Lyon 1

département
Informatique

Université Claude Bernard Lyon 1

Licence Math-Informatique 1ère année

Partie 7

Olivier Glück

Université LYON 1 / Département Informatique

Olivier.Gluck@univ-lyon1.fr

http://perso.univ-lyon1.fr/olivier.gluck

Copyright

- Copyright © 2025 Olivier Glück; all rights reserved
- Ce support de cours est soumis aux droits d'auteur et n'est donc pas dans le domaine public. Sa reproduction est cependant autorisée à condition de respecter les conditions suivantes :
  - Si ce document est reproduit pour les besoins personnels du reproducteur, toute forme de reproduction (totale ou partielle) est autorisée à la condition de citer l'auteur.
  - Si ce document est reproduit dans le but d'être distribué à des tierces personnes, il devra être reproduit dans son intégralité sans aucune modification. Cette notice de copyright devra donc être présente. De plus, il ne devra pas être vendu.
  - Cependant, dans le seul cas d'un enseignement gratuit, une participation aux frais de reproduction pourra être demandée, mais elle ne pourra être supérieure au prix du papier et de l'encre composant le document.
  - Toute reproduction sortant du cadre précisé ci-dessus est interdite sans accord préalable écrit de l'auteur.

Plan du cours

- CM1 : Internet, les réseaux et le web
- CM2 : Pages HTML et feuilles de styles CSS
- CM3 : Web interactif, formulaires, pages dynamiques et PHP
- CM4 : Protocole HTTP, méthodes GET et POST
- CM5 : Les applications d'Internet
- CM6 : La couche transport : les protocoles TCP et UDP
- CM7 : Le protocole IP
- CM8 : Les protocoles Ethernet, ARP et ICMP. Synthèse des échanges entre un client et serveur Web

Lyon 1

département Informatique

Université Claude Bernard Lyon 1

CM7 – Le protocole IP

Les adresses IPv4

Les sous-réseaux

Le routage

Configuration des interfaces

Les adresses privées et le NAT

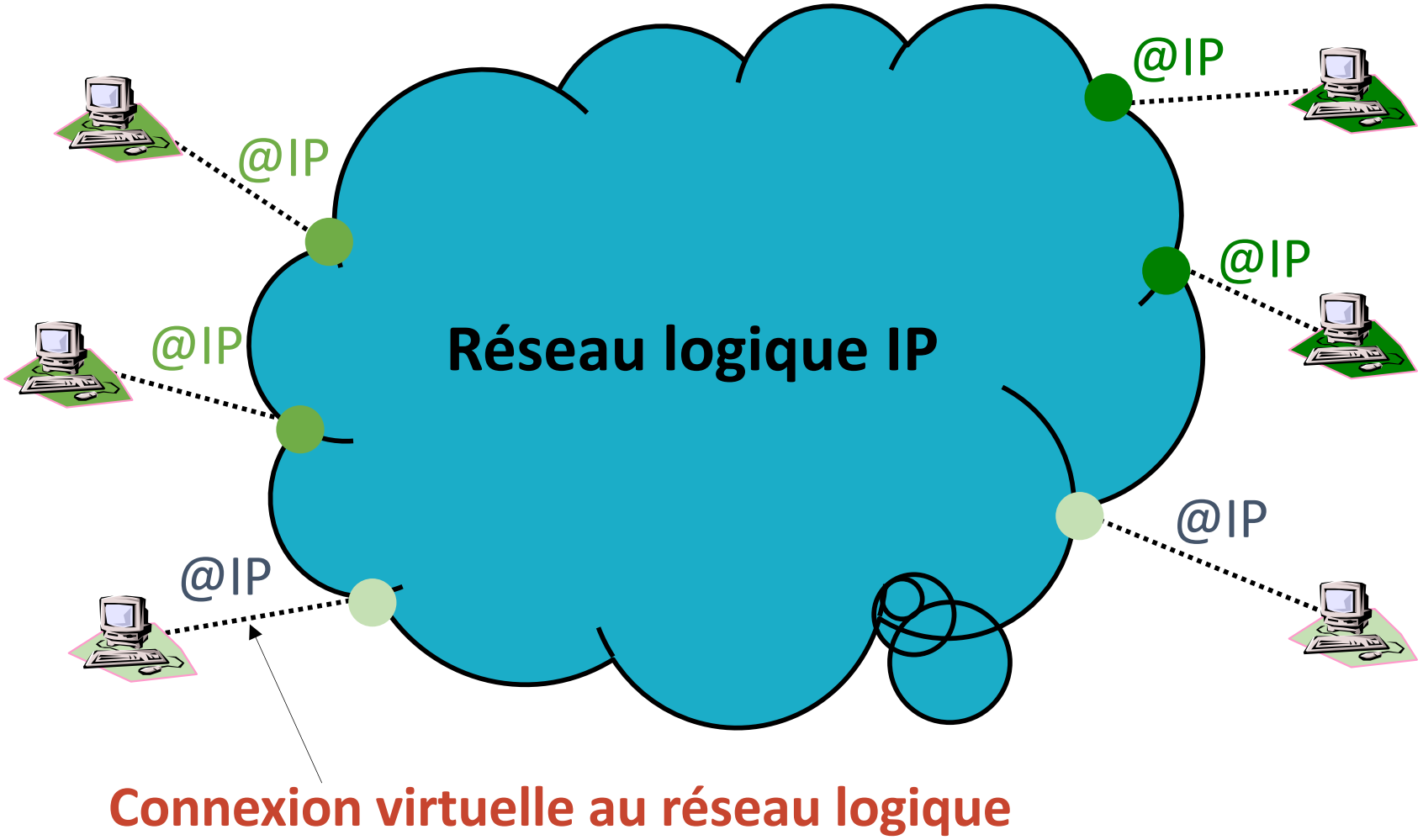
Format de l'en-tête, fragmentation

Les adresses IPv6

Plan du CM7

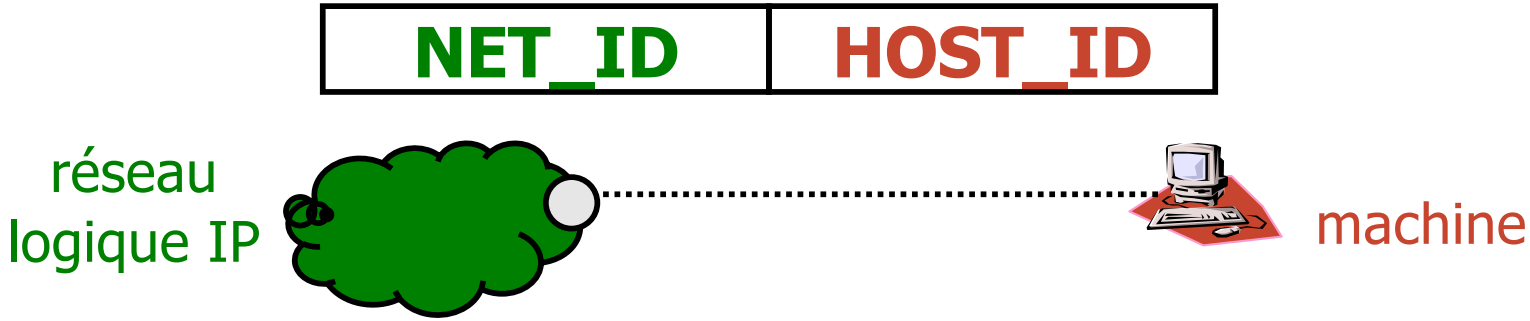
- Les adresses IPv4
- Les sous-réseaux
- Le routage
- Configuration des interfaces
- Les adresses privées et le NAT
- Format de l'en-tête, fragmentation
- Les adresses IPv6

Internet du point de vue de l'utilisateur



Format de l'adresse IPv4

- L'internet se décompose en plusieurs réseaux logiques IP
- L'adresse IP est composée de deux champs
  - NET_ID : identifiant du réseau IP (utilisé pour le routage)
  - HOST_ID : identifiant de la machine dans le réseau IP



- Adresse IP = 32 bits = 4 octets (représentée par 4 valeurs décimales [0-255] séparées par un .)

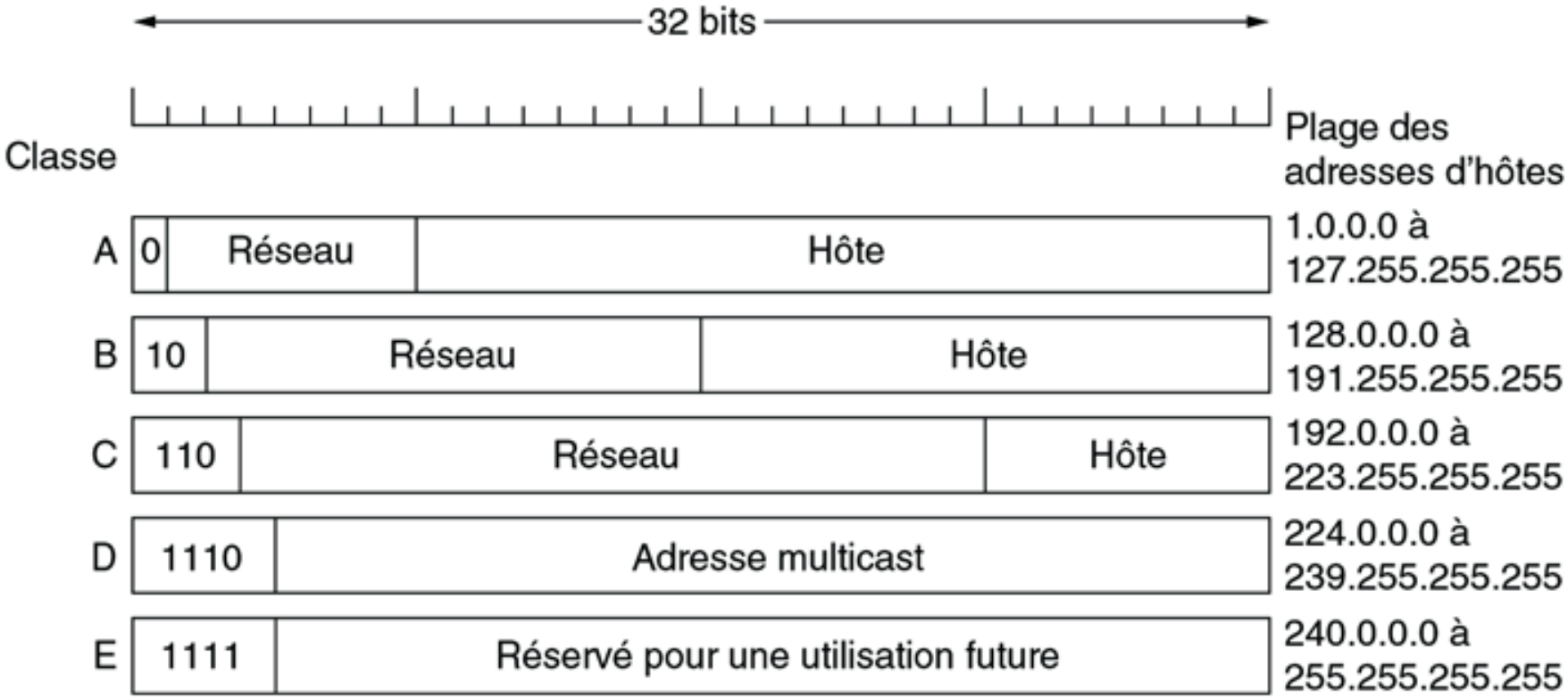
Exemples : 8.8.8.8 134.214.92.8
0.0.0.0 255.255.255.255

Héxadécimal / Décimal / Binaire

Conversions au format hexadécimal des octets binaires

Hexadécimal	Décimal	Binaire
00	0	0000 0000
01	1	0000 0001
02	2	0000 0010
03	3	0000 0011
04	4	0000 0100
05	5	0000 0101
06	6	0000 0110
07	7	0000 0111
08	8	0000 1000
0A	10	0000 1010
0F	15	0000 1111
10	16	0001 0000
20	32	0010 0000
40	64	0100 0000
80	128	1000 0000
C0	192	1100 0000
CA	202	1100 1010
F0	240	1111 0000
FF	255	1111 1111

Les classes d'adresses IPv4



© Pearson Education France

- Les adresses réseaux sont distribuées par un organisme international à but non lucratif : ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) puis décentralisé au niveau de chaque pays

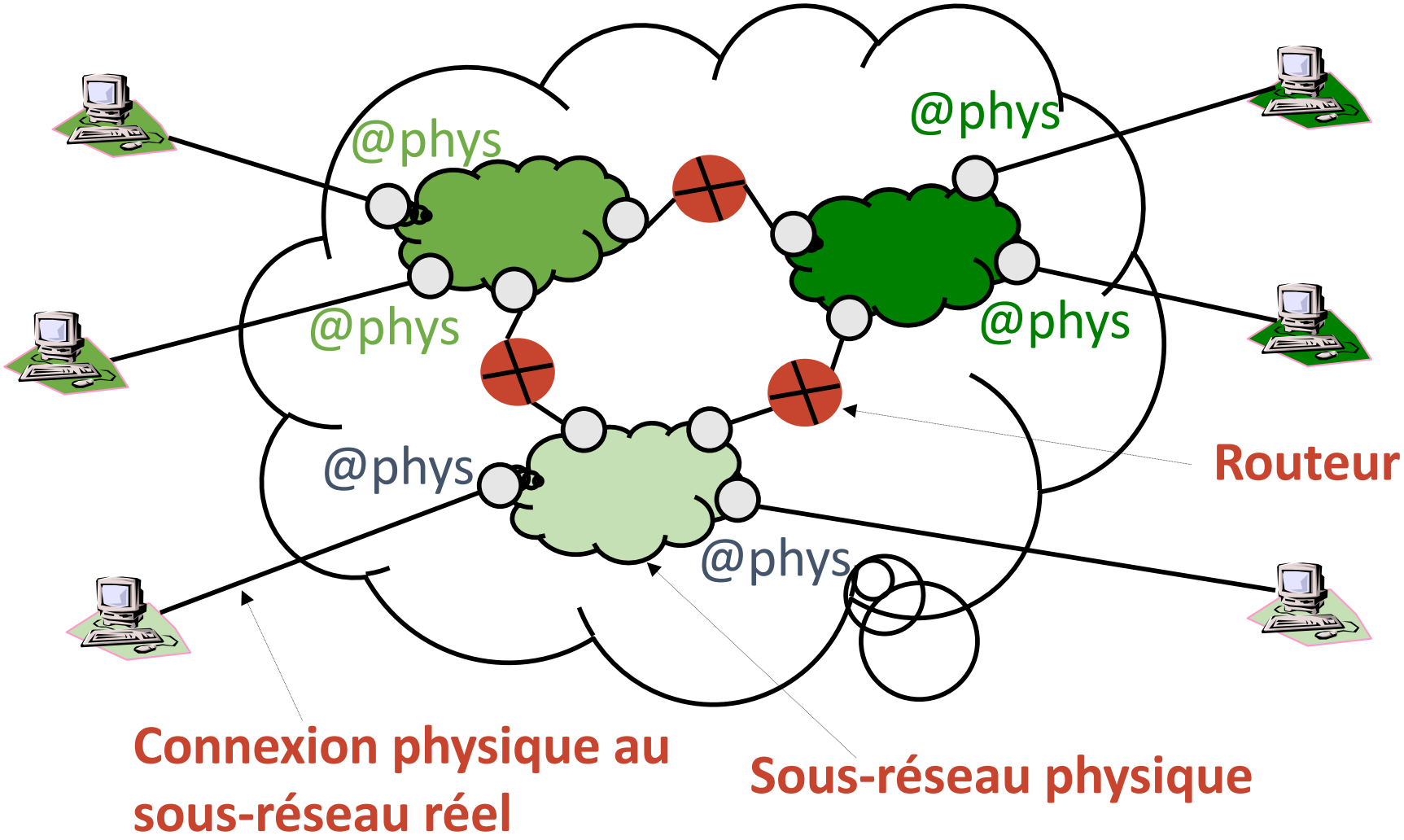
Adresses IPv4 particulières

- Diffusions locale et distante
  - 255.255.255.255 : adresse de broadcast sur le réseau IP local (ne traverse pas le routeur, traduit en broadcast ARP)
  - <NET_ID><111…111> : adresse de broadcast dirigée vers le réseau de numéro NET_ID (exemple : 132.227.255.255 = diffusion dans le réseau 132.227.0.0/16 traduit en broadcast ARP par le routeur destination)
- Rebouclage local (*loopback*) : 127.x.y.z
  - généralement 127.0.0.1 (*localhost*)
  - permet de tester la pile TCP/IP locale sans passer par une interface matérielle
- l'adresse 0.0.0.0
  - attribuée à une machine qui n'a pas encore d'adresse
  - adresse de la route par défaut qui englobe tout l'Internet

Les adresses privées IPv4

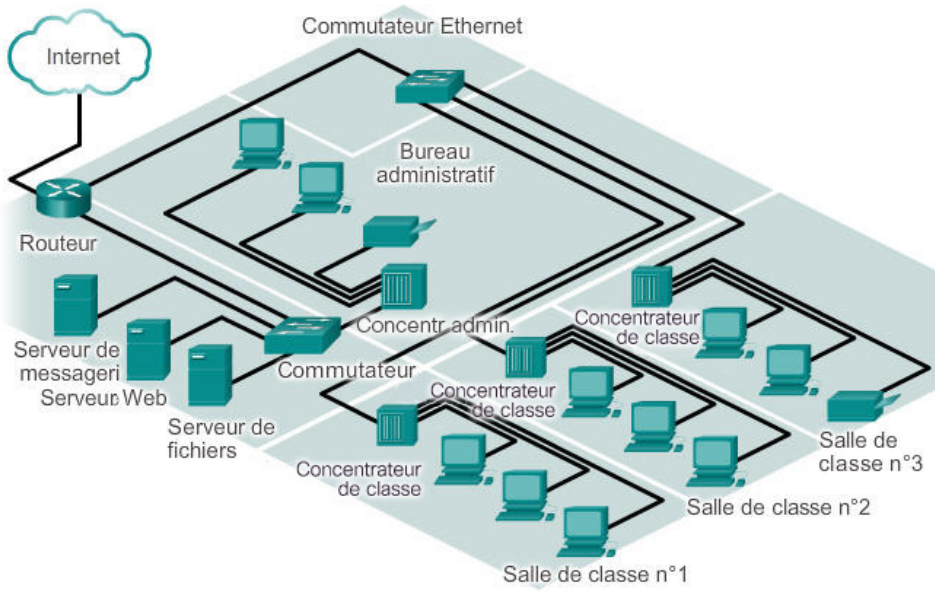
- Adresses privées (RFC 1918)
  - des adresses qui ne seront jamais attribuées (usage strictement privé) et qui ne sont pas routées sur l'Internet
  - classe A : **de 10.0.0.0 à 10.255.255.255**
  - classe B : **de 172.16.0.0 à 172.31.255.255**
  - classe C : **de 192.168.0.0 à 192.168.255.255**
- Si une entreprise qui utilise des adresses privées souhaitent tout de même disposer d'une connexion à l'Internet, il faut
  - demander une adresse publique
  - faire des conversions adresse privée <--> adresse publique (Network Address Translation)

Internet du point de vue réel

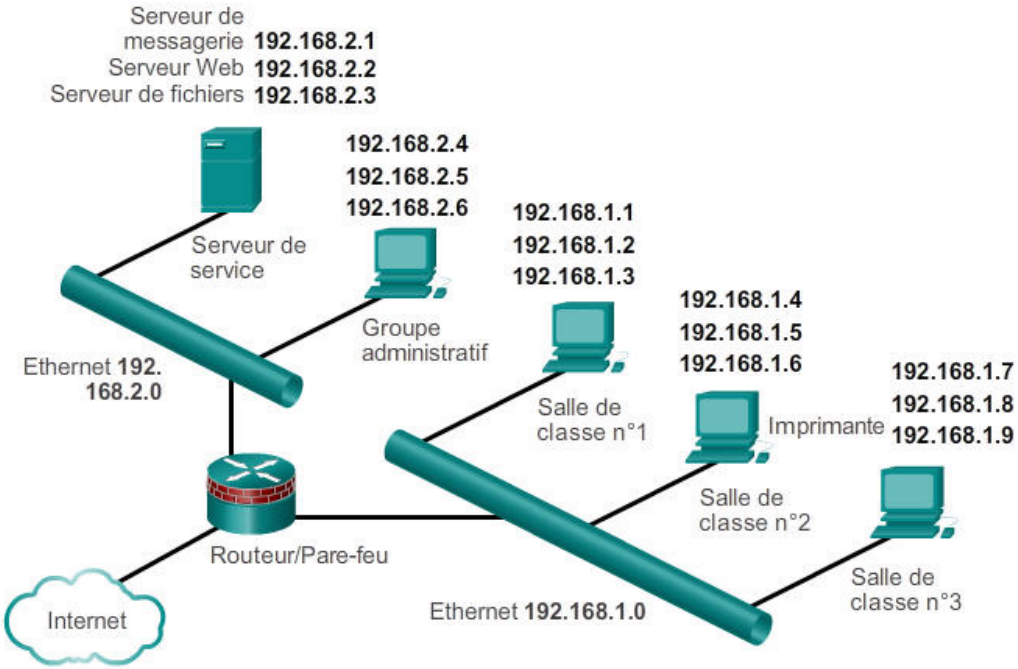


Topologie physique/logique

Topologie physique



Topologie logique

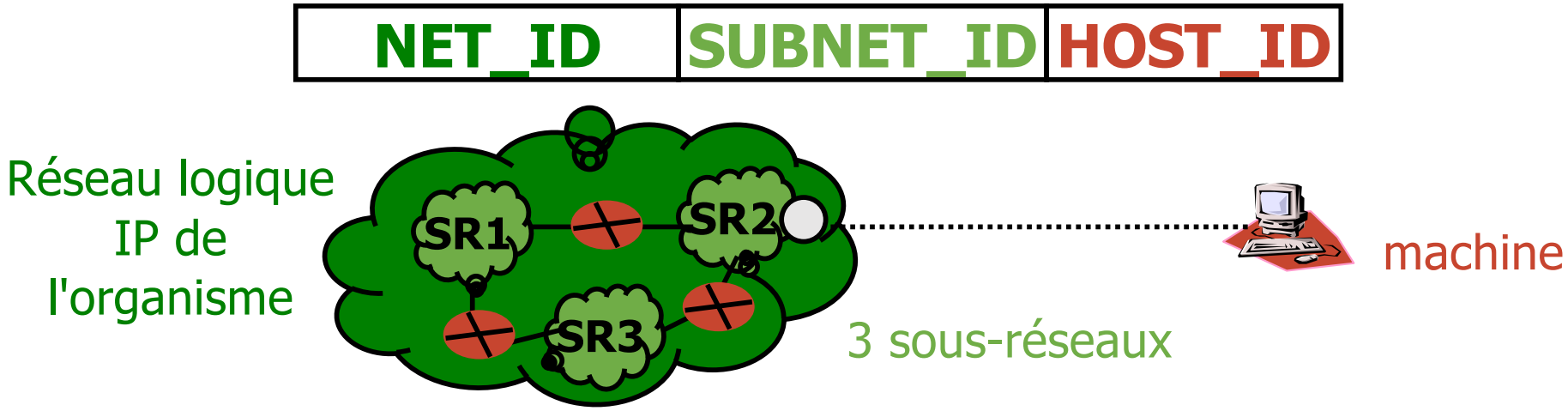


Les sous-réseaux

- Une organisation dispose généralement d'une seule adresse de réseau IP mais est composée de plusieurs sites/départements
  - Il est possible de diviser un réseau IP en plusieurs sous-réseaux

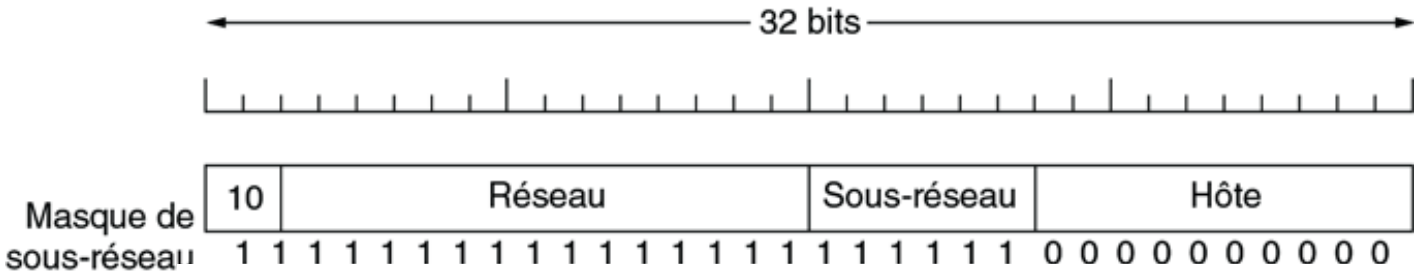
  -> prendre quelques bits dans la partie <HOST_ID> de l'adresse IP pour distinguer les sous-réseaux

  -> transparent vis à vis de l'extérieur



Masque de sous-réseau

- Masque de sous-réseau (*Netmask*)
  - Permet de donner la taille du sous-réseau
  - Se note comme une adresse IP avec tous les bits à 1 dans <NET_ID><SUBNET_ID>
- Exemple : 134.214.0.0 attribuée à l'UCBL
  - divisée en 64 sous-réseaux : 134.214.0.0, 134.214.4.0, 134.214.8.0, …, 134.214.248.0, 134.214.252.0
  - netmask = **255.255.252.0** ou **/22** (22 bits pour désigner le sous-réseau, il reste 10 bits pour les machines)



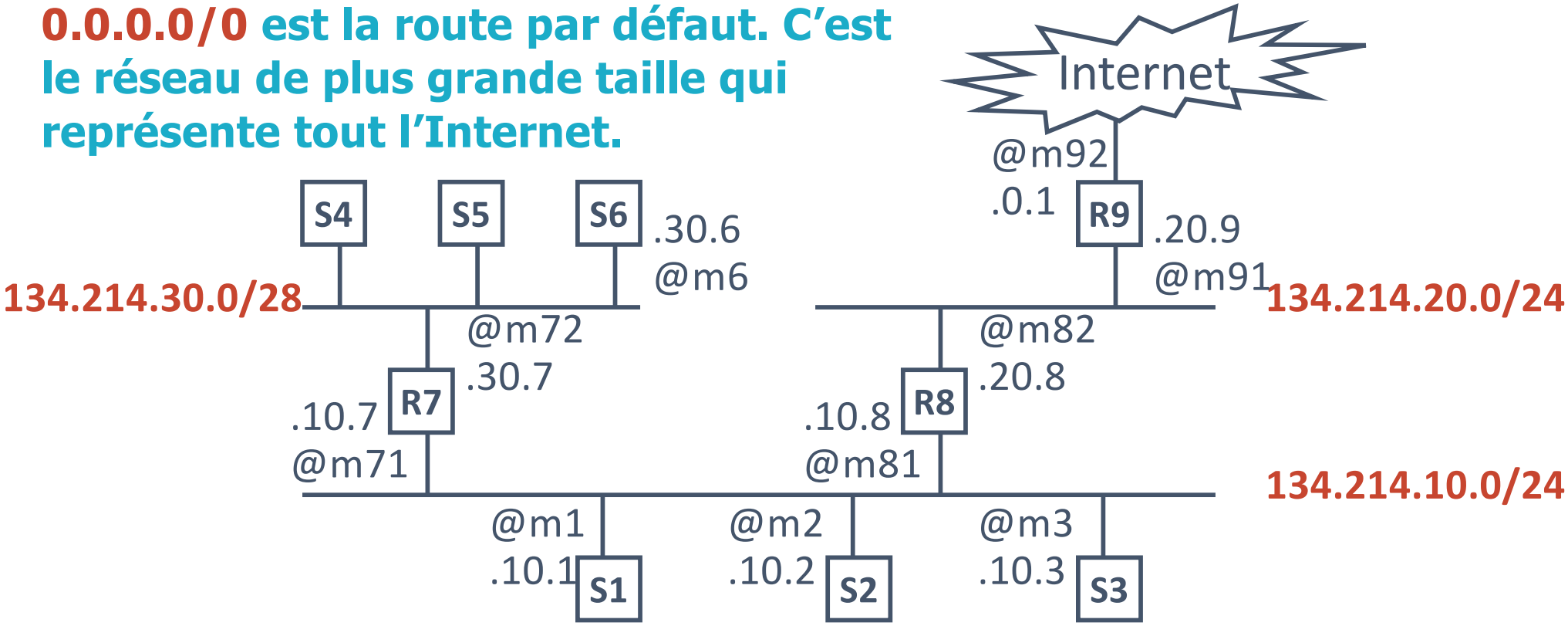
Adresse de classe B dont 6 bits sont réservés à la numérotation des sous-réseaux

Exemple de routage IPv4

Table de routage de S2

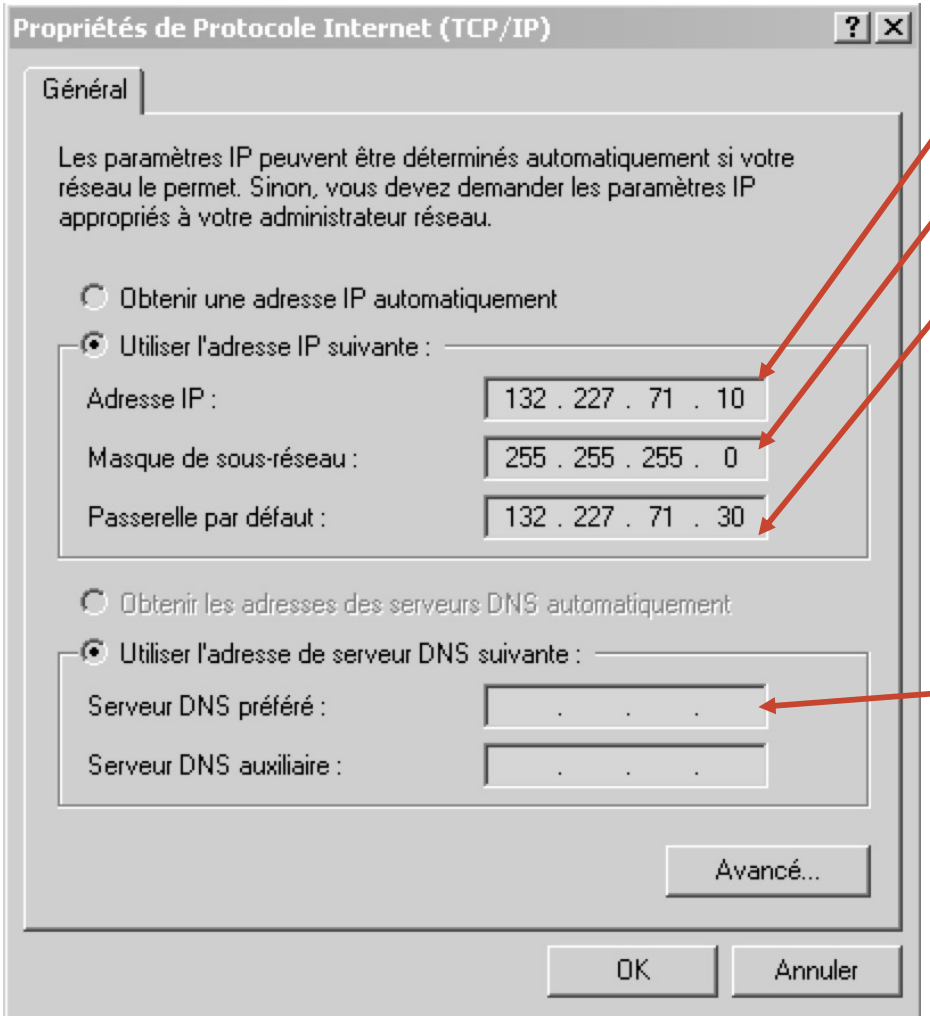
destination	netmask	gateway	int	cost
134.214.10.0	255.255.255.0	-	eth0	0
134.214.30.0	255.255.255.240	134.214.10.7	-	1
default	0.0.0.0 ou /0	134.214.10.8	-	-

0.0.0.0/0 est la route par défaut. C'est le réseau de plus grande taille qui représente tout l'Internet.



Configuration d'une interface réseau (1)

- Pour une machine d'extrémité, il suffit d'indiquer



Son adresse IP

Le masque de sous-réseau

L'adresse IP du routeur par défaut (tous les paquets qui ne sont pas à destination du sous-réseau de la machine sont envoyés vers ce routeur)

Eventuellement, l'adresse IP d'un serveur de noms pour faire les requêtes DNS

Configuration d'une interface réseau (2)

- Le fait de configurer une interface réseau en lui assignant une adresse IP et un masque ajoute une ligne dans la table de routage qui permet de joindre toutes les machines qui sont dans le même réseau qu'elle
- Par exemple,

```
ip addr add 192.168.9.3/22 dev eth0
ip link set up dev eth0
```

ajoute la ligne suivante dans le table de routage :

Destination	Masque	Passerelle	Interface
192.168.8.0	**255.255.252.0**	**-**	**eth0**

La carte `eth0` est dans le réseau `192.168.8.0/22` et permet de joindre toutes les machines de `192.168.8.1` à `192.168.11.254` (dernière machine du réseau)

Petits calculs sur les adresses réseaux (1)

- Soit le réseau, `192.168.8.0/23`

Le masque `/23` est équivalent à `255.255.254.0`

Il donne la taille du réseau c'est-à-dire le nombre de machines qu'il contient : `2^(32-23)-2 = 510`

En effet, il reste 9 bits pour numéroter les machines du réseau soit 512 adresses mais il faut retirer l'adresse du réseau et l'adresse de diffusion que l'on ne peut pas attribuer à une machine

Adresse du réseau : `192.168.8.0/23`

Adresse de diffusion : `192.168.9.255`

Première machine du réseau : `192.168.8.1`

Dernière machine du réseau : `192.168.9.254`

Petits calculs sur les adresses réseaux (2)

- Soit le réseau, `192.168.8.64/27`

La partie réseau de l'adresse est constituée des 3 premiers octets (24 bits) + les bits 2^7, 2^6 et 2^5 du 4ème octet.

Comme 2^5=32, les réseaux de taille `/27` sont les multiples de 32 dans le dernier octet. `192.168.8.64/27` est donc bien l'adresse d'un réseau car 64 est un multiple de 32.

L'adresse du réseau suivant est le multiple de 32 suivant soit

Adresse du réseau suivant : `192.168.8.96/27`

Adresse du réseau précédant : `192.168.8.32/27`

Adresse du réseau : `192.168.8.64/27`

Première machine = @réseau+1 : `192.168.8.65`

Dernière machine =@diffusion-1: `192.168.8.94`

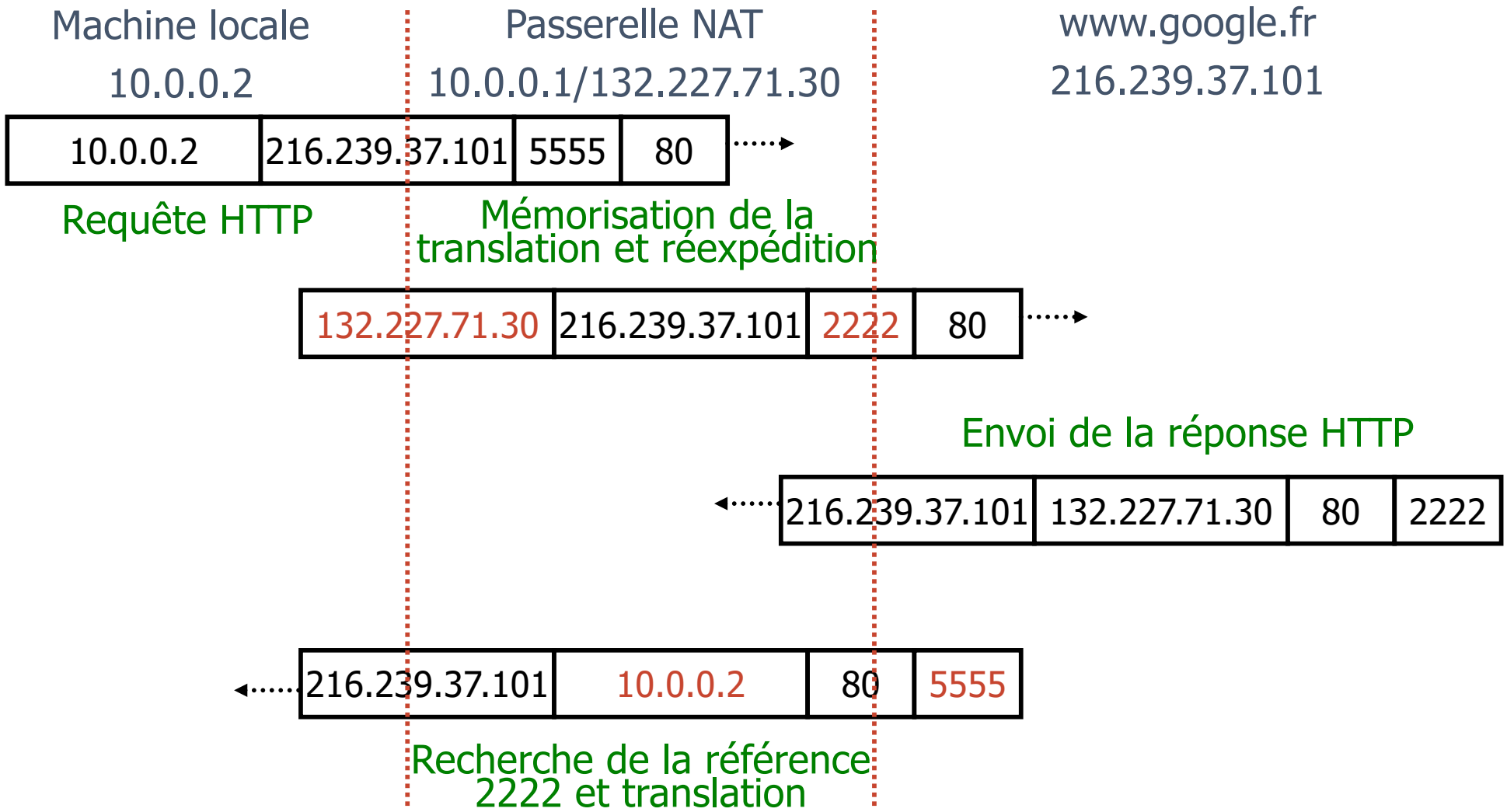
Adresse de diffusion = @réseau_suivant-1 : `192.168.8.95`

La traduction d'adresses privées (NAT)

- NAT (RFC 3022) - Network Address Translator
  - mise en correspondance d'une adresse privée et d'une adresse publique
  - traduction statique ou dynamique (lors de la connexion)
  - une solution au manque d'adresses IP publiques : quelques adresses IP publiques pour beaucoup d'adresses IP privées mais le NAT est coûteux en perf.
- Fonctionnement du NAT
  - une table stockée dans le NAT fait la correspondance entre (@IP_src privée, port_src) et une @IP_publique
  - quand le paquet part : @IP_src devient @IP_publique, port_src devient la référence de l'entrée dans la table
  - quand la réponse revient : port_dest du paquet permet de retrouver dans la table @IP et port_src

NAT - IP masquerading

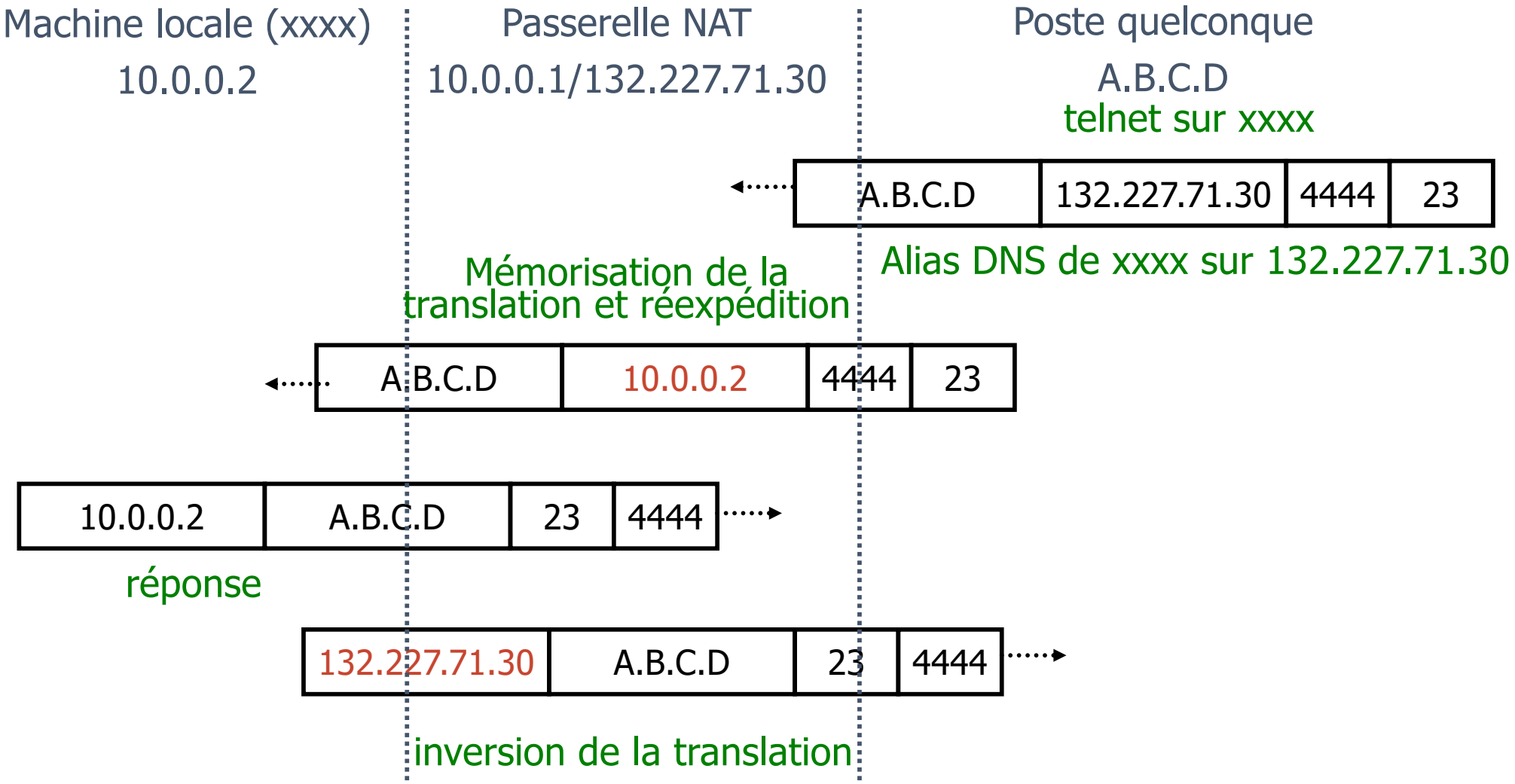
Exemple de requête sortante

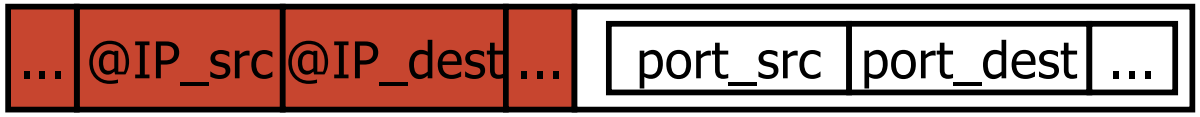


...	@IP_src	@IP_dest	...	port_src	port_dest	...

NAT - port forwarding

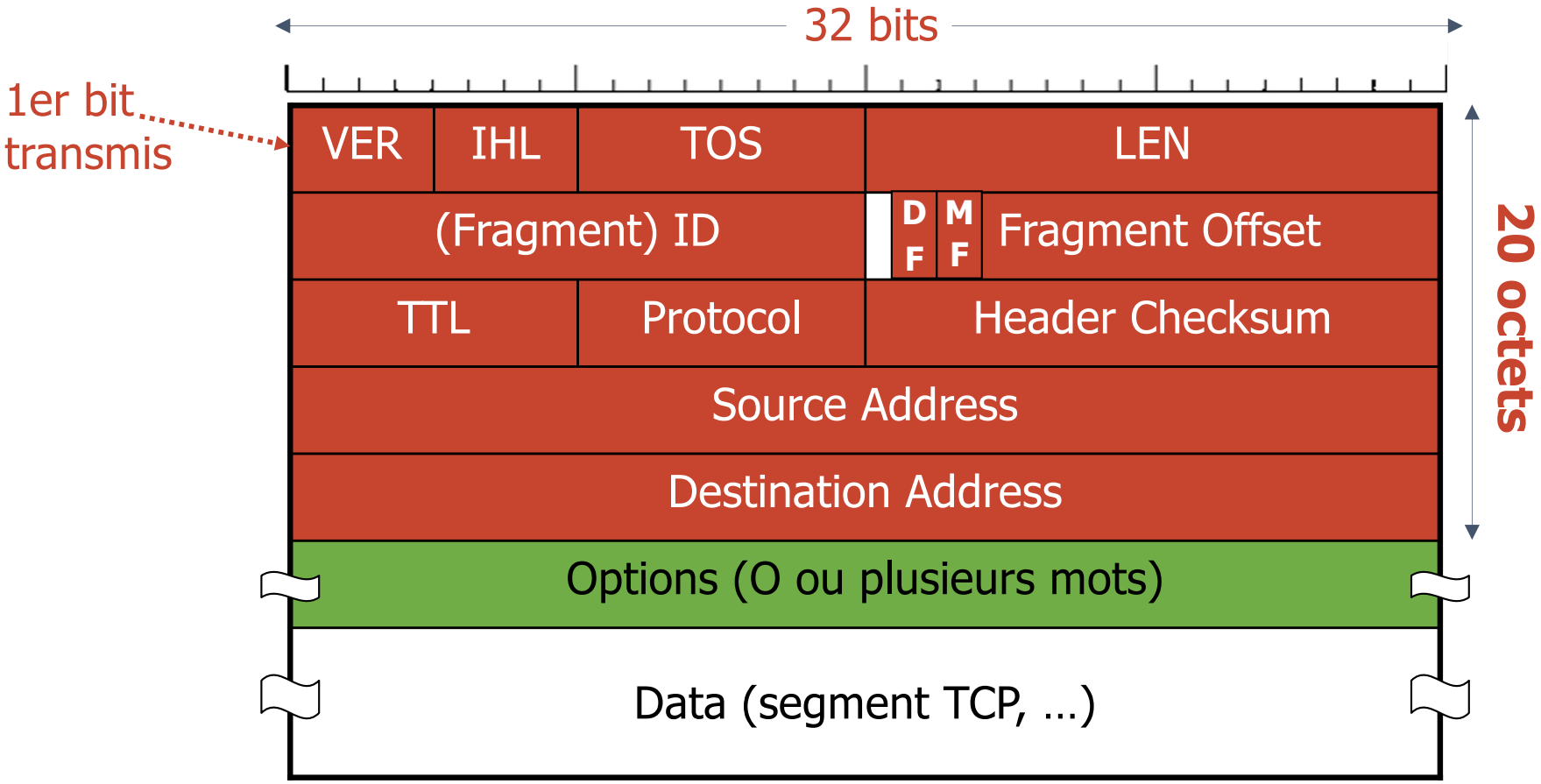
Exemple de requête entrante





Format de l'en-tête IPv4

- Un en-tête de 20 octets + une partie facultative de longueur variable (options)



La fragmentation des datagrammes IPv4

Exemple (valeurs en décimal) :

MTU de 128 octets (soit 108 octets de données IP par fragment), l'offset devant être un multiple de 8 octets -> 13*8=104 octets

Datagramme origine

4	5	00	LEN=**368**
ID=12001		0 0	Offset=**0**
TTL	Pro=6	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Data (348 octets)			

F1

4	5	00	LEN=**124**
ID=12001		0 1	Offset=**0**
TTL	Pro=6	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Data (104 octets)			

F2

4	5	00	LEN=**124**
ID=12001		0 1	Offset=**13**
TTL	Pro=6	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Data (104 octets)			

F3

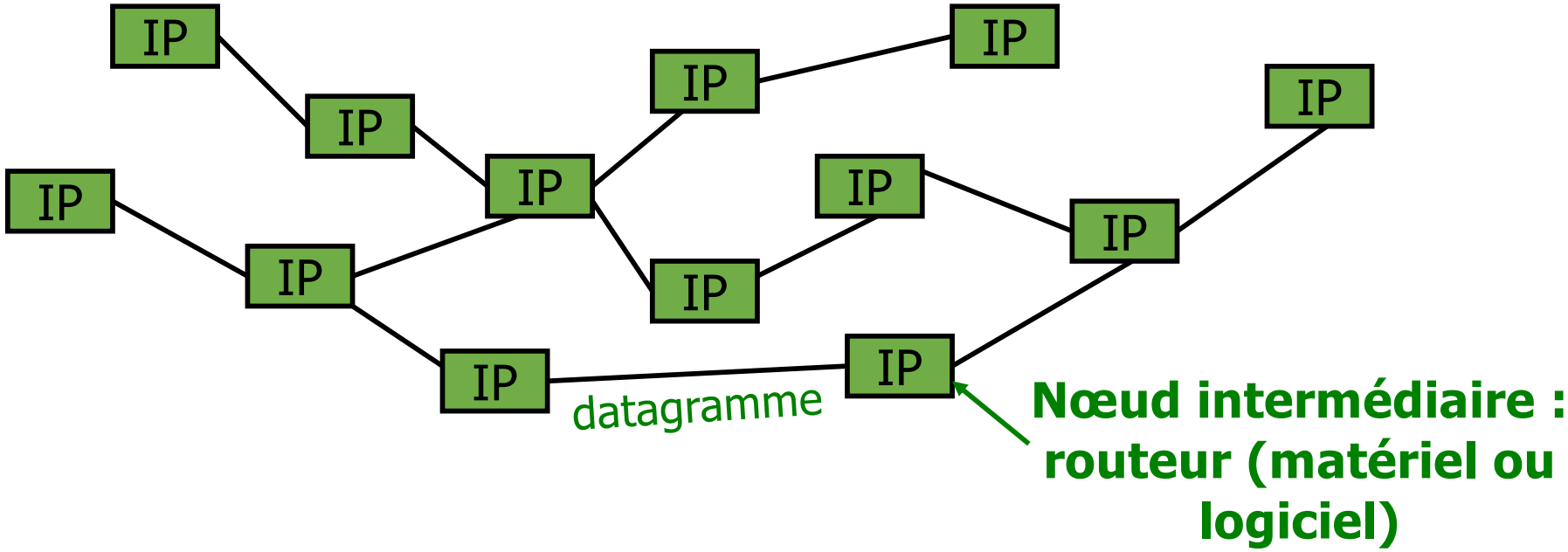
4	5	00	LEN=**124**
ID=12001		0 1	Offset=**26**
TTL	Pro=6	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Data (104 octets)			

F4

4	5	00	LEN=**56**
ID=12001		0 0	Offset=**39**
TTL	Pro=6	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Data (36 octets)			

Caractéristiques du protocole IP

Couche réseau : communications entre machines



- IP - protocole d'interconnexion, best-effort
  - acheminement de **datagrammes** (mode **non connecté**)
  - peu de fonctionnalités, pas de garanties
  - simple mais robuste (à la défaillance d'un nœud intermédiaire)

Pourquoi l'IPv6 ?

- Espace d'adressage plus important
- Amélioration du traitement des paquets
- Élimination du besoin d'adresses réseau (NAT)

- 4 milliards d'adresses IPv4
  4 000 000 000
- 340 undécillions d'adresses IPv6
  340 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

Les adresses IPv6

- Comportent 128 bits, sous la forme d'une chaîne de valeurs hexadécimales
- Dans l'adressage IPv6, 4 bits représentent un seul chiffre hexadécimal, 32 valeurs hexadécimales = adresse IPv6

2001:0DB8:0000:1111:0000:0000:0000:0200

FE80:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF

- Un hextet fait référence à un segment de 16 bits ou quatre hexadécimales
- Peuvent être écrites en minuscules ou en majuscules