

La couche réseau du modèle OSI

F. Nolot

La couche réseau du modèle OSI

Le protocole IP : Internet Protocol

Présentation

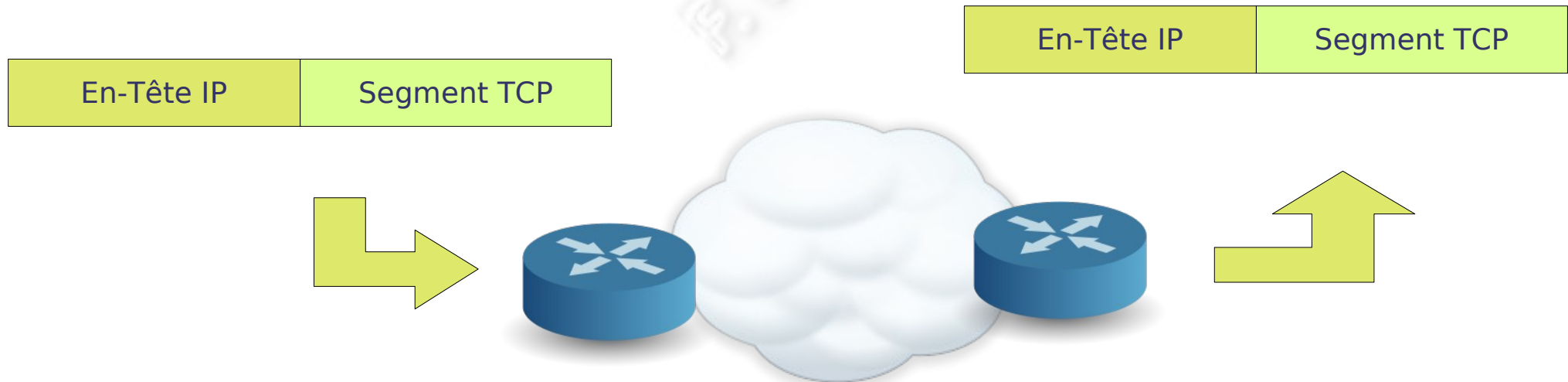
- ▶ C'est LE protocole d'Internet de la couche Réseaux
 - ▶ Autres protocoles de la couche Réseaux : IPv6, AppleTalk, IPX, CLNS
- ▶ Protocole :
 - ▶ Non fiable
 - ▶ Sans connexion
- ▶ Il apporte les fonctions suivantes :
 - ▶ Adressage de bout en bout
 - ▶ Encapsulation/Dés-encapsulation
 - ▶ Routage des paquets

Modèle OSI



Fonctionnement

- ▶ Chaque segment TCP est encapsulé dans un paquet IP
 - ▶ Acheminement sans connexion (pas de connexion préalable à l'envoi des paquets)
 - ▶ Best effort non fiable, pas de sur-cout dû aux acquittements
 - ▶ Indépendant du média



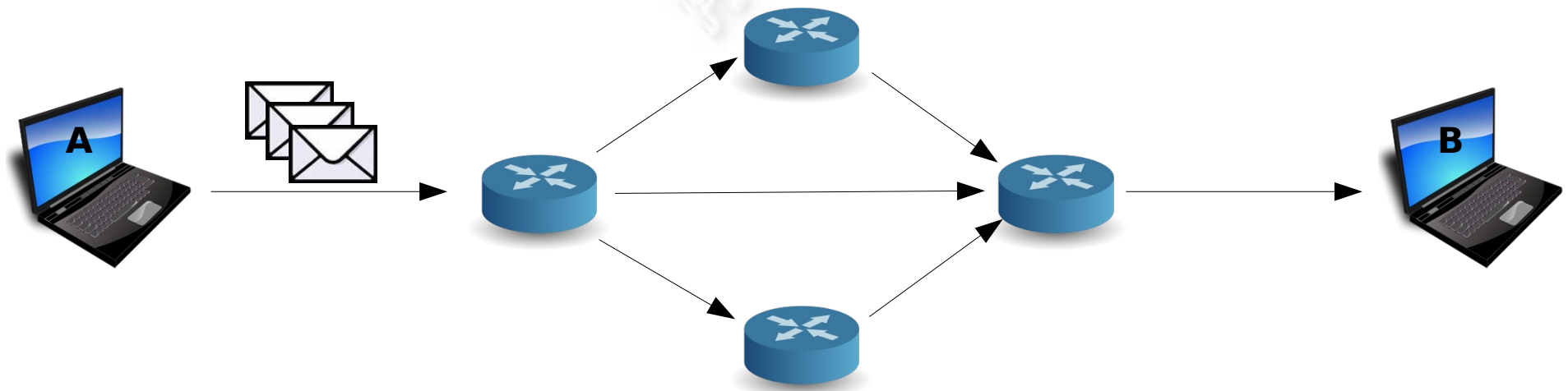
Similarité avec l'envoi postal

- ▶ Quand vous envoyez un courrier par la poste
 - ▶ Vous ne savez pas quand la lettre arrivera
 - ▶ Vous ne savez pas si le destinataire est présent
 - ▶ Vous ne savez pas si le destinataire pourra lire votre lettre
 - ▶ Vous ne savez pas quand la lettre est arrivée



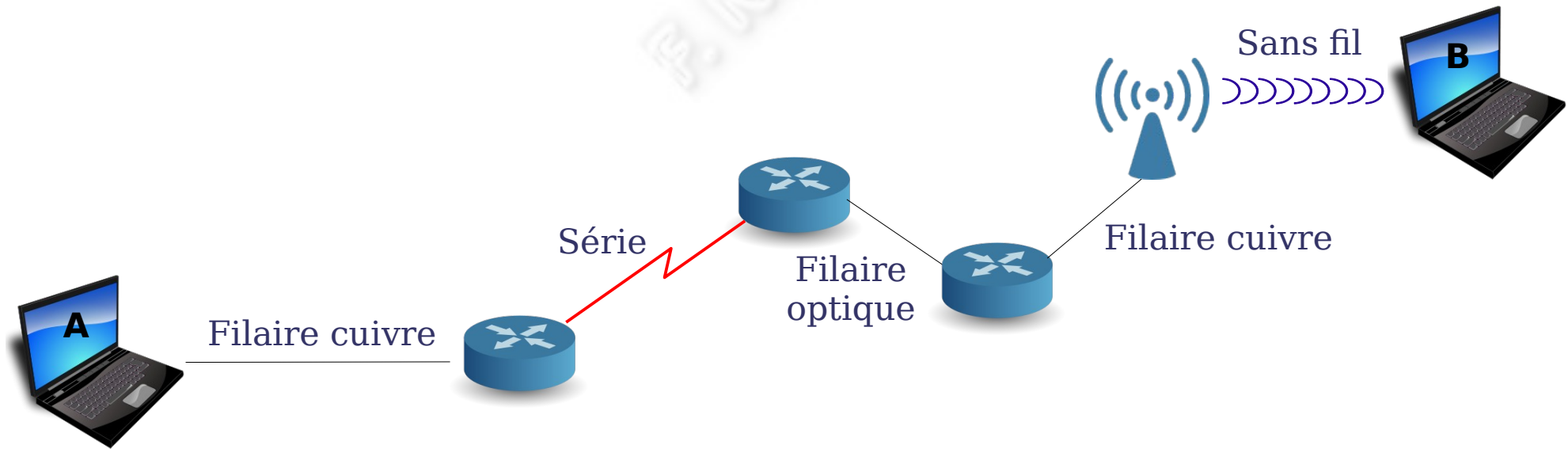
Best effort ?

- ▶ Les paquets vont être envoyés le plus rapidement possible
- ▶ Ils peuvent emprunter des chemins différents
- ▶ Certains paquets peuvent être perdus
- ▶ L'ordre de réception des paquets et celui d'expédition peuvent être différents



Indépendance par rapport au médium

- ▶ Pour supporter tous les types de média, les paquets peuvent être **fragmentés**
- ▶ La fragmentation se fait en fonction de la **MTU** (Maximum Transfert Unit) du médium utilisé
 - ▶ Les paquets de taille trop importante par rapport à la MTU du média seront « découpés » en plusieurs paquets de taille plus petits



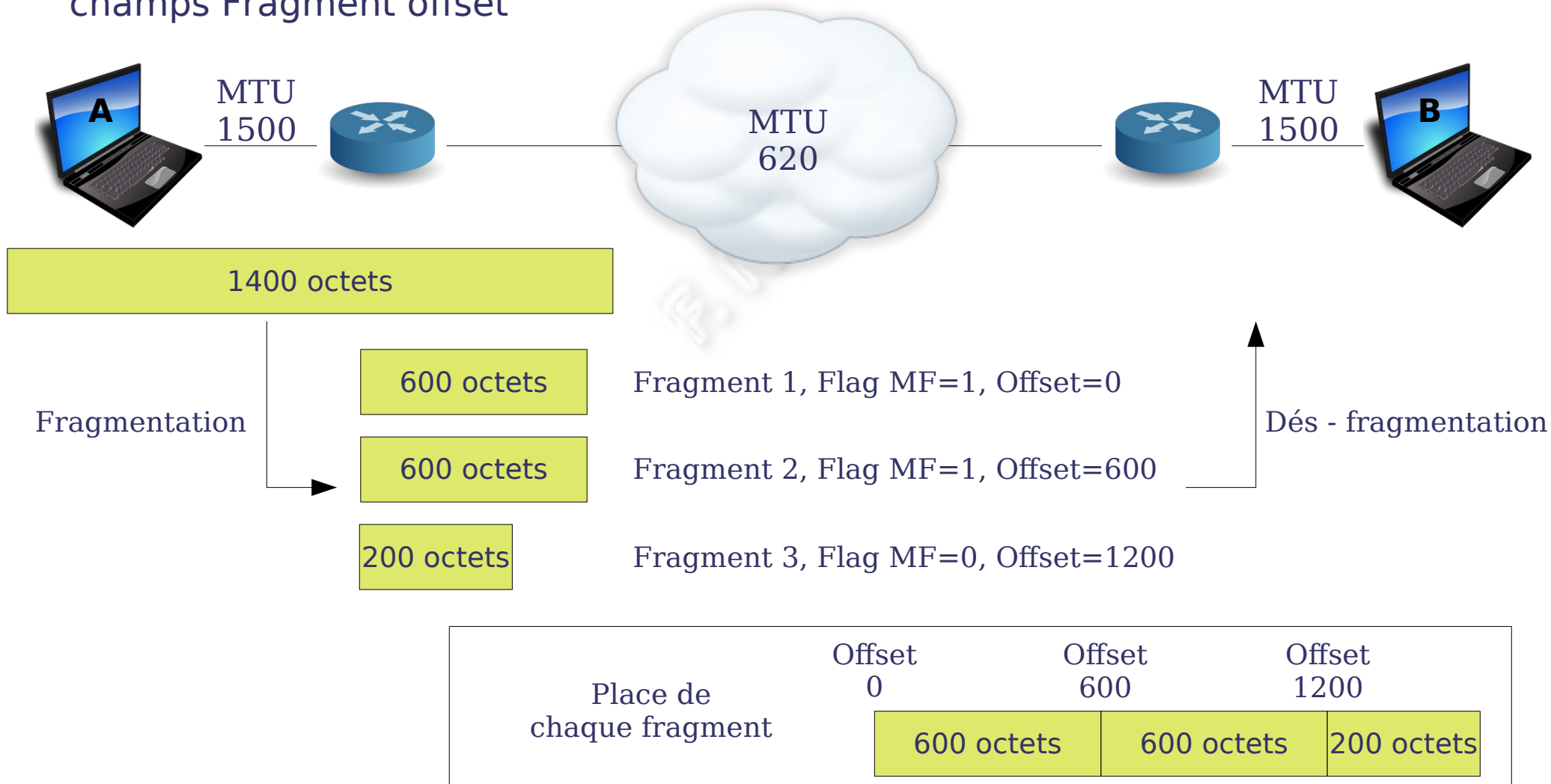
L'en-tête

- ▶ Version pour indiquer si c'est IPv4 ou IPv6
- ▶ Hlen indique la longueur de l'en-tête, en mot de 32 bits
- ▶ Type de service pour la qualité de service
- ▶ Longueur totale du paquet (en-tête + données)
- ▶ Protocole : indique le protocole encapsulé dans la paquet IP
 - ▶ ICMP : 1, TCP : 6, UDP : 17, IPv6 : 41 (valeur décimale)

Version (4 bits)	HLen (4 bits)	Type of Service (8 bits)	Longueur Totale (16 bits)	
Identification (16 bits)			Flags (3 bits)	Fragment Offset (13 bits)
Time To Live (8 bits)		Protocole (8 bits)	Checksum en-tête (16 bits)	
IP Source (32 bits)				
IP Destination (32 bits)				
Options (si présent)				Padding
Données de la couche applicative				

La fragmentation

- La fragmentation : utilisation du flag MF (More Fragment) de l'en-tête et du champs Fragment offset



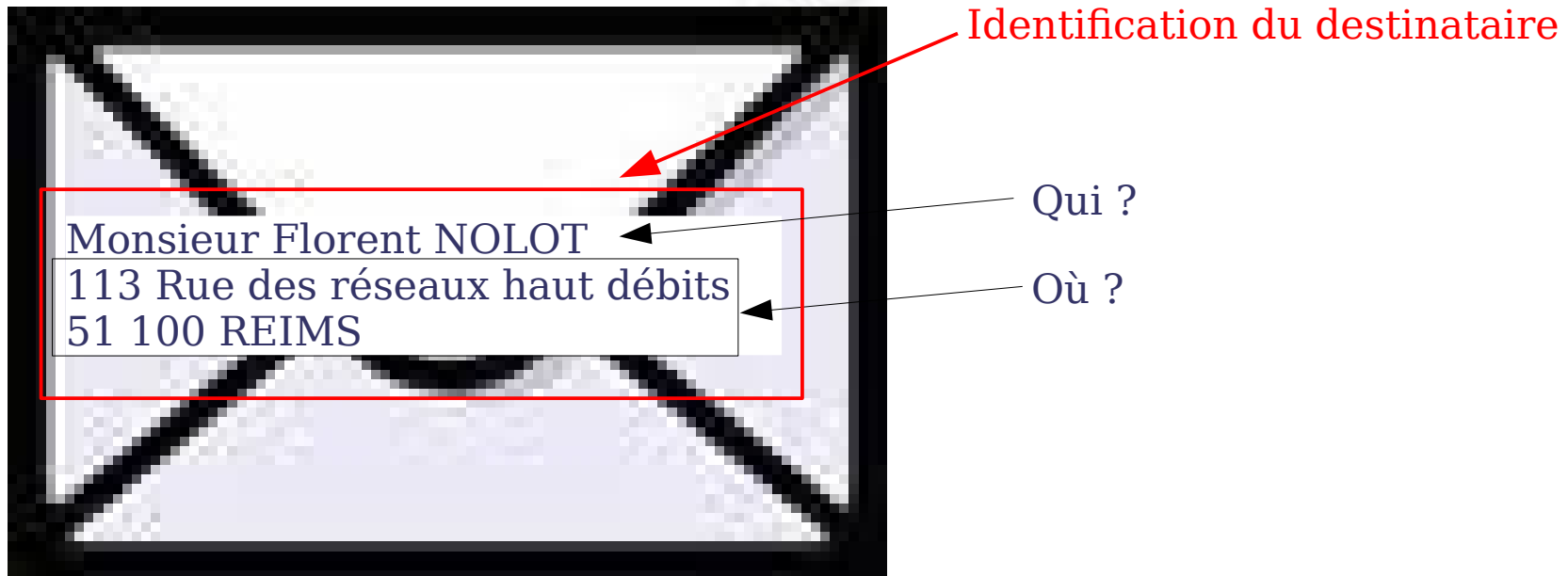
La couche réseau du modèle OSI

F. Nolot

L'adresse IP et les réseaux

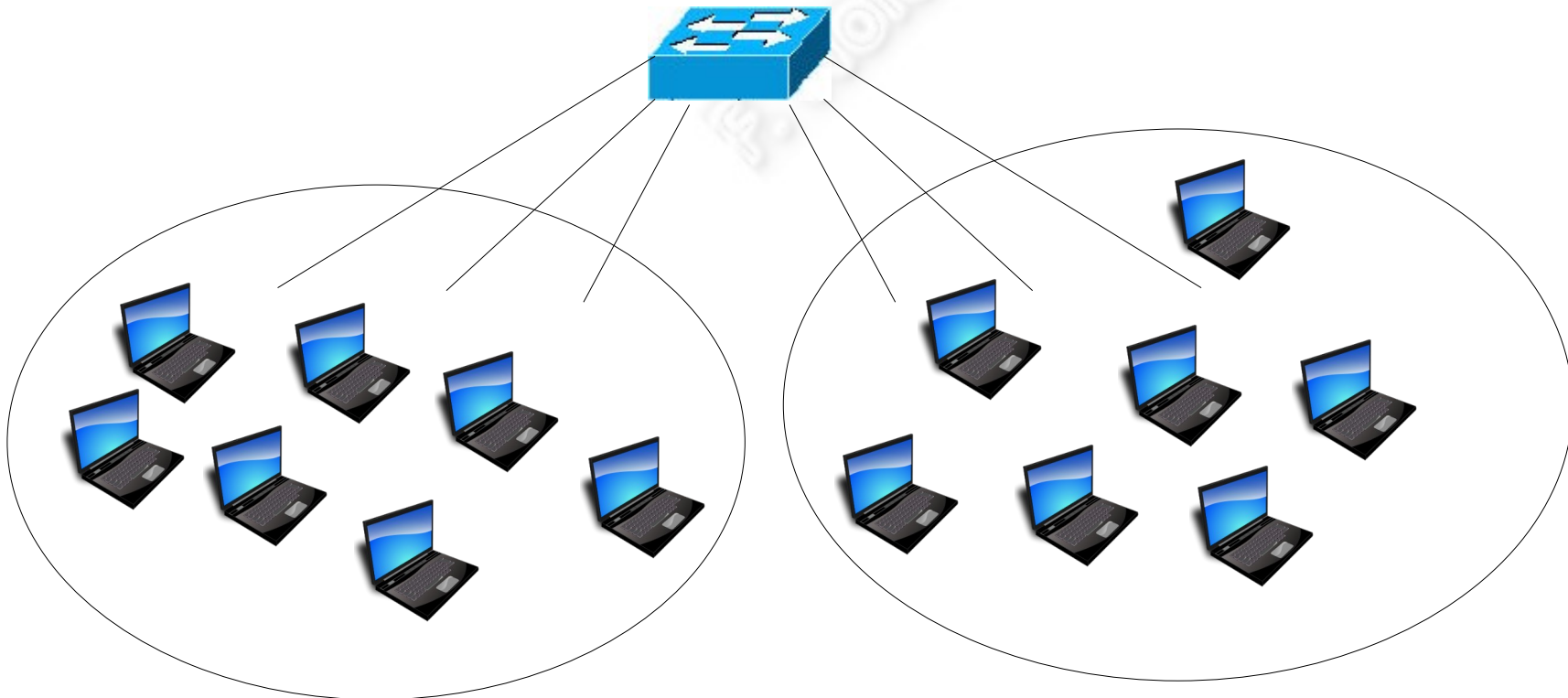
Regroupement de réseaux ? (1/2)

- ▶ Les équipements réseaux ont besoin d'une adresse pour échanger de l'information
- ▶ Les équipements sont regroupés et chaque groupe peut-être identifié
- ▶ Comme les échanges postaux, les habitants sont regroupées dans des villes et des rues



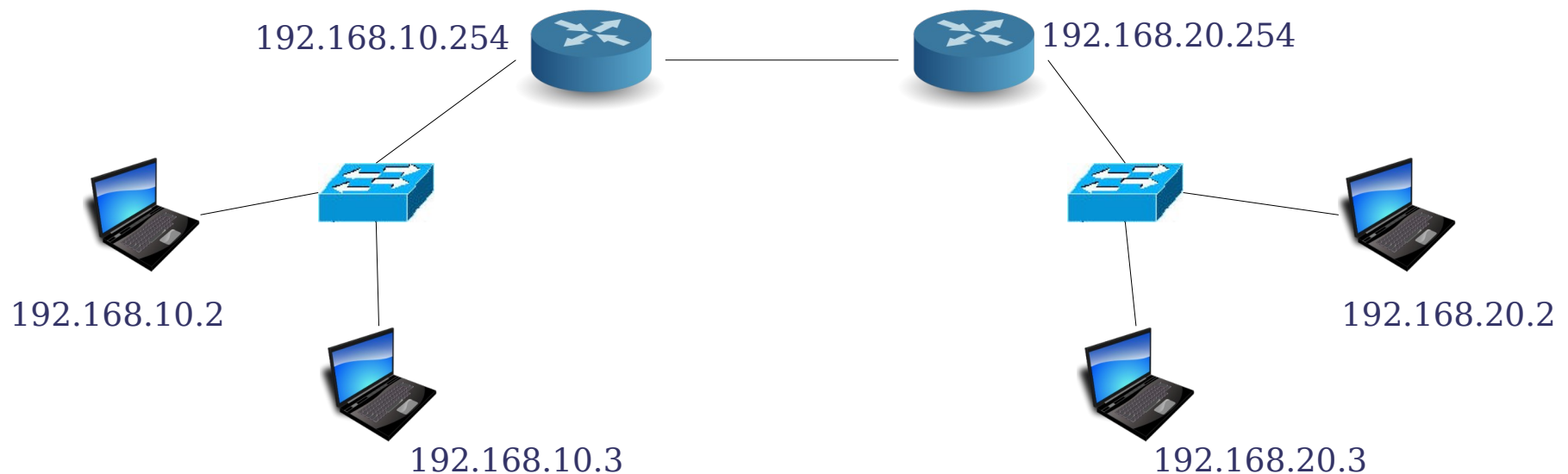
Regroupement de réseaux ? (2/2)

- ▶ Le regroupement permet
 - ▶ D'isoler les équipements en fonction des rôles des utilisateurs (comptabilité, marketing, vente, ...)
 - ▶ Augmentation des performances (limitation des trames de broadcast, ...)
 - ▶ Augmentation de la sécurité (possibilité de contrôler les échanges entre les groupes)



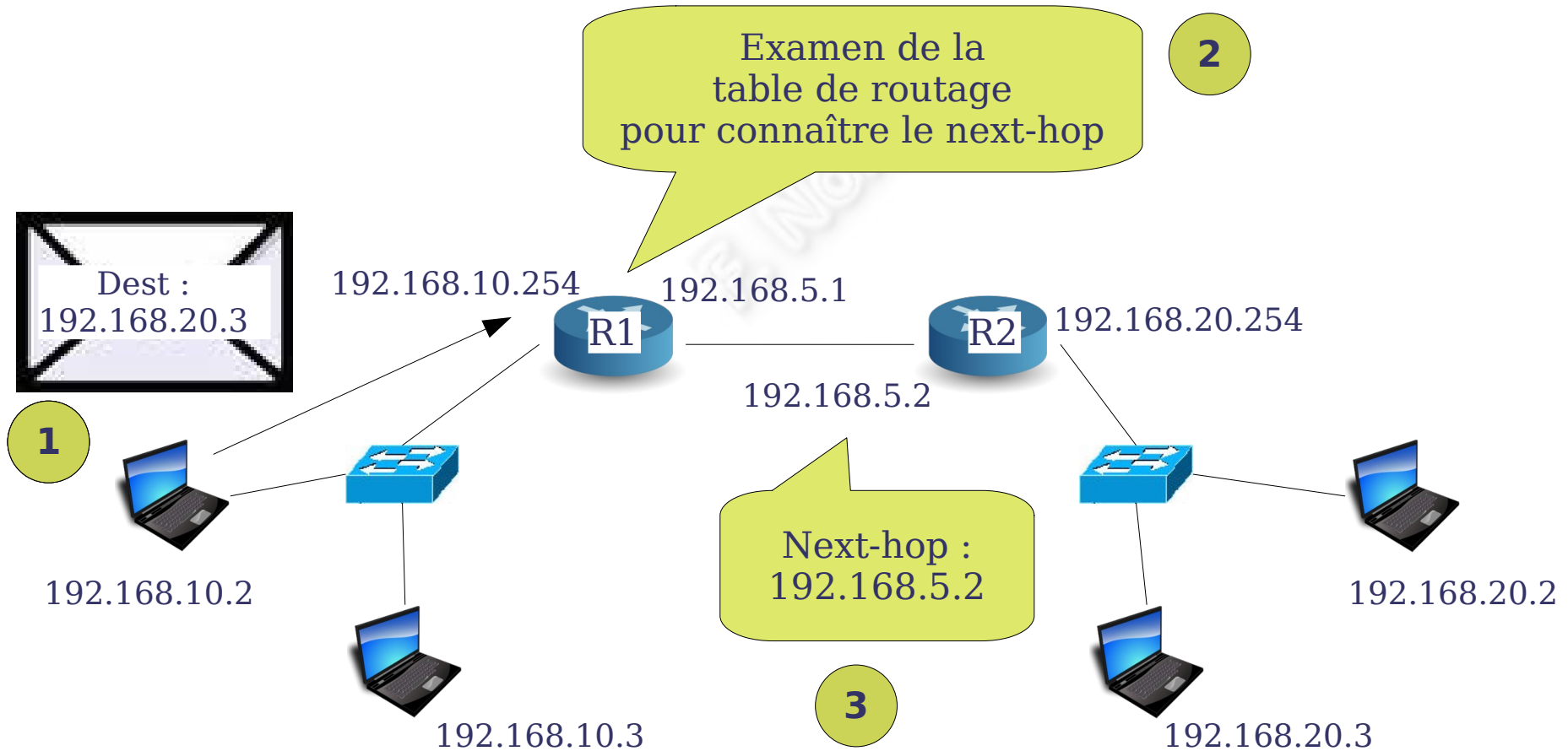
Le routage

- ▶ Chaque équipement possède une adresse IP qui appartient à un groupe (à un réseau)
 - ▶ Adresse IP : longueur de 32 bits, écrit en décimal pointée de la forme X.Y.Z.T
 - ▶ Exemple : 192.168.23.4, 10.2.3.4, 23.4.23.67, ...
- ▶ Quel chemin le paquet doit-il suivre pour atteindre sa destination ?
 - ▶ C'est le processus de routage qui le détermine
- ▶ Chaque équipement connaît donc sa passerelle : le routeur qui lui permet de joindre les autres réseaux



Fonctionnement du routage

- ▶ Next-hop : passerelle suivante pour atteindre la destination finale
 - ▶ Rappel : dans le paquet IP, nous avons l'adresse source ET l'adresse de destination



L'adresse IP

- ▶ L'adresse IP est codée sur 32 bits
- ▶ Écrit en notation décimale pointée, de la forme X.X.X.X
 - ▶ Exemple : 192.168.10.2, 34.45.65.2, ...
- ▶ Chaque « bloc » représente un octet (8 bits)

Écriture décimale	192 . 168 . 10 . 2
Écriture binaire	11000000.10101000.00001010.00000010

- ▶ Conversion en binaire ?
 - ▶ Chaque digit représente le nombre de 2^x que l'on a dans la valeur décimale

	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
Écriture binaire	1	0	1	0	0	0	0	1	$2^7 + 2^5 + 2^0 = 128 + 32 + 1 = 161$

Exemple de conversion

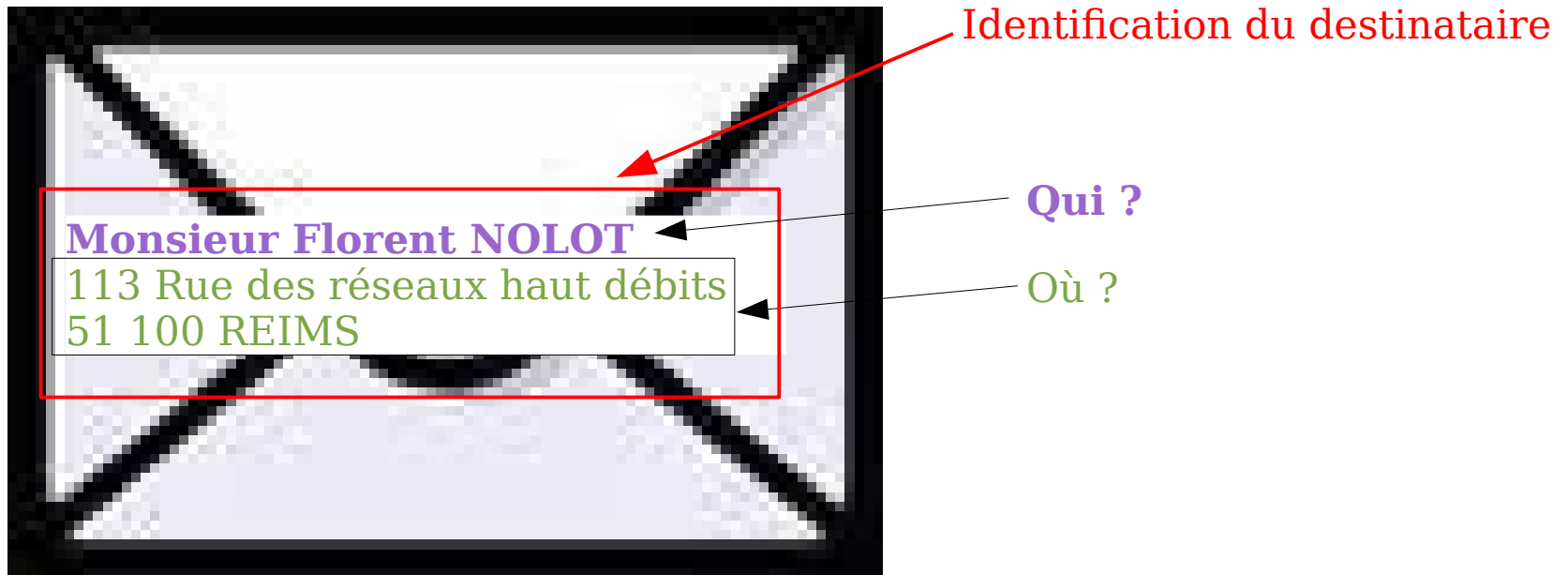
- ▶ 129 =
- ▶ 132 =
- ▶ 194 =
- ▶ Une méthode de calcul : décomposer en puissance de 2 la valeur décimale à convertir et faire les soustractions successives
 - ▶ Les puissances de 2 « utiles » dans la conversion binaire : 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128

Exemple de conversion

- ▶ $129 = 128 + 1 = 10000001$
- ▶ $132 = 128 + 4 = 10000100$
- ▶ $194 = 128 + 64 + 2 = 11000010$
- ▶ Une méthode de calcul : décomposer en puissance de 2 la valeur décimale à convertir et faire les soustractions successives
 - ▶ Les puissances de 2 « utiles » dans la conversion binaire : 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128

Adresse IP est hiérarchisée

- Comme pour une adresse postale

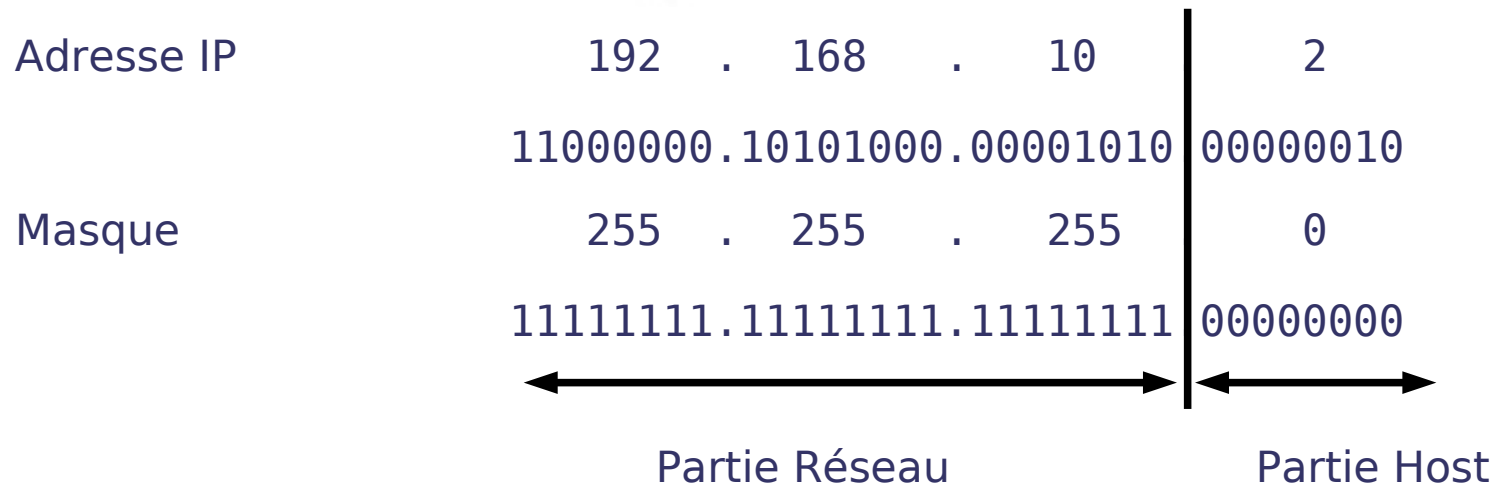


- Distinction d'une partie dite réseau et d'une partie dite machine (host)



Le masque ?

- ▶ Le masque d'une adresse est un élément qui permet de préciser où est la limite entre partie réseau et la partie hôte d'une adresse
- ▶ Ce masque a le même format qu'une adresse IP (décimale pointée)
- ▶ Dans son écriture binaire,
 - ▶ les **1** indiquent la position des digits de l'adresse IP appartenant à la **partie réseau**
 - ▶ les **0** indiquent la position des digits de l'adresse IP appartenant à la **partie hôte**

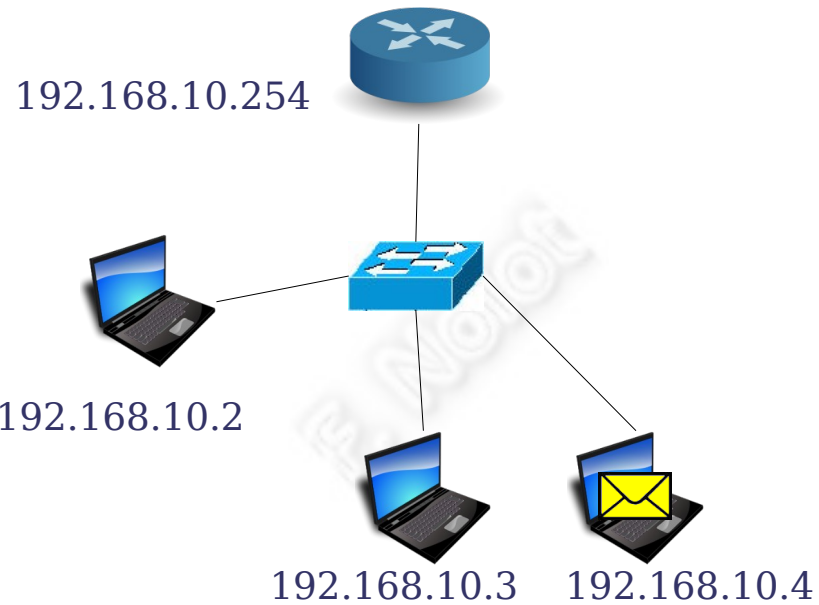


Masque en écriture abrégée

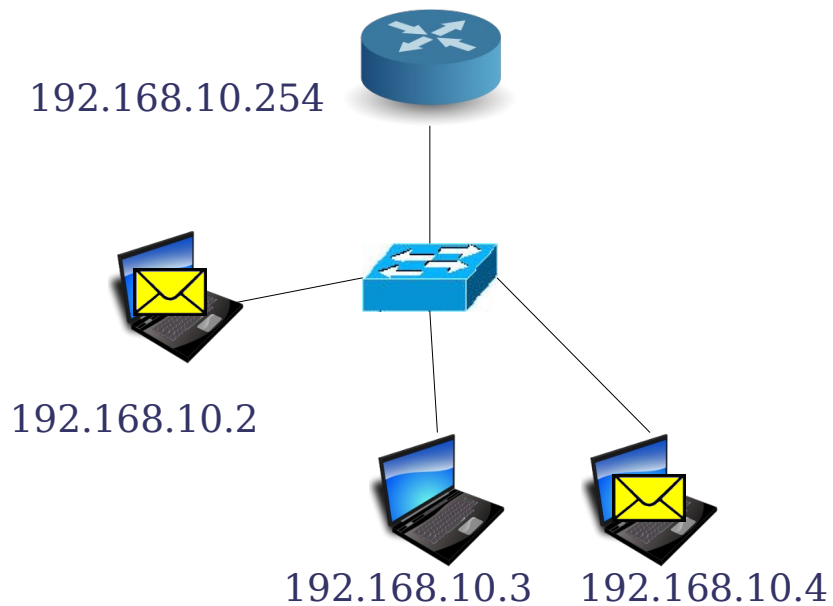
- ▶ Il est possible d'écrire le masque ainsi : /24, /16, /8, ...
- ▶ Cela indique le nombre de bit à 1 dans l'écriture binaire du masque
- ▶ Exemple
 - ▶ /8 correspond au masque 255.0.0.0
 - ▶ 11111111.00000000.00000000.00000000
 - ▶ /16 correspond au masque 255.255.0.0
 - ▶ 11111111.11111111.00000000.00000000
 - ▶ /24 correspond au masque 255.255.255.0
 - ▶ 11111111.11111111.11111111.00000000

Type de communication IP

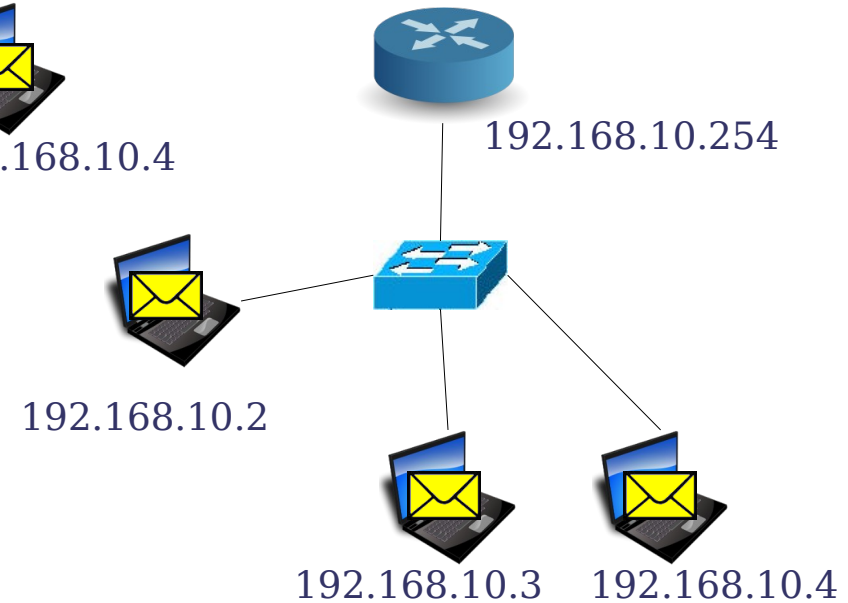
Unicast



Multicast



Broadcast



Type d'adresse

► Adresse réseaux

- L'écriture binaire de la partie host est égale à 0

192 . 168 . 10 . 0
11000000.10101000.00001010.00000000

► Adresse de broadcast

- L'écriture binaire de la partie host est égale à 1
- A destination de tous les devices du même réseau

192 . 168 . 10 . 255
11000000.10101000.00001010.11111111

► Adresse unicast (adresse d'un host)

- A destination d'un seul host uniquement

Plages d'adresses

- ▶ Classe A
 - ▶ De 0.0.0.0 à 127.255.255.255 (en binaire, le 1er octet : **00000000** à **01111111**)
 - ▶ Masque /8
- ▶ Classe B
 - ▶ De 128.0.0.0 à 191.255.255.255.0 (en binaire, le 1er octet : **10000000** à **10111111**)
 - ▶ Masque /16
- ▶ Classe C
 - ▶ De 192.0.0.0 à 223.255.255.255 (en binaire, le 1er octet : **11000000** à **11011111**)
 - ▶ Masque /24
- ▶ Classe D (multicast)
 - ▶ De 224.0.0.0 à 239.255.255.255 (en binaire, le 1er octet : **11100000** à **11101111**)
- ▶ Classe E (expérimental)
 - ▶ De 240.0.0.0 à 255.255.255.254 (en binaire, le 1er octet : **11110000** à **11111110**)

Les adresses privées

- ▶ Ils existent des adresses à usage privées, non routé sur Internet
 - ▶ Les équipements ayant une adresse de ce type ne peuvent donc pas être joignable depuis internet
 - ▶ Usage uniquement en interne, sur un LAN
- ▶ Une plage d'adresse privée dans chaque classe A, B et C (défini dans la RFC1918)
- ▶ Dans la classe A : 10.0.0.0/8
 - ▶ De 10.0.0.0 à 10.255.255.255
- ▶ Dans la classe B : 172.16.0.0/12
 - ▶ De 172.16.0.0 à 172.31.255.255
- ▶ Dans la classe C : 192.168.0.0/16
- ▶ **Usage** : pour des équipements qui n'ont nullement besoin d'être joignable **depuis** Internet. Ces adresses ne sont pas routées sur Internet.

La couche réseau du modèle OSI

Les sous-réseaux

F. Nolot

Calcul des adresses de réseaux et de broadcast

- ▶ Existence de 3 types de communication
 - ▶ Adresse unicast
 - ▶ Adresse de broadcast
 - ▶ Adresse de multicast
- ▶ Pour chaque communication, il existe une adresse spécifique
 - ▶ Multicast : la classe D
 - ▶ Broadcast : il faut faire le calcul par rapport à l'adresse unicast ou de réseaux
- ▶ Adresse réseau ?
 - ▶ C'est l'identifiant du groupe d'équipements qui pourront échanger des informations entre-eux, sans routeur
 - ▶ L'adresse réseau permet d'identifier toutes les adresses unicast d'un même groupe

Exemple

- Dans la classe A, le masque est toujours /8

Adresse IP	9	9	.	10	.	2
	00001001	00001001	.	00001010	.	00000010
Masque	255	0	.	0	.	0
	11111111	00000000	.	00000000	.	00000000
	←			→		
	Partie Réseau			Partie Host		

- Trouver l'adresse réseau ?
 - ET logique entre l'adresse IP et son masque

ET	0	1
0	0	0
1	0	1

Adresse IP	00001001.00001001.00001010.00000010
Masque	11111111.00000000.00000000.00000000
<hr/>	
	00001001.00000000.00000000.00000000
Adresse Réseaux	9 . 0 . 0 . 0

- L'adresse 9.9.10.2/8 fait donc partie du réseau 9.0.0.0/8

Le calcul

- ▶ Chaque adresse IP appartient à une classe et donc à un masque associé
- ▶ Trouver l'adresse réseaux ?
 - ▶ Convertir l'adresse IP en binaire
 - ▶ Convertir le masque en binaire
 - ▶ Faire un ET logique entre l'adresse IP et le masque
- ▶ Plus rapide
 - ▶ Ne convertir que l'octet utile ($X \text{ ET } 255 = X$ et $X \text{ ET } 0 = 0$)

Adresse IP	9.9.10.2
Masque	255.0.0 .0
<hr/>	
Adresse Réseaux	9.0.0 .0

Quelques exemples

- ▶ A quels réseaux appartiennent les adresses suivantes ?
 - ▶ 10.10.34.2
 - ▶ 192.168.34.2
 - ▶ 172.17.34.5
 - ▶ 130.45.6.7

F. Nolot

Quelques exemples

- ▶ A quel réseau appartient les adresses suivantes ?
 - ▶ 10.10.34.2
 - ▶ Classe A, masque 255.0.0.0, adresse réseau 10.0.0.0
 - ▶ 192.168.34.2
 - ▶ Classe C, masque 255.255.255.0, adresse réseau 192.168.34.0
 - ▶ 172.17.34.5
 - ▶ Classe B, masque 255.255.0.0, adresse réseau 172.17.0.0
 - ▶ 130.45.6.7
 - ▶ Classe B, masque 255.255.0.0, adresse réseau 130.45.0.0

L'adresse de broadcast ?

- ▶ Pour chaque réseau, il existe une adresse de broadcast
 - ▶ Permet de communiquer avec tous les équipements du réseau
- ▶ Calcul de l'adresse de broadcast
 - ▶ Mettre tous les bits de la partie host de l'adresse réseau à 1
- ▶ Exemple :
 - ▶ Sur le réseau 9.9.10.2/8, l'adresse de broadcast est donc 9.255.255.255

Adresse Réseaux	9	.	0	.	0	.	0
	00001001	.	00000000	.	00000000	.	00000000
Adresse Broadcast	00001001	.	11111111	.	11111111	.	11111111
	9	.	255	.	255	.	255

Quelques exemples

- ▶ Trouver les adresses de broadcast des adresses suivantes ?
 - ▶ 10.10.34.2
 - ▶ 192.168.34.2
 - ▶ 172.17.34.5
 - ▶ 130.45.6.7

F. Nolot

Quelques exemples

- ▶ Trouver les adresses de broadcast des adresses suivantes ?
 - ▶ 10.10.34.2
 - ▶ Classe A, masque 255.0.0.0, adresse broadcast 10.255.255.255
 - ▶ 192.168.34.2
 - ▶ Classe C, masque 255.255.255.0, adresse broadcast 192.168.34.255
 - ▶ 172.17.34.5
 - ▶ Classe B, masque 255.255.0.0, adresse broadcast 172.17.255.255
 - ▶ 130.45.6.7
 - ▶ Classe B, masque 255.255.0.0, adresse broadcast 130.45.255.255

La couche réseau du modèle OSI

Les sous-réseaux

F. Nolot

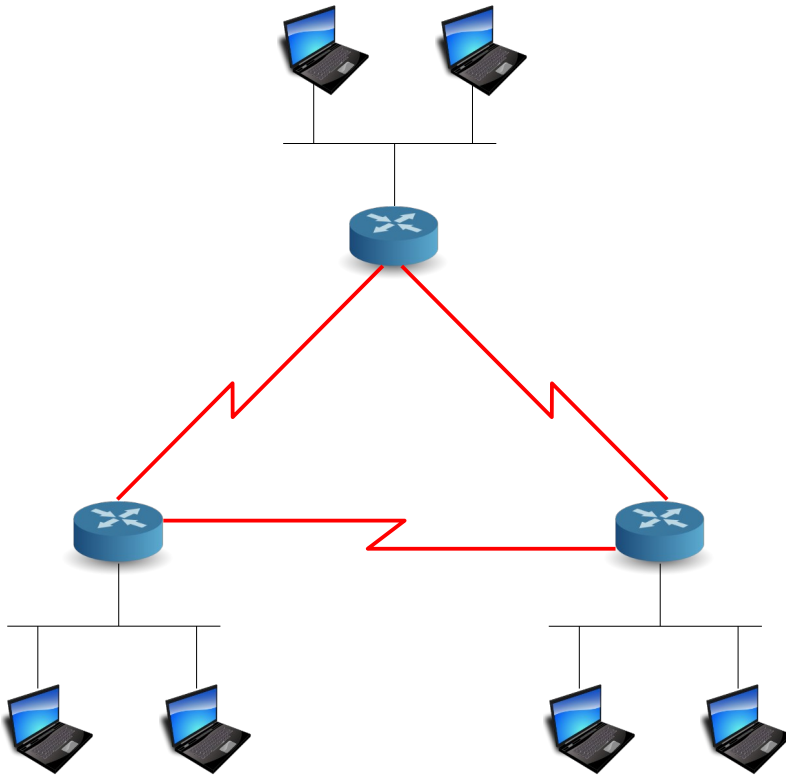
Nombre d'adresses attribuables (1/2)

- ▶ A partir d'une adresse réseau, le nombre total d'adresses IP attribuables à des équipements est fixé par le masque
 - ▶ Exemple : dans la classe C, Masque 255.255.255.0 (/24) donc 8 bits à disposition pour numéroté les équipements, soit $2^8 = 256$
- ▶ Toujours 2 adresses réservées, non attribuable à un équipement
 - ▶ Adresse réseau et l'adresse de broadcast

Nombre d'adresses attribuables (2/2)

Classe	Plage du 1er octet (en décimal)	Plage du 1er octet (en binaire)	Partie Réseaux (R) et Host (H)	Masque par défaut	Nombre de réseaux et d'adresses utilisables par réseaux
A	1. à 127.	0 0000001. à 0 1111111	R.H.H.H	255.0.0.0	127 réseaux (2^7-1) 16 777 214 hosts ($2^{24}-2$)
B	128. à 191.	10 000001. à 10 111111	R.R.H.H	255.255.0.0	16 384 réseaux (2^{14}) 65 534 hosts ($2^{16}-2$)
C	192. à 223.	110 00001. à 110 11111	R.R.R.H	255.255.255.0	2 097 150 réseaux (2^{21}) 254 hosts (2^8-2)
D	224. à 239.	1110 0001. à 1110 1111	N.A. (multicast)	N.A.	N.A.
E	240. à 254.	1111 0001. à 1111 1110	N.A. (expérimental)	N.A.	N.A.

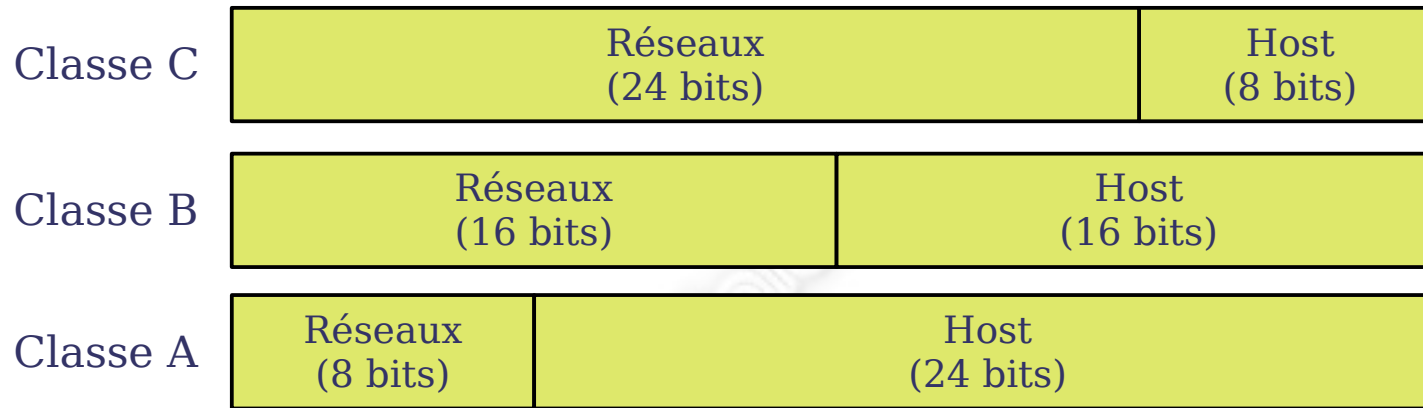
Les sous-réseaux (1/2)



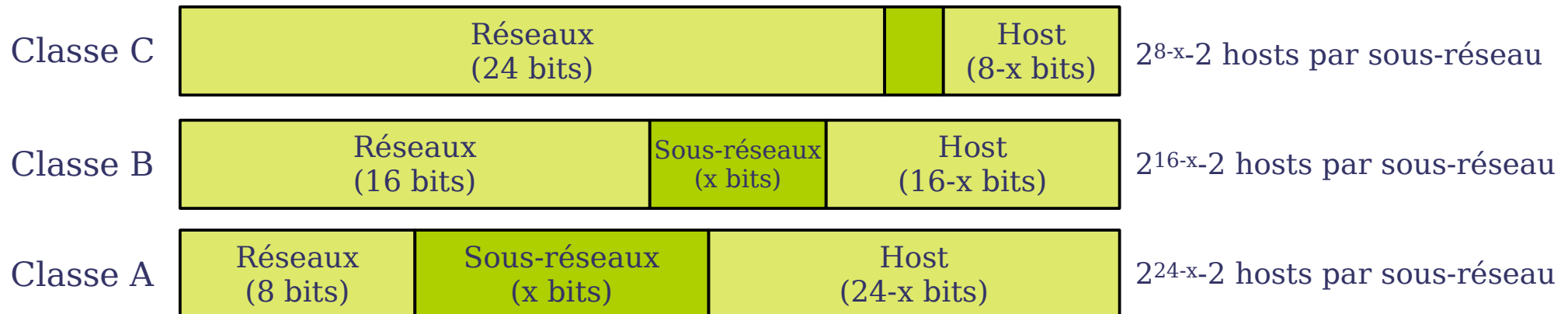
- ▶ Configuration habituelle
 - ▶ Besoin de 6 réseaux
 - ▶ Entre les routeurs : besoin que de 2 IP !
 - ▶ Perte de plusieurs centaines d'IP au minimum
- ▶ Avec les sous-réseaux
 - ▶ Possibilité de re-découper la partie host pour faire de nouveaux sous-réseaux
 - ▶ On ajoute donc une 3ème portion au découpage habituel d'une adresse IP
 - ▶ Permet d'économiser des adresses IP

Les sous-réseaux (2/2)

► Sans sous-réseaux



► Avec des sous-réseaux, nous découpons la partie Host



Calcul des sous-réseaux

- ▶ La taille de la portion sous-réseau d'une adresse IP permet de déterminer le nombre de sous-réseaux pouvant exister dans un réseau donné
 - ▶ Si **la taille de la portion sous-réseau** d'une adresse IP est de **m bits**, le **nombre de sous-réseau** possible est **2^m**
 - ▶ Si la taille de la portion sous-réseau est de **x bits**, le **nombre d'adresses IP utilisable par des machines dans chaque sous-réseau** est **2^{x-2}**
 - ▶ La première adresse IP du sous-réseau est l'adresse du sous-réseau
 - ▶ La dernière adresse IP du sous-réseau est l'adresse de broadcast
- ▶ Les sous-réseaux sur IP sont définis dans la RFC 950 puis dans la RFC 1878
- ▶ Dans la **RFC950** (Août 1985), il est spécifié de **retirer** systématiquement **2 adresses de sous-réseaux**, la première (portion sous-réseau à 0, **appelé sous-réseau zero** ou zero subnet) et la dernière (portion sous-réseau à 1)
- ▶ Dans la **RFC1878** (Décembre 1995), il est précisé qu'il était maintenant **obsolète de retirer 2 sous-réseaux** par réseaux
- ▶ Dans la littérature, le nombre de sous-réseau est parfois égal à $2^m - 2$
 - ▶ Référence à la RFC950

Exemple

- ▶ Soit l'adresse 8.1.4.5/16
- ▶ Adresse de Classe A donc avec le masque par défaut /8
 - ▶ Ici, le masque est /16, des sous-réseaux sont donc utilisés
 - ▶ Calculons le nombre de sous-réseau qu'il est possible de faire
- ▶ Le nombre de bits de la portion sous-réseau est donc 8
 - ▶ Il est donc possible de faire $2^8 = 256$ sous-réseaux /16
- ▶ Le nombre de bits de la portion hôte est 16, donc $2^{16} - 2 = 65534$ hôtes par sous-réseaux
- ▶ A partir de l'adresse 8.1.4.5/16 nous avons
 - ▶ L'adresse de sous-réseau : 8.1.0.0 (ET logique entre 8.1.4.5 et le masque 255.255.0.0)
 - ▶ L'adresse de broadcast : 8.1.255.255

Exemple (1/4)

- ▶ Sur le réseau 131.1.123.0/27, quelle est la dernière adresse qui peut être affecté à une machine ?
 - ▶ 131.1.123.30
 - ▶ 131.1.123.31
 - ▶ 131.1.123.32
 - ▶ 131.1.123.33

F. Nolot

Exemple (1/4)

- Sur le réseau 131.1.123.0/27, quelle est la dernière adresse qui peut être affecté à une machine ?

1) 131.1.123.30

2) 131.1.123.31

3) 131.1.123.32

4) 131.1.123.33

F. Nolot

Exemple 2/4

- Quelle est la 1^{ère} adresse IP qu'il est possible d'affecter à une interface d'une machine dans le 6^{ème} sous-réseaux du réseaux 192.168.8.0/29 ?
- 1) 192.168.8.32
 - 2) 192.168.8.33
 - 3) 192.168.8.41
 - 4) 192.168.8.48
 - 5) 192.168.8.49
 - 6) 192.168.8.56

Exemple 2/4

- ▶ Quelle est la 1^{ère} adresse IP qu'il est possible d'affecter à l'interface d'une machine, dans le 6^{ème} sous-réseau du réseaux 192.168.8.0/29 ?
 - 1) 192.168.8.32
 - 2) 192.168.8.33
 - 3) 192.168.8.41**
 - 4) 192.168.8.48
 - 5) 192.168.8.49
 - 6) 192.168.8.56
- ▶ Adresse de classe C, Masque /29, ce qui fait en décimal pointé 255.255.255.248., soit 6 IP utilisables par sous-réseau
 - ▶ 1^{ère} sous-réseaux : de 192.168.8.0 à 192.168.8.7
 - ▶ 2^{ème} sous-réseaux : de 192.168.8.8 à 192.168.8.15
 - ▶ ...
 - ▶ 6^{ème} sous-réseaux commence donc à $192.168.8.8 \times (6-1) = 192.168.8.40$

Exemple 3/4

- Dans le réseau 191.0.2.0/23, quelle adresse IP valide peut être affectée à un hôte ?
- 1) 191.0.2.0
 - 2) 191.0.2.255
 - 3) 191.0.3.255
 - 4) 191.0.4.0

F. Nolot

Exemple 3/4

- Dans le réseau 191.0.2.0/23, quelle adresse IP valide peut être affectée à un hôte ?
- 1) 191.0.2.0 : adresse du sous-réseau
 - 2) 191.0.2.255**
 - 3) 191.0.3.255 : adresse de broadcast du sous-réseau
 - 4) 191.0.4.0 : n'appartient pas au sous-réseau 191.0.2.0/23

Exemple 4/4

- Combien d'adresses peuvent être affectées à un hôte parmi celles disponibles dans le réseau 124.12.4.0/22 ?
- 1) 510
 - 2) 1022
 - 3) 1024
 - 4) 2048

F. Nolot

Exemple 4/4

- ▶ Combien d'adresses peuvent être affectées à un hôte parmi celles disponibles dans le réseau 124.12.4.0/22 ?
 - 1) 510
 - 2) 1022**
 - 3) 1024
 - 4) 2048
- ▶ Explication : /22 donc 10 bits sur la partie host, soit $2^{10}-2$ IP utilisables pour un host

La couche réseau du modèle OSI

Merci pour votre attention