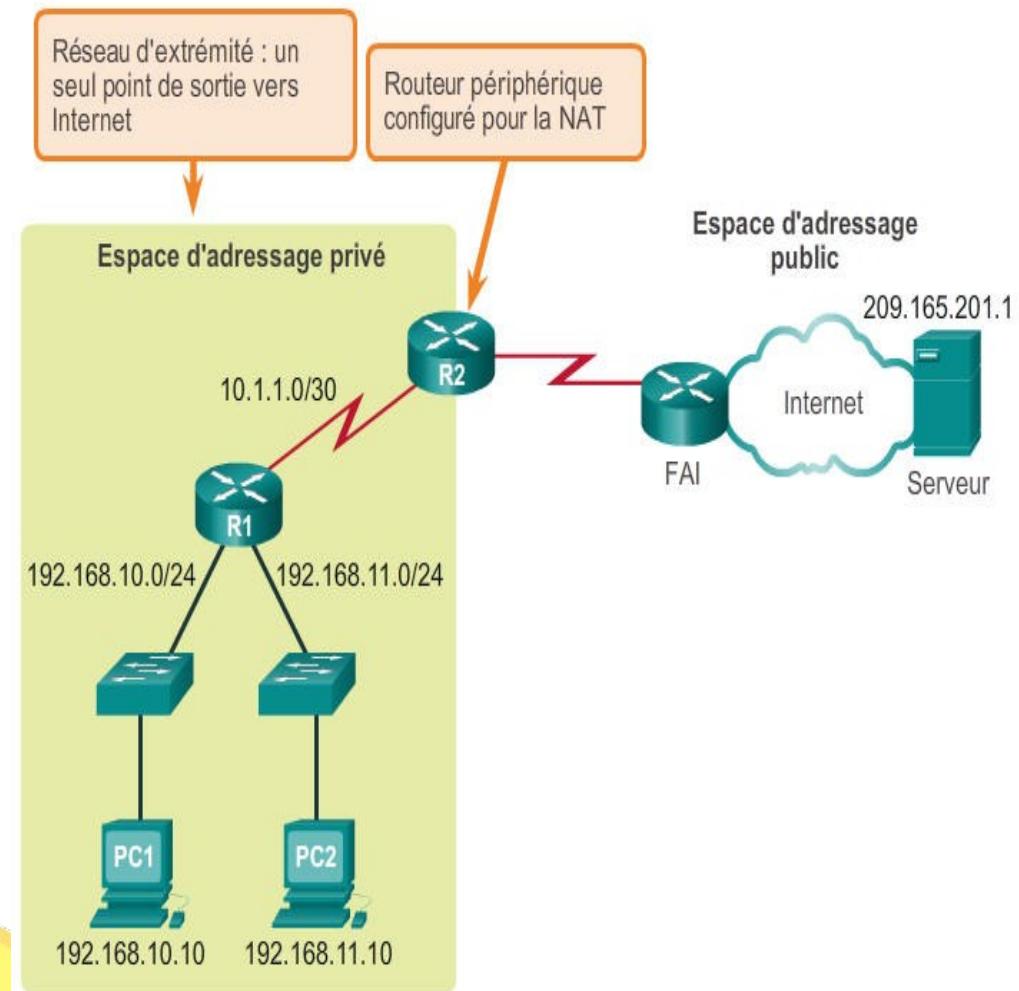


Une route statique récapitulative



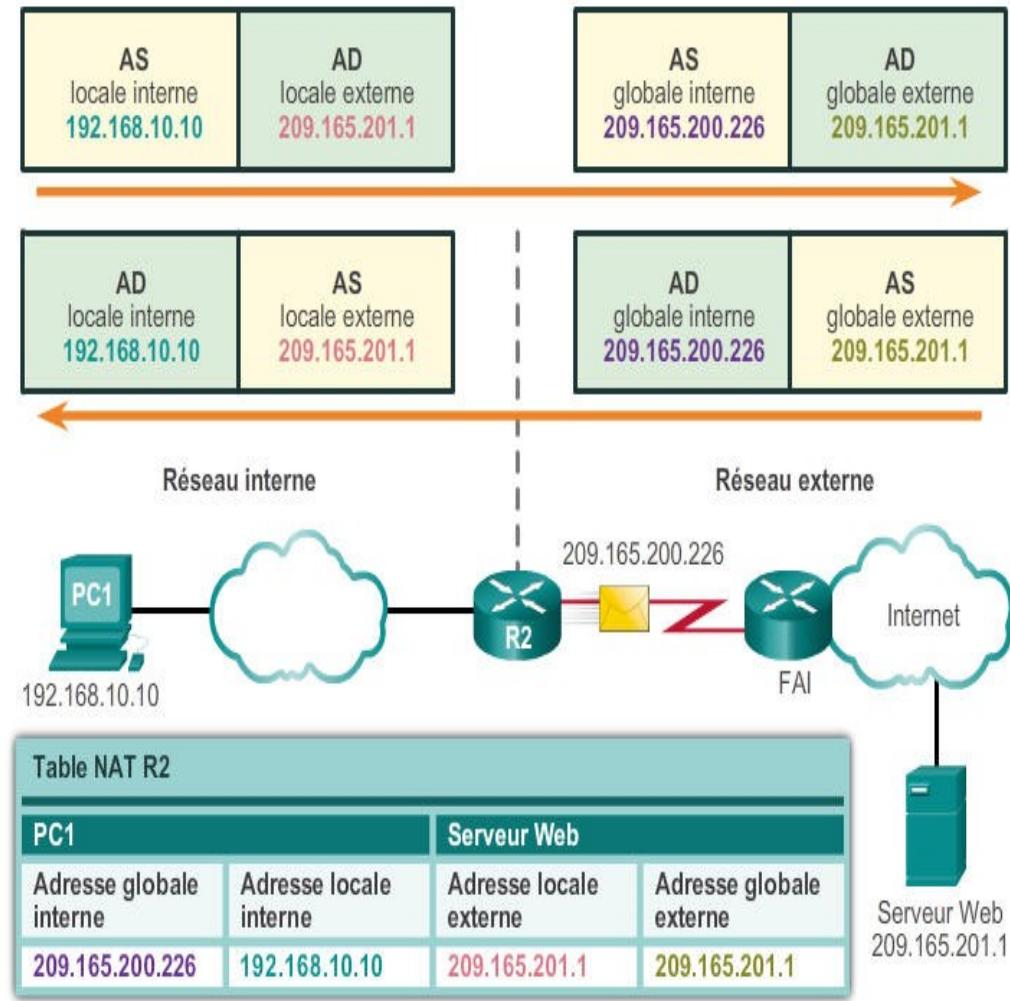
NAT (Network Address Translation)

- **Principe :**
 - Configurer les réseaux avec des adresses privées
 - traduire les adresses privées en adresses publiques et inversement en cas de communication avec l'extérieur
- **Utilité première:** économiser les adresses IPv4



NAT (Network Address Translation)

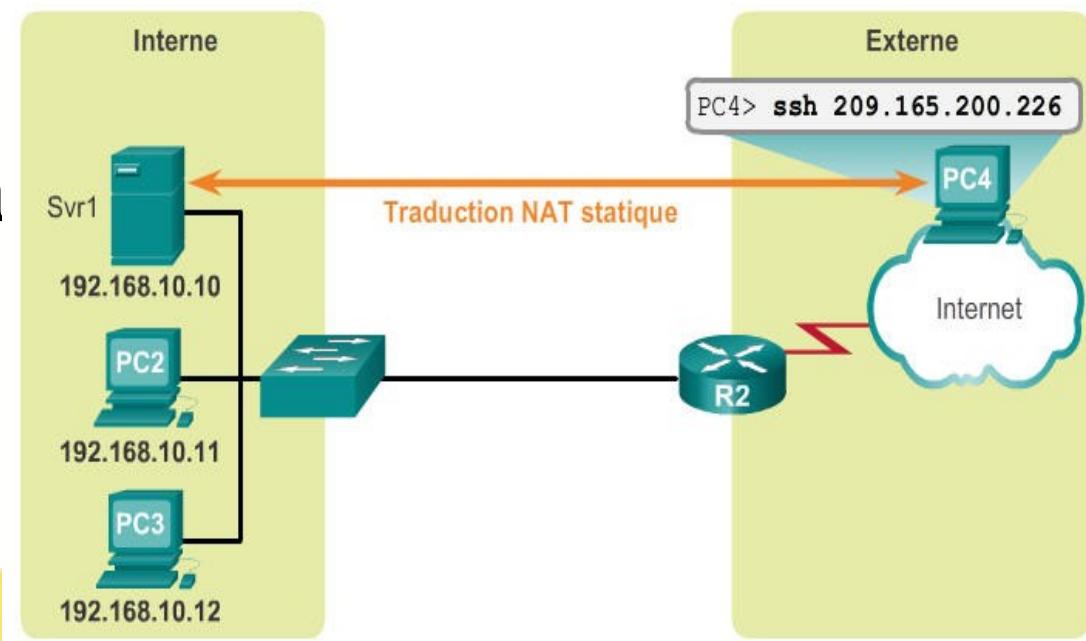
- On distingue
 - Le **réseau interne** (configuré avec des adresses privées)
 - Les **réseaux externes**
- On distingue pour cela 4 types d'adresses :
 - Locale interne
 - Globale interne
 - Locale externe
 - Globale externe
- On note 3 types de NAT :
 - **NAT statique**
 - **NAT dynamique**
 - **PAT**



NAT statique

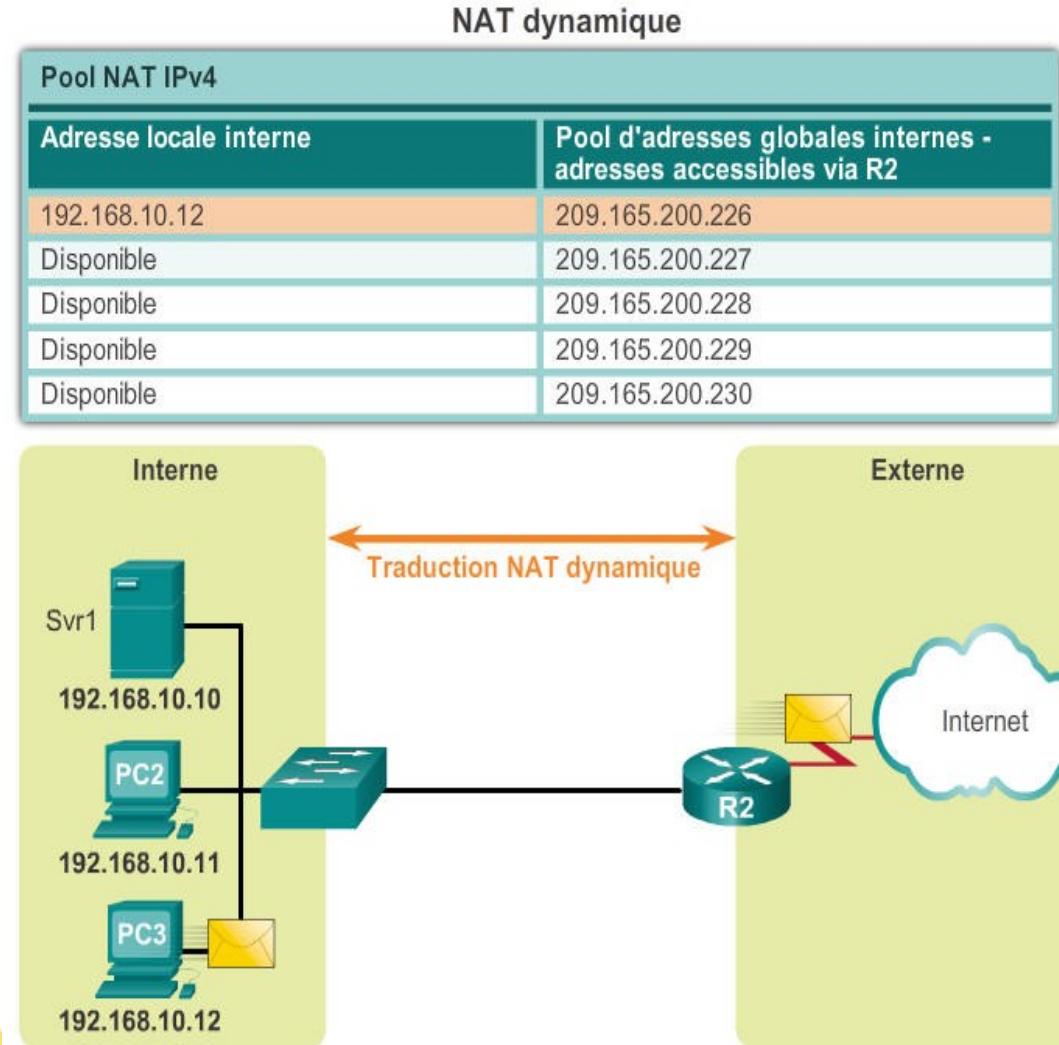
- Mappage **un à un** entre les adresses locales et globales
- Mappage fixe
- Utile lorsqu'un équipement du réseau interne doit être accessible depuis le réseau externe

| NAT statique | |
|------------------------|---|
| Table NAT statique | |
| Adresse locale interne | Adresse globale interne - adresses accessibles via R2 |
| 192.168.10.10 | 209.165.200.226 |
| 192.168.10.11 | 209.165.200.227 |
| 192.168.10.12 | 209.165.200.228 |



NAT dynamique

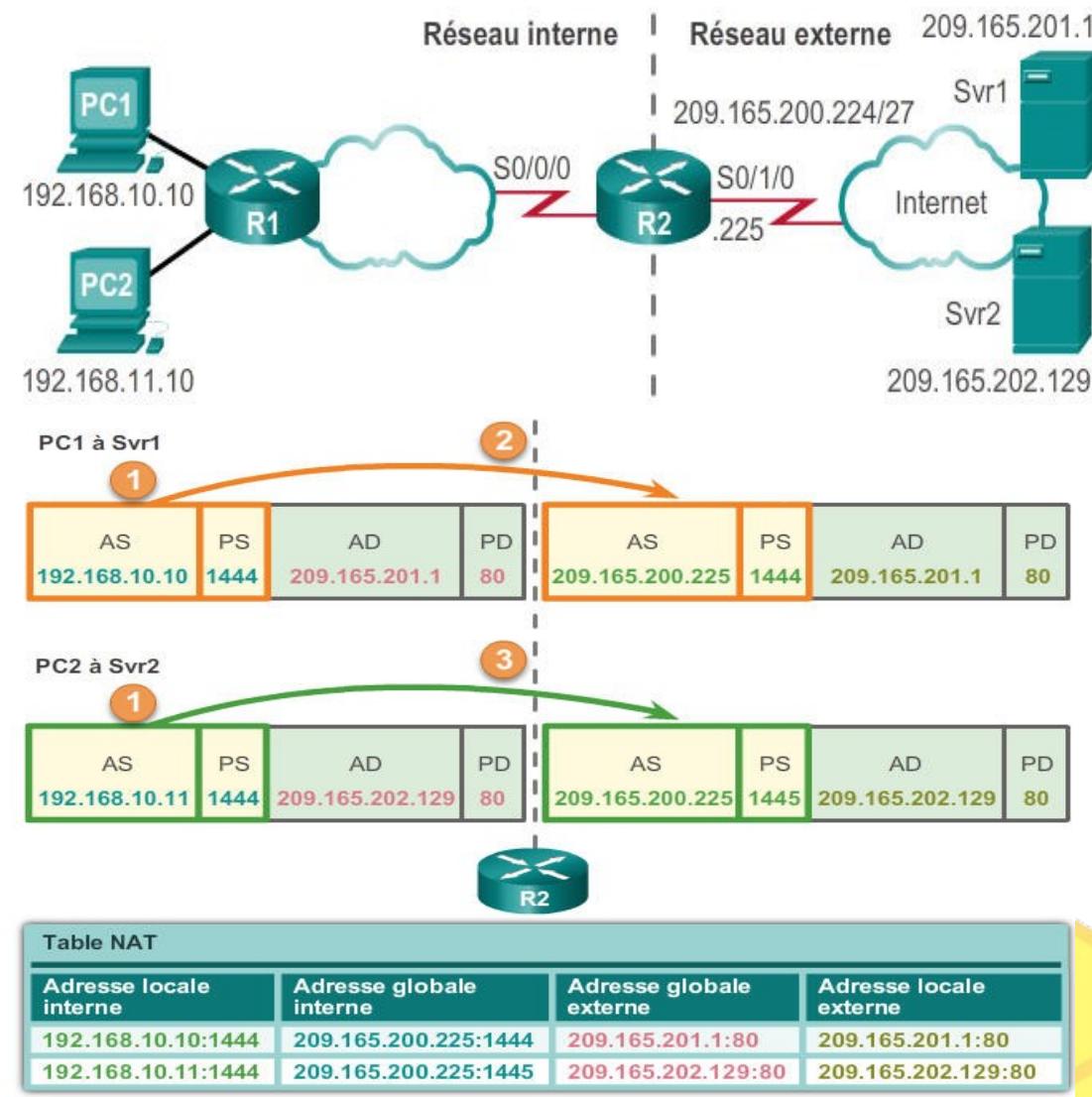
- Utilisation d'un pool d'adresses publiques
- Attribution d'une adresse publique disponible lors d'une communication avec l'extérieur



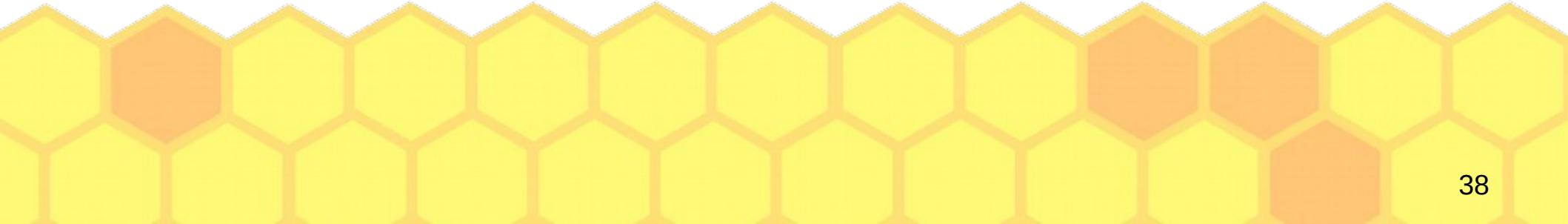
PAT Port Address Translation

- Mappage des adresses IPv4 privées à une ou quelques adresses IPv4 publiques
- Utilise des paires port source/adresse IP source pour garder les traces des trafics
- Aussi appelé **surcharge NAT**

Exemple de PAT avec un pool d'adresses



Routage



Routage

- Le routage est un processus qui permet à un équipement de diriger des paquets vers leur(s) destination(s)
- Il est effectué par
 - l'hôte
 - le routeur

Routeur par un hôte

Trois types de destinations

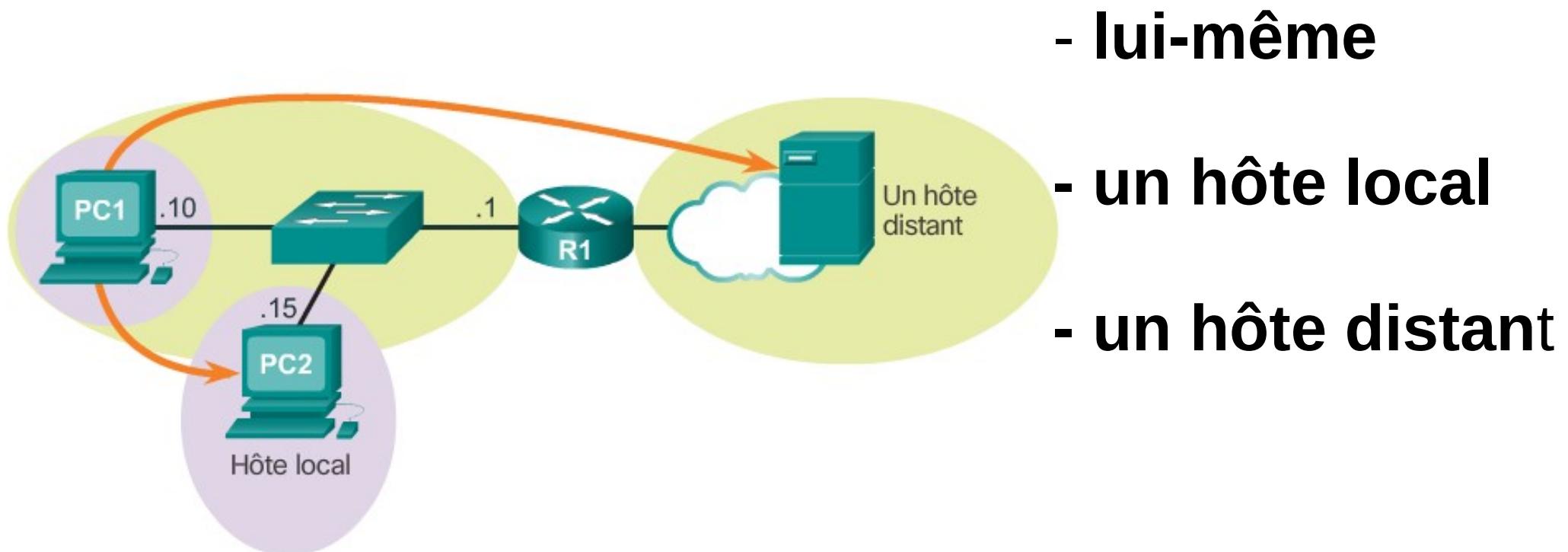
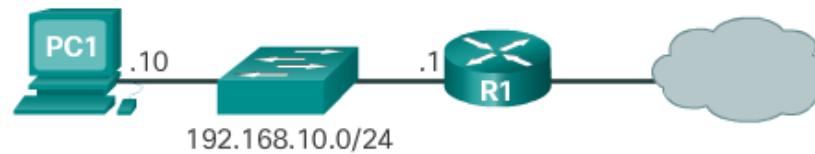


Table de routage de l'hôte

Table de routage IPv4 pour PC1



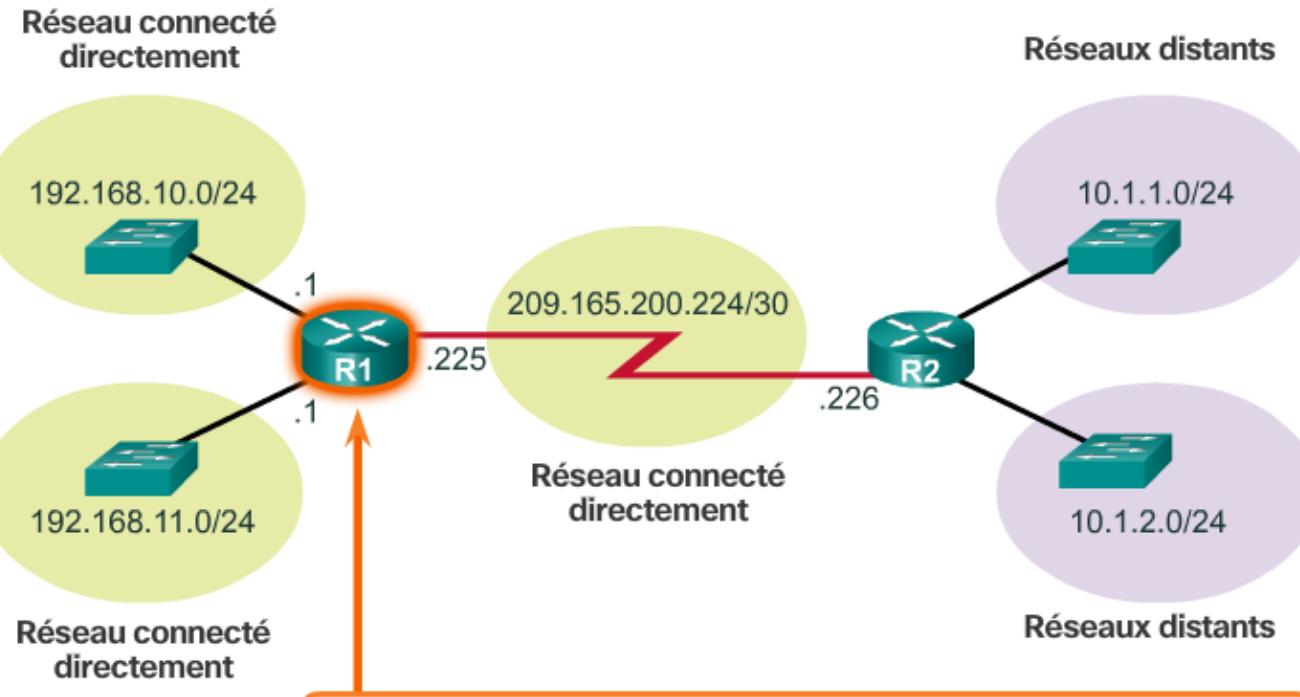
```
C:\Users\PC1>netstat -r

<résultat omis>

IPv4 Route Table
=====
Active Routes:
Network Destination      Netmask        Gateway        Interface Metric
          0.0.0.0      0.0.0.0    192.168.10.1  192.168.10.10    25
        127.0.0.0    255.0.0.0    On-link         127.0.0.1    306
        127.0.0.1  255.255.255.255  On-link         127.0.0.1    306
  127.255.255.255  255.255.255.255  On-link         127.0.0.1    306
        192.168.10.0   255.255.255.0  On-link      192.168.10.10    281
  192.168.10.10    255.255.255.255  On-link      192.168.10.10    281
        192.168.10.255  255.255.255.255  On-link      192.168.10.10    281
          224.0.0.0    240.0.0.0    On-link         127.0.0.1    306
          224.0.0.0    240.0.0.0    On-link      192.168.10.10    281
  255.255.255.255  255.255.255.255  On-link         127.0.0.1    306
  255.255.255.255  255.255.255.255  On-link      192.168.10.10    281
<résultat omis>
```

Routage par un routeur

Routes de réseaux connectés directement et distants



R1 a trois réseaux connectés directement : 192.168.10.0/24, 192.168.11.0/24 et 209.165.200.224/30. R1 a également deux réseaux distants dont il peut être informé par R2 : 10.1.1.0/24 et 10.1.2.0/24.

2 types de destinations

- destination directe
- destination distante

Routeur

- Un routeur est un ordinateur spécialisé qui contient
- Un processeur
- Un système d'exploitation
- Des mémoires

| Mémoire | Volatile/Non volatile | Données stockées |
|--------------------|-----------------------|--|
| Mémoire vive (RAM) | Volatile | <ul style="list-style-type: none">• Exécution de l'autotest à la mise sous tension (IOS)• Fichier de configuration en cours• Tables ARP et de routage IP• Mémoire tampon de paquets |
| ROM | Non volatile | <ul style="list-style-type: none">• Instructions de démarrage• Logiciel de diagnostic de base• IOS limitée |
| NVRAM | Non volatile | <ul style="list-style-type: none">• Fichier de configuration initiale |
| Flash | Non volatile | <ul style="list-style-type: none">• IOS• Autres fichiers système |

Structure d'un routeur

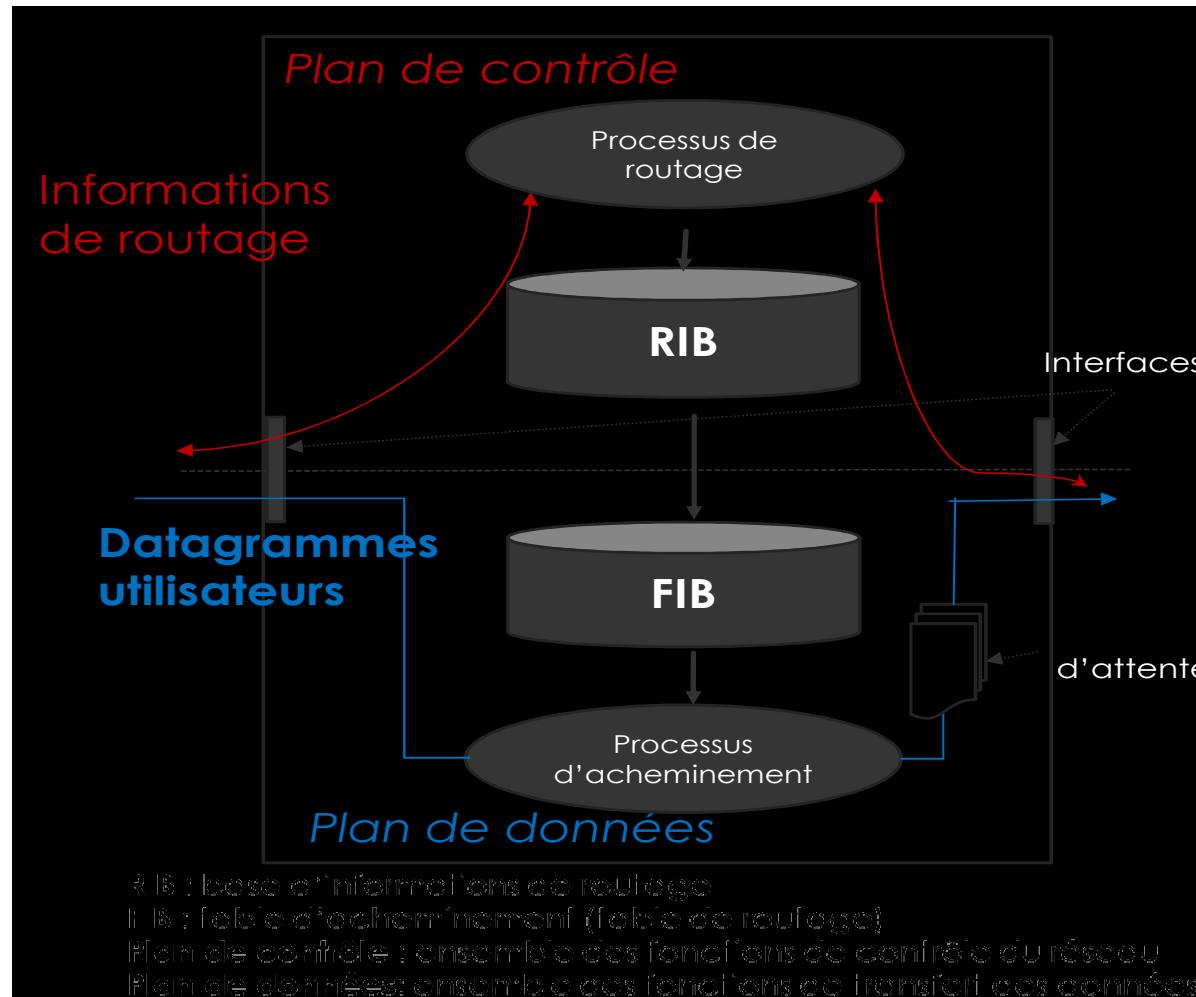


Table de routage d'un routeur

Table de routage IPv4 de R1



```
R1#show ip route
<rезультат omis>
Gateway of last resort is not set
    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
D        10.1.1.0/24 [90/2170112] via 209.165.200.226, 00:00:05,
          Serial0/0/0
D        10.1.2.0/24 [90/2170112] via 209.165.200.226, 00:00:05,
          Serial0/0/0
    192.168.10.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C          192.168.10.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L          192.168.10.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
    192.168.11.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C          192.168.11.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L          192.168.11.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
    209.165.200.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 3 masks
C          209.165.200.224/30 is directly connected, serial0/0/0
L          209.165.200.225/32 is directly connected, serial0/0/0
```

Routage statique

- Table de routage établie manuellement
 - Configuration & maintenance fastidieuses
- Adapté aux réseaux de petite taille ou à topologie statique
- Pour accéder à un réseau spécifique
- Pour configurer une route par défaut (vers toute destination ne figurant pas dans les autres entrées)
 - dest 0.0.0.0/0
- Meilleure sécurité et gain de bande passante car les routes ne sont pas annoncées

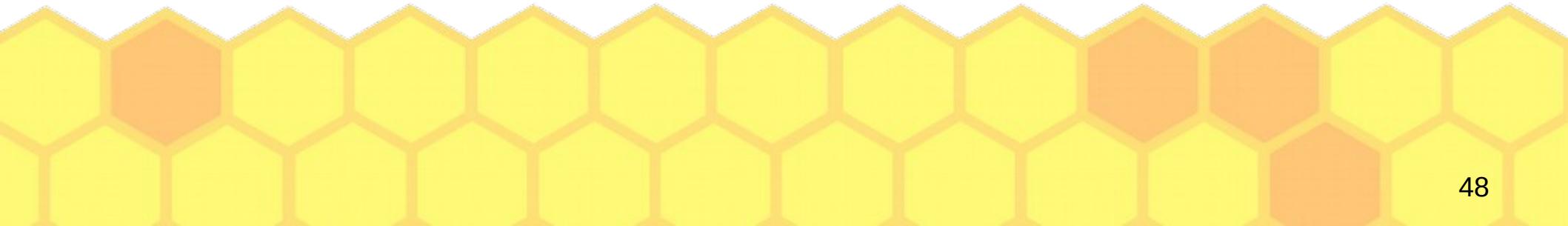
Configuration d'une route statique

```
Router(config)# ip route network-address subnet-mask  
{ip-address | exit-intf}
```

| Paramètre | Description |
|-----------------|--|
| network-address | Adresse de destination du réseau distant, à ajouter à la table de routage. |
| subnet-mask | <ul style="list-style-type: none">Masque de sous-réseau du réseau distant, à ajouter à la table de routage.Le masque de sous-réseau peut être modifié pour récapituler un groupe de réseaux. |
| ip-address | <ul style="list-style-type: none">Généralement appelé adresse IP du routeur de tronçon suivant.Généralement utilisé lors de la connexion à un support de diffusion (par exemple Ethernet).Crée généralement une recherche récursive. |
| exit-intf | <ul style="list-style-type: none">Utilisez l'interface de sortie pour transférer les paquets vers le réseau de destination.On parle également d'une route statique reliée directement.Ces routes sont généralement utilisées pour la connexion dans une configuration point à point. |

Routage dynamique

- Assuré par des **protocole de routage**
- Adapté aux grands réseaux ou à topologie variable
- Routage statique et dynamique peuvent être configurées ensemble sur un même routeur



Protocoles de routage(1)

- Ils permettent aux routeurs de s'échanger des informations sur le voisinage et la topologie afin de leur permettre de construire eux-mêmes leurs tables de routage
- Leurs principales fonctions sont :
 - La découverte des réseaux distants
 - La mise à jour des informations de voisinage et de topologie
 - Le choix de la meilleure route vers chaque destination
 - La mise à jour des meilleures routes

Protocole de routage(1)

Composants :

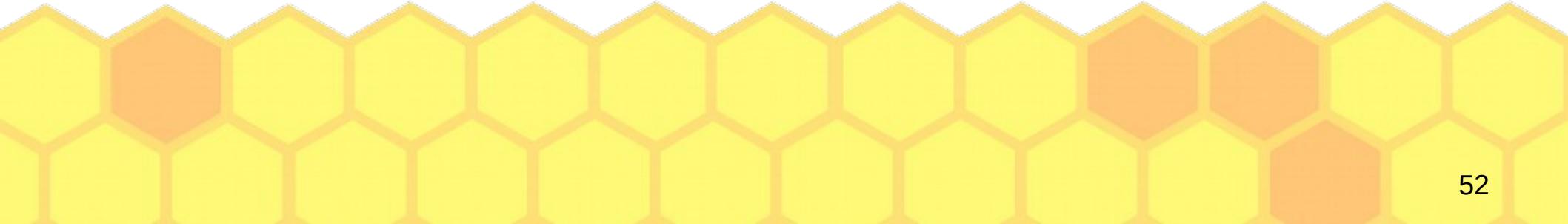
- Structure de données
 - Table de voisinage
 - Table topologique
- Messages échangés
 - Pour découvrir les routeurs voisins
 - Échanger des informations de routage
- Algorithme
 - Pour déterminer les meilleurs chemins

Protocole de routage (2)

3 types

| | Protocoles IGP | | | | Protocoles EGP |
|------|---------------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------------|
| | Vecteur de distance | | État de liens | | Vecteur de chemin |
| IPv4 | RIPv2 | EIGRP | OSPFv2 | IS-IS | BGP-4 |
| IPv6 | RIPng | EIGRP pour IPv6 | OSPFv3 | IS-IS pour IPv6 | BGP-MP |

Segmentation en sous-réseaux



Pourquoi segmenter ?

- Limiter le trafic de diffusion qui peut ralentir le réseau
- Séparer les hôtes
 - Par service (par exemple dans une entreprise)
 - Par type
 - ...
- Réduire le domaine de diffusion en plus petits domaines appelés sous-réseau

Comment segmenter ?

- Emprunter des bits à la partie hôte pour former des sous-réseaux
- Ainsi une adresse se compose de 3 parties :
 - réseau
 - sous-réseau
 - hôte

Segmentation fixe (1)

- Subdivision en tailles égales
 - Même masque de sous-réseau
- Exemple : créer 2 sous-réseaux de tailles égales
- **n** bits empruntés permet de créer au plus 2^n sous-réseaux

Emprutez 1 bit à la partie hôte de l'adresse.

The diagram illustrates the borrowing of a bit from the host part of the IP address. It shows two rows: 'Origine' (Original) and 'Masque' (Mask). The 'Origine' row has the IP address 192.168.1.0 with a binary representation of 000 0000. The 'Masque' row has the subnet mask 255.255.255.0 with a binary representation of 0 000 0000. An orange arrow points from the 'Masque' row to the fourth bit position (the borrowed bit), which is highlighted in red. A callout box indicates that this bit is borrowed from the host part of the address.

| | | | | | | |
|---------|------|------|------|---|-----|------|
| Origine | 192. | 168. | 1. | 0 | 000 | 0000 |
| Masque | 255. | 255. | 255. | 0 | 000 | 0000 |

1 réseau

La valeur du bit emprunté est 0 pour l'adresse Net 0.

The diagram shows the creation of 'Net 0'. The original IP address 192.168.1.0 is shown with its binary representation. The fourth bit, which was previously red (borrowed), is now green and labeled '0'. This represents the subnet 'Net 0'. A callout box indicates that the value of the borrowed bit is 0 for this subnet.

| | | | | | | |
|-------|------|------|----|---|-----|------|
| Net 0 | 192. | 168. | 1. | 0 | 000 | 0000 |
|-------|------|------|----|---|-----|------|

La valeur du bit emprunté est 1 pour l'adresse Net 1.

The diagram shows the creation of 'Net 1'. The original IP address 192.168.1.0 is shown with its binary representation. The fourth bit, which was previously red (borrowed), is now green and labeled '1'. This represents the subnet 'Net 1'. A callout box indicates that the value of the borrowed bit is 1 for this subnet. The total number of subnets is indicated as 2 sous-réseaux.

| | | | | | | |
|-------|------|------|----|---|-----|------|
| Net 1 | 192. | 168. | 1. | 1 | 000 | 0000 |
|-------|------|------|----|---|-----|------|

2 sous-réseaux

Les nouveaux sous-réseaux ont le **MÊME** masque de sous-réseau.

The diagram shows the subnet mask 255.255.255.1 with a binary representation of 1 000 0000. The fourth bit, which was previously red (borrowed), is now purple and labeled '1'. This represents the subnet mask for the newly created subnets. A callout box indicates that the new subnets share the same subnet mask.

| | | | | | | |
|--------|------|------|------|---|-----|------|
| Masque | 255. | 255. | 255. | 1 | 000 | 0000 |
|--------|------|------|------|---|-----|------|

Segmentation fixe (2)

Topologie de sous-réseaux /25

Adresse réseau

192. 168. 1. 0 000 0000 = 192.168.1.0

Première adresse d'hôte

192. 168. 1. 0 000 0001 = 192.168.1.1

Dernière adresse d'hôte

192. 168. 1. 0 111 1110 = 192.168.1.126

Adresse de diffusion

192. 168. 1. 0 111 1111 = 192.168.1.127

Adresse réseau

192. 168. 1. 1 000 0000 = 192.168.1.128

Première adresse d'hôte

192. 168. 1. 1 000 0001 = 192.168.1.129

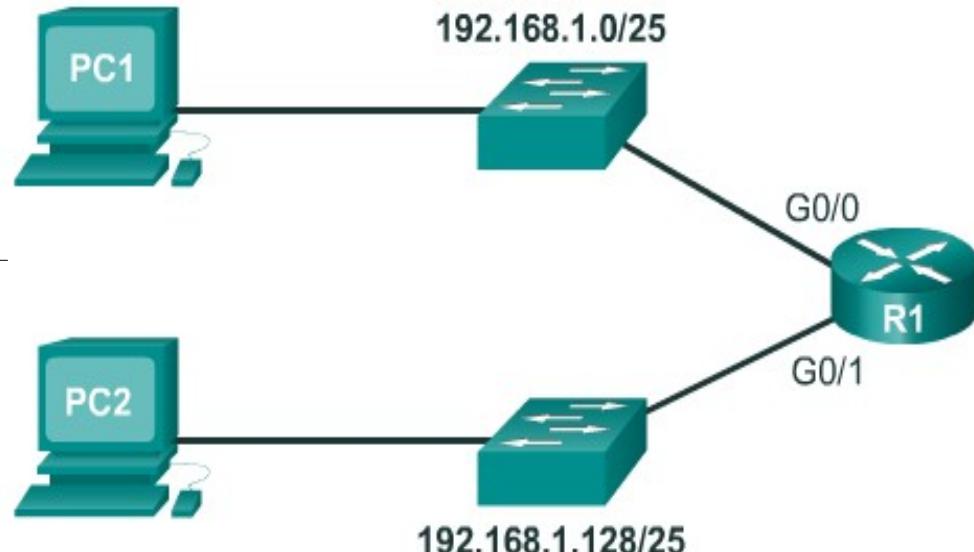
Dernière adresse d'hôte

192. 168. 1. 1 111 1110 = 192.168.1.254

Adresse de diffusion

192. 168. 1. 1 111 1111 = 192.168.1.255

Plages d'@ hôtes pour le sous-réseau 192.168.1.0



Plages d'@ hôtes pour le sous-réseau 192.168.1.128

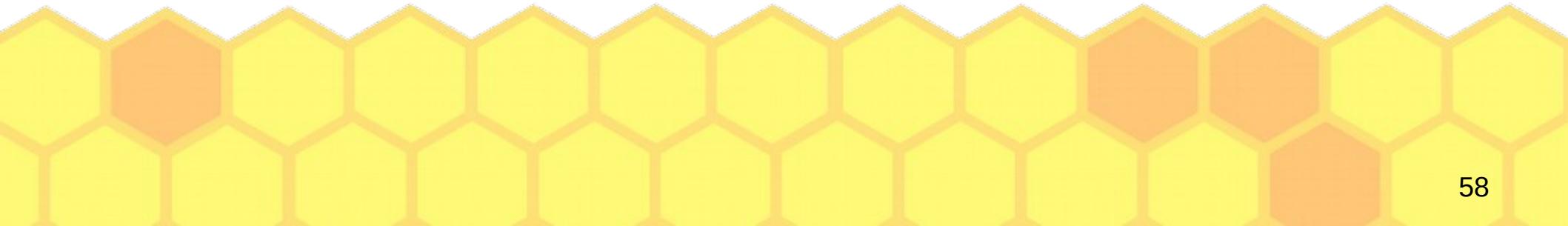
Segmentation fixe (3)

Nombre d'hôtes par sous-réseaux

- **2^r-2** (r étant le nombre de bits restants dans la partie hôte)
- Les 2 adresses ôtées sont:
 - l'@ du sous-réseau
 - l'@ de diffusion dans le sous-réseau

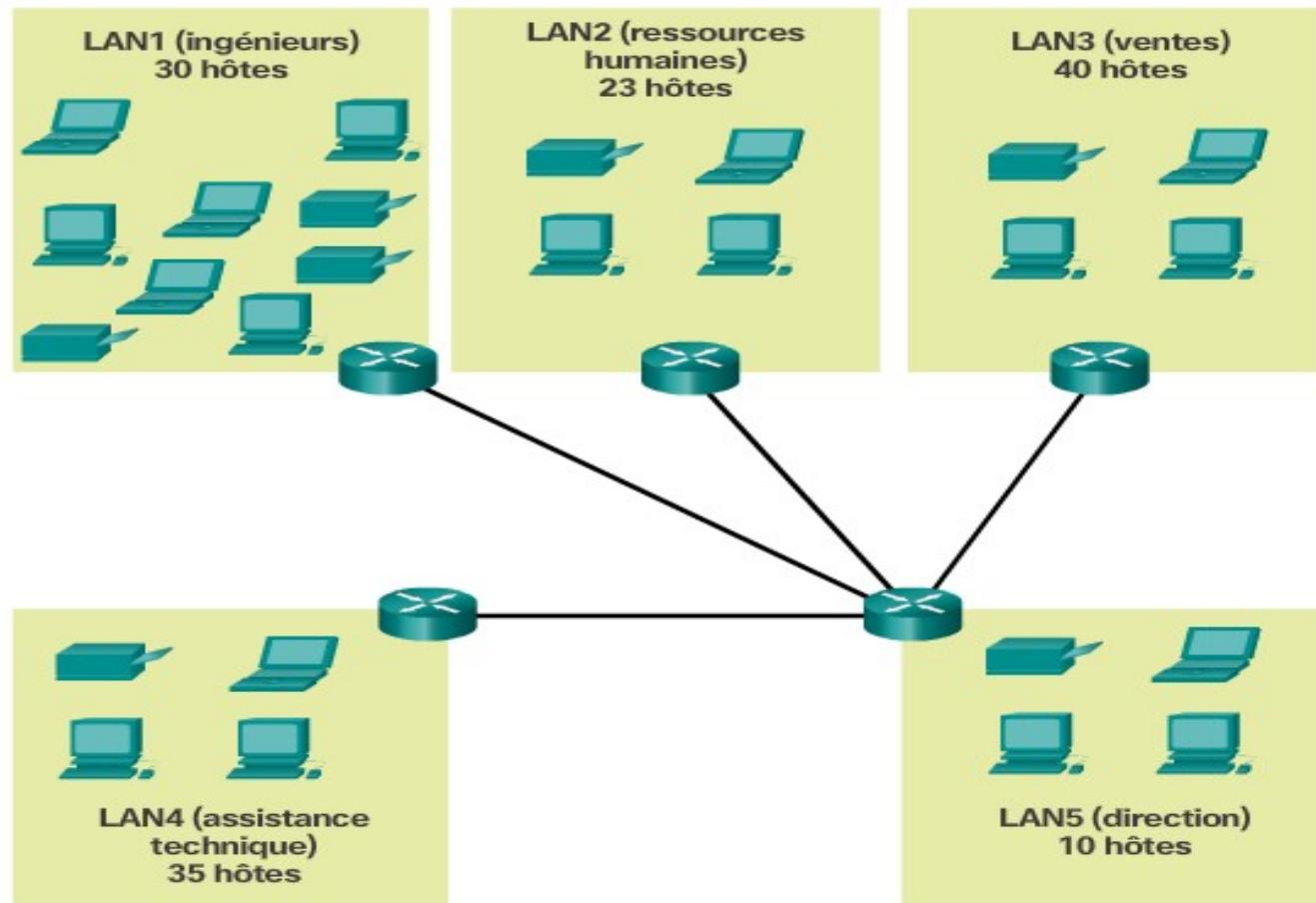
Segmentation variable

- En fonction du besoin d'hôtes :
- La segmentation fixe entraîne un gaspillage d'@
- On considère non seulement :
 - le nombre de sous-réseaux nécessaires
 - Mais aussi le nombre d'hôtes nécessaires par sous-réseaux
- Masques de sous-réseaux différents : **VLSM**



Exemple de besoins

Réseau d'entreprise



Principe

- On crée le plus grand sous-réseaux
 - Sous-réseaux de 40 hôtes :
 - laisser $r = 6$ bits pour la partie hôte (62 hôtes au max)
 - 2 bits pour définir la partie sous-réseau (4 sous-réseaux possibles)
- Puis on en subdivise pour créer les moins grands.
 - Sous-réseau de 30 hôtes :
 - Un des 4 sous-réseaux précédemment créé va être subdivisé pour avoir 30 hôtes : 5 bits vont rester pour la partie hôte (1 bit emprunté pour créer ce sous-sous-réseau)
 -

Conclusion

- La couche réseau assure l'interconnexion des réseaux
- Elle s'occupe de l'adressage des équipements ainsi que du routage des données échangées entre réseaux
- Toutefois l'acheminement de ces données entre les processus interlocuteurs est géré par les couches supérieures