

Lyon 1



département
Informatique

Université Claude Bernard Lyon 1

Licence Math-Informatique 1^{ère} année

Partie 7

Olivier Glück

Université LYON 1 / Département Informatique

Olivier.Gluck@univ-lyon1.fr

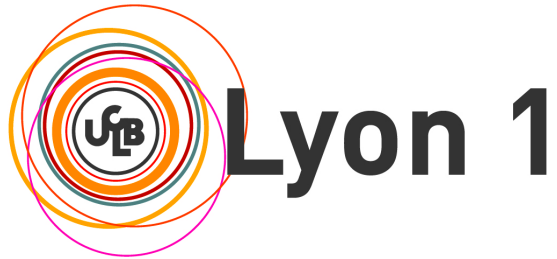
<http://perso.univ-lyon1.fr/olivier.gluck>

Copyright

- Copyright © 2024 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

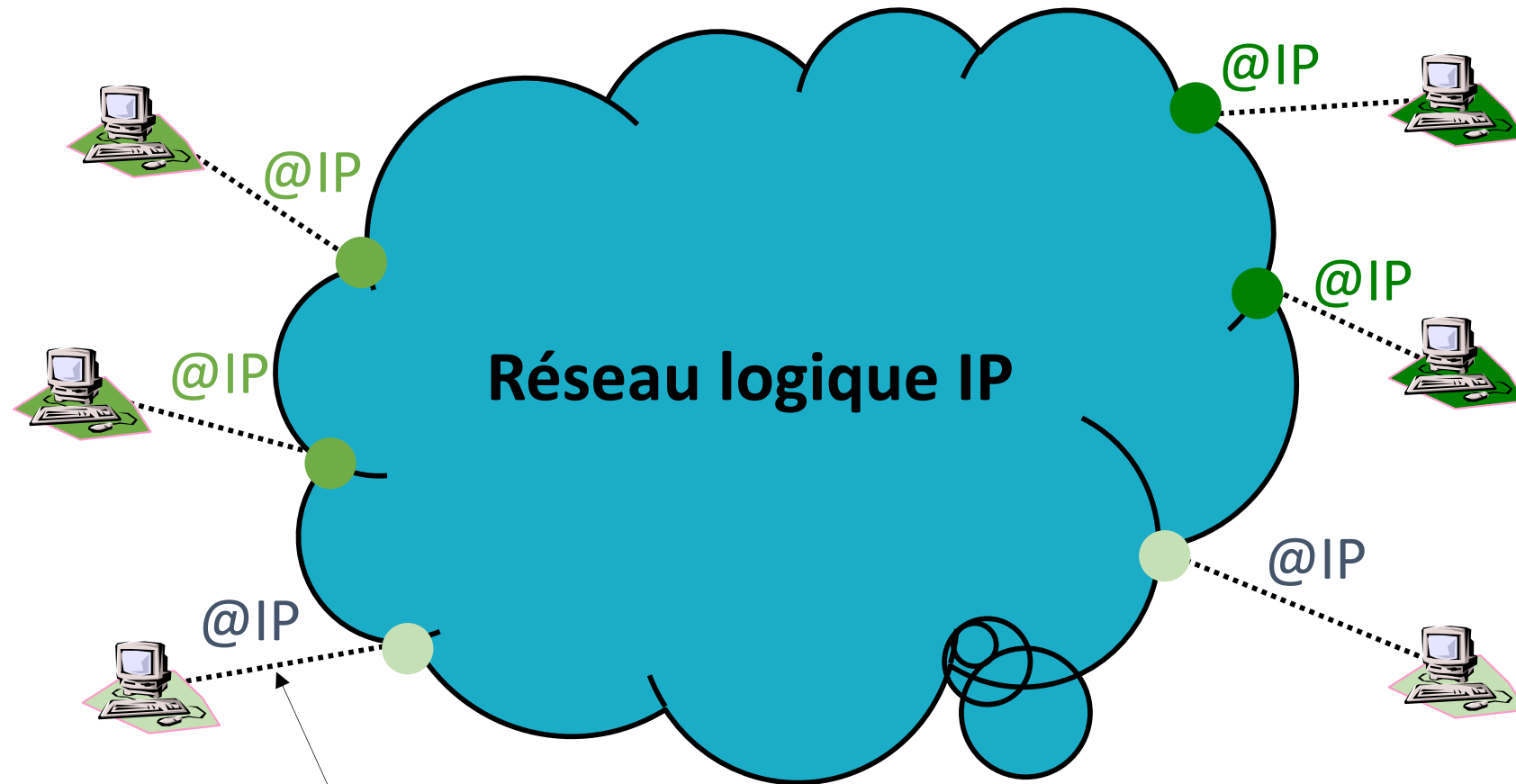
Format de l'en-tête, fragmentation

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

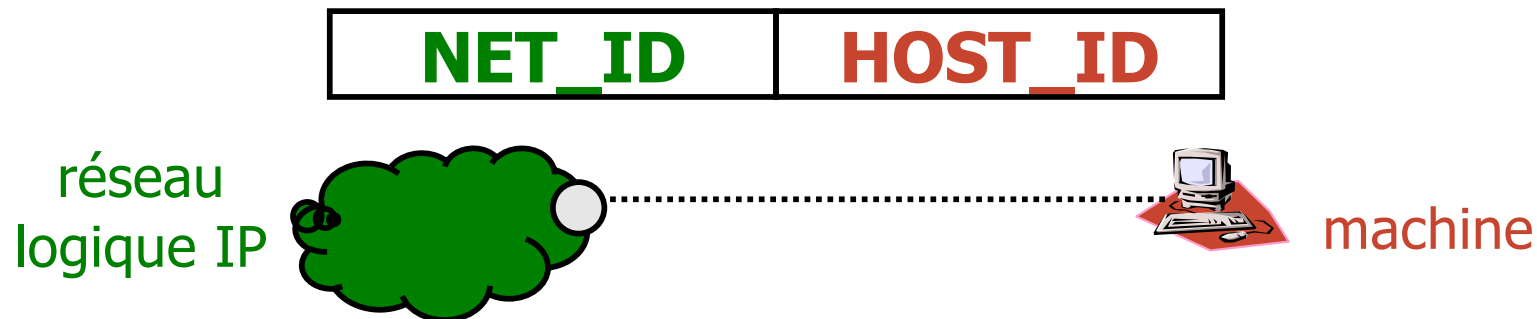
Internet du point de vue de l'utilisateur



Connexion virtuelle au réseau logique

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 .)

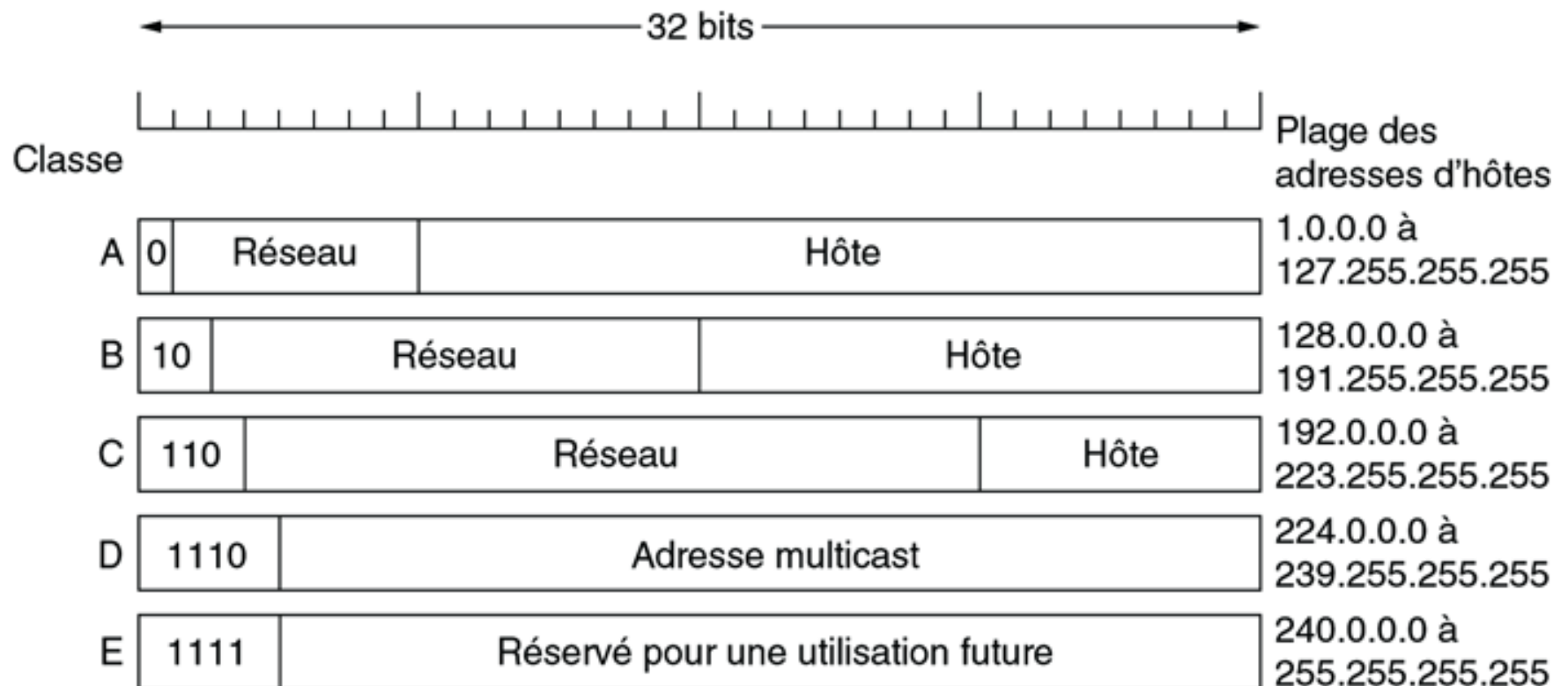
Exemples :

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

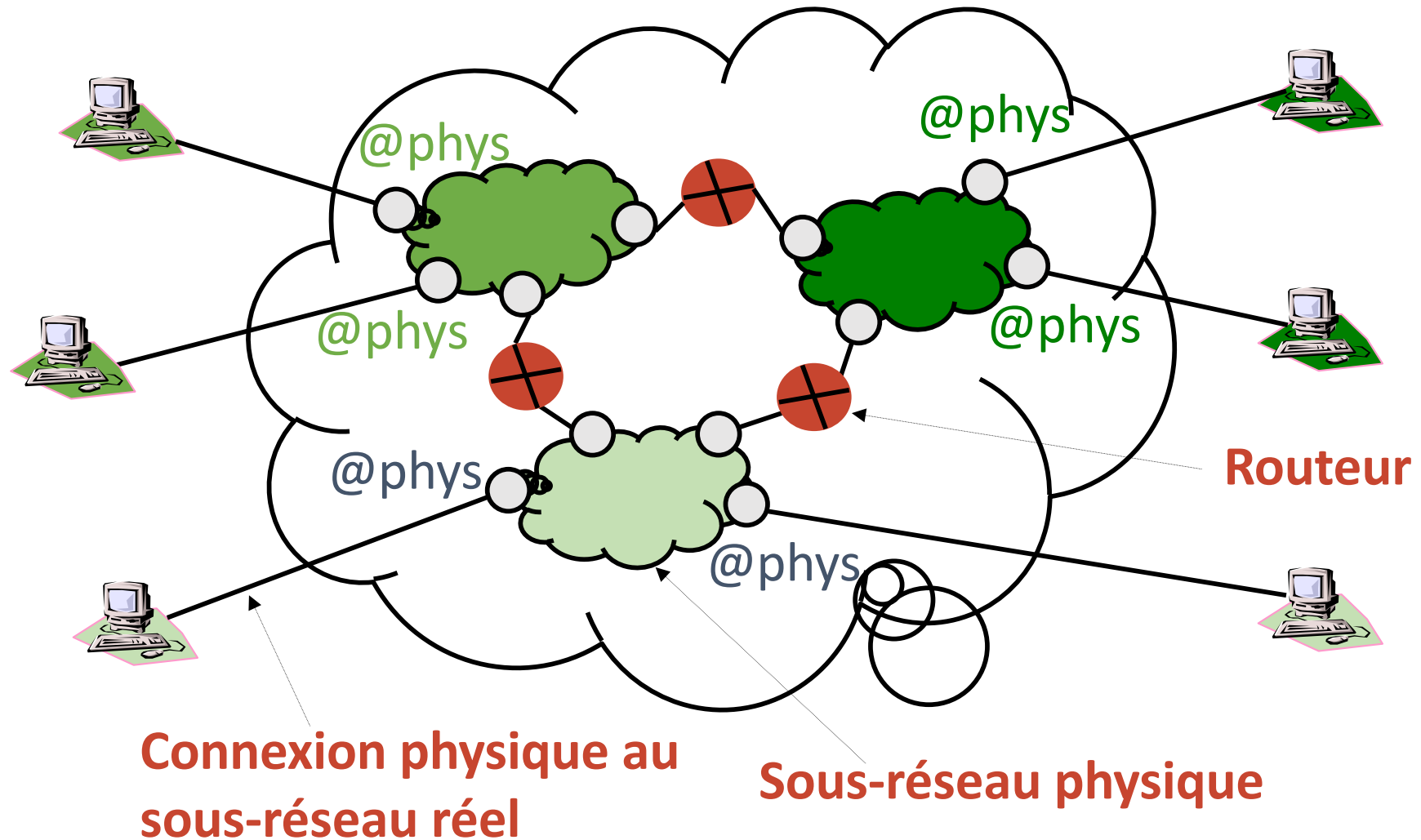
Adresses IPv4 particulières

- 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

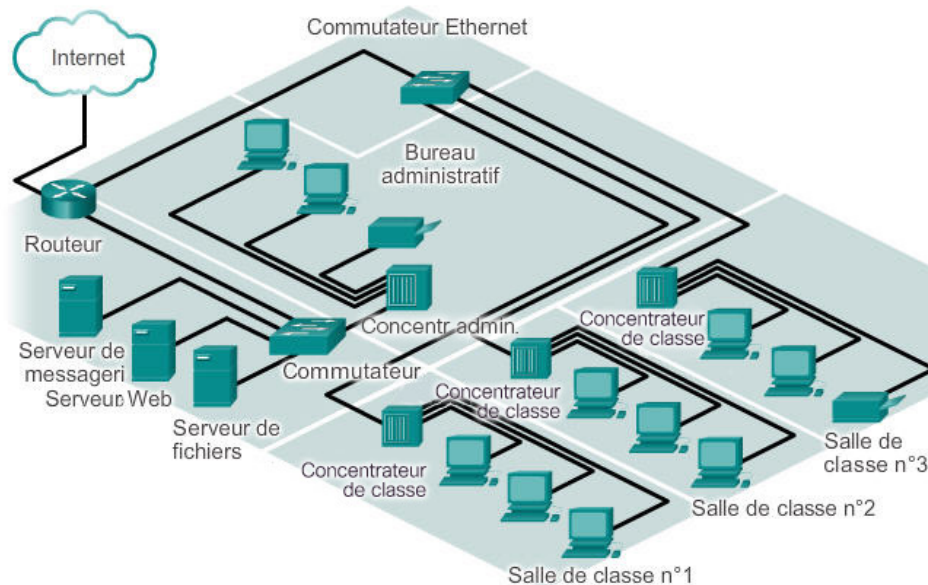
- Adresses privées (RFC 1918)
 - des adresses qui ne seront jamais attribuées (usage strictement privé) et qui ne sont pas routées sur l'Internet
 - classe A : **de 10.0.0.0 à 10.255.255.255**
 - classe B : **de 172.16.0.0 à 172.31.255.255**
 - classe C : **de 192.168.0.0 à 192.168.255.255**
- Si une entreprise qui utilise des adresses privées souhaite 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

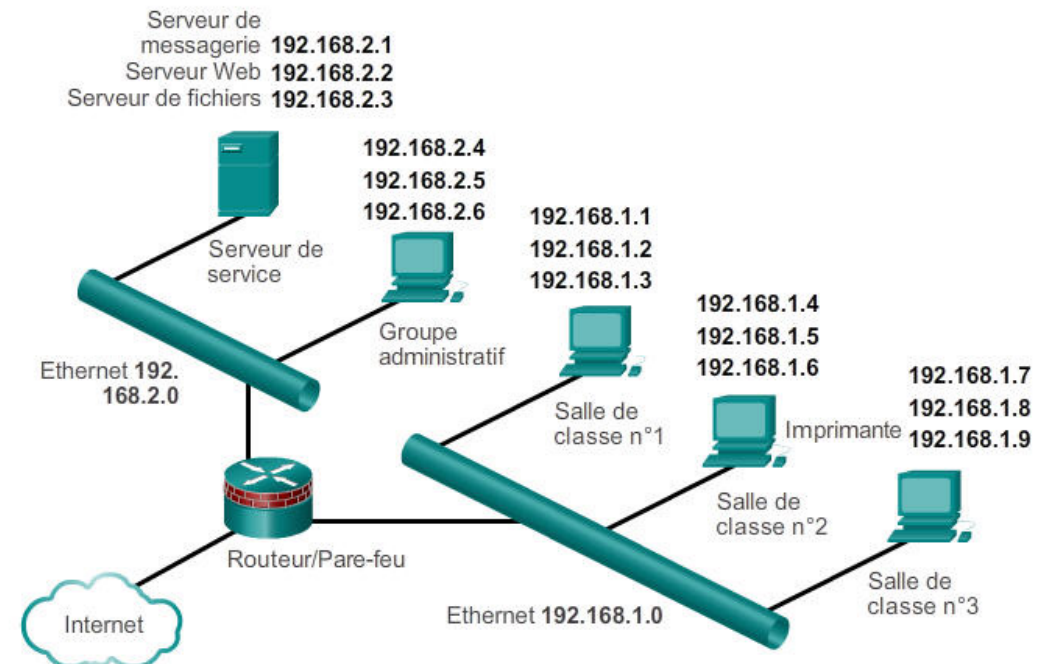


Topologie physique/logique

Topologie physique

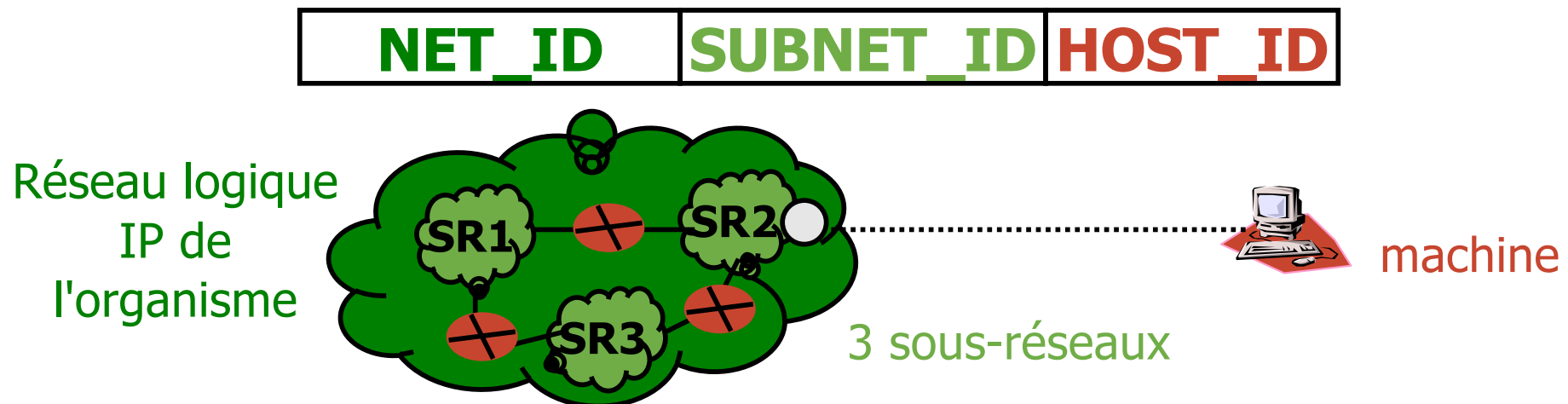


Topologie logique



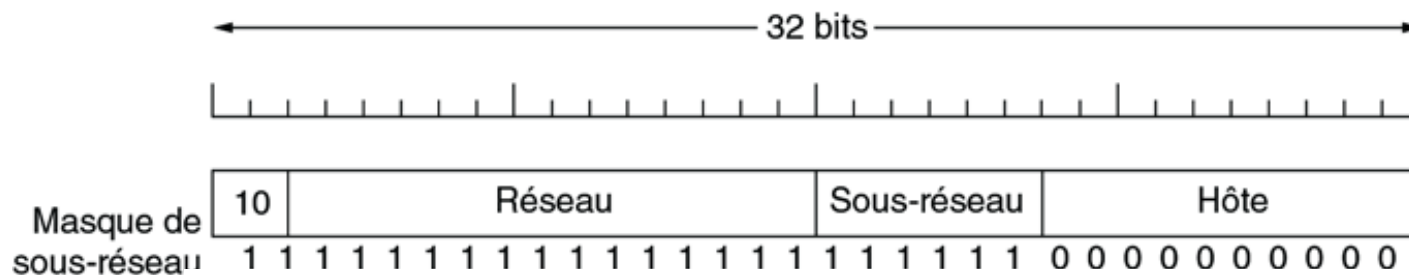
Les sous-réseaux

- 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)



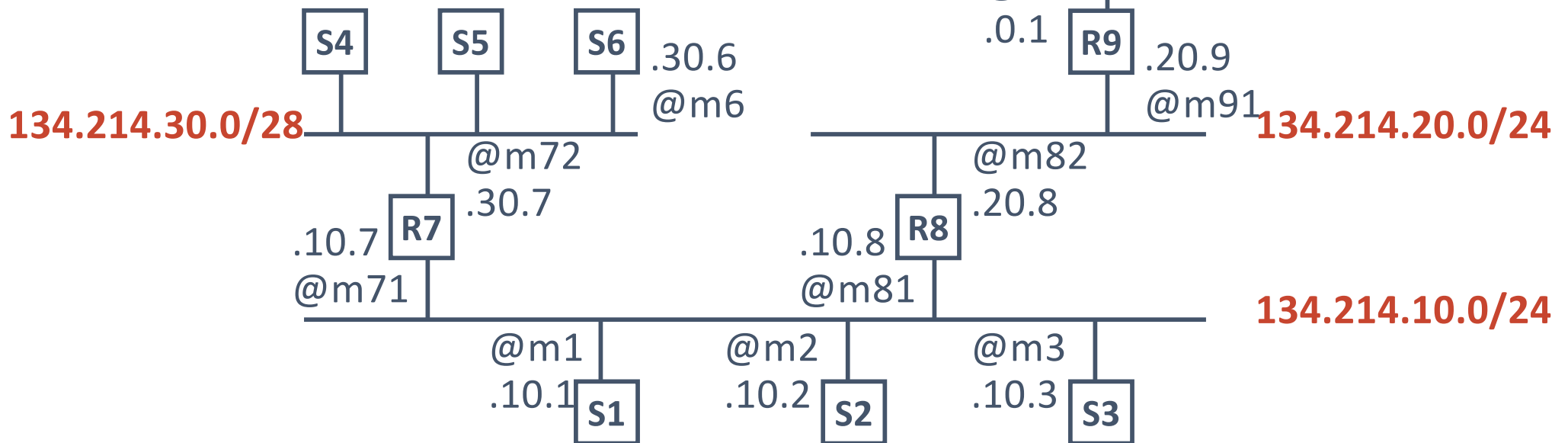
Adresse de classe B dont 6 bits sont réservés à la numérotation des sous-réseaux

Exemple de routage IPv4

Table de routage de S2

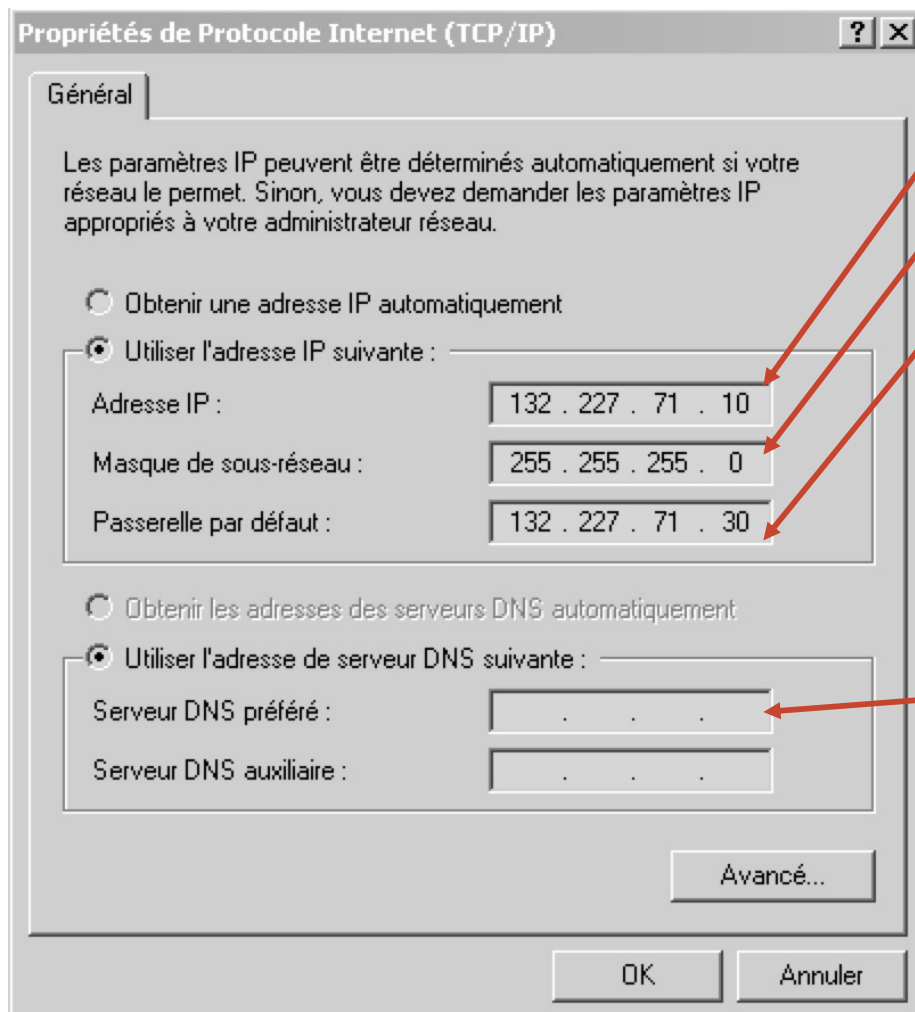
destination	netmask	gateway	int	cost
134.214.10.0	255.255.255.0	-	eth0	0
134.214.30.0	255.255.255.240	134.214.10.7	-	1
default	0.0.0.0 ou /0	134.214.10.8	-	-

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 numérotter 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 4^{ème} 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_suisant-1 : $192.168.8.95$

Exemple de table de routage d'hôte IPv4



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

```
<Output omitted>
```

```
IPv4 Route Table
```

```
=====
```

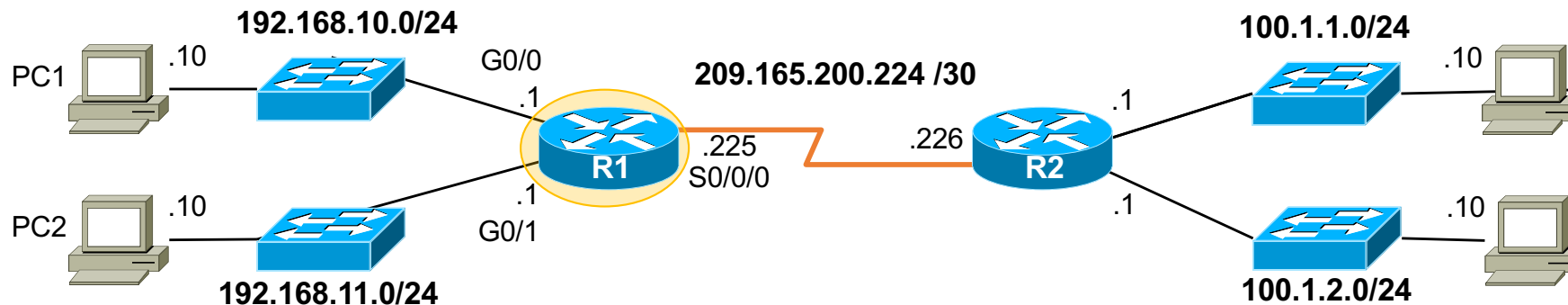
```
Active Routes:
```

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

```
=====
```

```
<Output omitted>
```

Table de routage d'un routeur IPv4



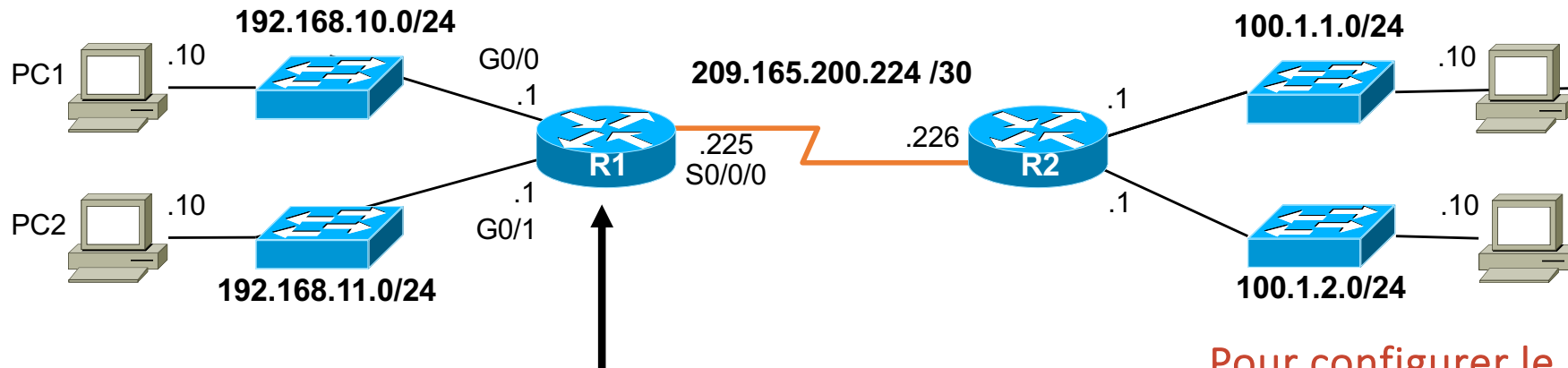
```
R1#show ip route
```

```
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP  
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area  
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2  
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP  
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area  
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR  
P - periodic downloaded static route
```

```
Gateway of last resort is not set
```

```
100.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks  
D    100.1.1.0/24 [90/2170112] via 209.165.200.226, 00:00:05, Serial10/0/0  
D    100.1.2.0/24 [90/2170112] via 209.165.200.226, 00:00:05, Serial10/0/0  
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, Serial10/0/0  
L    209.165.200.225/32 is directly connected, Serial10/0/0
```

Etapes de la configuration d'un routeur



```
Router> enable
Router# configure terminal
Enter configuration commands, one per line.
Terminez par CNTL/Z.
Router(config)# hostname R1
R1(config)#
```

OU

```
Router> en
Router# conf t
Enter configuration commands, one per line.
Terminez par CNTL/Z.
Router(config)# ho R1
R2(config)#
```

Pour configurer le
routeur

Donne un nom
au routeur

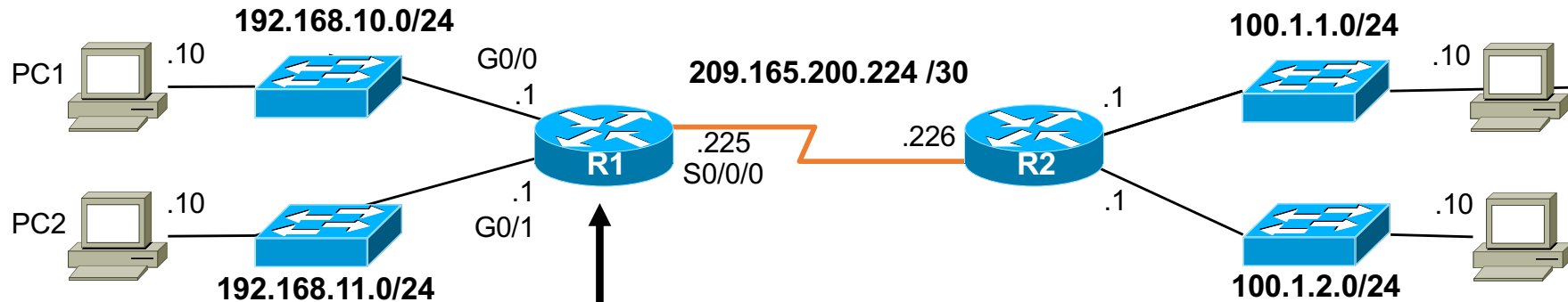
```
R1(config)# ip route 100.1.1.0/24 209.165.200.226
R1(config)# ip route 100.1.2.0/24 209.165.200.226
R1(config)#
```

Ajout des routes vers les 2
réseaux distants

```
R1# copy running-config startup-config
Destination filename [startup-config]?
Building configuration...
[OK]
```

Sauvegarde de la configuration
courante pour le prochaine
démarrage du routeur

Configuration des interfaces d'un routeur



```
R1# conf t
```

```
Enter configuration commands, one per line.  Terminez par CNTL/Z.
```

```
R1(config)#
```

```
R1(config)# interface gigabitethernet 0/0
```

Configuration
de l'interface
G0/0

```
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
```

```
R1(config-if)# exit
```

```
R1(config)#
```

```
R1(config)# int g0/1
```

Configuration
de l'interface
G0/1

```
R1(config-if)# ip addr 192.168.11.1 255.255.255.0
```

```
R1(config-if)# des Link to LAN-11
```

```
R1(config-if)# no shut
```

```
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/1, changed state to up
```

```
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/1,
```

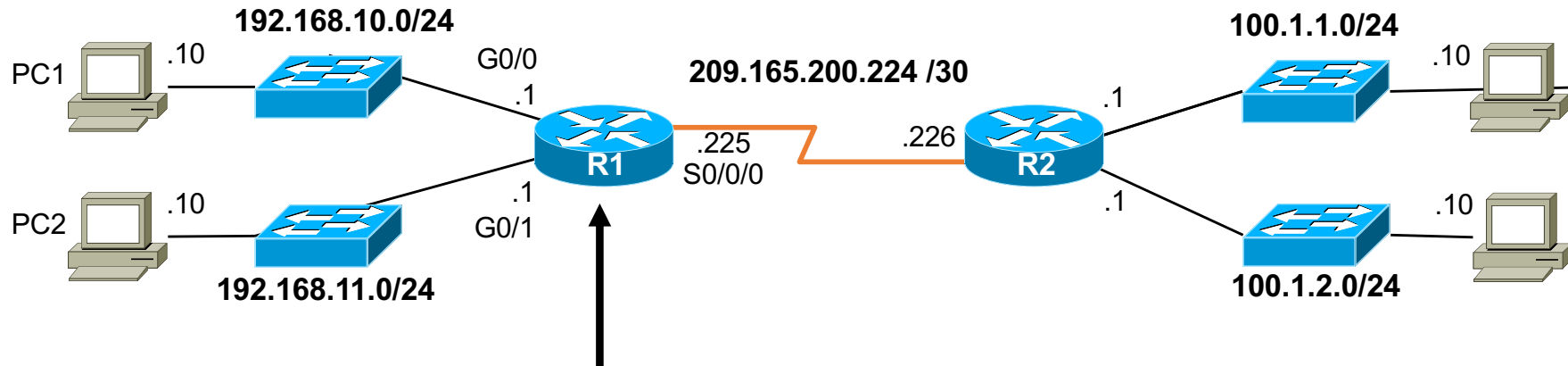
```
changed state to up
```

```
R1(config-if)# exit
```

Il manque la configuration de S0/0/0

```
R1(config)#
```


Vérification de la config. des interfaces



```
R1# show ip interface brief
Interface                IP-Address      OK? Method Status      Protocol
GigabitEthernet0/0      192.168.10.1    YES manual  up          up
GigabitEthernet0/1      192.168.11.1    YES manual  up          up
Serial0/0/0              209.165.200.225 YES manual  up          up
Serial0/0/1              unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Vlan1                    unassigned      YES NVRAM   administratively down down
R1#
R1# ping 209.165.200.226

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 209 165 200 226, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/2/9 ms

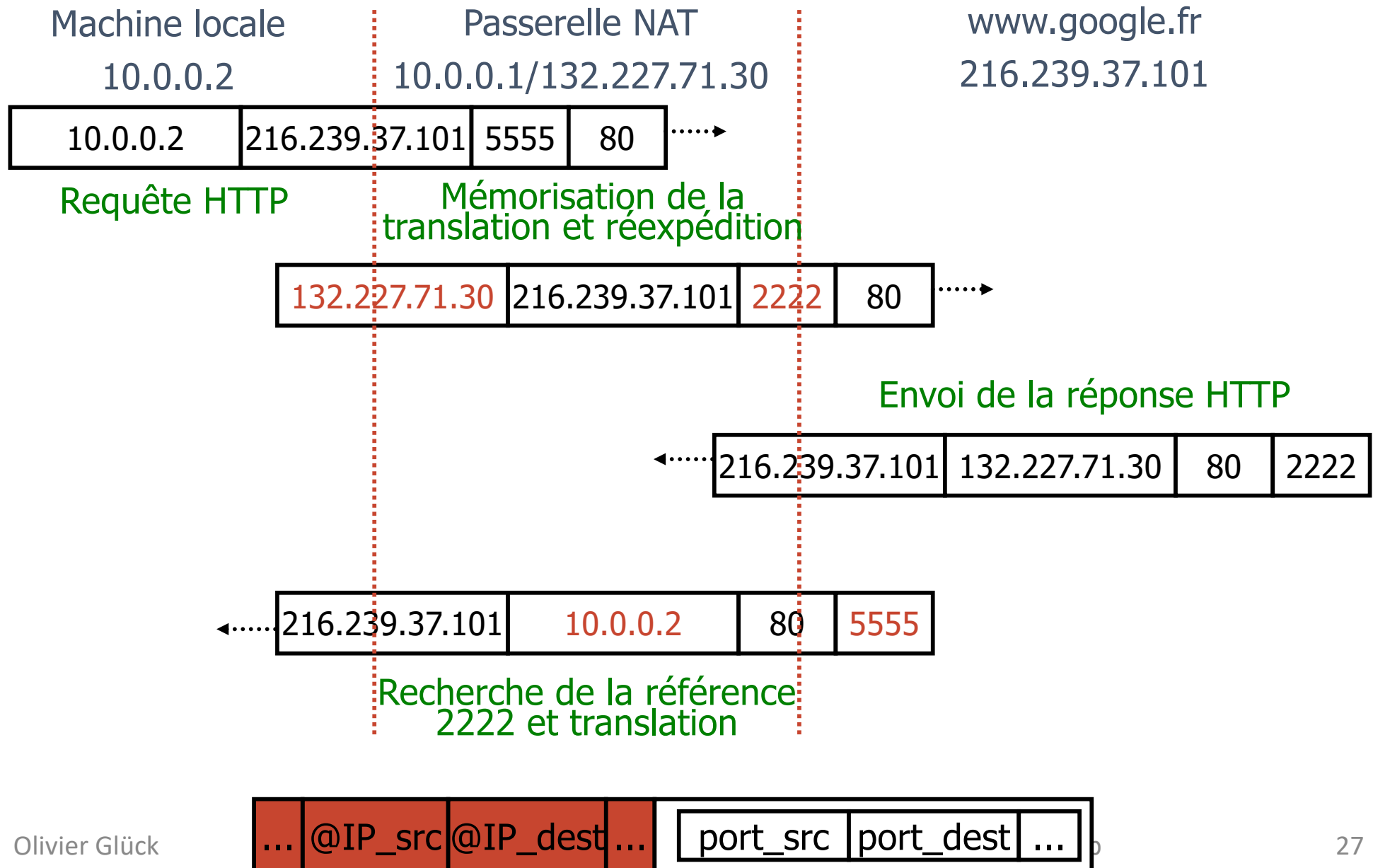
R1#
```

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

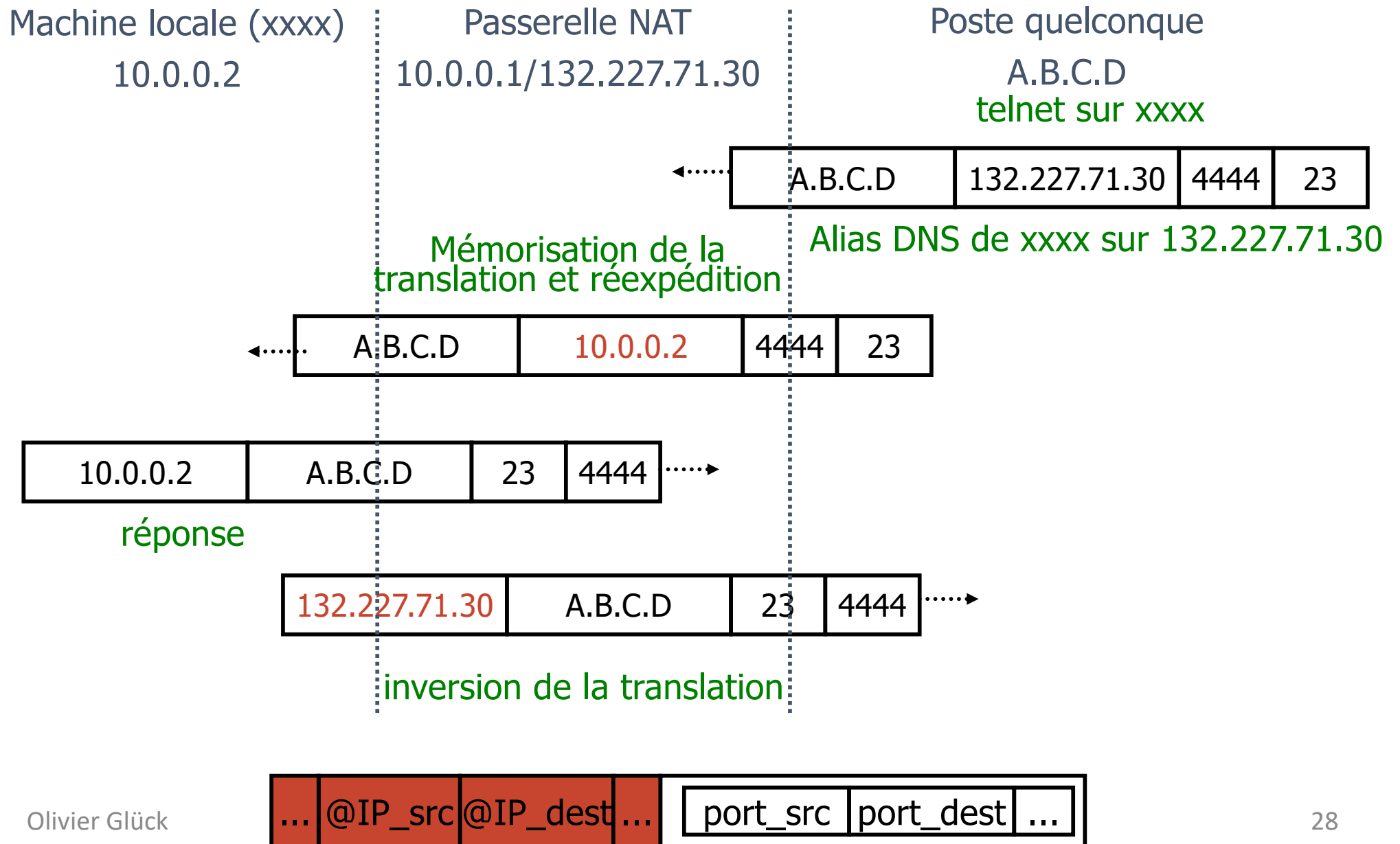
NAT - IP masquerading

Exemple de requête sortante



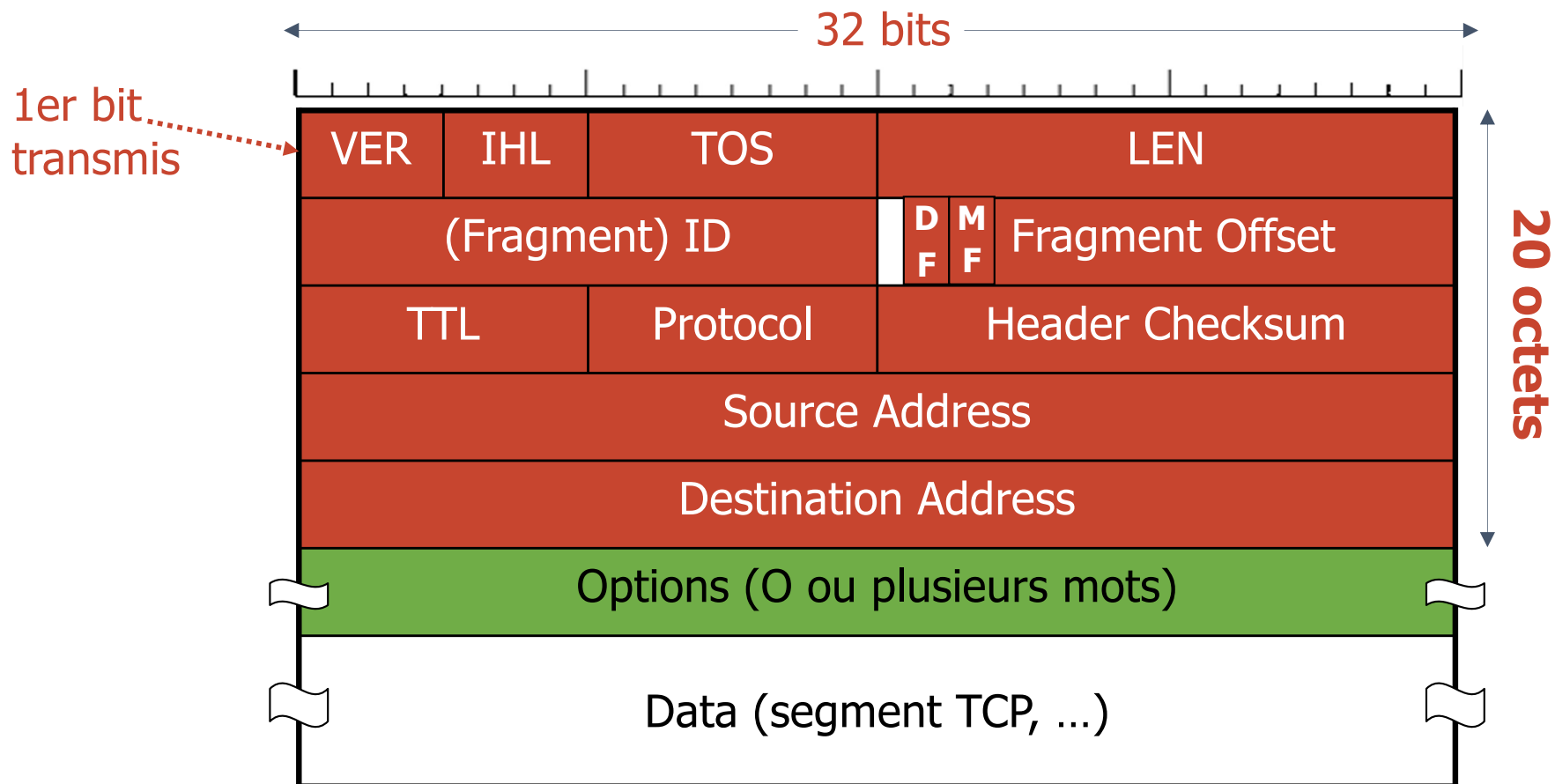
NAT - port forwarding

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 -> $13 \cdot 8 = 104$ octets

Datagramme origine

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

F1

4	5	00	LEN=124
ID=12001		01	Offset=0
TTL	Pro=6	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Data (104 octets)			

F2

4	5	00	LEN=124
ID=12001		01	Offset=13
TTL	Pro=6	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Data (104 octets)			

F3

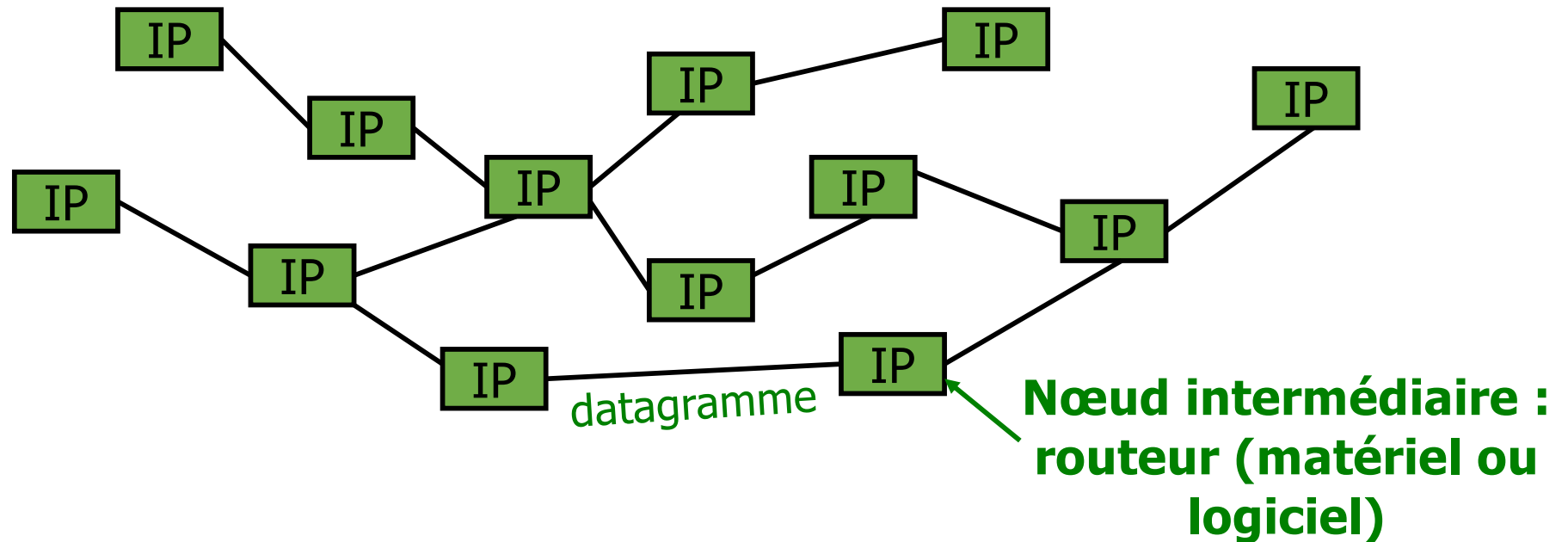
4	5	00	LEN=124
ID=12001		01	Offset=26
TTL	Pro=6	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Data (104 octets)			

F4

4	5	00	LEN=56
ID=12001		00	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
340 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

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

Exemple de table de routage d'hôte IPv6

fe80::2c30:3071:e718:a926/128
2001:db8:9d38:953c:2c30:3071:e718:a926/128



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

```
<Output omitted>
```

```
IPv6 Route Table
```

```
-----  
Active Routes:
```

If	Metric	Network	Destination	Gateway
16	58	::/0		On-link
1	306	:::1/128		On-link
16	58	2001::/32		On-link
16	306	2001:0:9d38:953c:2c30:3071:e718:a926/128		On-link
15	281	fe80::/64		On-link
16	306	fe80::/64		On-link
16	306	fe80::2c30:3071:e718:a926/128		On-link
15	281	fe80::b1ee:c4ae:a117:271f/128		On-link
1	306	ff00::/8		On-link
16	306	ff00::/8		On-link
15	281	ff00::/8		On-link