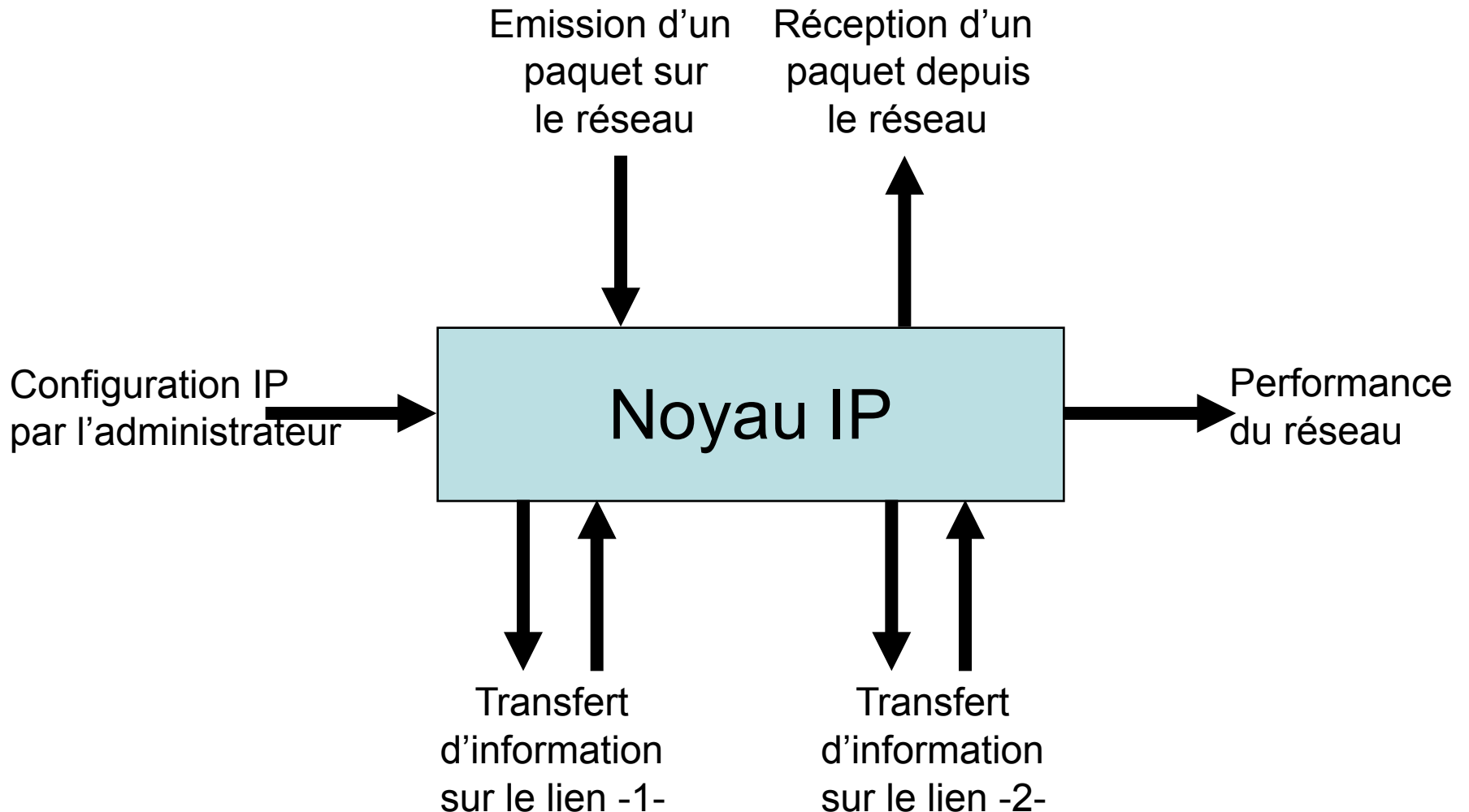




Internet Protocol

*« La couche IP du réseau
Internet »*

Rôle de la couche IP



Structure d'un réseau IP

Matériel hétérogène :

- Liaison série, parallèle ;
- Modems ;
- Liaison par bus (Ethernet 802.3, Tokenbus 802.4) ;
- Liaison en anneau (Tokenring 802.5) ;
- Liaison hertzienne (Wifi 802.11).

Support réseau :

- Modèle non connecté ;
- Adresses sur 32bits (IPv4) ou 128bits (IPv6);
- Adressage / Routage hiérarchique ;
- Administration du routage / outils de mise à jour distribuée.

Adressage

IPv4 : 32 bits

~ 4 Milliards d'adresses

dont ~ 18 Millions d'adresses privées

et ~ 270 Millions d'adresses multicast

convention de représentation :

4 nombres décimaux représentant les 4 octets séparés par des « points »

e.g. 192.168.1.100

IPv6 : 128 bits

~ $3,4 \cdot 10^{38}$...

convention de représentation :

8 groupes de nombres hexadécimaux représentant 16 octets, séparés par « : »

e.g. 2000:FAFC:0000:0000:0000:CA3F:0072:099B

ou

2000:FAFC::CA3F:72:99B

Adressage IPv4

1 machine = 1 Code sur 32Bits = 4 octets

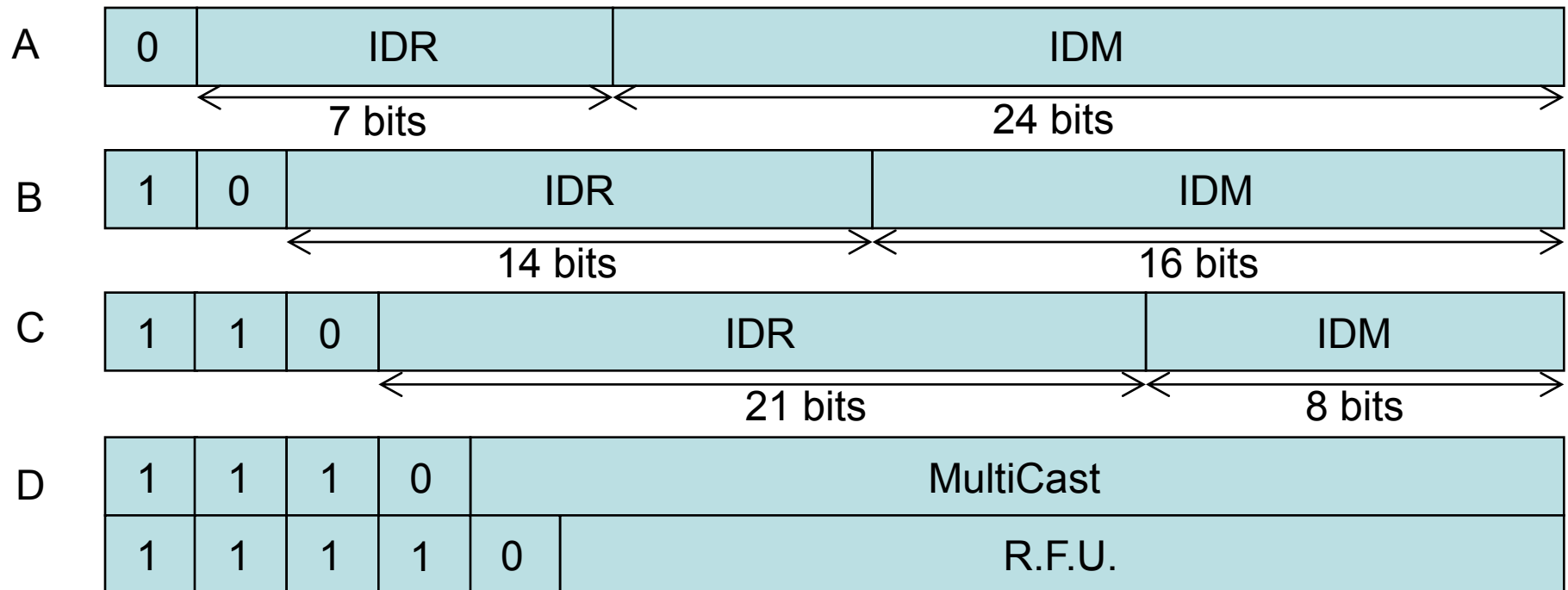
@IP décomposée en 2 parties : (id. réseau, id. machine).

| Classe | Plage d'adresses | Nb de Réseaux | Nb. De machines |
|--------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| A | De 0.0.0.0 à 127.255.255.255 | <127 (2^7) | < 16 millions (2^{24}) |
| B | De 128.0.0.0 à 191.255.255.255 | <16384 (2^{14}) | < 65536 (2^{16}) |
| C | De 192.0.0.0 à 223.255.255.255 | <2 millions (2^{21}) | < 256 (2^8) |
| D | De 224.0.0.0 à 239.255.255.255 | MultiCast | |
| E | De 240.0.0.0 à 247.255.255.255 | R.F.U. | |

Adressage IPv4

Représentation interne d'une @ codée sur 32 bits, décomposée en deux parties :

- Identifiant de réseau (IDR) ;
- Identifiant de machine dans le réseau (IDM).



Adressage IPv4

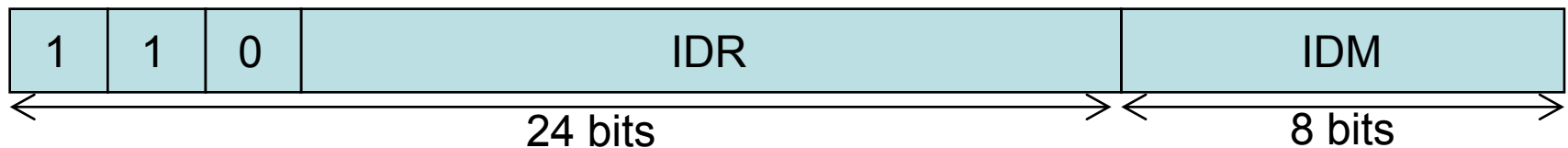
@IP → **IDR / IDM**

Exemple :

@IP de *www.univ-lille1.fr* = 193.49.225.174

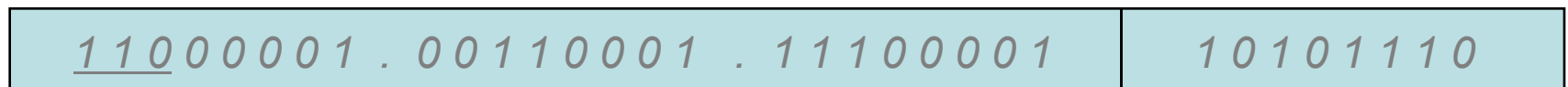
= 11000001 . 00110001 . 11100001 . 10101110

→ Réseau de Classe C



donc

@IP de *www.univ-lille1.fr* = 193.49.225.174 / 24



et l'adresse du Réseau = 193.49.225.0 / 24

Adressage IPv4

@IP → IDR / IDM : *Masque de Réseau*

Exemple (suite ...) :

@IP de *www.univ-lille1.fr* = **193.49.225.174 / 24**

= 11000001.00110001.11100001.10101110 / 24

| | |
|------|---|
| @IP | 1 1 0 0 0 0 0 1 . 0 0 1 1 0 0 0 1 . 1 1 1 0 0 0 0 1 . 1 0 1 0 1 1 1 0 |
| & | & (et bit à bit) |
| Msk | 1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 1 1 1 1 1 1 1 . 0 0 0 0 0 0 0 0 |
| = | = |
| @RSX | 1 1 0 0 0 0 0 1 . 0 0 1 1 0 0 0 1 . 1 1 1 0 0 0 0 1 . 0 0 0 0 0 0 0 0 |

→ On obtient ainsi l'adresse du Réseau **193.49.225.0 / 24**

... le masque / 24 (Notation CIDR) se note aussi

255 . 255 . 255 . 0

Adresses IPv4 particulières

Adresses réservées à des usages particuliers :

- «0.0.0.0» → machine non encore « connectée » ; champ vide
- «idr null, idm fixé» → machine sur le réseau local
- «idr fixé, idm null» → désigne le réseau lui-même
- «idr fixé, 11...1» → broadcast sur le réseau de l'émetteur
- «127.X.Y.Z» → autre possibilité pour désigner la machine locale
- « 10.0.0.0 à 10.255.255.255 »
ou « 172.16.0.0 à 172.31.255.255 »
ou « 192.168.0.0 à 192.168.255.255 »
→ réservé pour des intranets
- « 169.254.0.0 à 169.254.255.255 »,
→ local link autoconfiguré [rfc5735]

Boucle d'or et les trois ours

| Classe | Plage d'adresses | Nb de Réseaux | Nb. De machines |
|--------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| A | De 0.0.0.0 à 127.255.255.255 | <127 (2^7) | < 16 millions (2^{24}) |
| B | De 128.0.0.0 à 191.255.255.255 | <16384 (2^{14}) | < 65536 (2^{16}) |
| C | De 192.0.0.0 à 223.255.255.255 | <2 millions (2^{21}) | < 256 (2^8) |

CLASSFULL



CLASSLESS INTER DOMAIN ROUTING (CIDR)



→ voir «votre» @ IP ADSL (hiérarchie) sur RIPE.NET (ou via la cmd **whois**)

Adressage IPv6

1 machine = 1 Code sur 128Bits = 16 octets

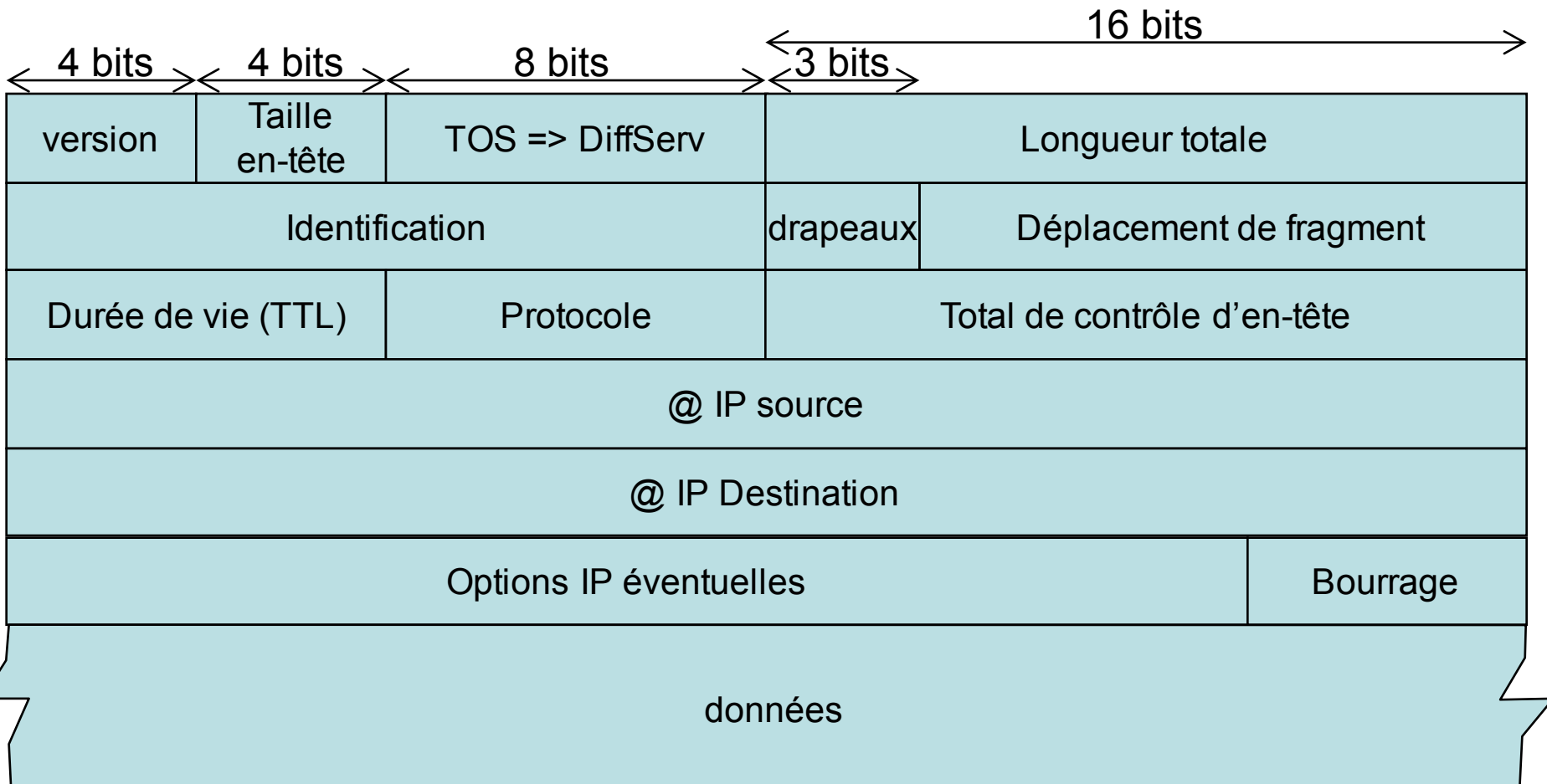
@IP décomposée en 3 parties : (Préfixe, id. sous-réseau, id. machine).

| groupe | Adresses de la forme | Description |
|------------|---|------------------------------|
| ::/8 | 0***.***.***.***.***.***.***.*** | Adresse réservée |
| 2000:/3 | 20**.*.***.***.***.***.***.*** | Adresse unicast « Internet » |
| FC00:/7 /8 | de FC**.*.***.***.***.***.***.*** à FD**.*.***.***.***.***.***.*** | Adresse locale unique |
| FE80:/10 | de FE8*.*.***.***.***.***.***.*** à FEF*.*.***.***.***.***.***.*** | Adresse locale lien |
| FF00:/8 | FF**.*.***.***.***.***.***.*** | Adresse multicast |

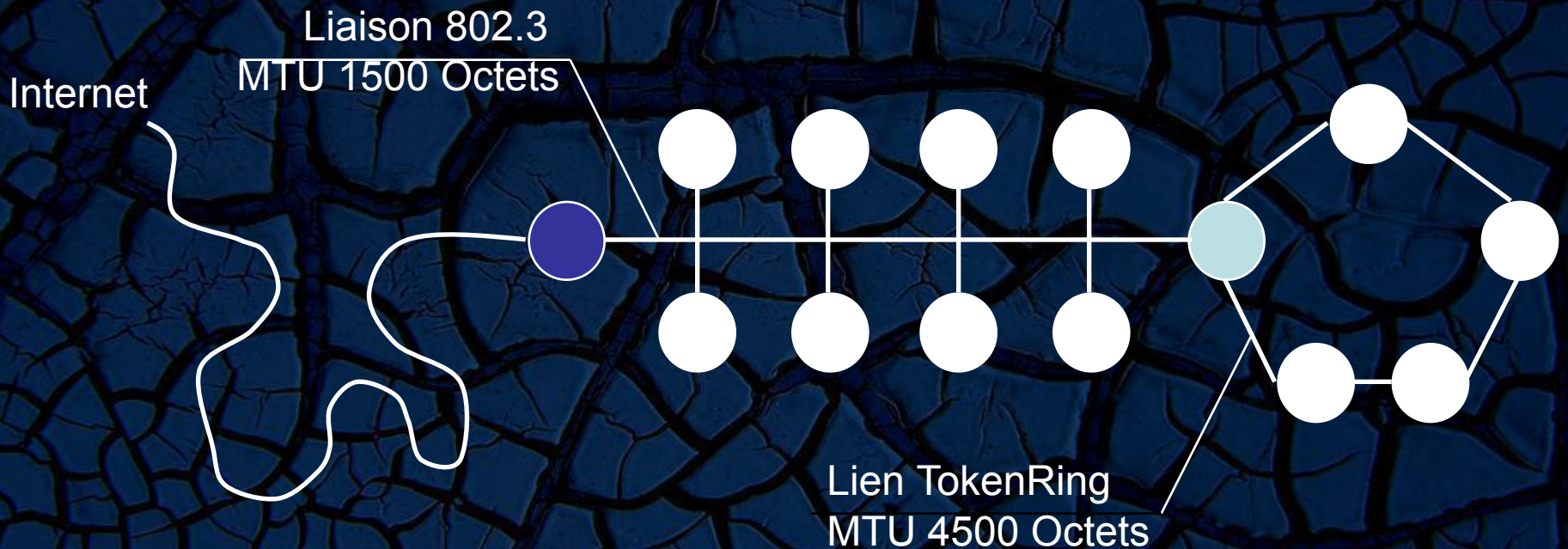
Structure d'un datagramme IPv4

Modèle réseau non connecté.

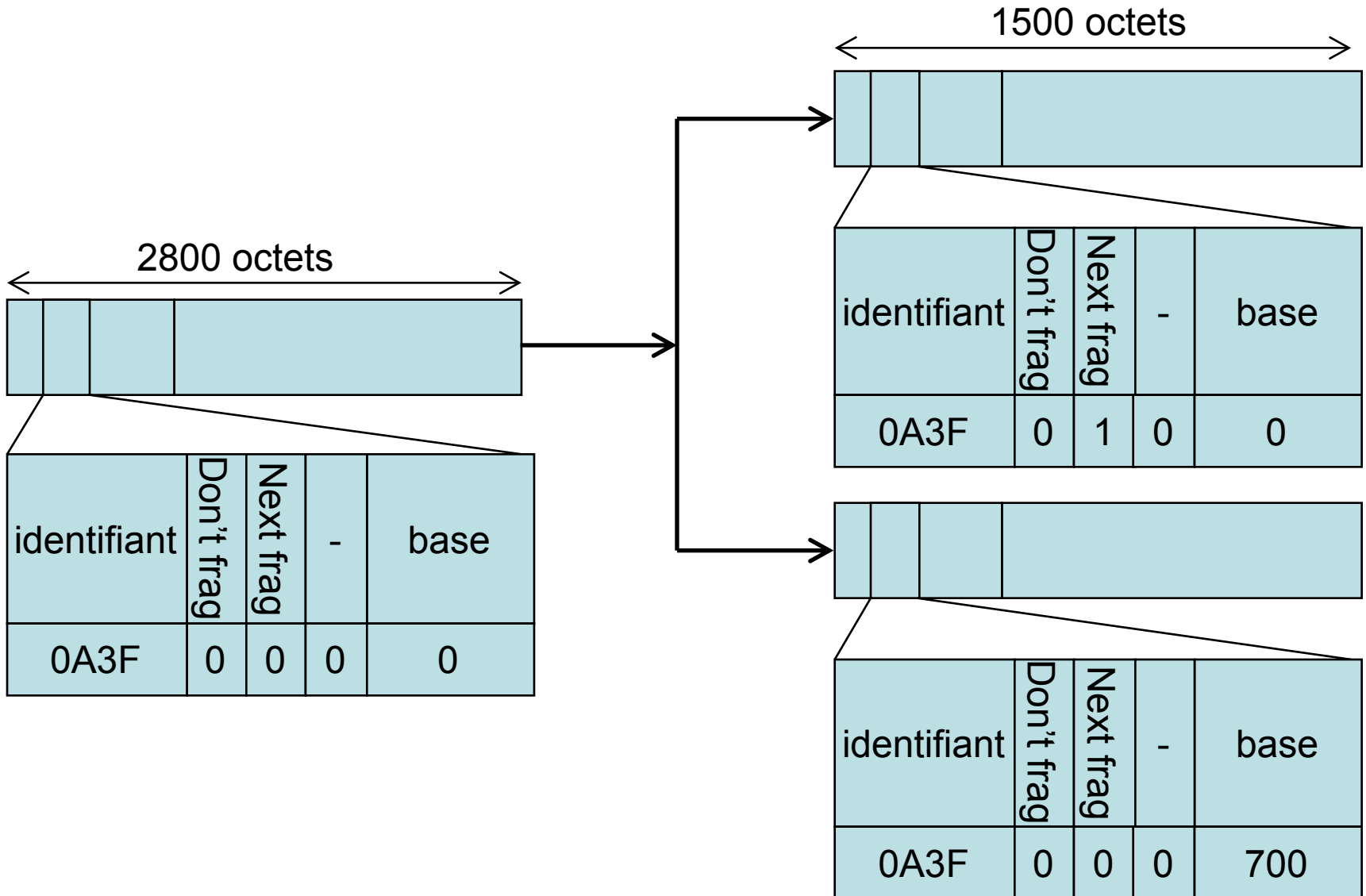
Unité de transport : le datagramme



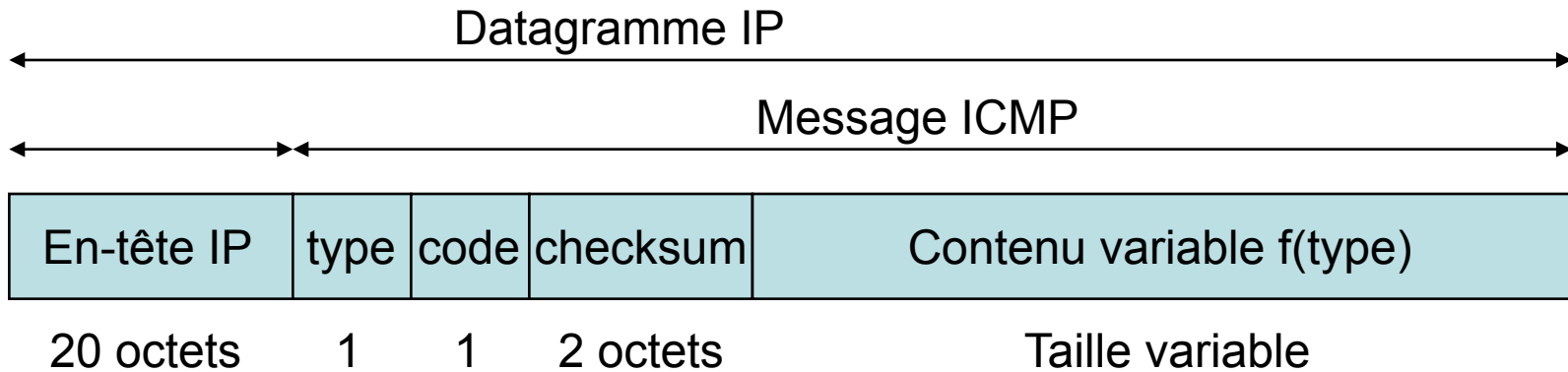
Fragmentation d'un datagramme IP



Fragmentation d'un datagramme IP



Datagrammes particuliers : ICMP



Type = 8 code = 0 : demande d'écho

Type = 0 code = 0 : réponse d'écho

Utilisés par la commande *ping*

Type = 3 compte rendu de réseau inaccessible

code 0 : Rsx HS

code 1 : Machine HS

code 2 : Protocole HS

code 3 : Port HS

code 4 : Fragmentation refusée

code 5 : Echec de route

code 6 : Rsx inconnu

code 7 : Host inconnue

code 8 : obsolète

code 9 : Rsx Interdit

code 10 : Host interdite

code 11 : Rsx service

code 12 : Host service

code 13 : Filtrage

Type = 4 demande de limitation de production (contrôle de flux) [deprecated]

Type = 5 correction de routage (route non optimal détectée) code 0 : Rsx 1 : Machine.

Type = 11 TTL détecté = à 0.

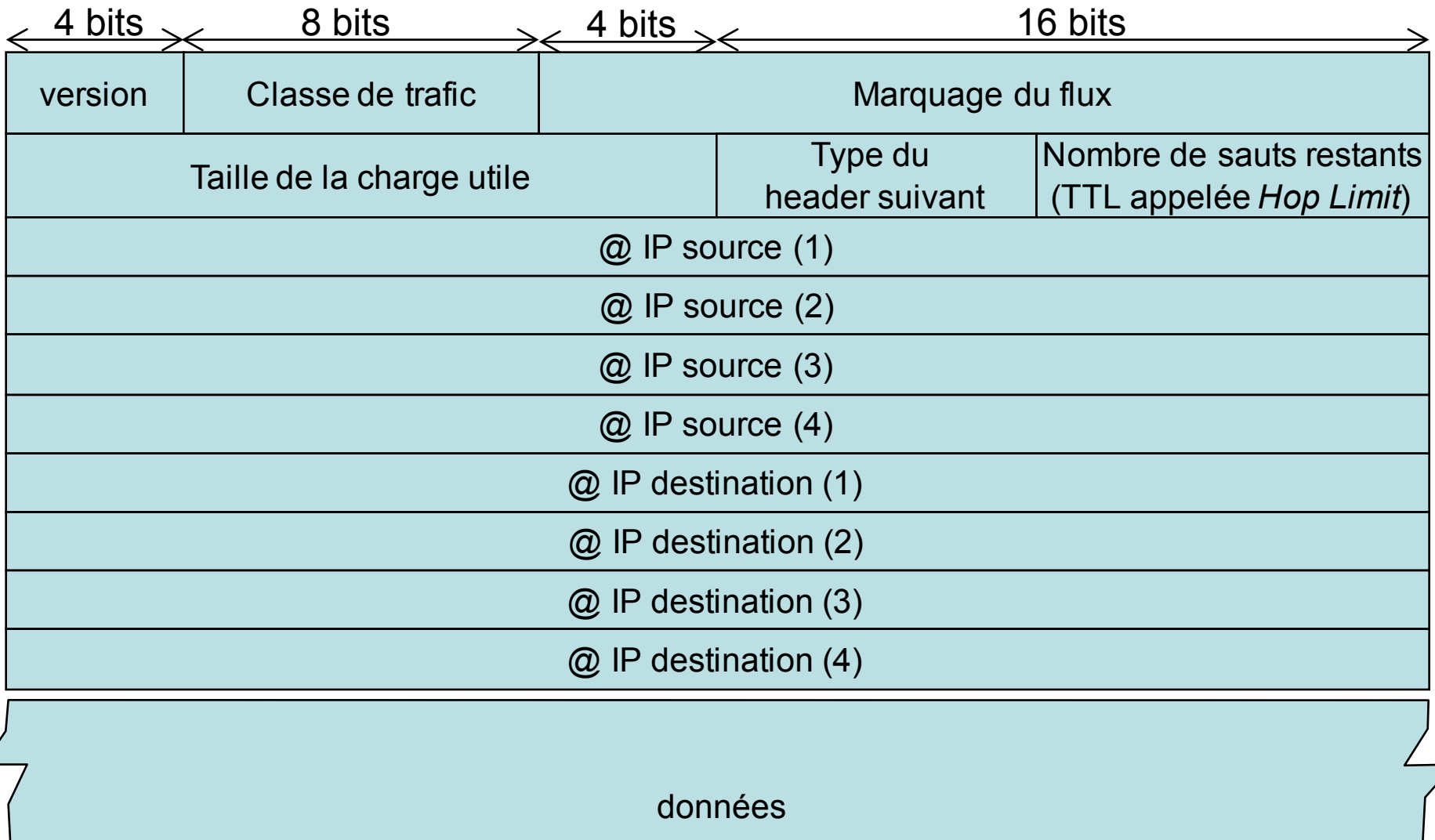
Type = ...

Utilisé par le *path-MTU discovery*

Utilisé par la commande *traceroute*

Structure d'un datagramme IPv6

Modèle réseau non connecté. Unité de transport : le datagramme



Exemple : datagramme IPv6 → ICMPv6 → NDP

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
|-----|----------|---------------------------------|------------------------------|----------|--------|------------------------|
| 4 | 5.352839 | fe80::260:97ff:fe07:69ea | fe80::200:86ff:fe05:80da | ICMPv6 | 78 | Neighbor Advertisement |
| 5 | 5.478595 | 3ffe:507:0:1:260:97ff:fe07:3ffe | 507:0:1:200:86ff:fe05:ICMPv6 | | 86 | Neighbor Solicitation |
| 6 | 5.479045 | 3ffe:507:0:1:200:86ff:fe05:3ffe | 507:0:1:260:97ff:fe07:ICMPv6 | | 78 | Neighbor Advertisement |

Frame 5: 86 bytes on wire (688 bits), 86 bytes captured (688 bits)
Ethernet II, Src: 3comCorp_07:69:ea (00:60:97:07:69:ea), Dst: Megahert_05:80:da (00:00:86:05:80:da)

Internet Protocol Version 6, Src: 3ffe:507:0:1:260:97ff:fe07:69ea (3ffe:507:0:1:260:97ff:fe07:69ea), Dst: 3ffe:507:0:1:200:86ff:fe05:80da (3ffe:507:0:1:200:86ff:fe05:80da)

0110 = Version: 6
[0110 = This field makes the filter "ip.version == 6" possible: 6]
.... 0000 0000 = Traffic class: 0x00000000
.... 0000 00.. = Differentiated Services Field: Default (0x00000000)
.... ..0. = ECN-Capable Transport (ECT): Not set
....0 = ECN-CE: Not set
.... 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000

Payload length: 32

Next header: ICMPv6 (58)

Hop limit: 255

Source: 3ffe:507:0:1:260:97ff:fe07:69ea (3ffe:507:0:1:260:97ff:fe07:69ea)
Destination: 3ffe:507:0:1:200:86ff:fe05:80da (3ffe:507:0:1:200:86ff:fe05:80da)

Indique le contenu porté par le paquet IPv6 (récusation possible)
→ Ici, il s'agit d'un contenu ICMPv6

Internet Control Message Protocol v6

Type: Neighbor Solicitation (135)

Code: 0
Checksum: 0x952d [correct]
Reserved: 00000000
Target Address: 3ffe:507:0:1:200:86ff:fe05:80da (3ffe:507:0:1:200:86ff:fe05:80da)

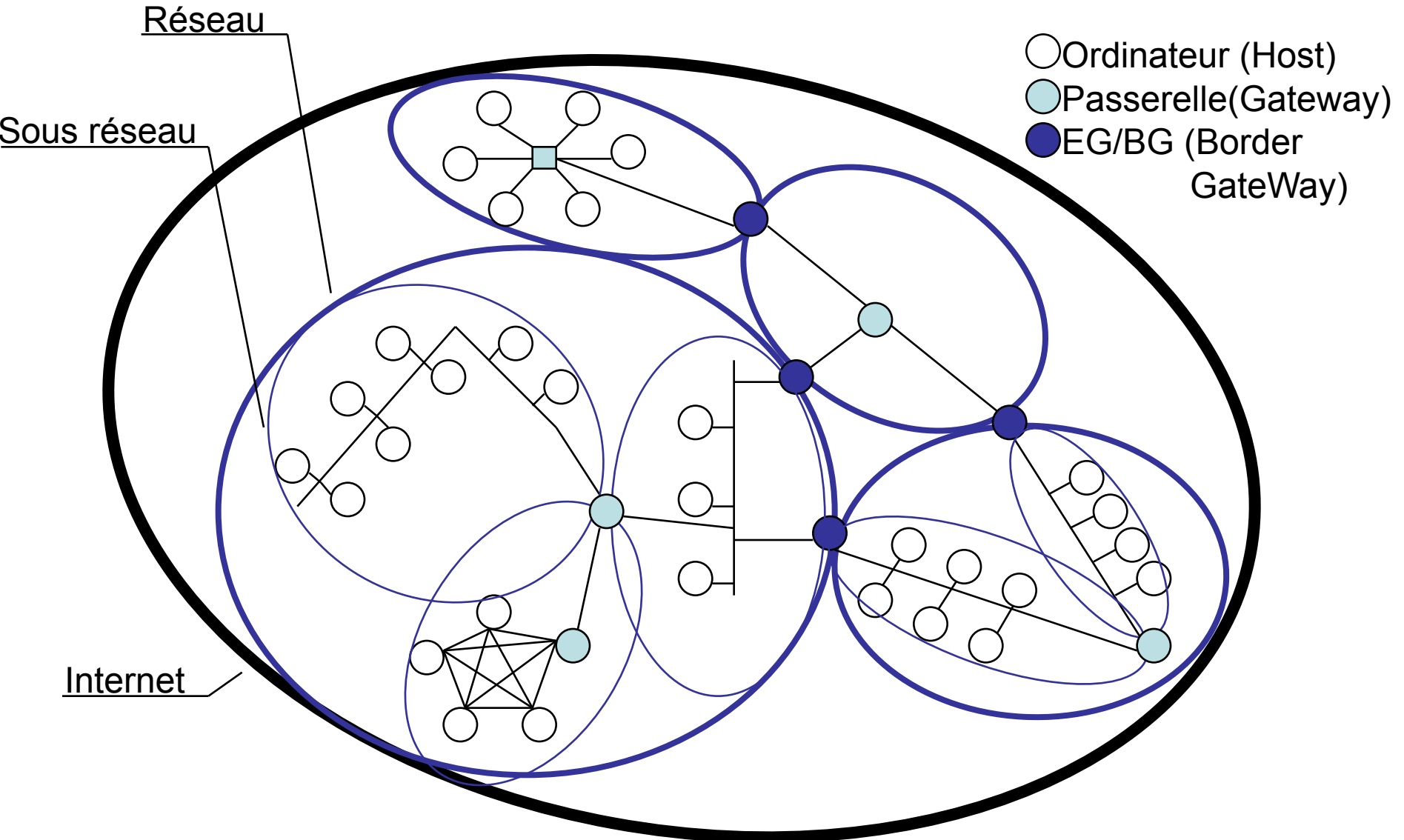
Indique le contenu porté par le paquet ICMPv6
→ Ici, il s'agit d'un contenu NDP (Neighbor Discovery Protocol)

ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:60:97:07:69:ea)
Type: Source link-layer address (1)
Length: 1 (8 bytes)
Link-layer address: 3comCorp_07:69:ea (00:60:97:07:69:ea)

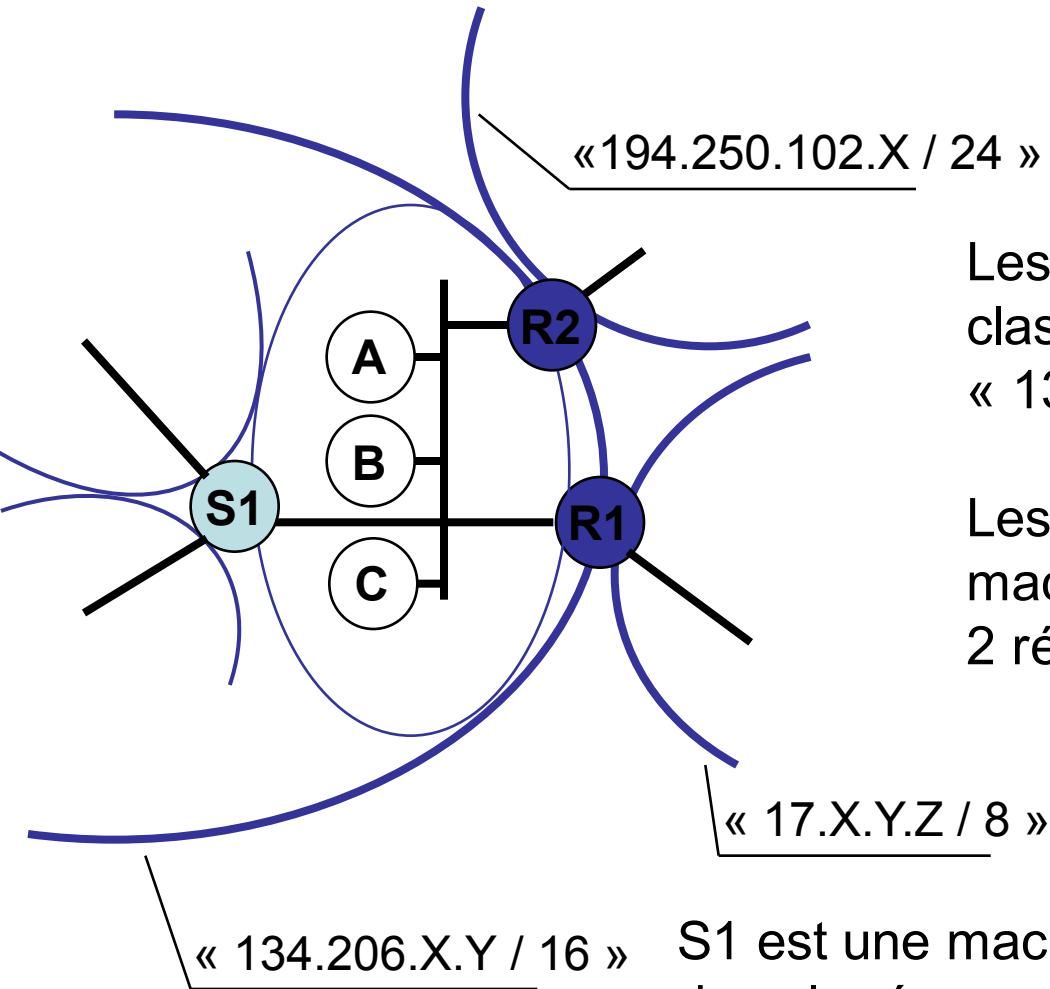
```
0000  00 00 86 05 80 da 00 60 97 07 69 ea 86 dd 60 00
0010  00 00 00 20 3a ff 3f fe 05 07 00 00 00 01 02 60
0020  97 ff fe 07 69 ea 3f fe 05 07 00 00 00 01 02 00
0030  86 ff fe 05 80 da 87 00 95 2d 00 00 00 00 3f fe
0040  05 07 00 00 00 01 02 00 86 ff fe 05 80 da 01 01
0050  00 60 97 07 69 ea
```

```
..... .i...
... :?.....
... i?.....
.....-.....?
.....
..i.
```

Structure d'un réseau IP



Structure d'un réseau IP



Les machines A,B,C sont des machines classiques « Hosts » du réseau :
« 134.206.X.Y »

Les passerelles R1 et R2 sont des machines « Gateway ». Visibles dans 2 réseaux - 2 adresses.

S1 est une machine passerelle de sous réseau dans le réseau « 134.206.X.Y / 16 ».

→ Définition d'un masque de sous réseau.

Masque de sous-réseau

Exemple précédent :

@IP de *www.univ-lille1.fr* = **193.49.225.174 / 24**

= 11000001.00110001.11100001.10101110 / 24

```
@IP      1 1 0 0 0 0 0 1 . 0 0 1 1 0 0 0 1 . 1 1 1 0 0 0 0 1 . 1 0 1 0 1 1 1 0
&
& (et bit à bit)
Msk      1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 1 1 1 1 1 1 1 . 0 0 0 0 0 0 0 0
=
=
@RSX     1 1 0 0 0 0 0 1 . 0 0 1 1 0 0 0 1 . 1 1 1 0 0 0 0 1 . 0 0 0 0 0 0 0 0
→ On obtient ainsi l'adresse du Réseau 193.49.225.0 / 24
```

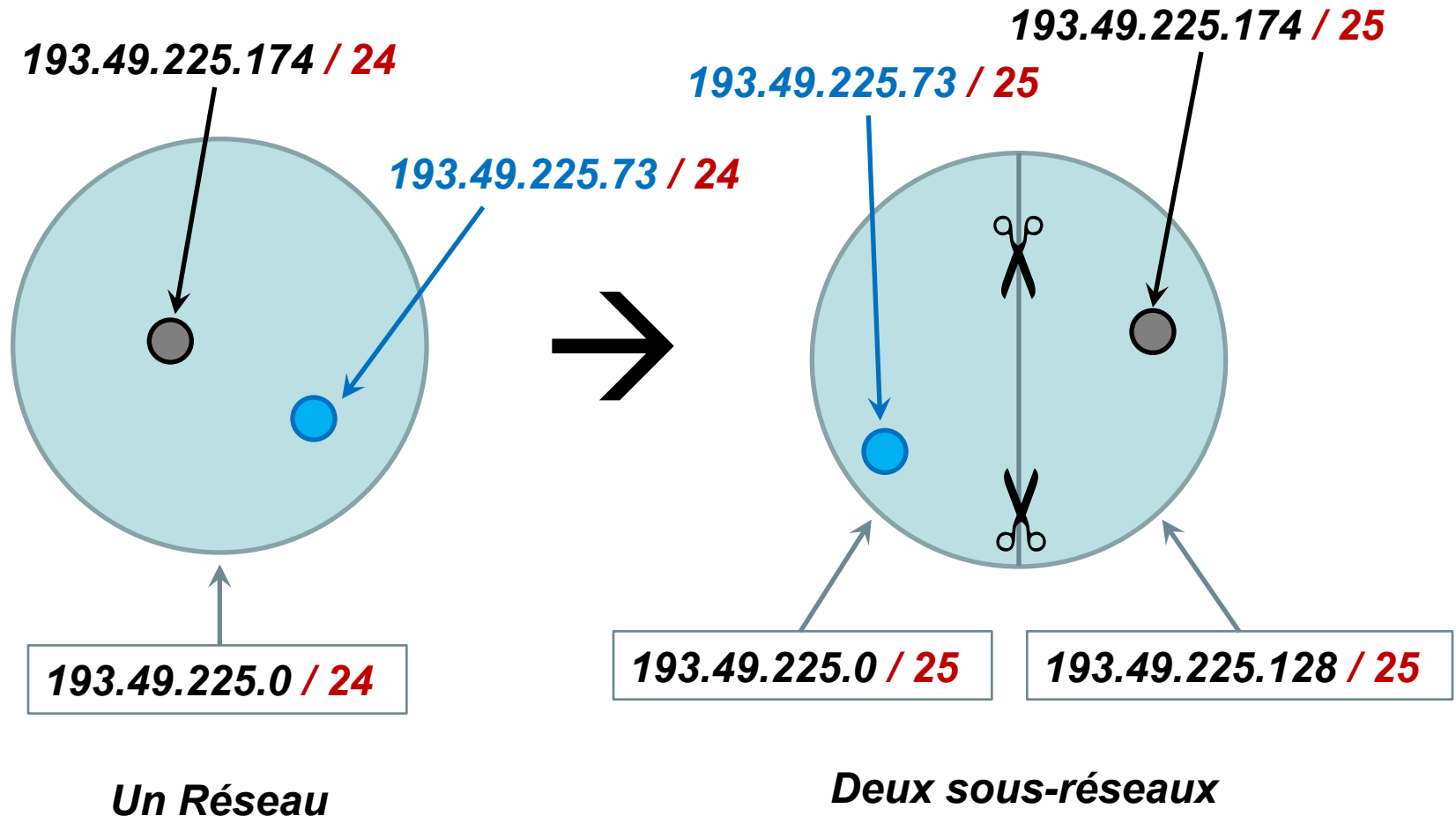
Maintenant supposons que :

@IP de *www.univ-lille1.fr* = **193.49.225.174 / 25**

= 11000001.00110001.11100001.10101110 / 25

```
@IP      1 1 0 0 0 0 0 1 . 0 0 1 1 0 0 0 1 . 1 1 1 0 0 0 0 1 . 1 0 1 0 1 1 1 0
&
& (et bit à bit)
Msk      1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 1 1 1 1 1 1 1 . 1 0 0 0 0 0 0 0
=
=
@RSX     1 1 0 0 0 0 0 1 . 0 0 1 1 0 0 0 1 . 1 1 1 0 0 0 0 1 . 1 0 0 0 0 0 0 0
→ www.univ-lille1.fr appartient au Sous-réseau 193.49.225.128 / 25
```

Masque de sous-réseau



Routage IP

- Table de routage « administrative » :

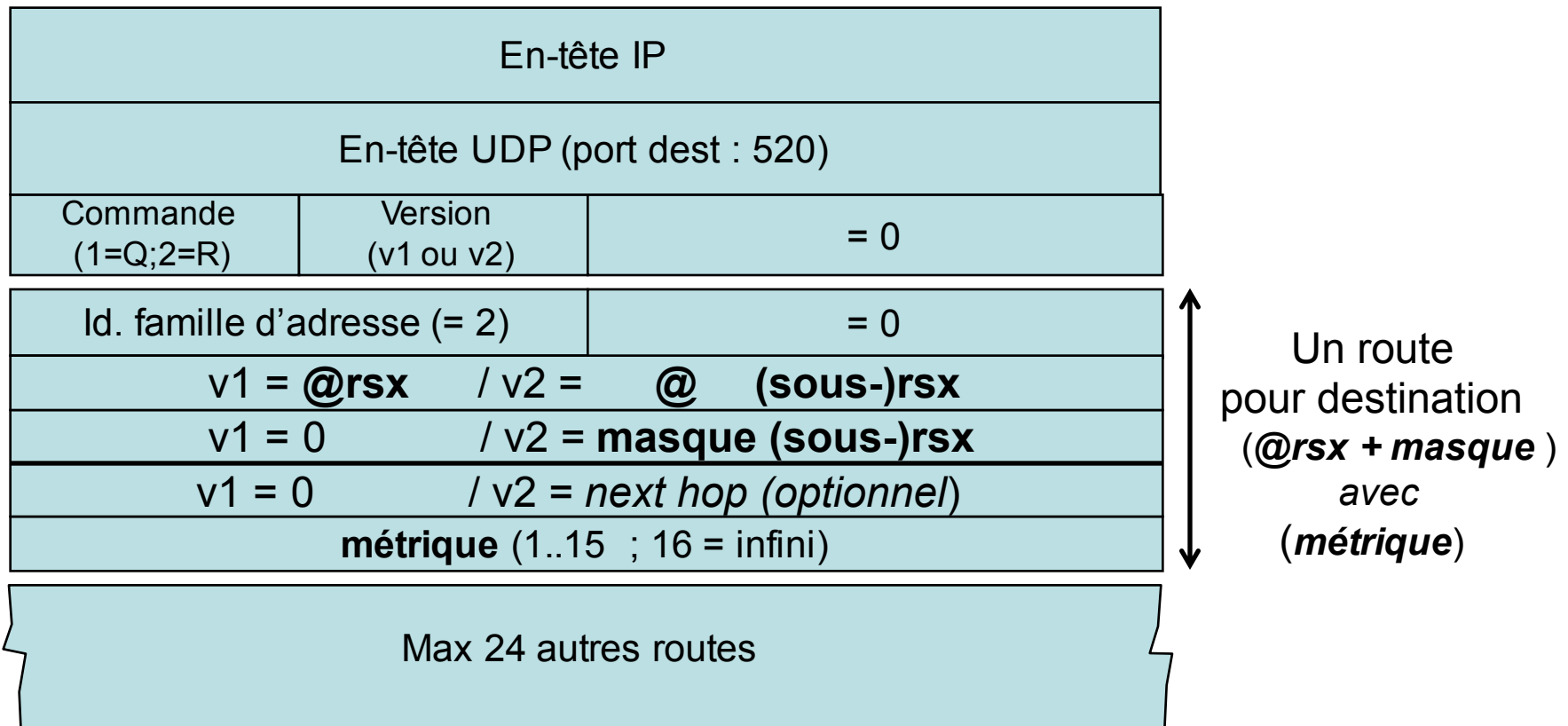
| @ réseau | masque réseau | @ passerelle | @ interface | métriques |
|----------|---------------|--------------|-------------|-----------|
|----------|---------------|--------------|-------------|-----------|

```
ubuntu@ubuntu:~$ sudo route
Table de routage IP du noyau
Destination      Passerelle      Genmask          Indic Metric Ref       Use Iface
default          10.0.2.2        0.0.0.0          UG    0       0         0 eth0
10.0.2.0         *               255.255.255.0   U     1       0         0 eth0
link-local      *               255.255.0.0     U     1000    0         0 eth0
```

Protocoles de type IGP¹ :

exemple RIP² (v1/v2)

Mise à jour des tables selon l'algorithme de routage distribué *vecteur de distances*.



¹ IGP : *Interior Gateway Protocol*

² RIP : *Routing Information Protocol*

Les outils systèmes pour IP

Fichier des machines présentes sur le réseau :

```
/etc/hosts
127.0.0.1      localhost
134.206.11.7  bruyere.lifl.fr bruyere
# The following lines are desirable for IPv6 capable hosts
# (added automatically by netbase upgrade)
::1          ip6-localhost ip6-loopback
fe00::0      ip6-localnet
ff00::0      ip6-mcastprefix
ff02::1      ip6-allnodes
ff02::2      ip6-allrouters
ff02::3      ip6-allhosts
```

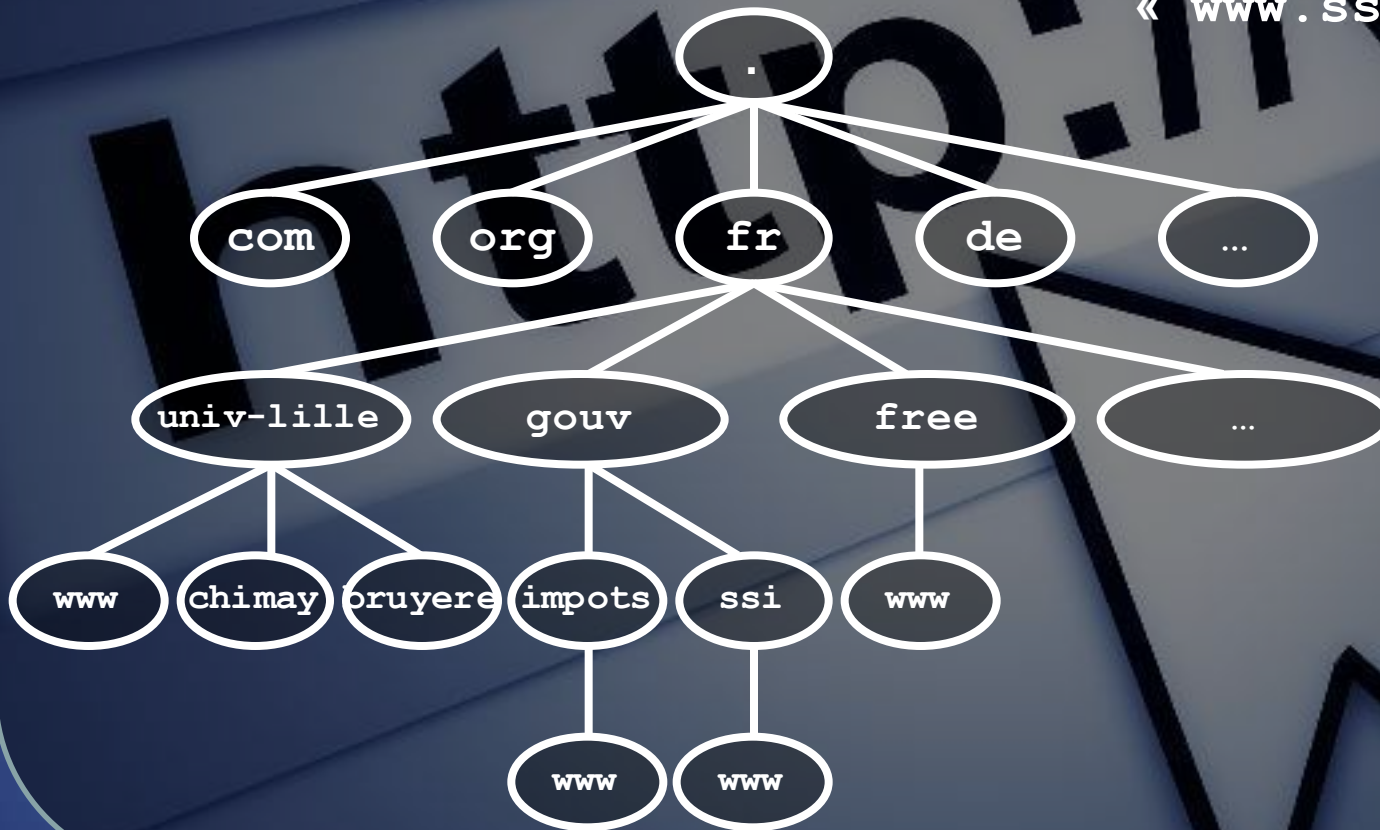
Fichier de résolution symbolique :

```
/etc/resolv.conf
domain lifl.fr
search lifl.fr univ-lille1.fr
Nameserver 134.206.10.18
Nameserver 134.206.1.15
```


Adressage symbolique

DNS : *Domain Name Server*

« `www.ssi.gouv.fr` »



Les outils systèmes pour IP

Commande de test de la couche réseau :

```
> ping -f -n 4 -i 5 -l 248 bruyere (windows)
> ping -c 4 -t 5 -s 248 bruyere (linux)
```

Requête 'ping' sur 134.206.11.7 avec 4 envois successifs, un timeout de 5 secondes, et 248 octets de données :

```
Réponse de 134.206.11.7 : octets=248 temps=0.253ms TTL=64
Réponse de 134.206.11.7 : octets=248 temps=0.475ms TTL=64
Réponse de 134.206.11.7 : octets=248 temps=0.388ms TTL=64
Réponse de 134.206.11.7 : octets=248 temps=0.562ms TTL=64
```

Statistiques Ping pour 134.206.11.7:

```
Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
Durée approximative des boucles en milli-secondes :
minimum = 0.243ms, maximum = 0.562ms, moyenne = 0.420ms
```

Les outils systèmes pour IP

Commande suivie de l'architecture réseau :

```
> tracert -d -h 20 www.impots.gouv.fr (windows)
> traceroute -m 20 www.impots.gouv.fr (linux)
```

Déterminer l'itinéraire vers www.impots.gouv.fr [195.101.154.66] avec maximum de 20 sauts :

| | | | | |
|----|--------|--------|--------|-----------------|
| 1 | 10 ms | <10 ms | 10 ms | 134.206.3.2 |
| 2 | <10 ms | <10 ms | 10 ms | 193.49.253.113 |
| 3 | 10 ms | 10 ms | <10 ms | 193.54.138.117 |
| 4 | 20 ms | <10 ms | 10 ms | 194.214.110.29 |
| 5 | 10 ms | 10 ms | 10 ms | 194.214.110.5 |
| 6 | 10 ms | 20 ms | 10 ms | 193.51.206.14 |
| 7 | 10 ms | 10 ms | 20 ms | 193.51.206.42 |
| 8 | 10 ms | 20 ms | 10 ms | 193.251.241.158 |
| 9 | 10 ms | 20 ms | 30 ms | 193.251.241.97 |
| 10 | 10 ms | 20 ms | 10 ms | 193.251.126.25 |
| 11 | 20 ms | 10 ms | 10 ms | 193.251.126.37 |
| 12 | 10 ms | 10 ms | 40 ms | 194.51.159.206 |
| 13 | 10 ms | 20 ms | 10 ms | 194.51.159.226 |
| 14 | 160 ms | 150 ms | 170 ms | 194.51.195.6 |
| 15 | * | | | |

Les outils systèmes pour IP

Commande d'accès à la couche liaison :

Créer une association @IP <-> @MAC dans le cache ARP de votre machine :

```
> sudo arp -s 157.55.85.212 00-aa-00-62-c6-09
```

Afficher le cache ARP actuel de votre machine :

```
> arp -a
```

```
Interface : 134.206.11.2 on Interface 0x2
```

| Adresse Internet | Adresse physique | Type |
|------------------|-------------------|-----------|
| 134.206.3.2 | 00-90-bf-5a-9c-8c | dynamique |
| 157.55.85.212 | 00-aa-00-62-c6-09 | statique |

Effacer un association (-d -a = effacer tout le cache) :

```
> sudo arp -d 157.55.85.212
```

Les outils systèmes pour IP

Commande de test de la couche réseau :

```
> route PRINT (windows)
> route -ee (linux)
# show ip route (cisco ios)
```

Liste d'Interfaces

```
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x2 ...00 a0 24 50 0e 66 ..... 3Com EtherLink PCI
```

Itinéraires actifs :

| Destination réseau | Masque réseau | Adr. passerelle | Adr. interface | Métrieque |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------|
| 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 134.206.3.1 | 134.206.11.6 | 1 |
| 0.0.0.0 | 0.0.0.0 | 134.206.3.2 | 134.206.11.6 | 1 |
| 127.0.0.0 | 255.0.0.0 | 127.0.0.1 | 127.0.0.1 | 1 |
| 134.206.0.0 | 255.255.0.0 | 134.206.11.6 | 134.206.11.6 | 1 |
| 134.206.11.6 | 255.255.255.255 | 127.0.0.1 | 127.0.0.1 | 1 |
| 255.255.255.255 | 255.255.255.255 | 134.206.11.6 | 134.206.11.6 | 1 |

```
Passerelle par défaut : 134.206.3.2
```

Les outils systèmes pour IP

Commande de configuration de l'interface réseau (statique) :

Associer l'@IP 192.165.5.63/24 à l'interface eth0

```
> netsh eth0 ip set address "Local" static 134.206.11.6 255.255.0.0 (...)  
  
> ifconfig eth0 134.206.11.6 netmask 255.255.0.0 broadcast 134.206.255.255  
  
# interface fastEthernet0/0  
# ip address 134.204.11.6 255.255.0.0
```

Les outils systèmes pour IP

Commande de configuration du réseau :

*Ajouter une route « **par défaut** » via le routeur 134.206.3.1*

```
> route ADD 0.0.0.0 MASK 0.0.0.0      134.206.3.1      (windows)
> route add -net default                gw 134.206.3.1   (linux)
# ip route 0.0.0.0      0.0.0.0      134.306.3.1     (cisco ios)
```

Les outils systèmes pour IP

Commande de configuration du réseau :

Ajouter une route « vers 17.0.0.0/8 » via le routeur 134.206.3.1

```
> route ADD          17.0.0.0      MASK 255.0.0.0      134.206.3.1 METRIC 3
```

```
> route add -net 17.0.0.0 netmask 255.0.0.0 gw 134.306.3.1 metric 3
```

```
# ip route          17.0.0.0          255.0.0.0      134.206.3.1
```

```
> route DELETE 17.0.0.0
```

```
> route del      17.0.0.0
```

```
# no ip route 17.0.0.0 255.0.0.0 134.206.3.1
```

```
> route CHANGE 17.0.0.0 MASK 255.0.0.0 134.206.3.2 IF 3 METRIC 3
```


Network Address Translation (NAT)

- **192.168.7.6, 10.7.6.5, 172.17.6.5**
peuvent elles communiquer sur INTERNET ?
Non !! (adresses privées)
et pourtant ... si ...
- Solution : un *routeur NAT* entre **Réseau privé** et **Internet**
- Modification *minimale* sur les paquets IP sortants / entrant :
 - ← @IP Source (privée) est remplacée par @IP publique
 - @IP Destination (@IP publique) remplacée par l'@IP privée «originale»



→ plusieurs machines (rsx privé) → *Mapping* des « connections »

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

- Comment configurer une *nouvelle* machine ?
 - lui attribuer une adresse IP sur le réseau + un masque
 - lui fournir un routeur par défaut (connexion internet par exemple)
 - lui fournir un serveur DNS pour assurer la traduction symbolique
(www.impots.gouv.fr → 145.242.11.48)
- Solution automatique : un *serveur DHCP* (même liaison)
 - (→) doit répondre aux « *recherche DHCP* » de « nouveaux entrants »
DHCP DISCOVER
 - (←) propose alors ses services DHCP.
DHCP OFFER
 - (→) si le « nouvel entrant » demande alors une configuration ...
DHCP REQUEST
 - (←) ... la lui propose (configuration minimale: @IP, @Routeur, @DNS)
DHCP ACK

Architecture des logiciels réseau IP

