

Adressage IPv4

Adressage IP

Versions

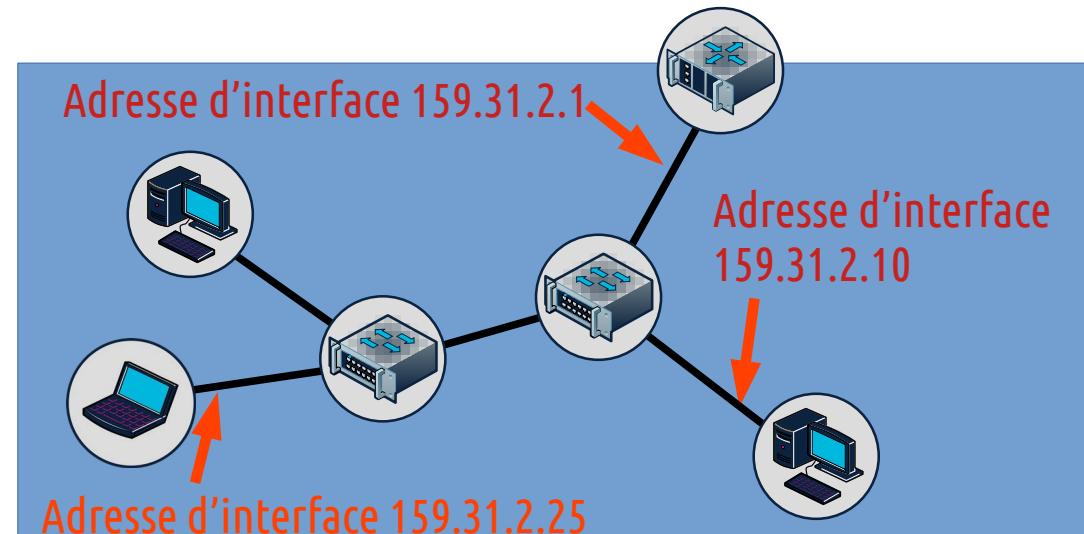
- ▶ Deux versions
 - IPv4
 - Version la plus couramment utilisée
 - Problème important de pénurie (codage sur 4 octets)
 - IPv6
 - Très similaire à IPv4
 - Version de remplacement d'IPv4 pour pallier au problème de pénurie (codage sur 16 octets)
 - 4 milliard d'adresse au m² sur terre

Adressage IPv4

Adresse d'interface

► Une adresse IP d'interface

- identifie et localise une unique interface réseau d'un équipement (terminal, serveur ou routeur)
 - est codée sur 4 octets (32 bits) sous la forme décimale x.x.x.x ($0 \leq x \leq 255$)
 - est hiérarchique
-
- Un équipement n'a pas d'adresse IP, seules les interfaces réseaux ont des adresses
 - Si un équipement à n interfaces réseaux, alors il est associé à au minimum n adresses IP



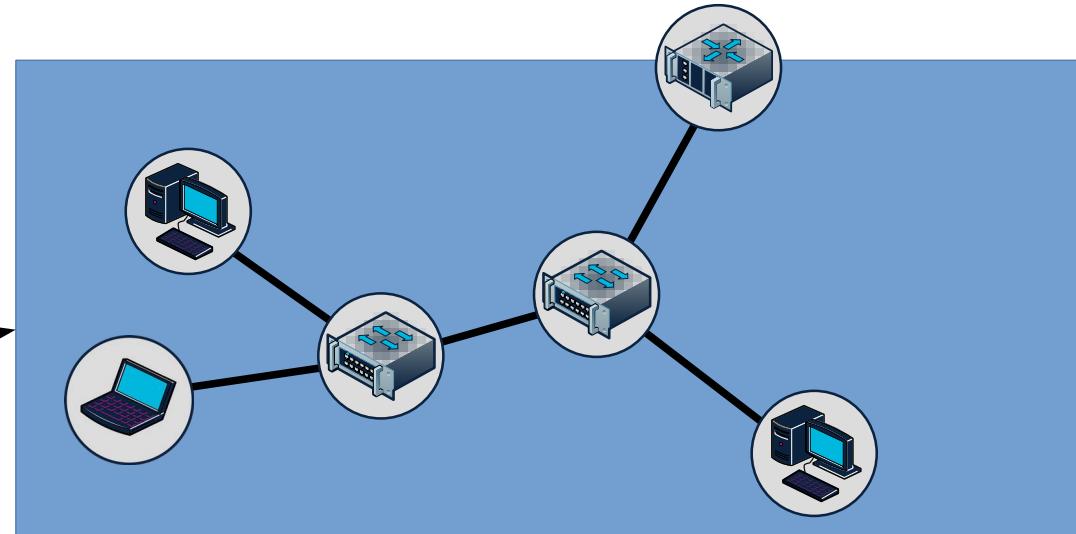
Adressage IPv4

Adresse réseau

► Une adresse IP réseau

- identifie et localise un unique réseau IP (réseau logique)

Adresse de réseau 159.31.2.0/24



► Une adresse IP réseau

- est codée sous la forme
 - x.x.x.x masque m.m.m.m ($0 \leq x \leq 255$, $0 \leq m \leq 255$)
 - En binaire, le masque est une suite de 1 puis de 0
 - ou x.x.x.x/p ($0 \leq x \leq 255$, $0 \leq p \leq 32$)
 - Nombre de bit à 1

| | | Représentation binaire | | | |
|----------------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 1 ^{er} octet | 2 ^{ème} octet | 3 ^{ème} octet | 4 ^{ème} octet |
| Adresse réseau | 159.31.2.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
| Masque | 255.255.255.0 | | | | |
| Préfixe | 24 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 |

Adressage IPv4

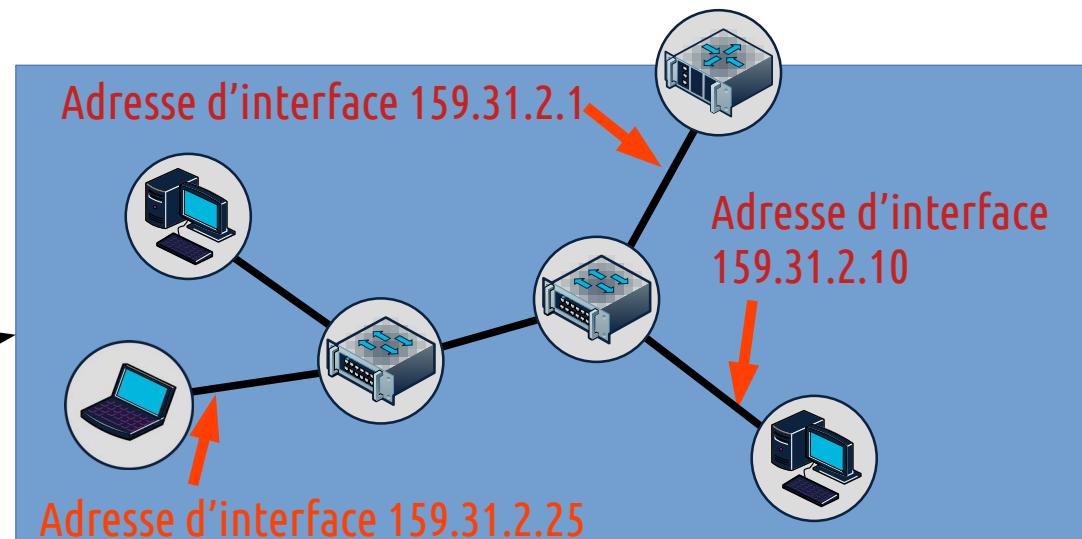
Adresse d'interface et de réseau

6

► Les adresses d'interface et l'adresse réseau sont liés

- L'interface d'adresse 159.31.2.10 appartient au réseau d'adresse 159.31.2.0/24

Adresse de réseau 159.31.2.0/24



Adressage IPv4

Adresse d'interface et de réseau

| | | Représentation binaire | | | |
|-----------------------------------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 1 ^{er} octet | 2 ^{ème} octet | 3 ^{ème} octet | 4 ^{ème} octet |
| Adresse d'interface | 159.31.2.25 | 1001 1111 | 0000 1111 | 0000 0010 | 0001 1001 |
| Masque | 255.255.255.0 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 |
| Application du masque (& logique) | | | | | |
| Adresse réseau | 159.31.2.0 | 1001 1111 | 0000 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |

| a | b | a & b |
|---|---|-------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Adressage IPv4

Adresse d'interface et de réseau

- Le masque permet de dissocier localisation et identification

| | | Représentation binaire | | | |
|-----------------------------------|---------------|------------------------|------------------------|---|----------------------------------|
| | | 1 ^{er} octet | 2 ^{ème} octet | 3 ^{ème} octet | 4 ^{ème} octet |
| Adresse d'interface | 159.31.2.25 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0001 1001 |
| Masque | 255.255.255.0 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 |
| Application du masque (& logique) | | | | | |
| Adresse réseau | 159.31.2.0 | 1001 1111 | 0000 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
| | | | | Identification du réseau logique = Localisation de l'interface | Identification de l'interface |

Adressage IPv4

Capacité d'adressage

$2^{8-2} = 254$ adresses d'interface possible

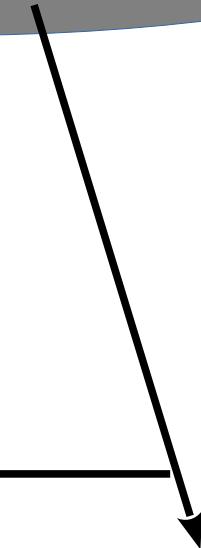
9

| | | Représentation binaire | | | | |
|--------------------------------------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|
| | | 1 ^{er} octet | 2 ^{ème} octet | 3 ^{ème} octet | 4 ^{ème} octet | |
| Adresse de réseau | 159.31.2.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 | |
| Masque (préfixe /24) | 255.255.255.0 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 | |
| Adresse de réseau | 159.31.2.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 | |
| 1 ^{ère} adresse d'interface | 159.31.2.1 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0001 | |
| 2 ^{ème} adresse d'interface | 159.31.2.1 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0010 | |
| ... | | | | | | |
| Dernière adresse d'interface | 159.31.2.254 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 1111 1110 | |
| Adresse de diffusion | 159.31.2.255 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 1111 1111 | |

Adresse interface = 159.31.2.25

- ▶ Analogie avec une adresse postale

Yan Moret
7, rue Jules Renard
30100 Alès
France —————



Adresse réseau 159.0.0.0/8

Adressage IPv4

La hiérarchisation

Yan Moret
7, rue Jules Renard
30100 Alès —
France

159.31.2.25

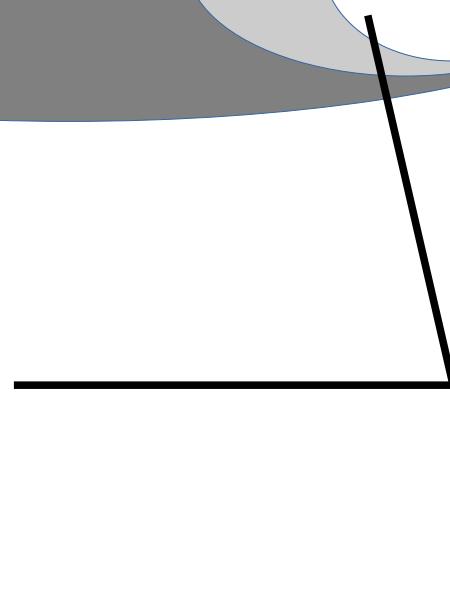
Adresse réseau 159.31.0.0/16

Adressage IPv4

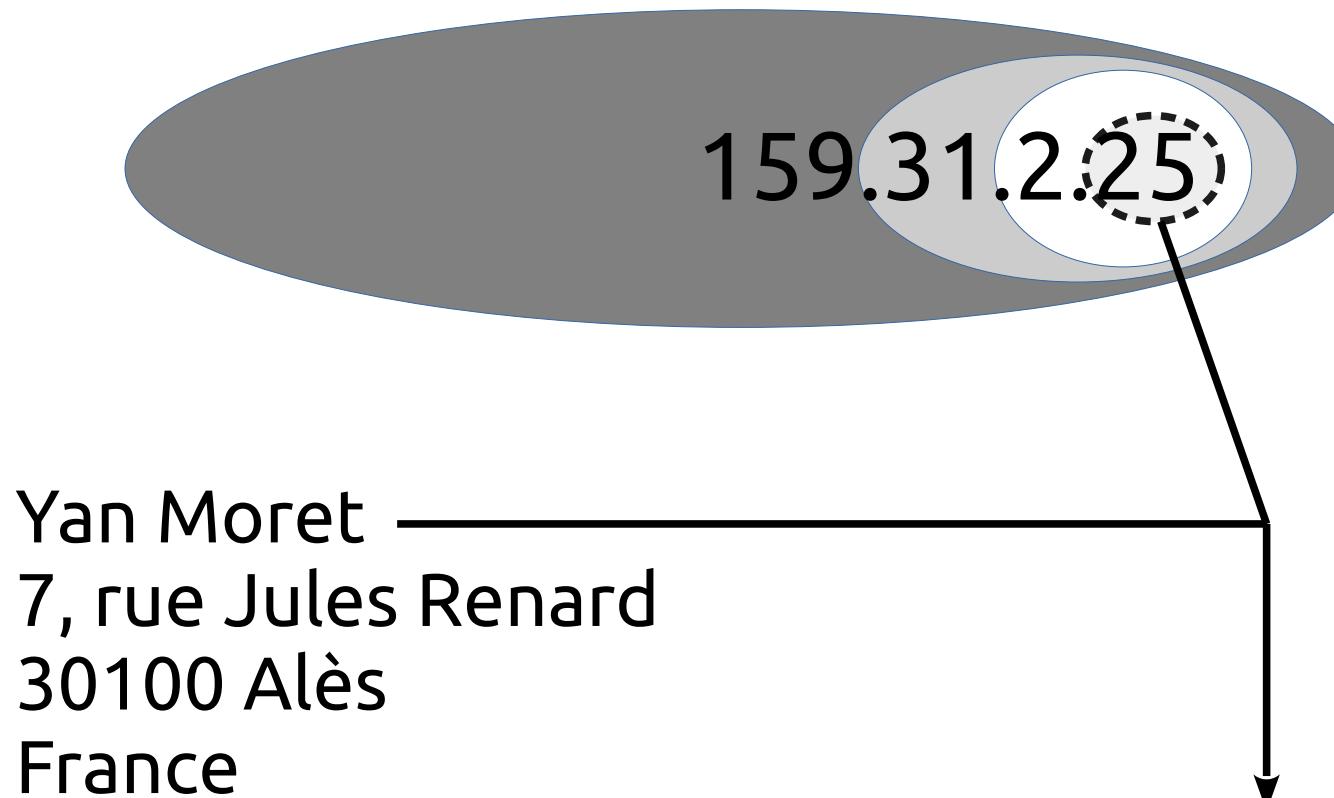
La hiérarchisation

Yan Moret
7, rue Jules Renard
30100 Alès
France

159.31.2.25



Adresse réseau 159.31.2.0/24

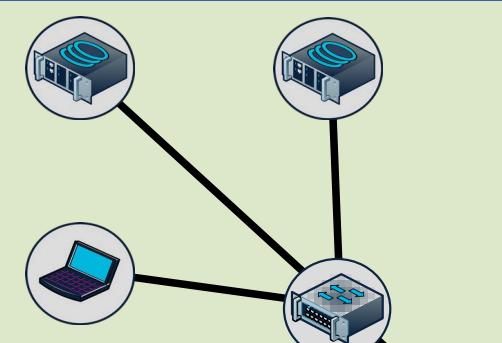


Adressage IPv4

La hiérarchisation

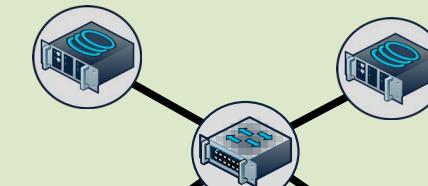
14

N : Adresse de réseau 159.31.0.0/16

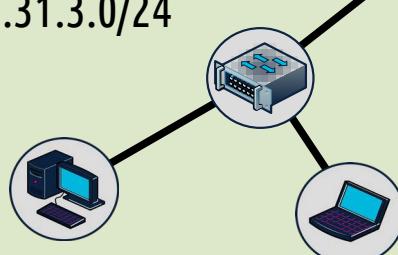


N2 : Adresse de réseau
159.31.2.0/24

N1 : Adresse de réseau
159.31.1.0/24



N3 : Adresse de réseau
159.31.3.0/24

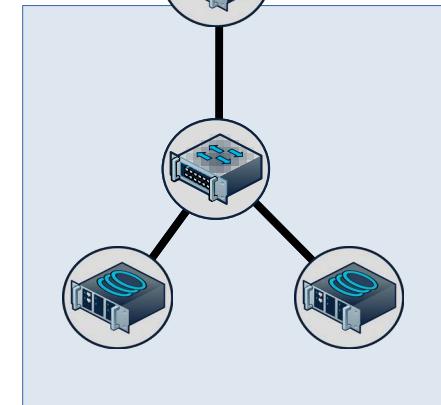
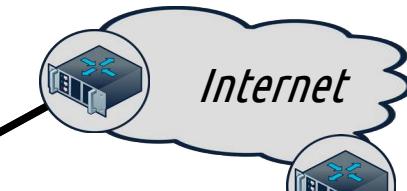


Routeur



Commutateur

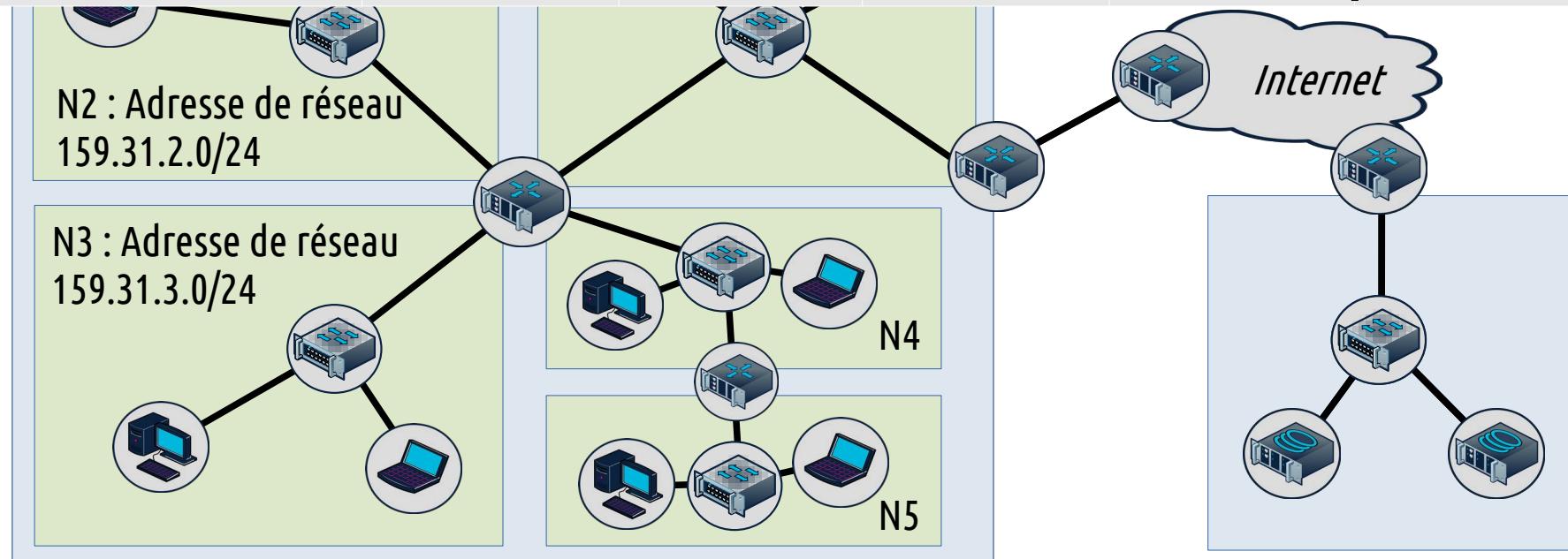
N4 : Adresse de réseau 159.31.4.0/28
N5 : Adresse de réseau 159.31.4.16/28



Internet

Réseau N2

| | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Masque | 255.255.255.0 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 |
| Adresse de réseau | 159.31.2.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
| 1 ^{ère} adresse d'interface | 159.31.2.1 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0001 |
| ... | | | | | |
| Dernière adresse d'interface | 159.31.2.254 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 1111 1110 |
| Adresse de diffusion | 159.31.2.255 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 1111 1111 |



Adressage IPv4

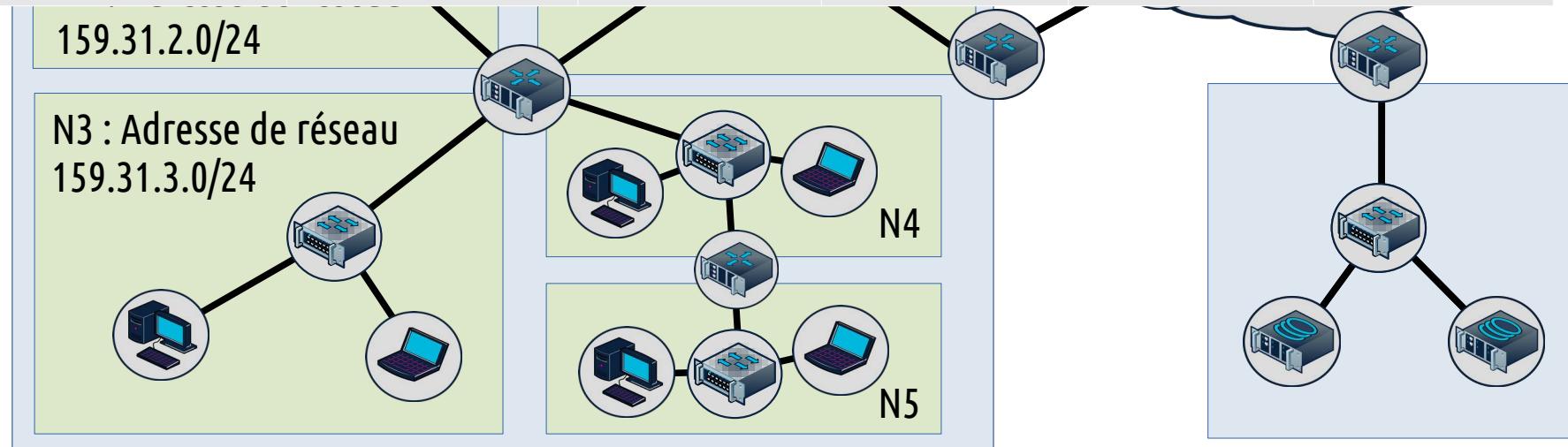
$2^4 - 2 = 14$ adresses d'interface

16

Réseau N4

Représentation binaire

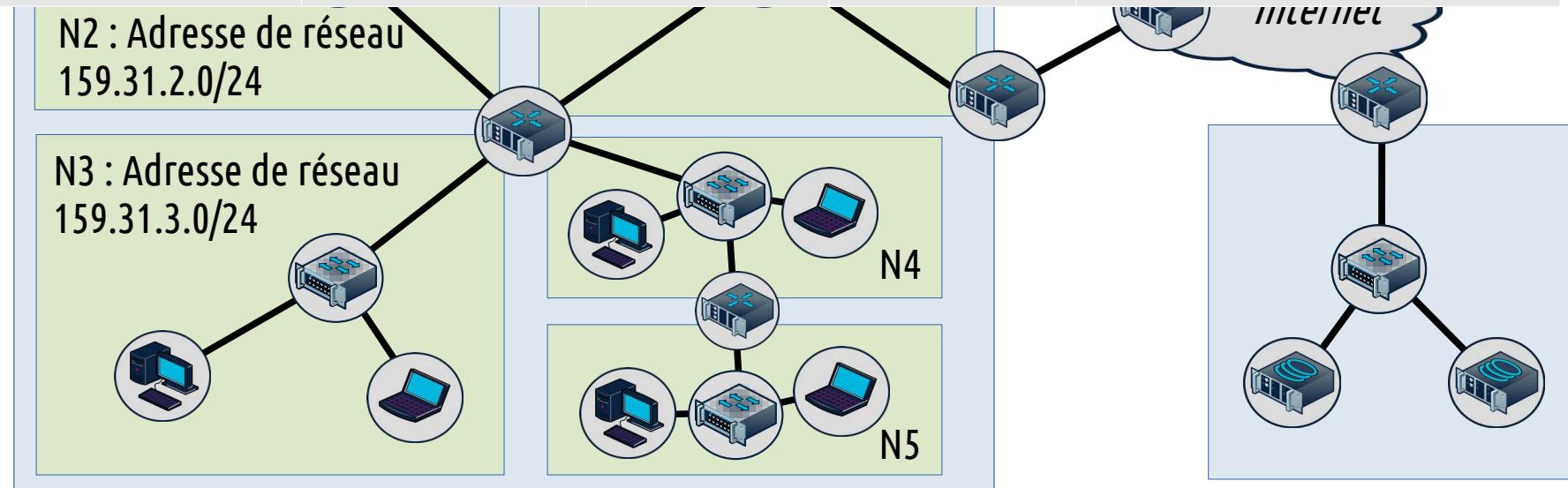
| | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Masque (préfixe /28) | 255.255.255.240 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 0000 |
| Adresse de réseau | 159.31.4.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
| 1 ^{ère} adresse d'interface | 159.31.4.1 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0001 |
| ... | | | | | |
| Dernière adresse d'interface | 159.31.4.14 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 1110 |
| Adresse de diffusion | 159.31.4.15 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 1111 |



Adressage IPv4

Réseau N5

| | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Masque (prefixe /28) | 255.255.255.240 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 0000 |
| Adresse de réseau | 159.31.4.16 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0001 0000 | |
| 1 ^{ère} adresse d'interface | 159.31.4.17 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0001 0001 | |
| ... | | | | | | |
| Dernière adresse d'interface | 159.31.4.30 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0001 1110 | |
| Adresse de diffusion | 159.31.4.31 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0001 1111 | |



Adressage IPv4

18

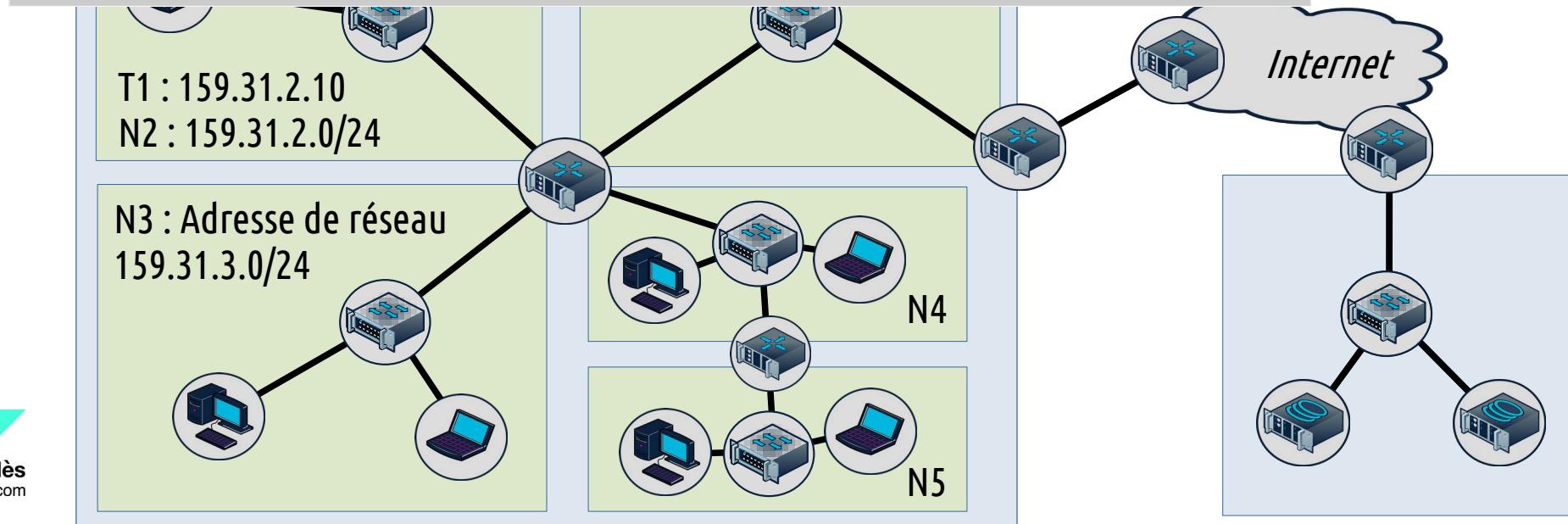
La hiér

| | | | | | |
|----|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| T1 | 159.31.2.10 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 1010 |
| N2 | 159.31.2.0/24 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
| | Masque correspondant | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 |

Application du masque de N2 à l'adresse de T1

| | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 159.31.2.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|

159.31.2.0 = 159.31.2.0 => T1 appartient au réseau N2



Adressage IPv4

19

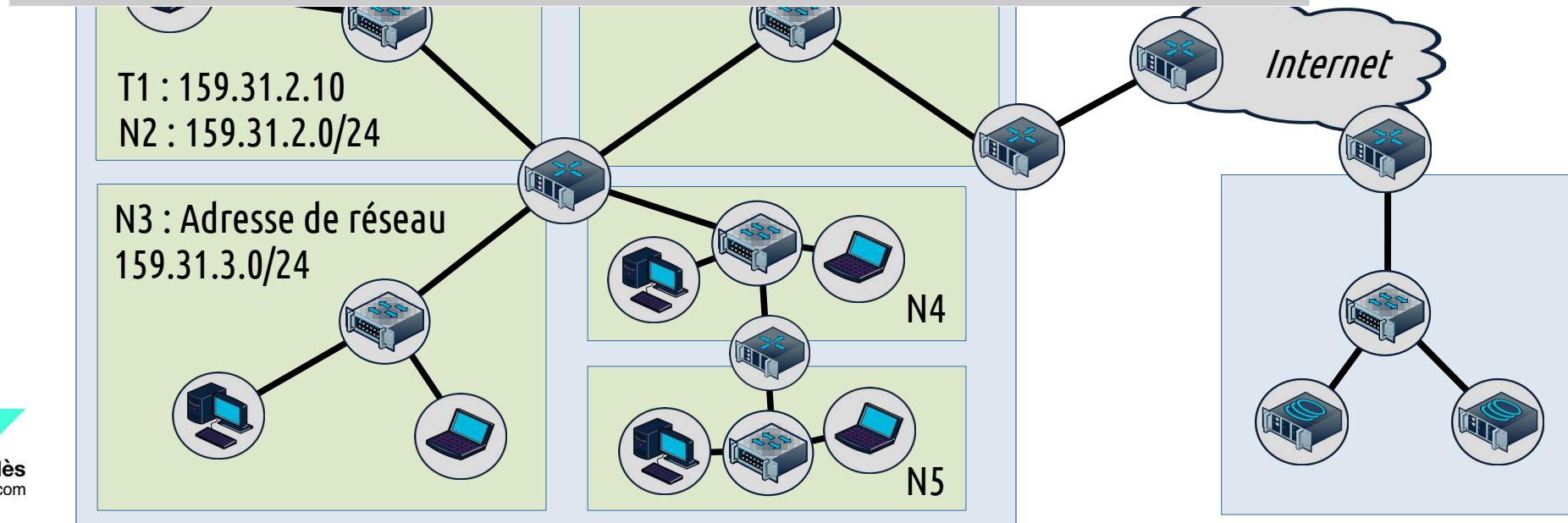
La hiér

| | | | | | |
|----|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| T1 | 159.31.2.10 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 1010 |
| N | 159.31.0.0/16 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0000 | 0000 0000 |
| | Masque correspondant | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 | 0000 0000 |

Application du masque de N à l'adresse de T1

| | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 159.31.0.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|

159.31.0.0 = 159.31.0.0 => T1 appartient au réseau N



Adressage IPv4

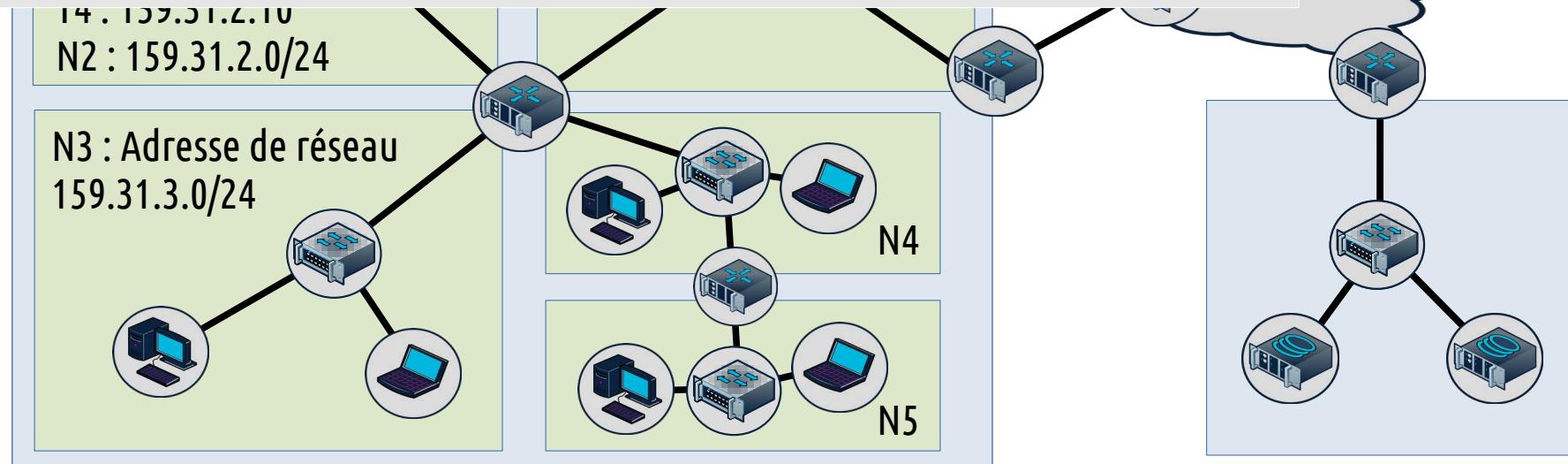
La hiér

20

| | | | | | |
|----|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N2 | 159.31.2.0/24 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
| | Masque correspondant | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 |
| N | 159.31.0.0/16 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0000 | 0000 0000 |
| | Masque correspondant | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 | 0000 0000 |

Application du masque de N à l'adresse de N1

| | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 159.31.0.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0000 | 0000 0000 |
| $159.31.0.0 = 159.31.0.0 \Rightarrow N2 \text{ appartient au réseau } N$ | | | | | |



Adressage IPv4

21

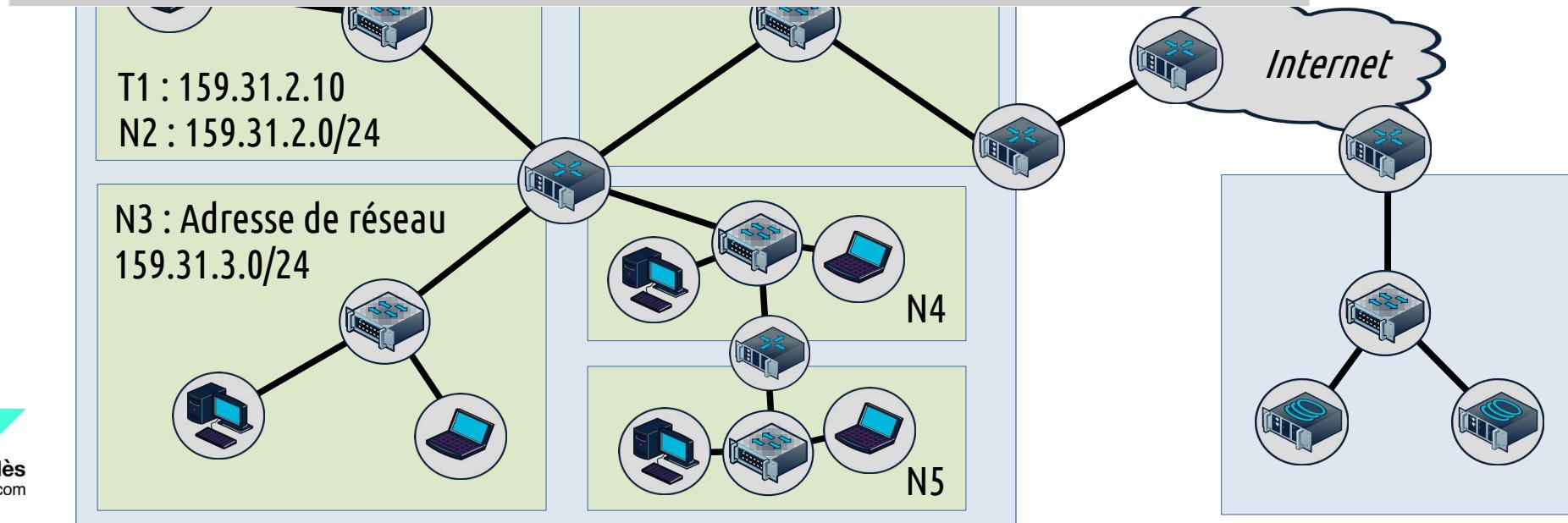
La hiér

| | | | | | |
|----|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| T1 | 159.31.2.10 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 1010 |
| N3 | 159.31.3.0/24 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0011 | 0000 0000 |
| | Masque correspondant | 1111 1111 | 1111 1111 | 1111 1111 | 0000 0000 |

Application du masque de N3 à l'adresse de T1

| | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 159.31.2.0 | 1001 1111 | 0001 1111 | 0000 0010 | 0000 0000 |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|

159.31.2.0 ≠ 159.31.3.0 => T1 n'appartient au réseau N3



Adresse d'interface et de réseau

- ▶ Au niveau des terminaux, la configuration de ces adresses est manuelle ou automatique (DHCP)
- ▶ Pour les routeurs et les serveurs, la configuration est manuelle

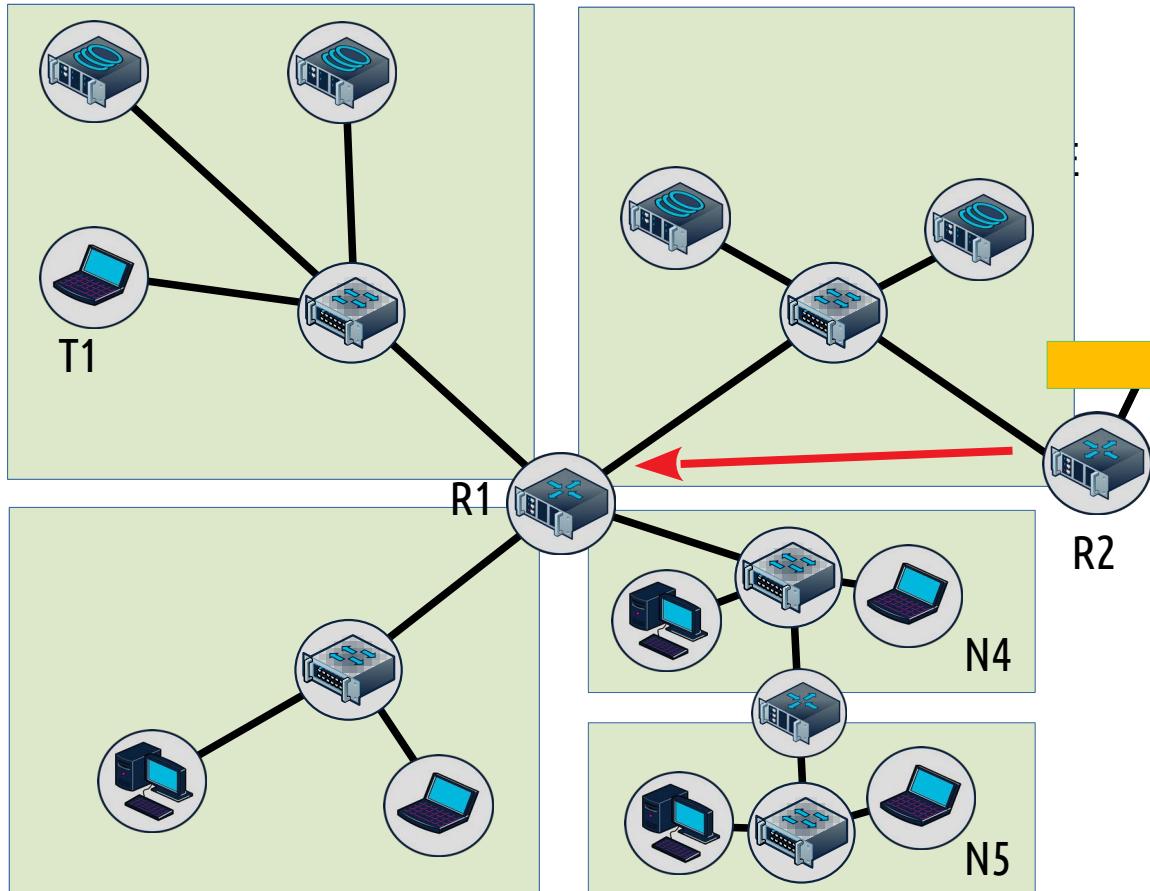
- ▶ Ne pas confondre adresse de réseau et adresse d'interface
- ▶ Toutes les interfaces réseaux des routeurs, terminaux et serveurs ont une adresse IP d'interface
- ▶ Les interfaces des équipements d'accès n'ont pas d'adresses IP

Routage IP

- Le routage est le processus d'acheminement des paquets basé sur les adresses IP
- Le routage IP est un routage par saut
 - Le choix du cheminement s'effectue au niveau de chaque routeur
 - Le cheminement des paquets n'est pas déterminé à l'avance, il dépend de la configuration des routeurs (table de routage)
 - Les routeurs n'ont qu'une vision locale du cheminement
 - Table de routage
 - Structure de données associant un chemin (interface de sortie et adresse de passerelle) à une destination spécifique (réseau cible)

Routage IPv4

Le routage indirect



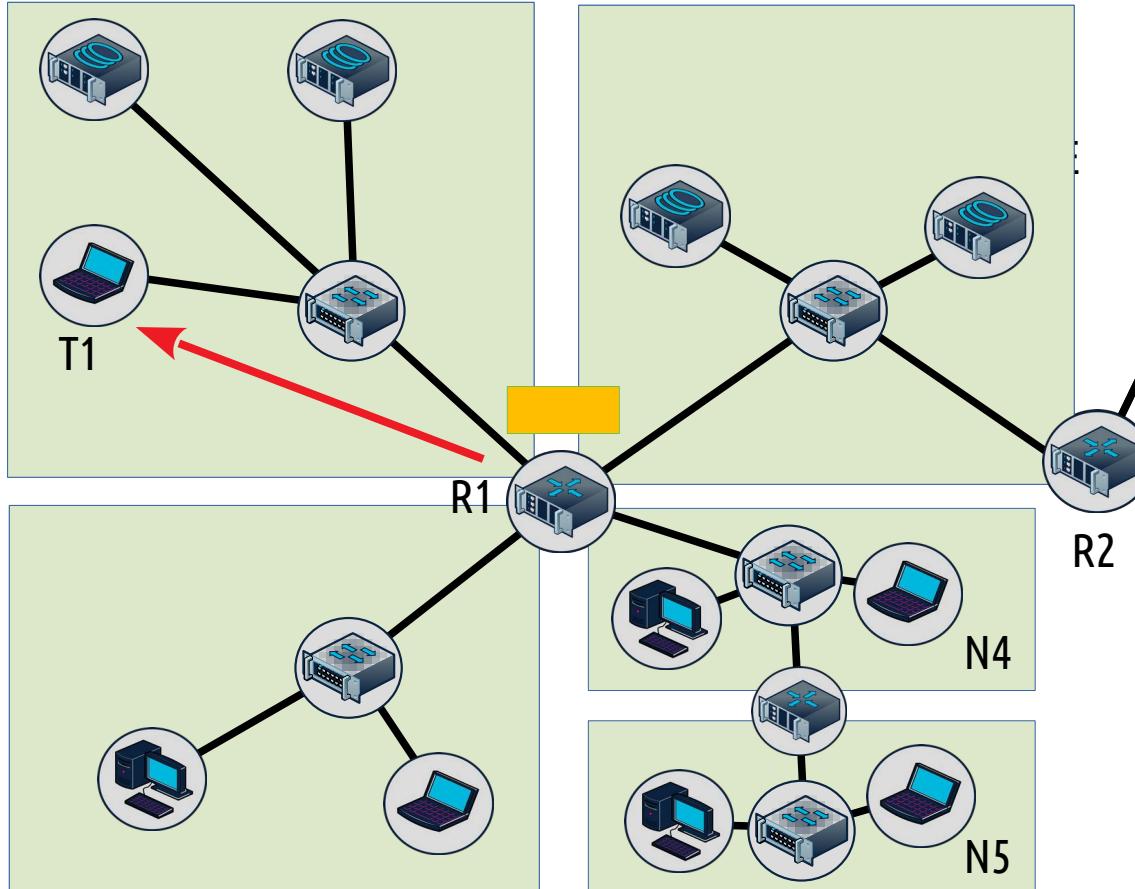
Internet

Routage indirect

1. R2 réceptionne un paquet à destination du terminal T1
2. R2 consulte sa table de routage pour identifier un chemin à destination de T1
3. R2 a identifié une route indirecte passant par le routeur R1 (passerelle)
4. R2 transmet le paquet au routeur R1

Routage IPv4

Le routage direct



Routage direct

1. R1 réceptionne un paquet à destination de T1
2. R1 consulte sa table de routage pour identifier un chemin à destination de T1
3. R1 a identifié une route directe vers T1
4. R1 transmet le paquet au terminal T1

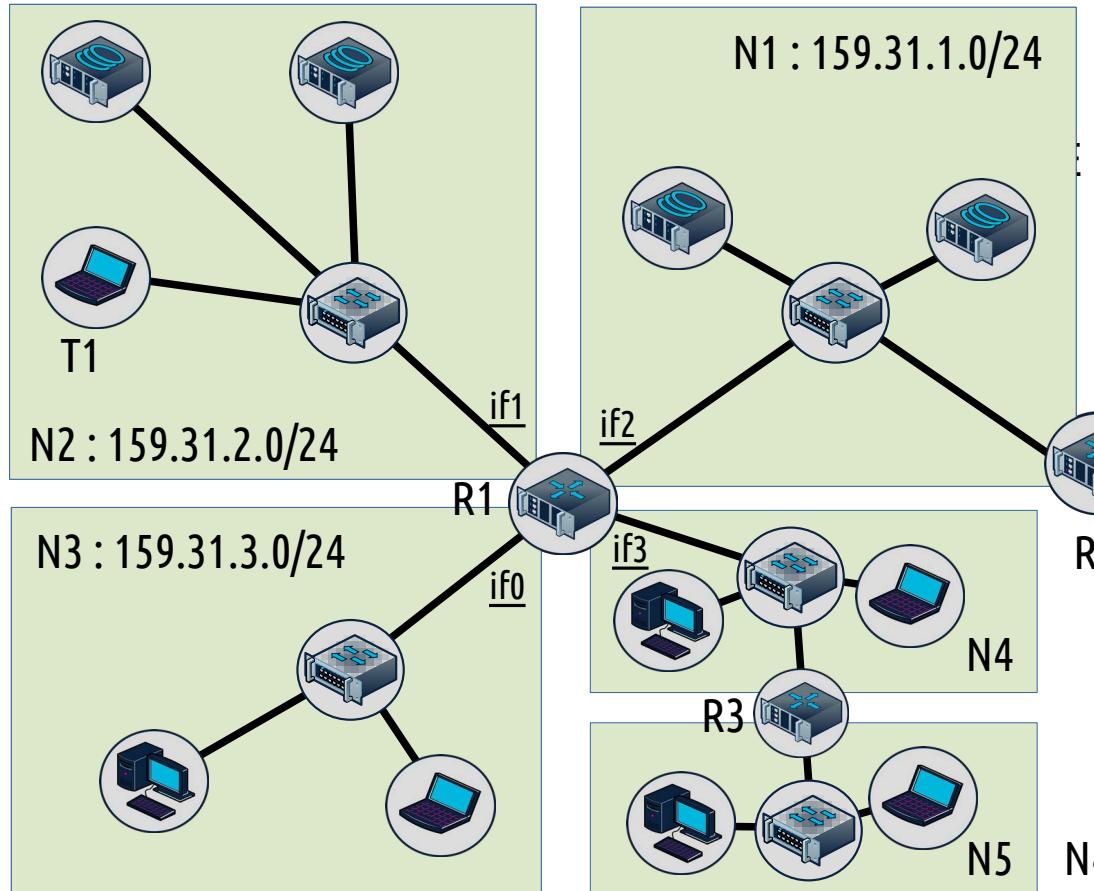
La table de routage

- ▶ Un élément (chemin) de la table est de type
 - Connecté
 - Route directe associée à une interface réseau du routeur
 - Configuration automatique (dès que l'adresse d'interface est renseignée)
 - Statique
 - Route indirecte configurée manuellement par un administrateur
 - Dynamique
 - Route indirecte configurée automatiquement par un protocole de routage (RIP, OSPF, BGP...)

Routage IPv4

La table de routage

28



Internet

| Table de routage de R1 | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if2</u> | 159.31.1.1 (R2) |
| C | 159.31.1.0/24 | <u>if2</u> | - |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if1</u> | - |
| C | 159.31.3.0/24 | <u>if0</u> | - |
| C | 159.31.4.0/28 | <u>if3</u> | - |
| S | 159.31.4.16/28 | <u>if3</u> | 159.31.4.2 (R3) |

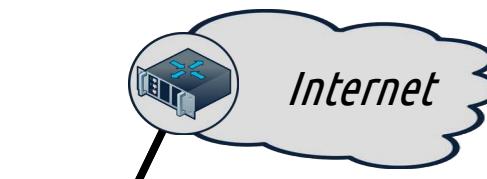
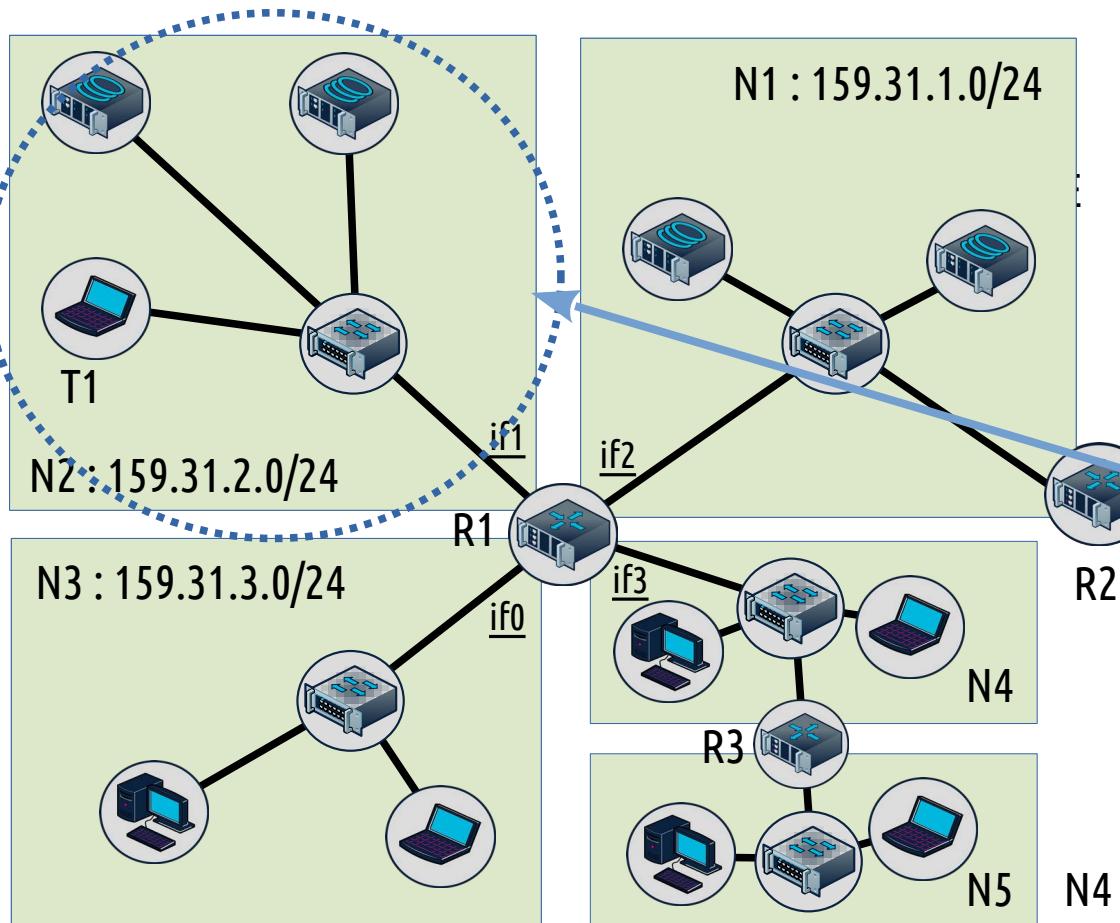
S = Statique / C = Connecté

N4 : 159.31.4.0/28
N5 : 159.31.4.16/8

Routage IPv4

La table de routage

29



| Table de routage de R1 | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if2</u> | 159.31.1.1 (R2) |
| C | 159.31.1.0/24 | <u>if2</u> | - |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if1</u> | - |
| C | 159.31.3.0/24 | <u>if0</u> | - |
| C | 159.31.4.0/28 | <u>if3</u> | - |
| S | 159.31.4.16/28 | <u>if3</u> | 159.31.4.2 (R3) |

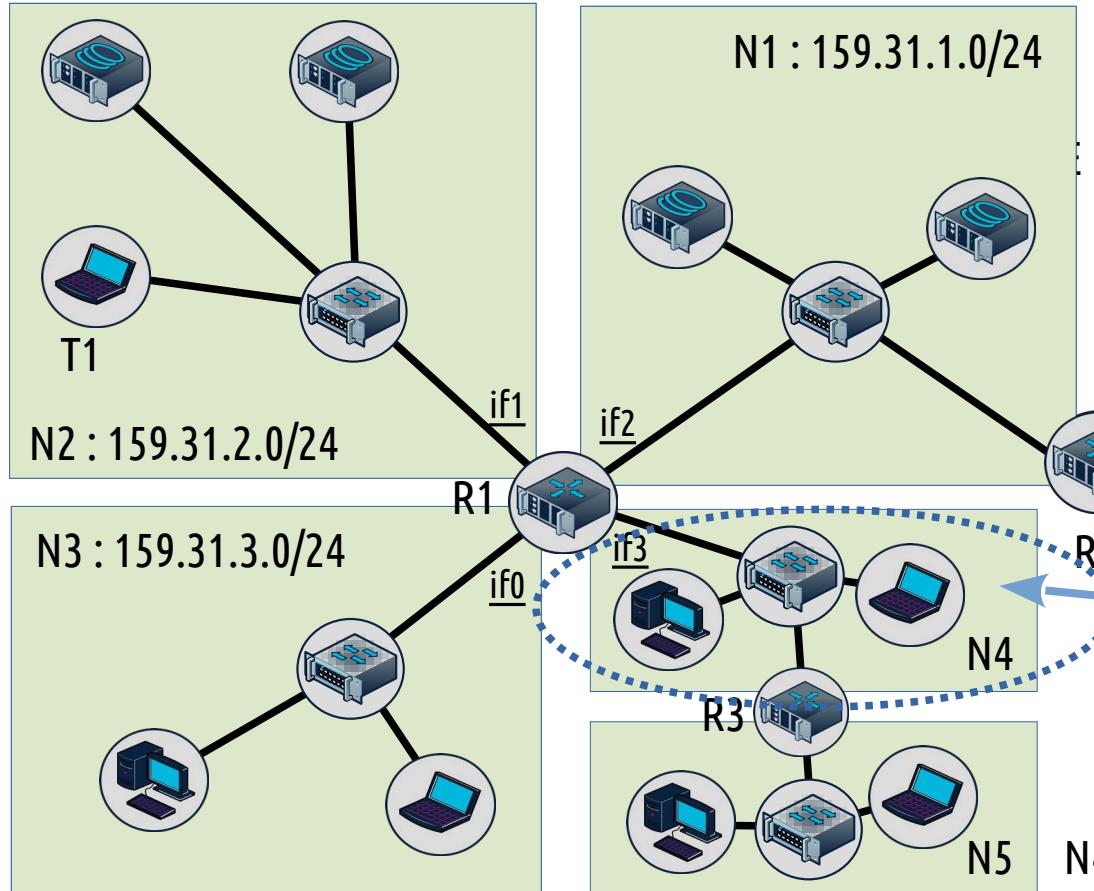
S = Statique / C = Connecté

N4 : 159.31.4.0/28
N5 : 159.31.4.16/8

Routage IPv4

La table de routage

30



| Table de routage de R1 | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if2</u> | 159.31.1.1 (R2) |
| C | 159.31.1.0/24 | <u>if2</u> | - |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if1</u> | - |
| C | 159.31.3.0/24 | <u>if0</u> | - |
| C | 159.31.4.0/28 | <u>if3</u> | - |
| S | 159.31.4.16/28 | <u>if3</u> | 159.31.4.2 (R3) |

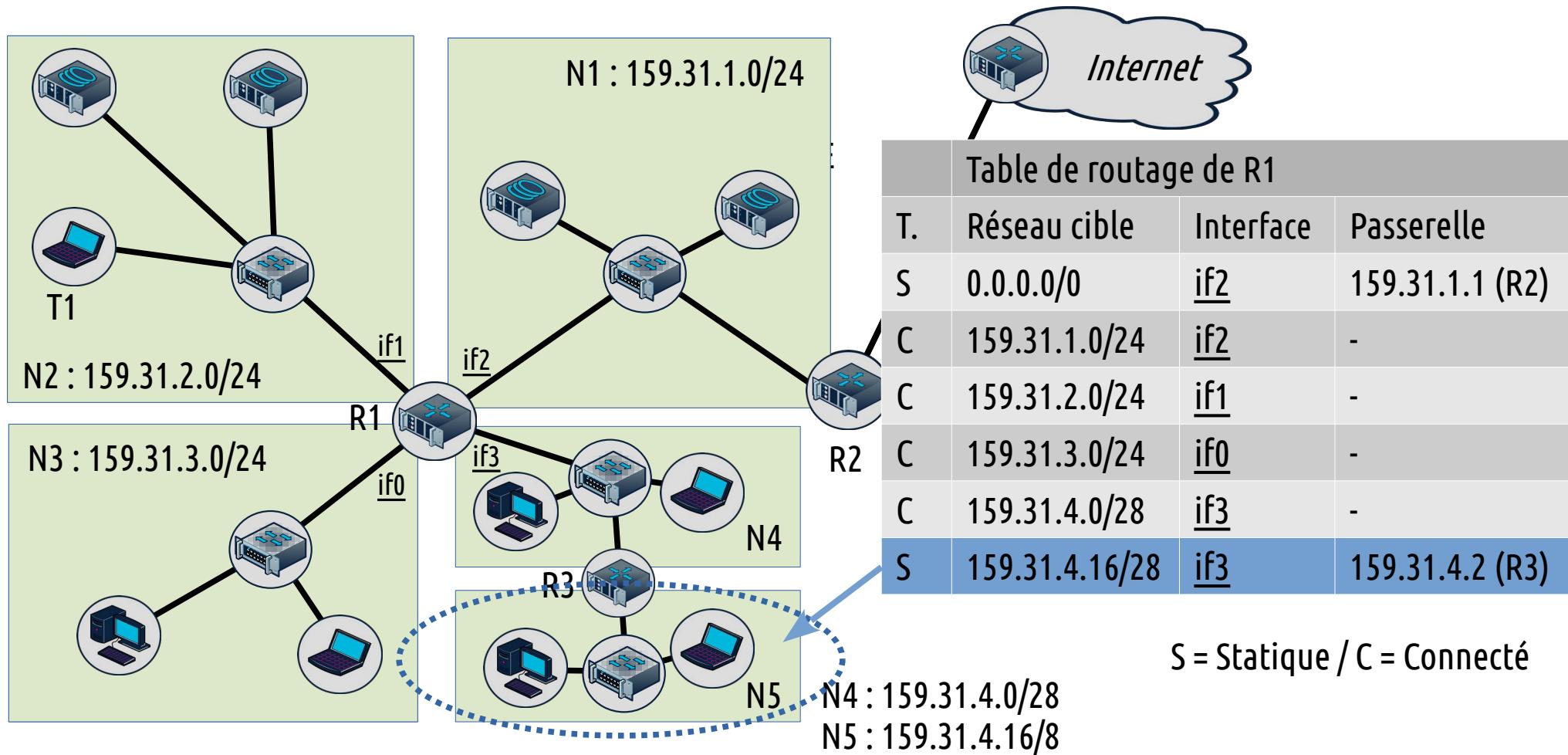
S = Statique / C = Connecté

N4 : 159.31.4.0/28
N5 : 159.31.4.16/8

Routage IPv4

La table de routage

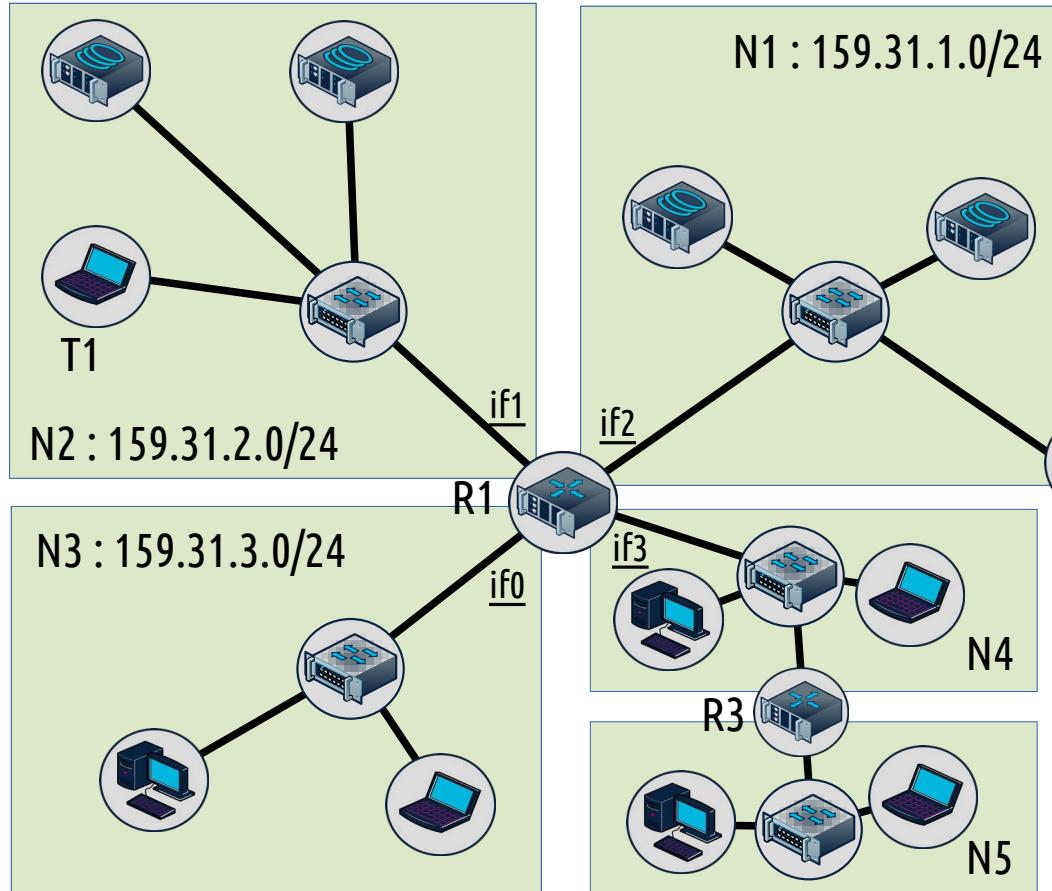
31



Routage IPv4

La table de routage

32



Internet

| Table de routage de R1 | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if2</u> | 159.31.1.1 (R2) |
| C | 159.31.1.0/24 | <u>if2</u> | - |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if1</u> | - |
| C | 159.31.3.0/24 | <u>if0</u> | - |
| C | 159.31.4.0/28 | <u>if3</u> | - |
| S | 159.31.4.16/28 | <u>if3</u> | 159.31.4.2 (R3) |

S = Statique / C = Connecté

N4 : 159.31.4.0/28
N5 : 159.31.4.16/8

Routage IPv4

La sélection de la route

- ▶ R1 reçoit un paquet à destination de l'adresse 159.31.4.18
- ▶ Est-ce que l'adresse 159.31.4.18 appartient au réseau cible $0.0.0.0/0$?
- ▶ La réponse est oui, donc la 1^{ère} route de la table est pré-sélectionnée (en bleu)

| Table de routage de R1 | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if2</u> | 159.31.1.1 (R2) |
| C | 159.31.1.0/24 | <u>if2</u> | - |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if1</u> | - |
| C | 159.31.3.0/24 | <u>if0</u> | - |
| C | 159.31.4.0/28 | <u>if3</u> | - |
| S | 159.31.4.16/28 | <u>if3</u> | 159.31.4.2 (R3) |

S = Statique / C = Connecté

La sélection de la route

- ▶ Est-ce que l'adresse 159.31.4.18 appartient au réseau cible 159.31.1.0/24 ?
- ▶ La réponse est non, donc la 2^{ème} route de la table n'est pas pré-sélectionnée

| Table de routage de R1 | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if2</u> | 159.31.1.1 (R2) |
| C | 159.31.1.0/24 | <u>if2</u> | - |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if1</u> | - |
| C | 159.31.3.0/24 | <u>if0</u> | - |
| C | 159.31.4.0/28 | <u>if3</u> | - |
| S | 159.31.4.16/28 | <u>if3</u> | 159.31.4.2 (R3) |

S = Statique / C = Connecté

- ▶ Est-ce que l'adresse 159.31.4.18 appartient au réseau cible 159.31.4.16/28 ?
- ▶ La réponse est oui, donc la 6^{ème} route de la table est pré-sélectionnée

| Table de routage de R1 | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if2</u> | 159.31.1.1 (R2) |
| C | 159.31.1.0/24 | <u>if2</u> | - |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if1</u> | - |
| C | 159.31.3.0/24 | <u>if0</u> | - |
| C | 159.31.4.0/28 | <u>if3</u> | - |
| S | 159.31.4.16/28 | <u>if3</u> | 159.31.4.2 (R3) |

S = Statique / C = Connecté

Routage IPv4

La sélection de la route

- ▶ La 1^{ère} et la 6^{ème} route de la table sont pré-sélectionnées
- ▶ la 6^{ème} route de la table est identifiée comme meilleurs que la 1^{ère}
- La taille du préfixe du 6^{ème} réseau cible est plus grande, donc la route est considérée comme plus précise
- La 6^{ème} route est sélectionnée pour le routage
- Le paquet est transmis sur l'interface if3 en passant par R3

| Table de routage de R1 | | | |
|------------------------|----------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if2</u> | 159.31.1.1 (R2) |
| C | 159.31.1.0/24 | <u>if2</u> | - |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if1</u> | - |
| C | 159.31.3.0/24 | <u>if0</u> | - |
| C | 159.31.4.0/28 | <u>if3</u> | - |
| S | 159.31.4.16/28 | <u>if3</u> | 159.31.4.2 (R3) |

S = Statique / C = Connecté

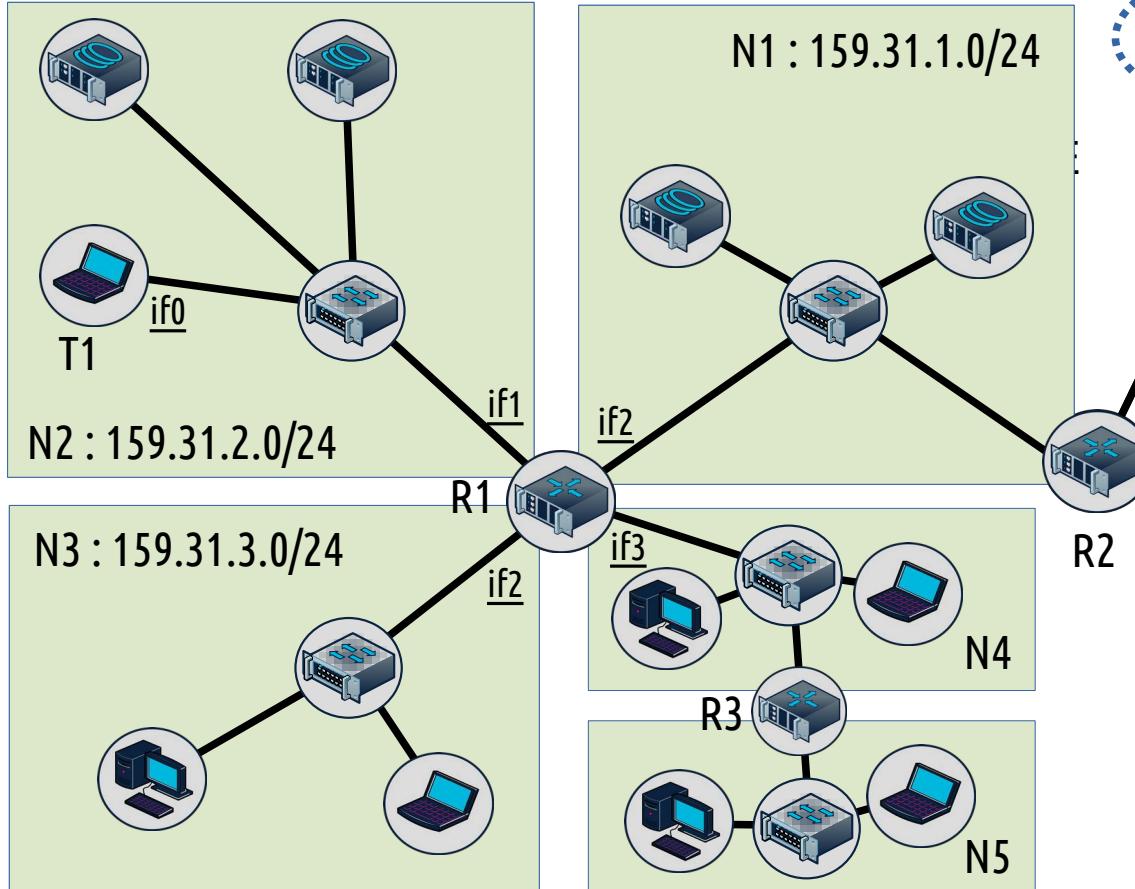
La route par défaut

- ▶ Route « toutes directions »
 - En fait, elle dirige les paquets vers Internet
 - La cible $0.0.0.0/0$ identifie toutes les adresses d'Internet
 - Le routeur passerelle est communément appelé routeur par défaut, ou passerelle par défaut
- ▶ Sans cette route, les paquets ne peuvent accéder aux équipements externes au réseau local
 - Il est donc impératif que cette route soit présente dans la table de routage

Routage IPv4

La table de routage des terminaux

38

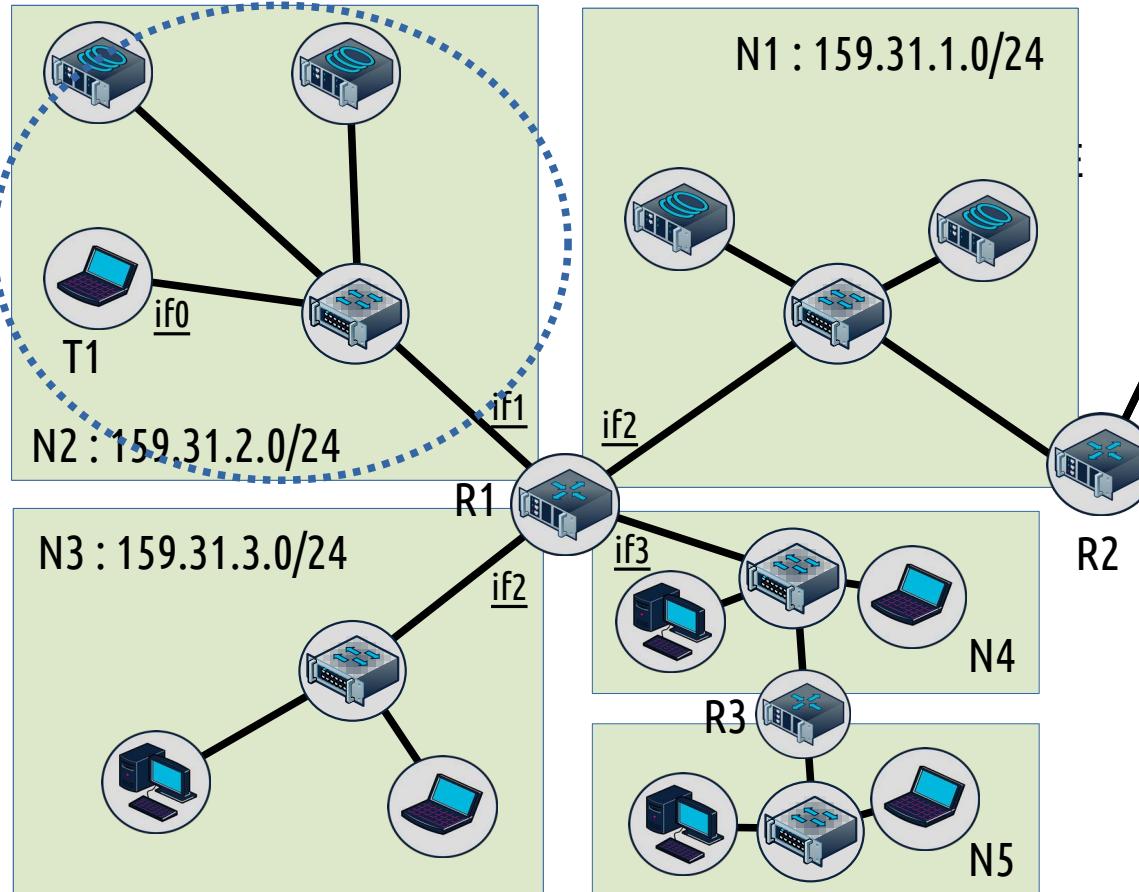


| Table de routage de T1 | | | |
|------------------------|---------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if0</u> | 159.31.2.1 (R1) |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if0</u> | - |

▶ Les terminaux sont des « routeurs » avec une seule interface réseau

Routage IPv4

La table de routage des terminaux



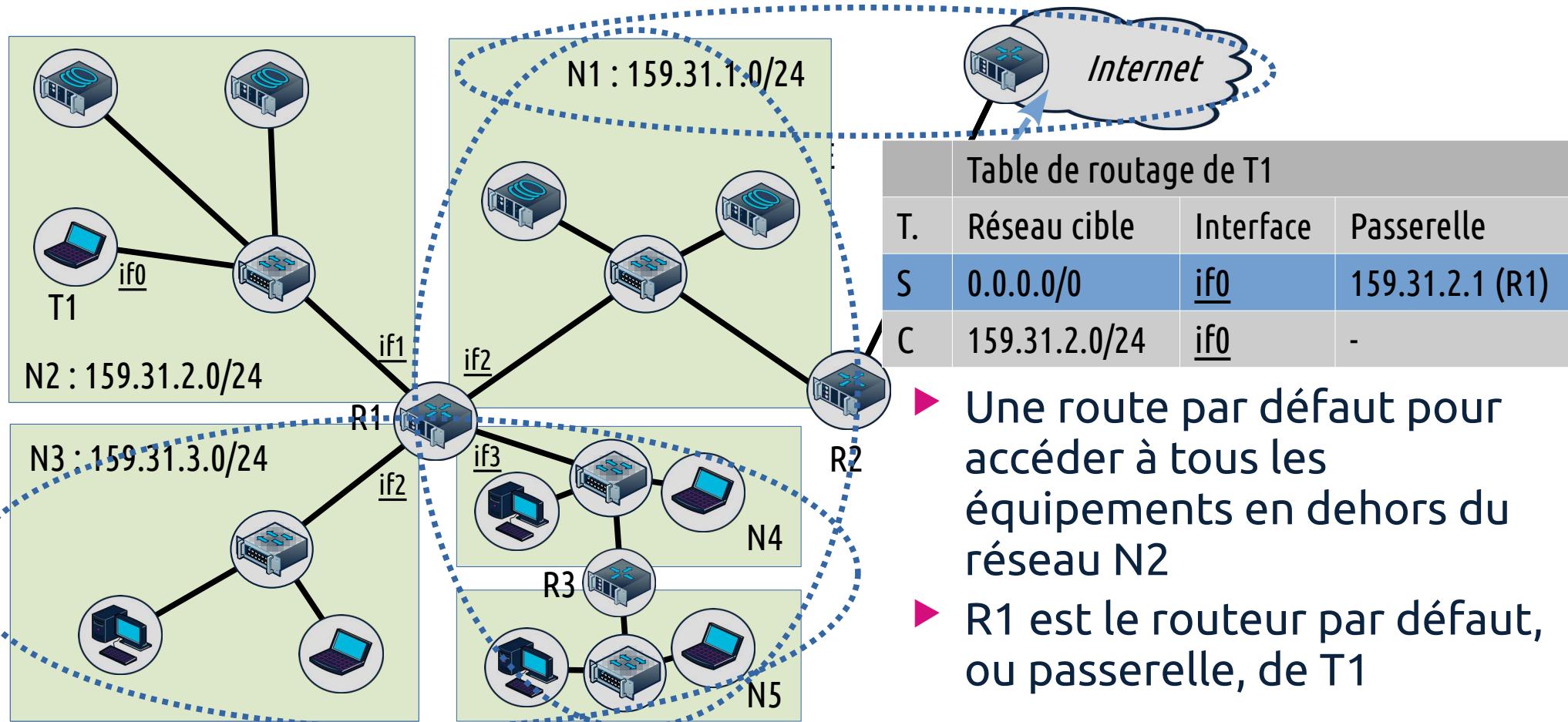
| Table de routage de T1 | | | |
|------------------------|---------------|------------|-----------------|
| T. | Réseau cible | Interface | Passerelle |
| S | 0.0.0.0/0 | <u>if0</u> | 159.31.2.1 (R1) |
| C | 159.31.2.0/24 | <u>if0</u> | - |

► Une route directe pour accéder à tous les équipements du réseau N2

Routage IPv4

40

La table de routage des terminaux



Routage IPv4

41

La table de routage des terminaux

- Exemple de configuration pour un terminal (Sous Linux) avec une interface Ethernet (eno1) active, configuration manuelle

```
ymoret@Taranis:~$ ip address show dev eno1
2: eno1: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc fq_codel state UP group default qlen 1000
    link/ether c8:f7:50:39:59:fb brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    altname enp0s31f6
    inet 159.31.203.78/22 brd 159.31.103.255 scope global noprefixroute eno1
        valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 fe80::ef6d:481b:afe0:1ec5/64 scope link noprefixroute
        valid_lft forever preferred_lft forever
ymoret@Taranis:~$
ymoret@Taranis:~$ ip route show
default via 159.31.200.1 dev eno1 proto static metric 40
159.31.200.0/22 dev eno1 proto kernel scope link src 159.31.203.78 metric 40
ymoret@Taranis:~$
```

Routage IPv4

42

La table de routage des terminaux

- Exemple de configuration pour un terminal (Sous Linux) avec une interface WiFi (wlp111s0) active, configuration automatique (DHCP)

```
ymoret@Taranis:~$ ip address show dev wlp111s0
3: wlp111s0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc noqueue state UP group default qlen 1000
    link/ether d4:3b:04:cc:7c:43 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
        inet 159.31.79.42/20 brd 159.31.79.255 scope global dynamic noprefixroute wlp111s0
            valid_lft 26920sec preferred_lft 26920sec
        inet6 fe80::7249:4a:d57d:f8c9/64 scope link noprefixroute
            valid_lft forever preferred_lft forever
ymoret@Taranis:~$
ymoret@Taranis:~$ ip route show
default via 159.31.64.1 dev wlp111s0 proto dhcp metric 600
159.31.64.0/20 dev wlp111s0 proto kernel scope link src 159.31.79.42 metric 600
ymoret@Taranis:~$
```

La table de routage des terminaux

- ▶ Exemple de configuration pour un terminal (Sous Linux) avec les interfaces WiFi et Ethernet actives

```
ymoret@Taranis:~$ ip route show
default via 159.31.200.1 dev eno1 proto static metric 40
default via 159.31.64.1 dev wlp111s0 proto dhcp metric 600
159.31.64.0/20 dev wlp111s0 proto kernel scope link src 159.31.79.42 metric 600
159.31.200.0/22 dev eno1 proto kernel scope link src 159.31.203.78 metric 40
ymoret@Taranis:~$
```

- ▶ Deux routes par défaut
 - La route passant par le réseau Ethernet est privilégiée, car la métrique associée (40) est plus faible que celle du réseau WiFi (600)

Résolution d'adresse

Service DNS

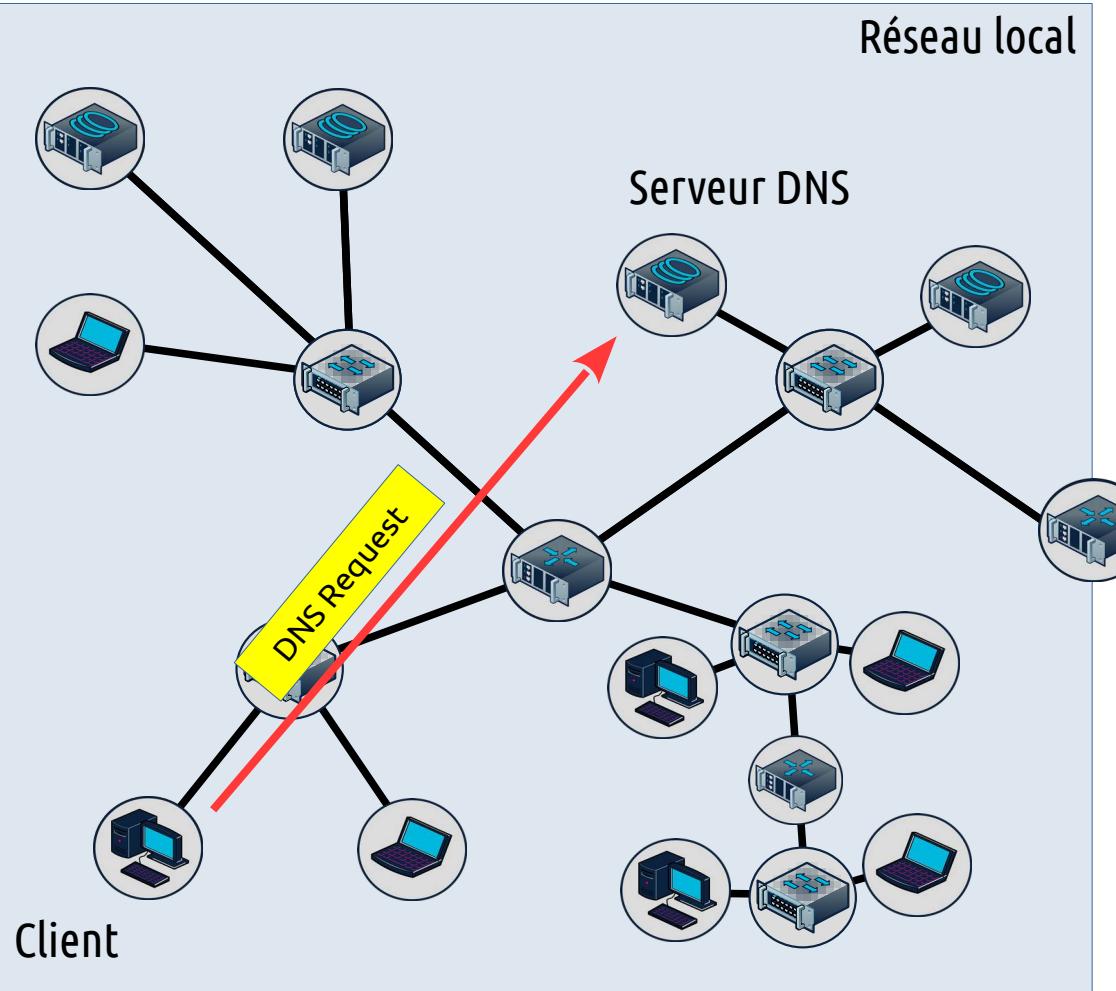
DNS

- ▶ Un serveur Web est généralement identifié par un URL (Uniform Resource Locator), et pas par une adresse IP
 - L'URL est humainement plus facile à retenir qu'une adresse IP
 - Mais, sans adresse IP, le serveur Web est inaccessible
 - Le serveur web de l'école est identifié par l'URL www.mines-ales.fr, mais qui connaît son adresse IP ?
- ▶ L'association entre URL et adresse IP est assurée par un serveur DNS (Domain Name System)

Service réseau

DNS

46

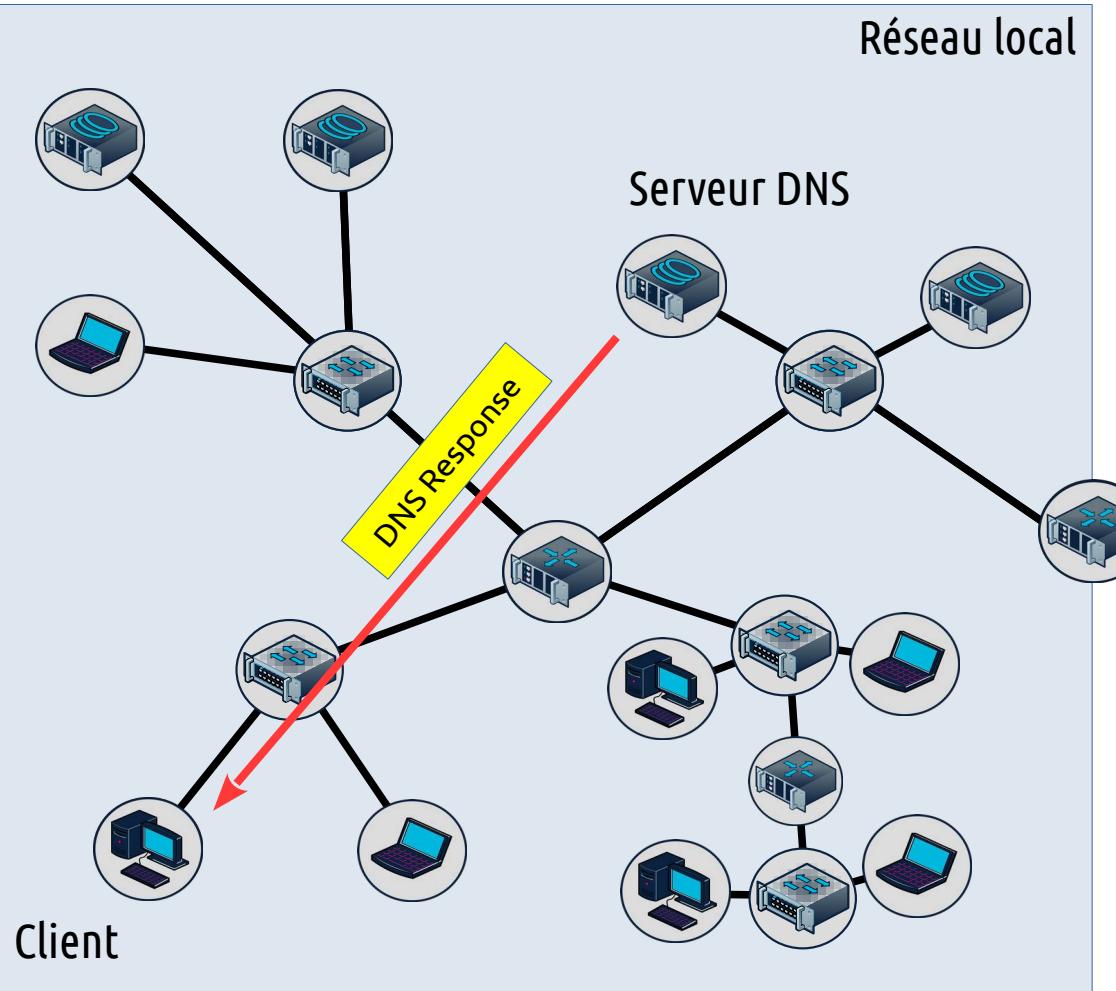


- ▶ Le terminal client souhaite afficher la page Web identifiée par l'URL www.mines-ales.fr
- ▶ Le client transmet un message de requête DNS Request au serveur DNS local
 - Quelle est l'adresse IP associée à l'URL www.mines-ales.fr ?
- ▶ Le client doit connaître l'adresse IP du serveur DNS

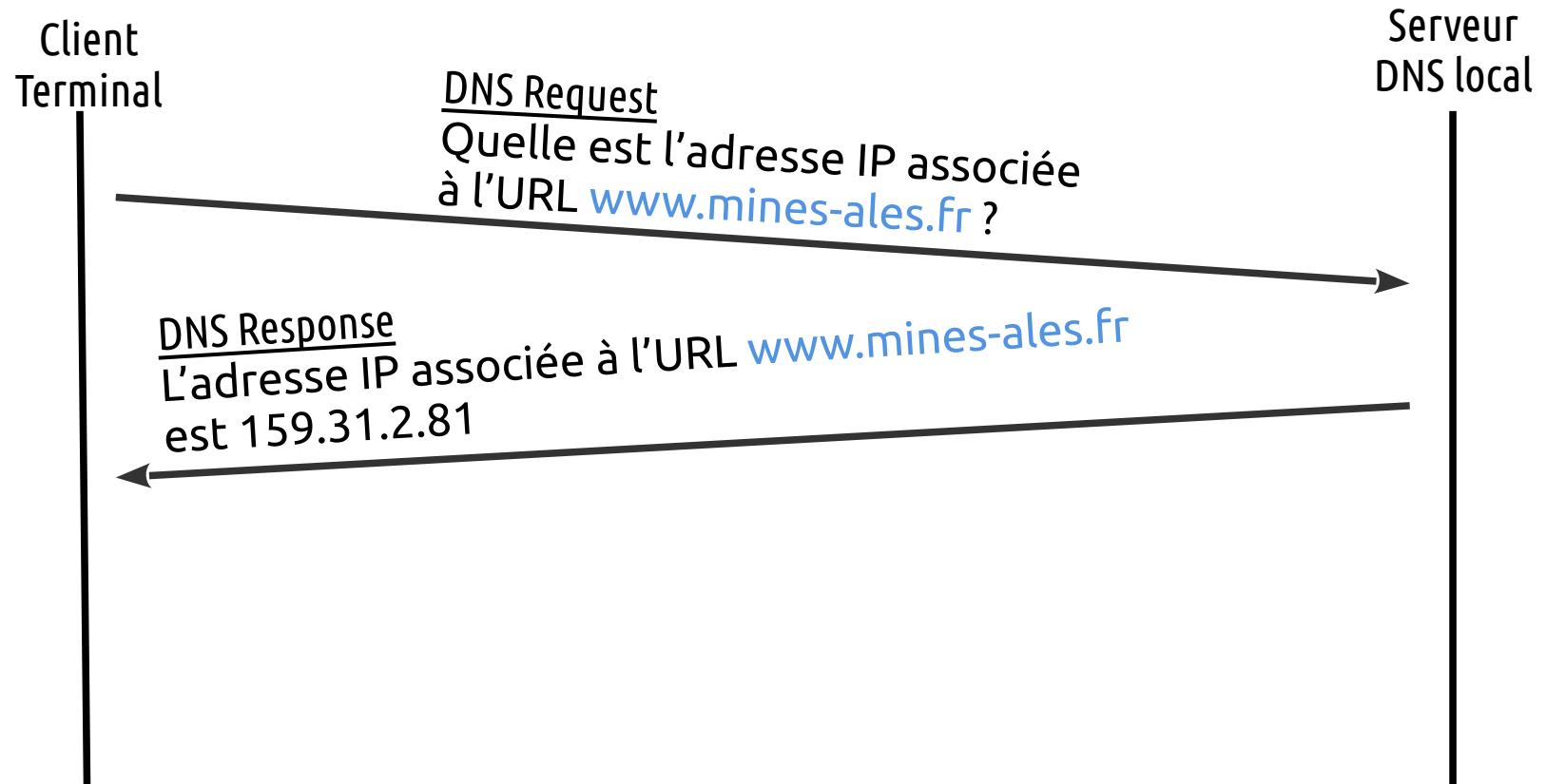
Service réseau

DNS

47



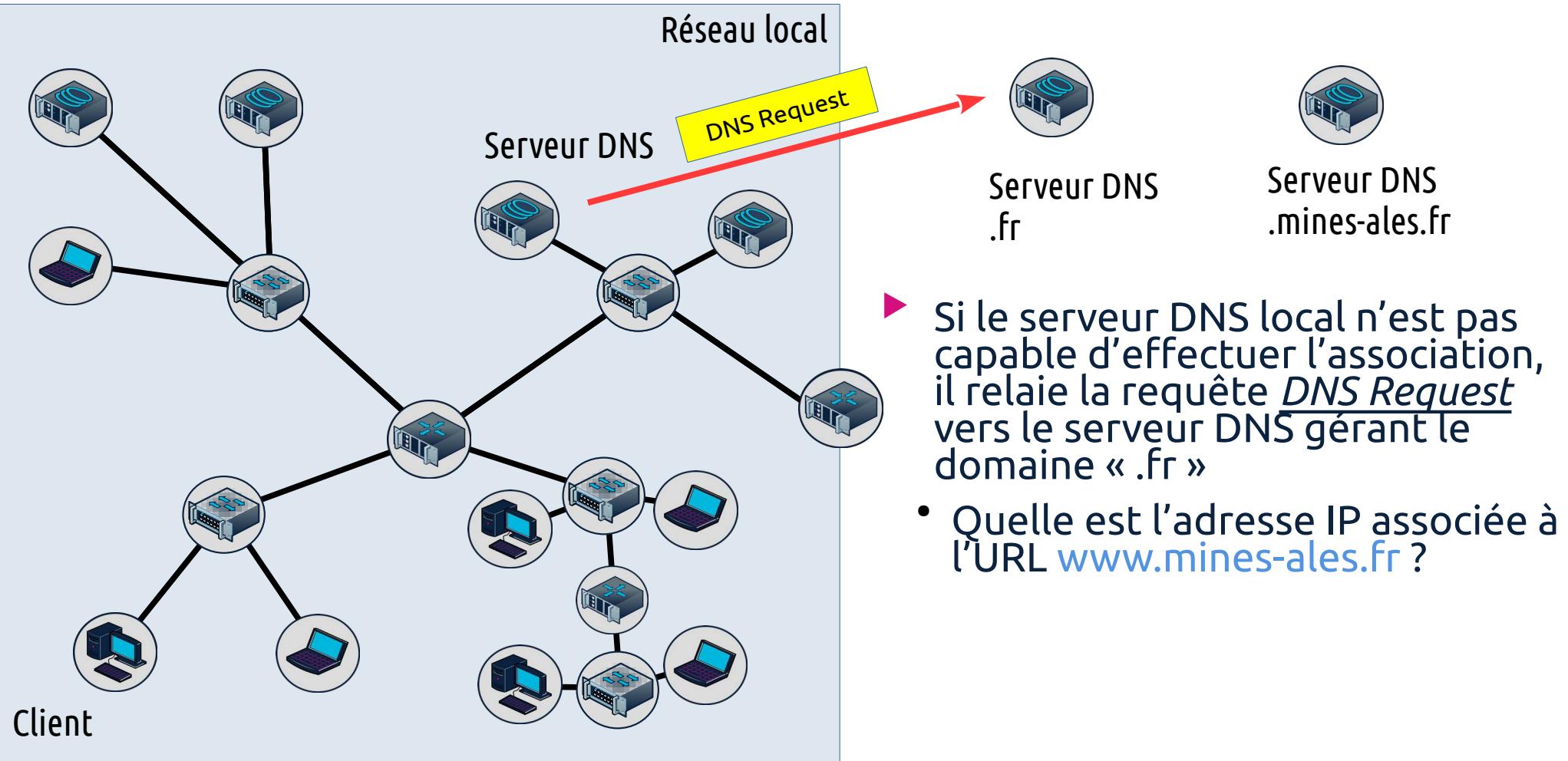
- ▶ Si le serveur DNS local est capable d'effectuer l'association, il transmet un message de réponse DNS Response au terminal client
 - L'adresse IP associée à l'URL www.mines-ales.fr est 159.31.2.81
- ▶ Le client peut contacter le serveur Web



Service réseau

DNS

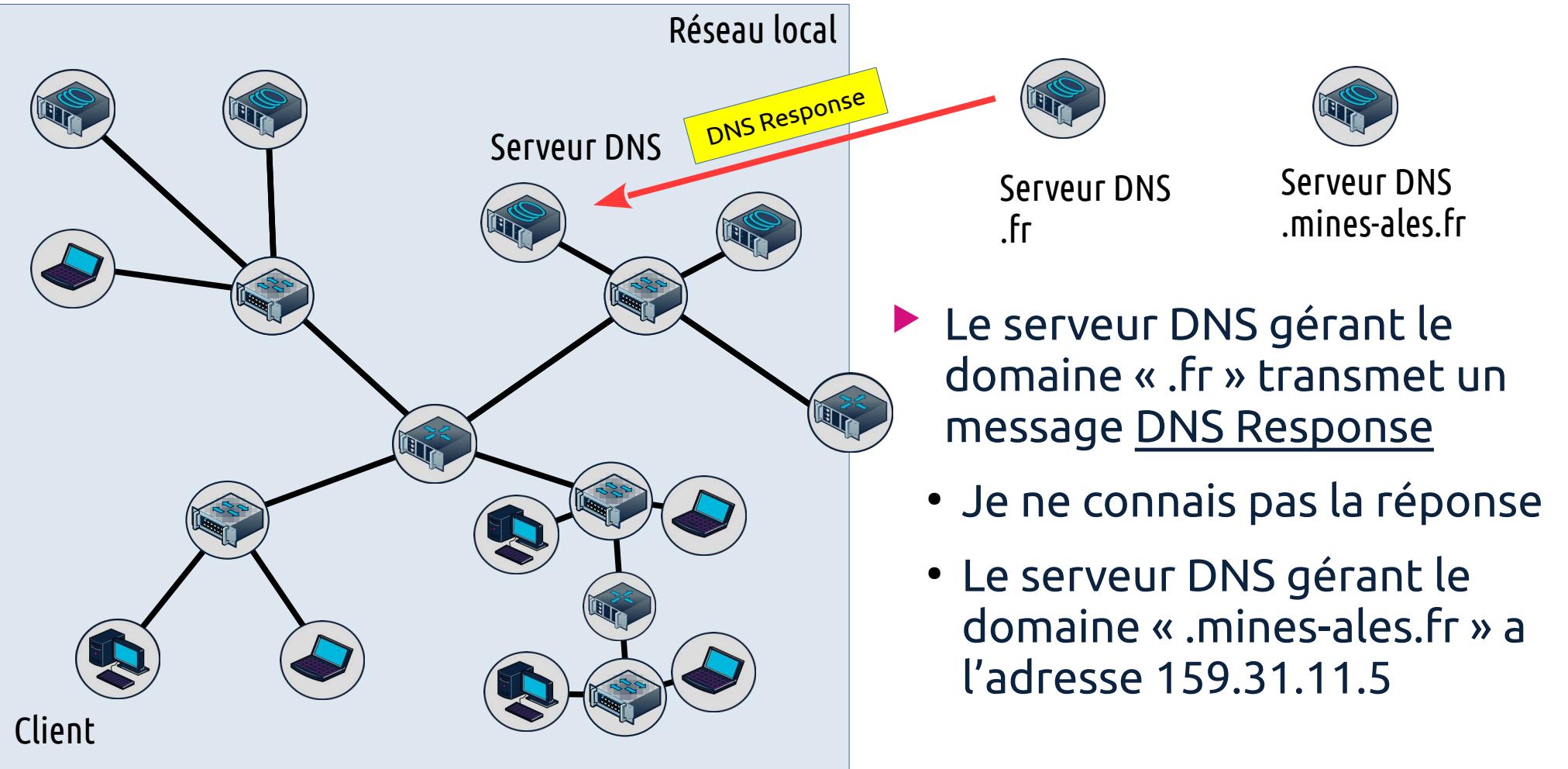
49



Service réseau

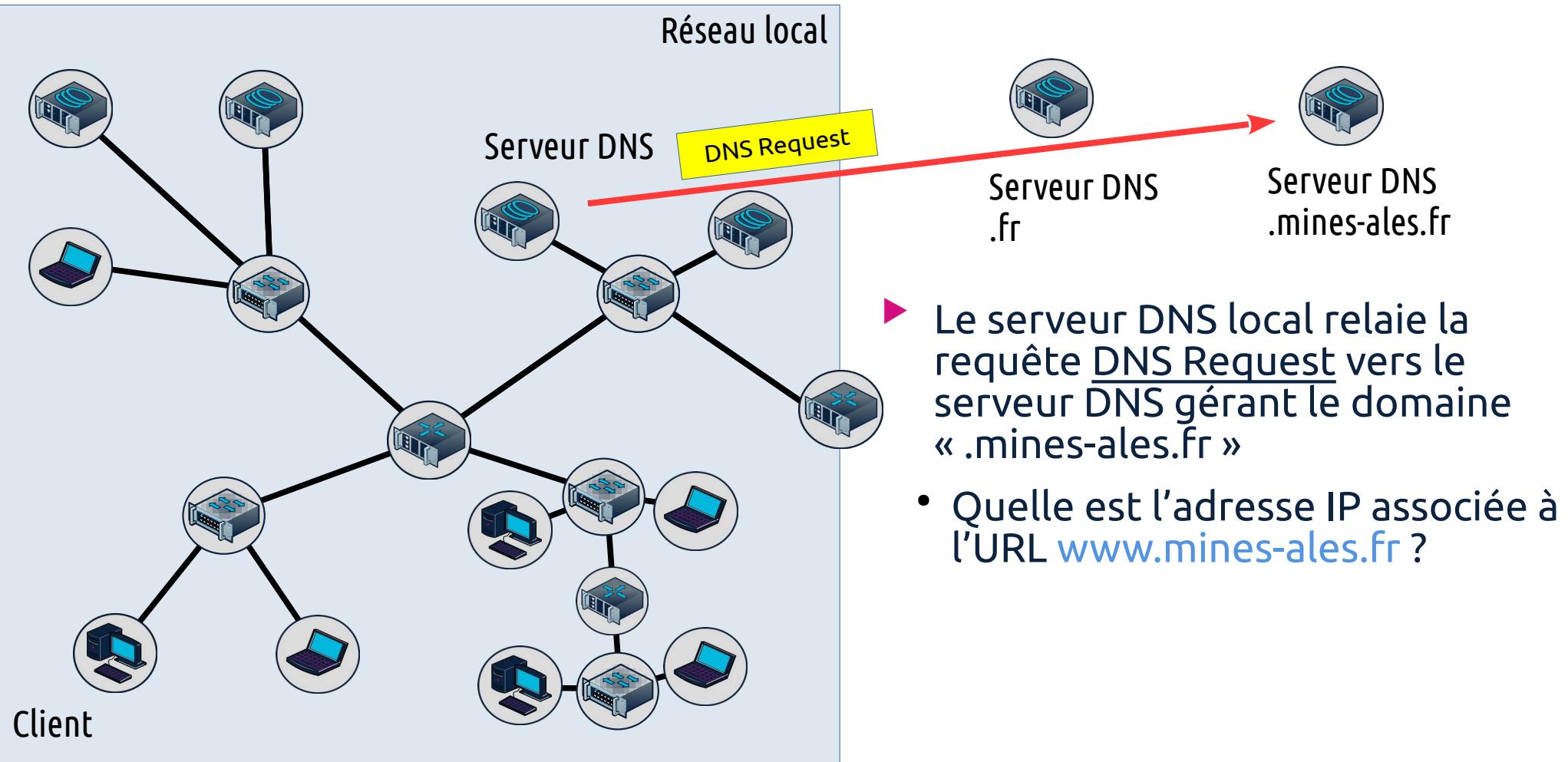
DNS

50



Service réseau

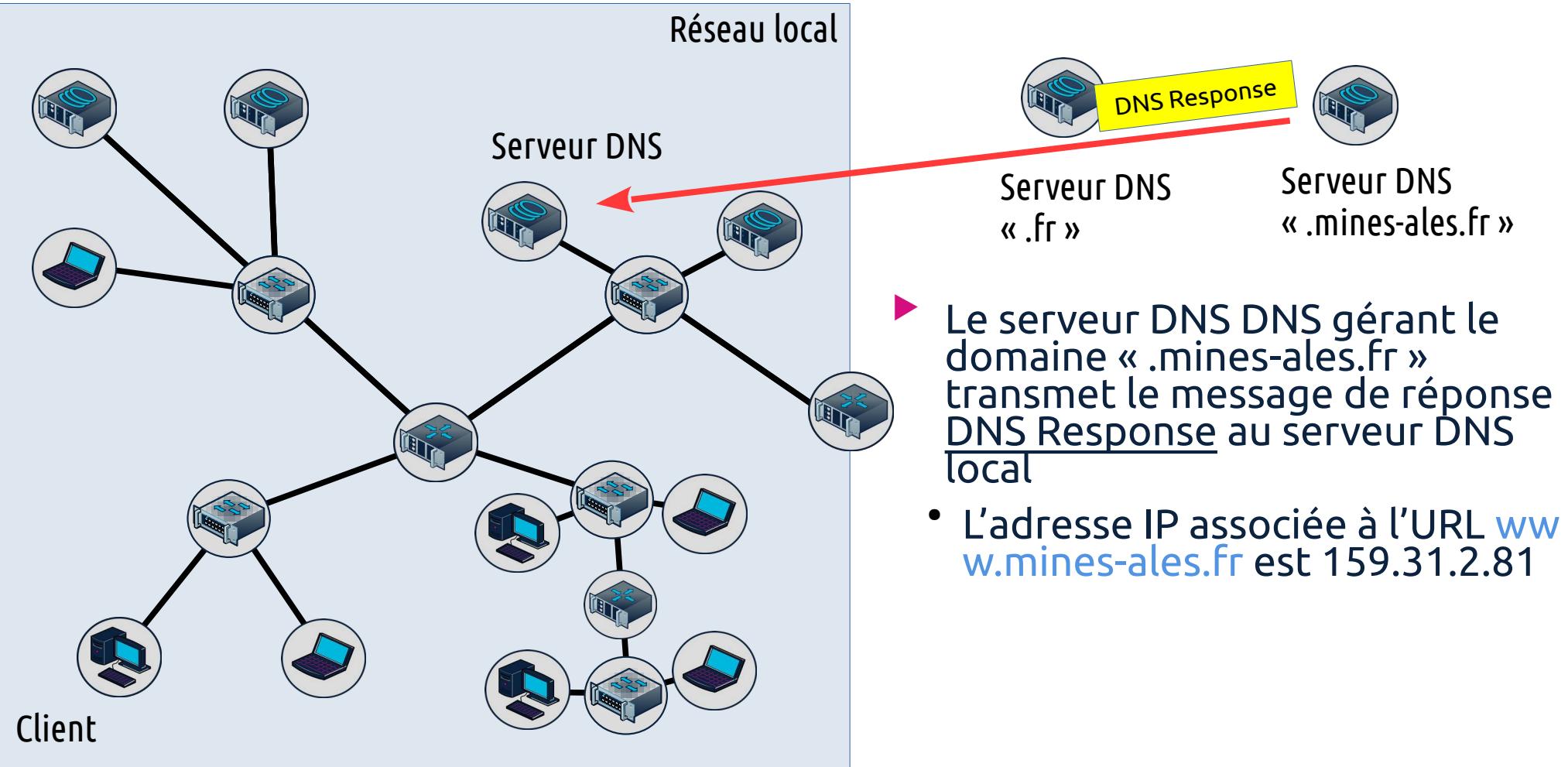
DNS



Service réseau

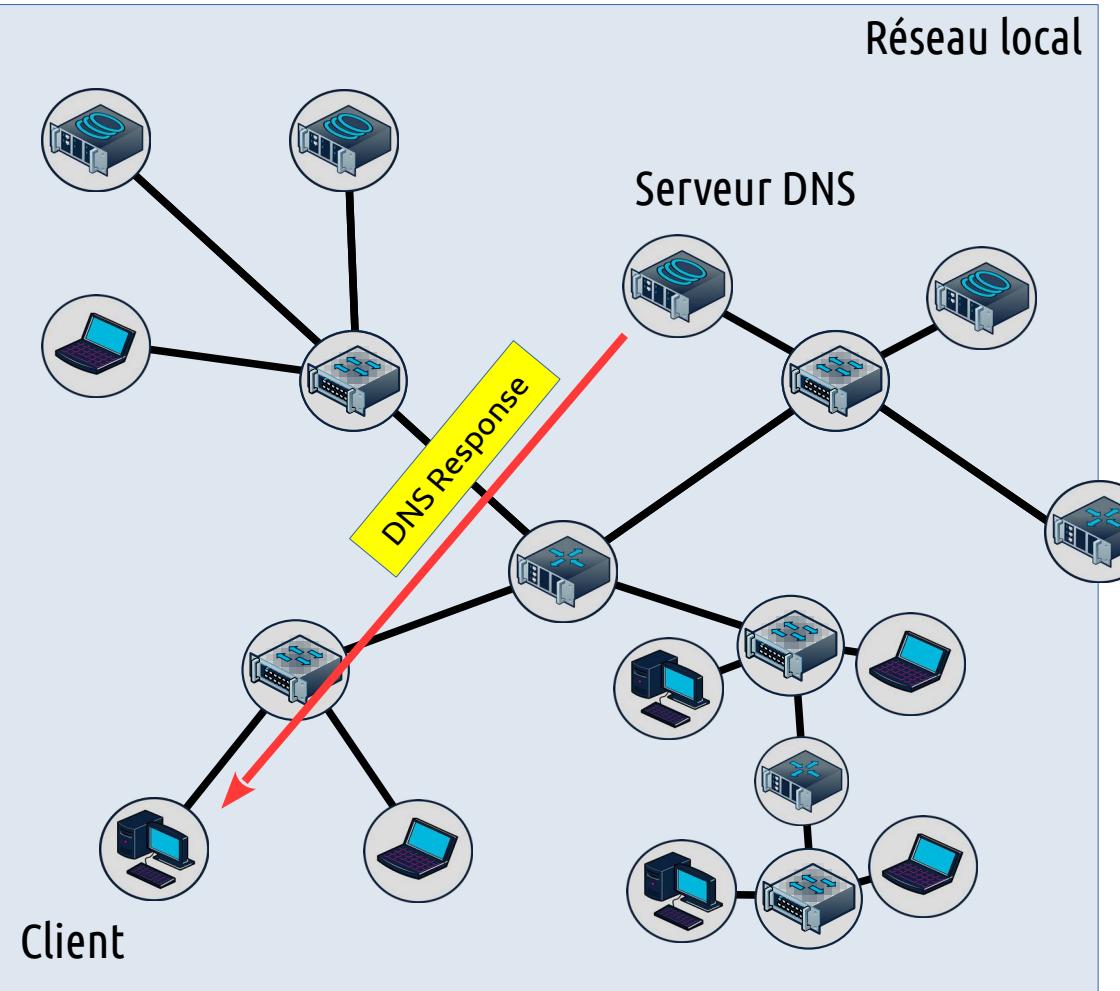
DNS

52



Service réseau

DNS

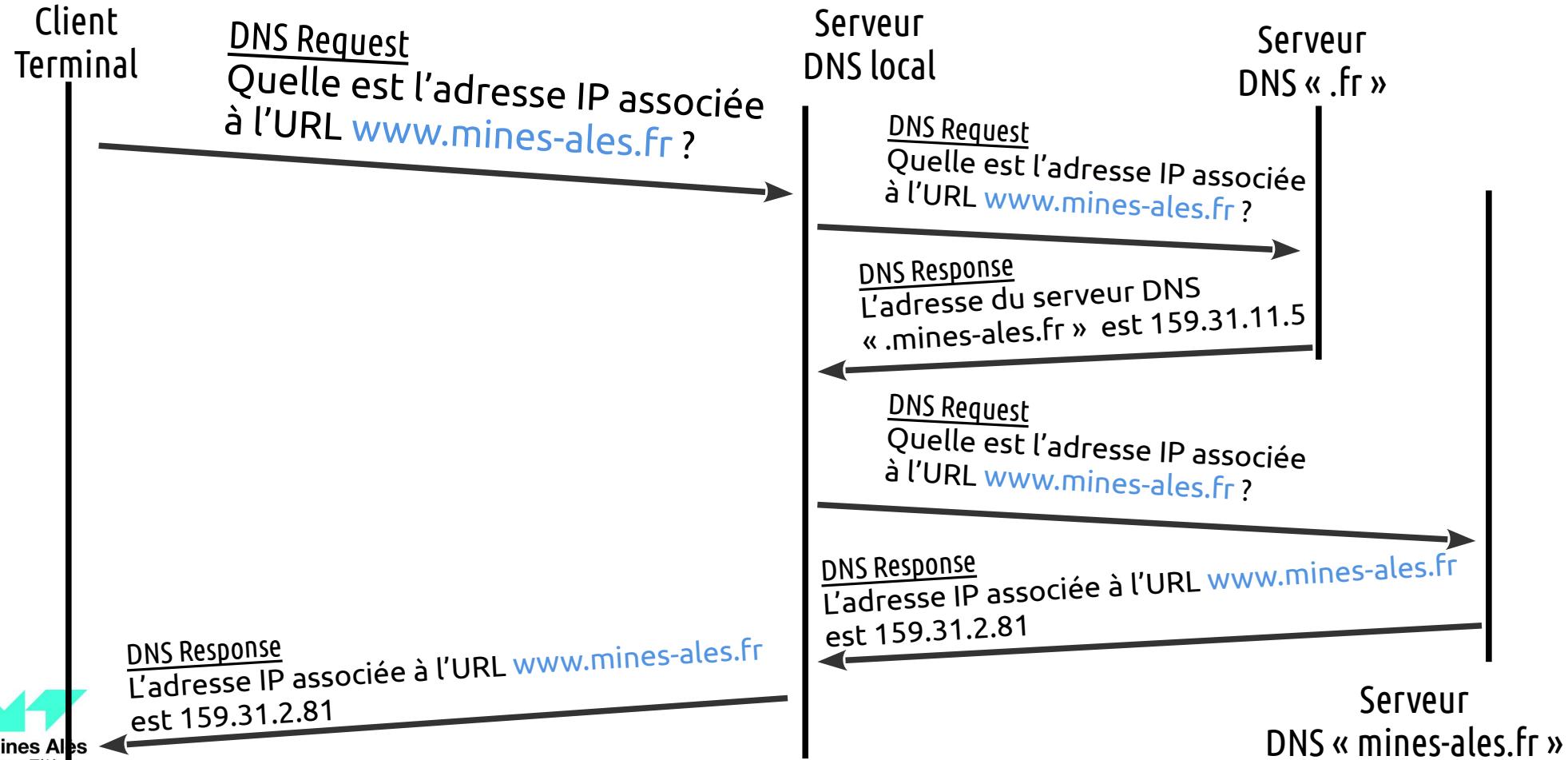


- ▶ Le serveur DNS local transmet un message de réponse DNS Response au terminal client
 - L'adresse IP associée à l'URL www.mines-ales.fr est 159.31.2.81
- ▶ Le client peut contacter le serveur Web

Service réseau

DNS

54



DHCP

Configuration automatique d'adresse

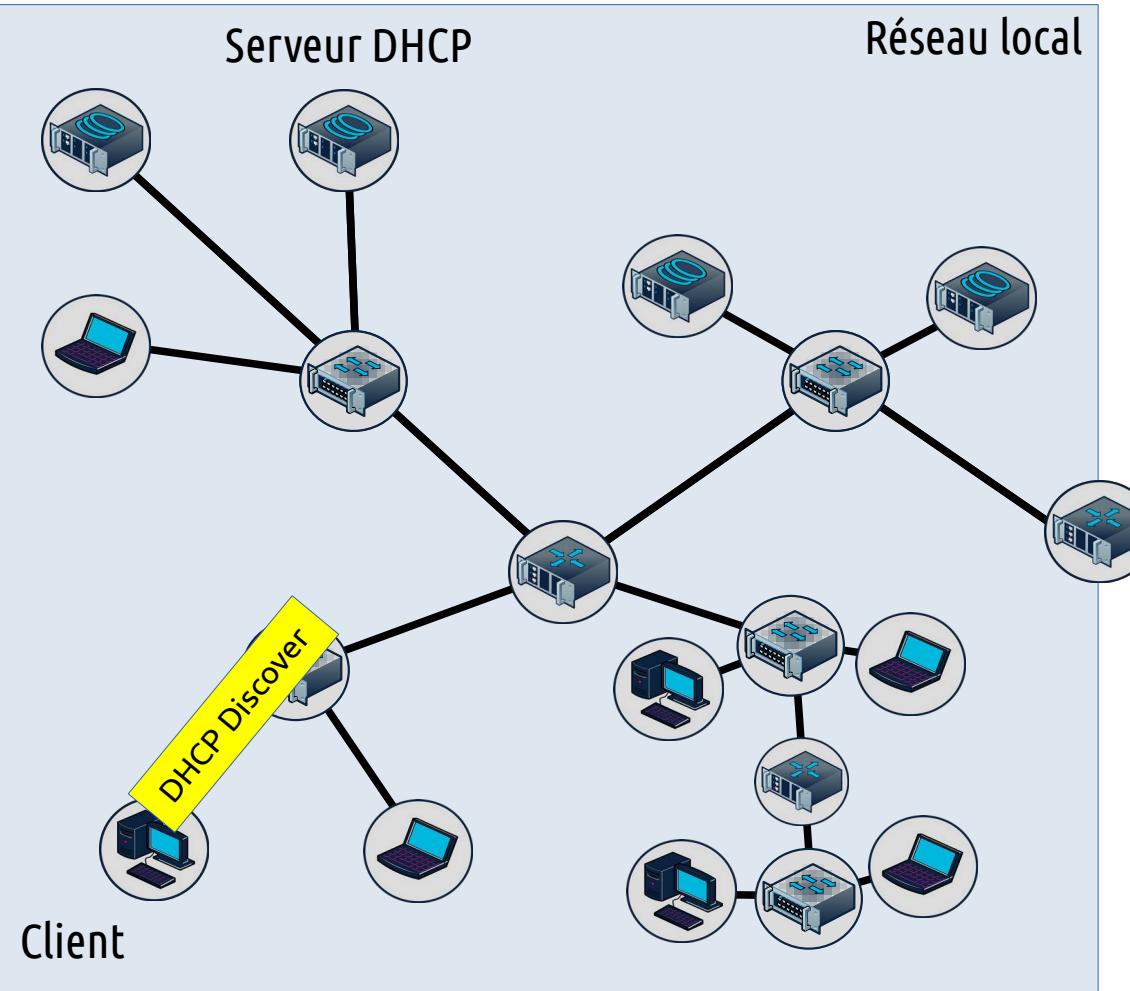
DHCP

- ▶ L'interface réseau peut être configurée automatiquement à l'aide du protocole DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
 - Permet d'obtenir
 - L'adresse d'interface réseau avec son préfixe (ou masque)
 - L'adresse d'interface du routeur par défaut (et donc la possibilité de définir une route par défaut)
 - L'adresse d'interface du ou des serveurs DNS (Domain Name System)
- ▶ Nécessite l'installation et la configuration d'un serveur DHCP dans le réseau local
- ▶ Protocole couramment utilisé avec les points d'accès WiFi et les modem ADSL

Service réseau

DHCP

57

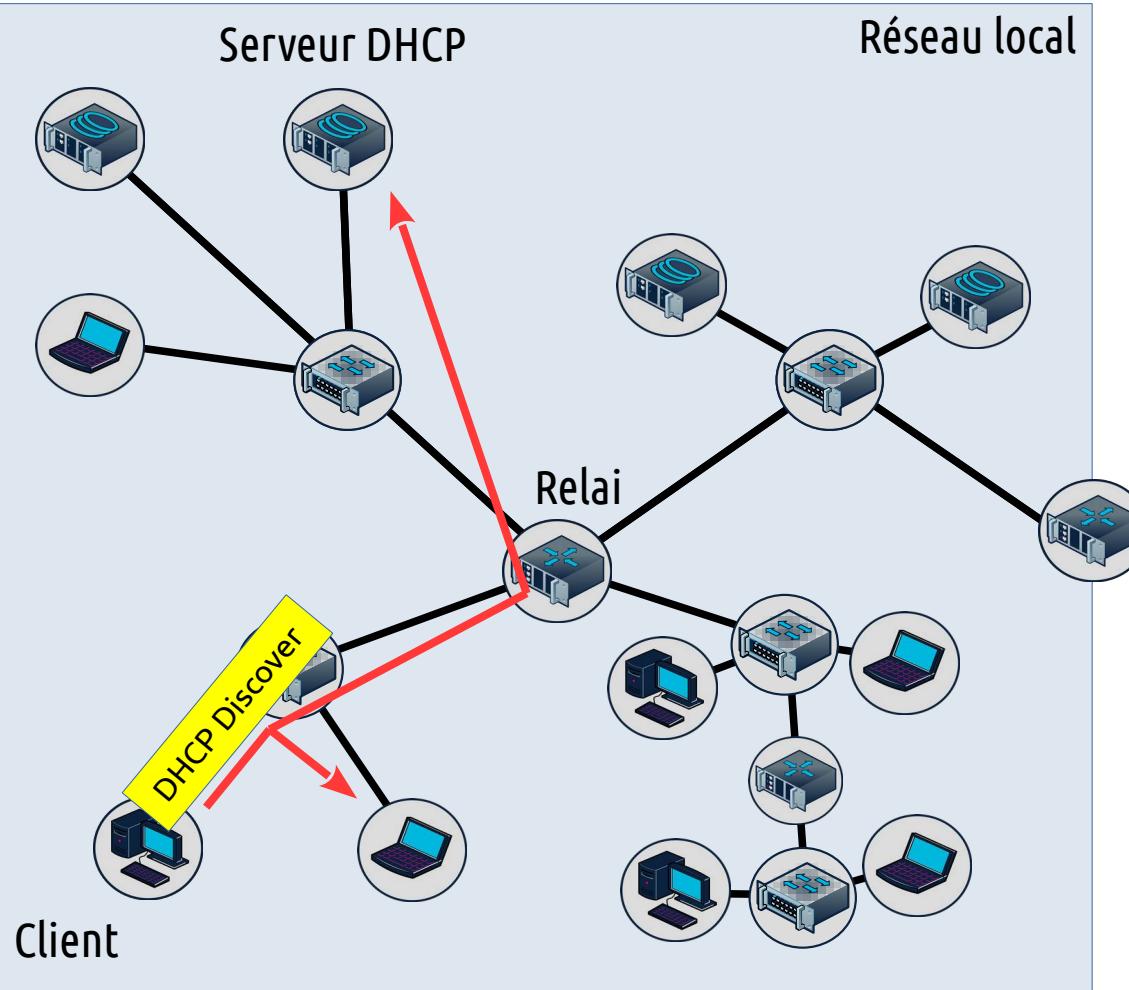


- ▶ Le terminal client souhaite configurer automatiquement son interface réseau
- ▶ Le client transmet un message de requête DHCP Discover
 - Y a t'il un serveur DHCP ?

Service réseau

DHCP

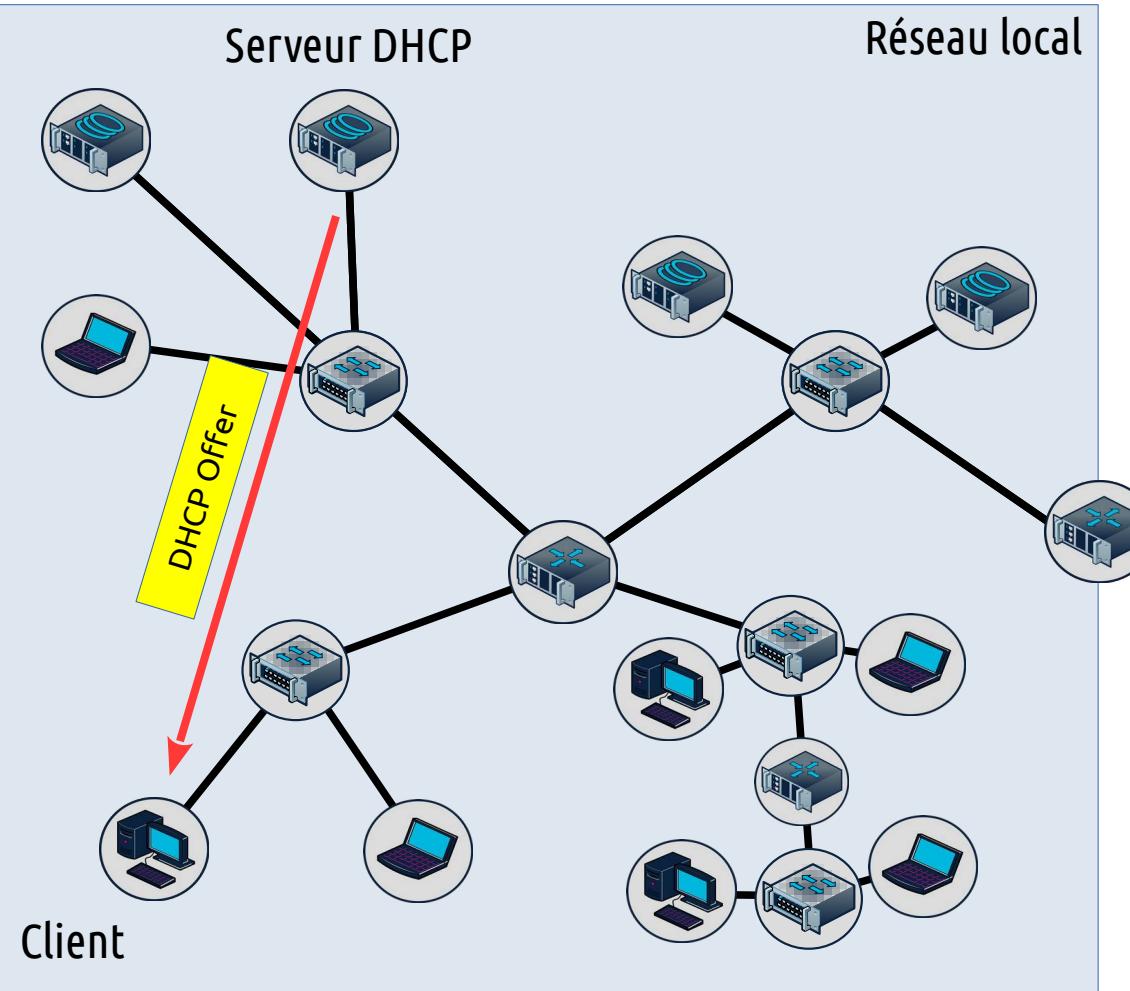
58



- ▶ Le client n'a pas connaissance de l'adresse et de la localisation du serveur DHCP
 - La requête est « diffusée » localement
 - Si le serveur DHCP n'est pas présent localement, la requête est relayée automatiquement par le routeur par défaut

Service réseau

DHCP

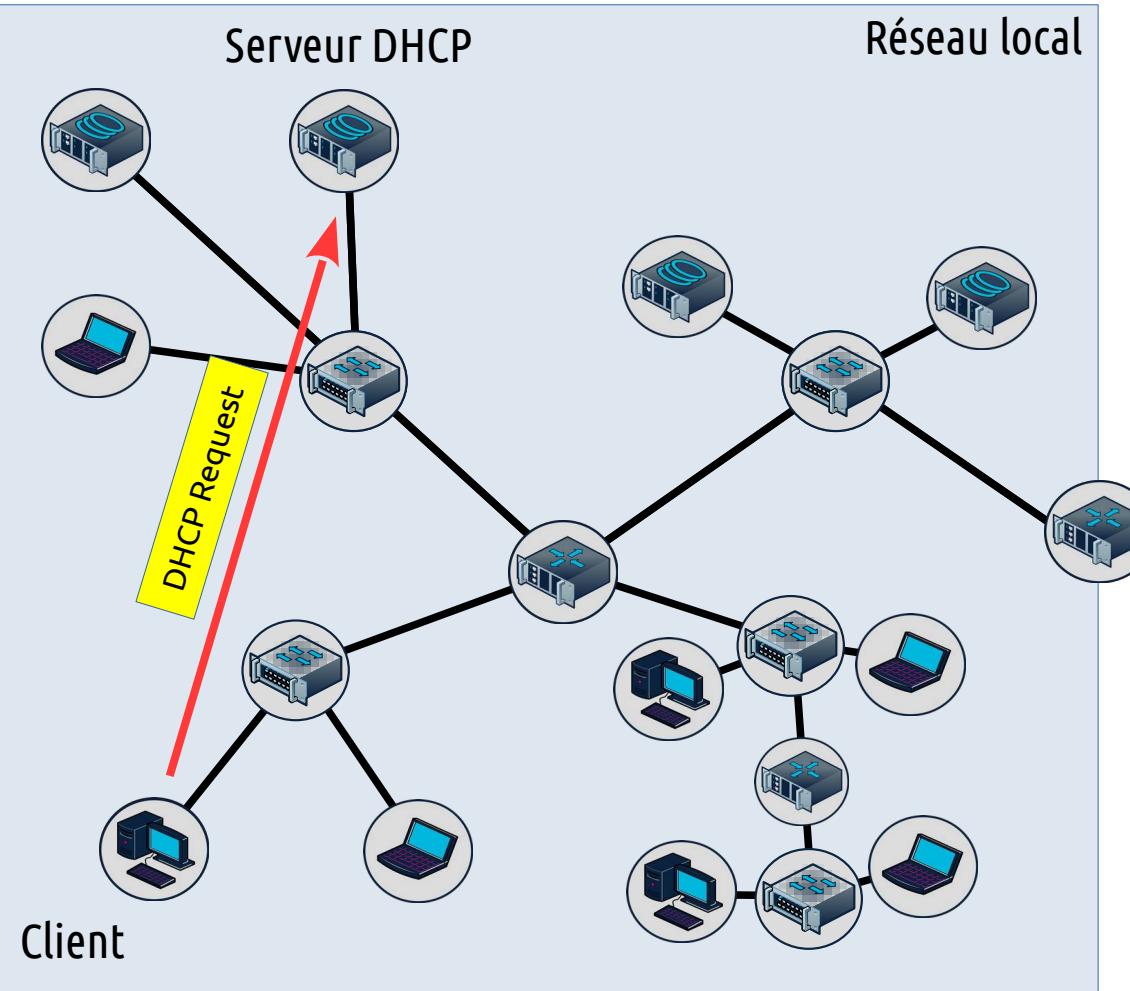


- ▶ Le serveur fait une proposition
- ▶ Le serveur transmet un message de réponse DHCP Offer (bail)
 - 159.31.10.25/24 adresse d'interface
 - 159.31.10.1 adresse d'interface du routeur par défaut
 - 159.31.20.5 adresse d'interface du serveur DNS

Service réseau

DHCP

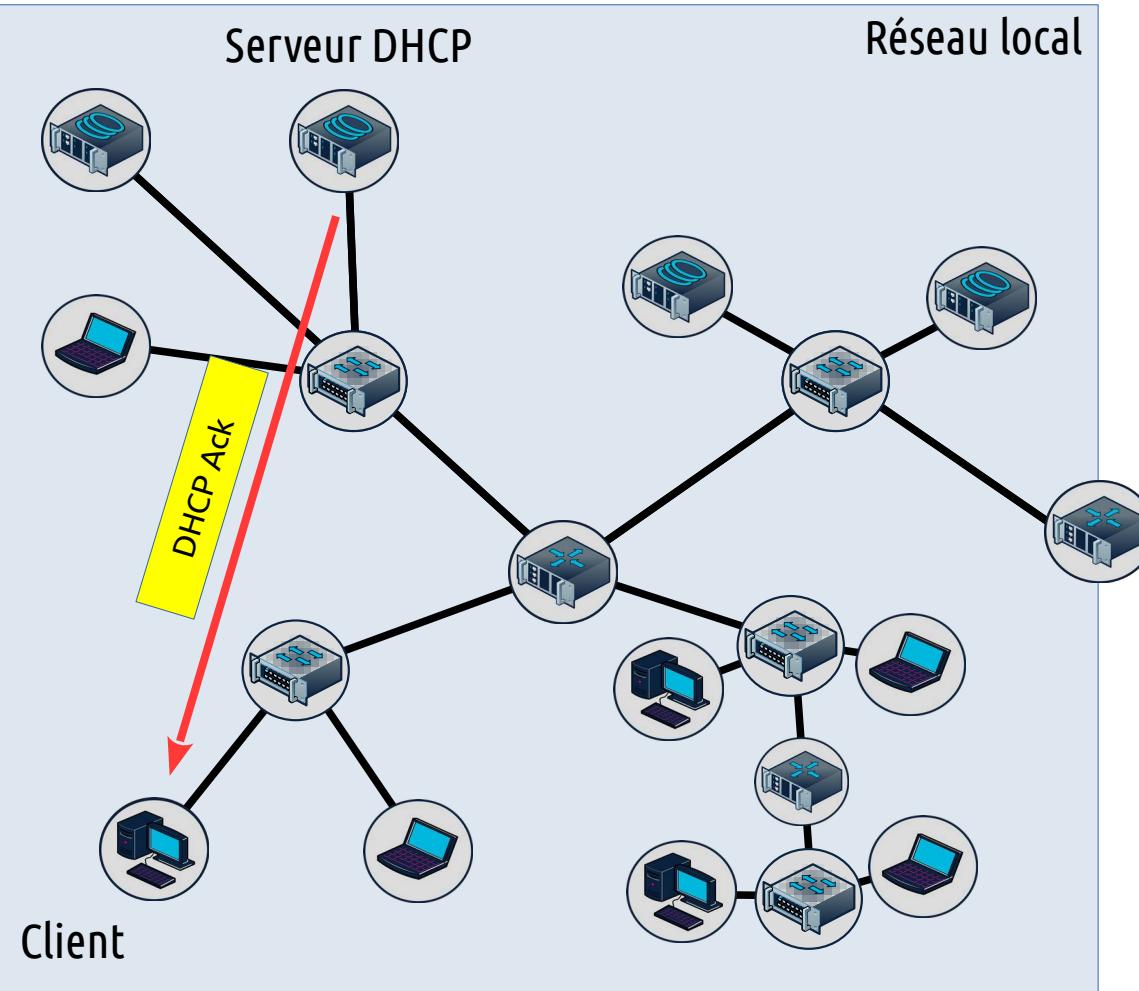
60



- ▶ Le client accepte la proposition de bail
- ▶ Le client transmet un message de réponse DHCP Request pour confirmer l'acceptation du bail

Service réseau

DHCP

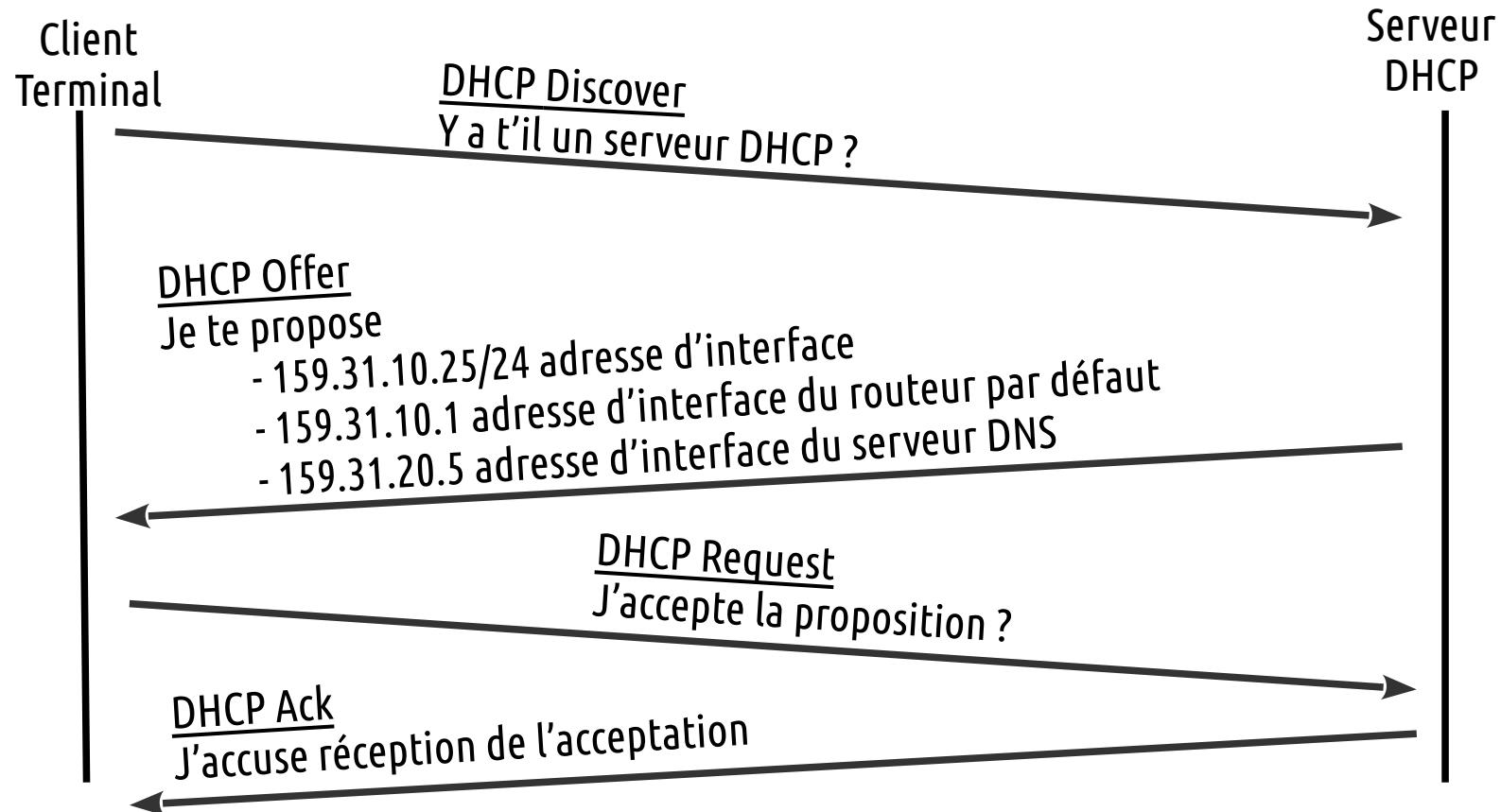


- ▶ Le serveur accueille réception de l'acceptation
- ▶ Le serveur transmet un message de réponse DHCP Ack

Service réseau

DHCP

62



NAT

Translation d'adresse
Adresses privées et publiques

NAT (Network Address Translator)

► Adresses privées

- Adresses utilisables uniquement dans un réseau local privé, et invisible depuis Internet
 - Les interfaces utilisant une adresse privée sont donc potentiellement inaccessibles depuis Internet
-
- Mais... l'accès vers Internet est lui aussi bloqué sans translation d'adresse

| |
|------------------|
| Adresses privées |
| 10.0.0.0/8 |
| 172.16.0.0/12 |
| 192.168.0.0/16 |

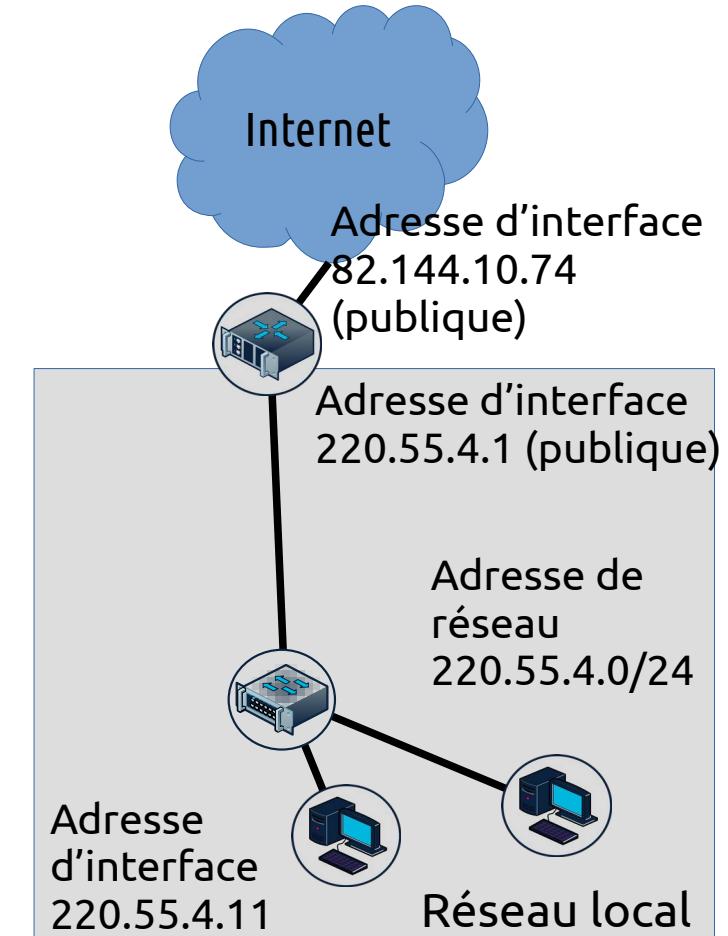
Service réseau

65

NAT (Network Address Translator)

► Cas sans translation d'adresse

- Le réseau local a une adresse de réseau publique
- Le réseau ne contient que 2 terminaux
 - Or, la capacité d'adressage permet d'adresser 254 interfaces, donc 252 adresses publiques sont définitivement perdues
 - C'est une des causes de la pénurie des adresses IPv4
 - Les terminaux sont vulnérables, car visibles depuis Internet

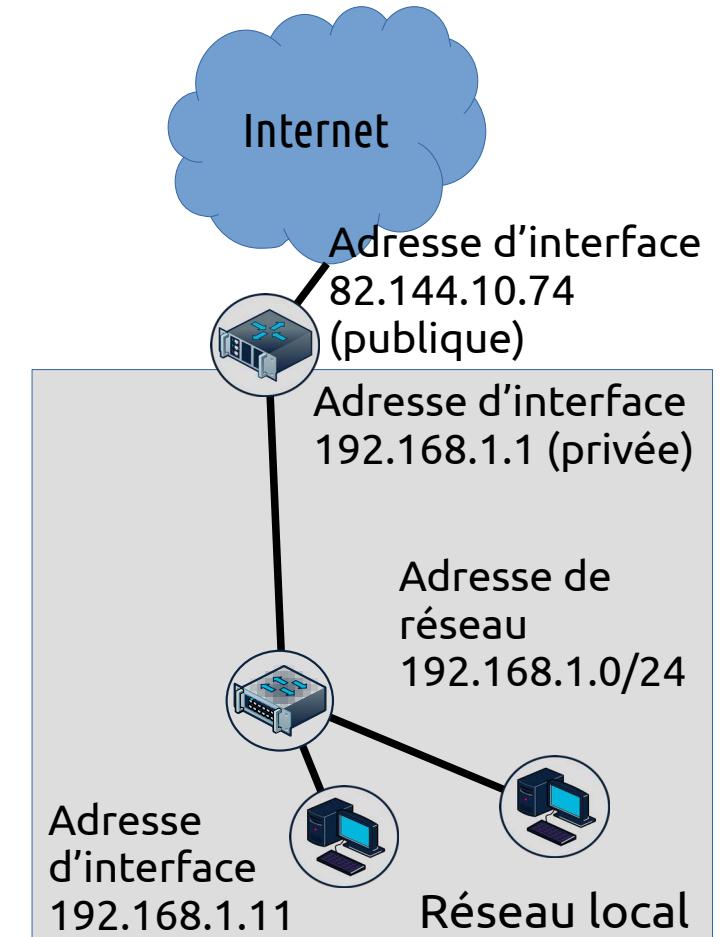


Service réseau

NAT (Network Address Translator)

► Cas avec translation d'adresse

- Le réseau local a une adresse de réseau privée
- Une seule adresse publique est utilisée
 - Règle le problème de pénurie
 - Les terminaux sont moins vulnérables, car invisible depuis Internet



Service réseau

67

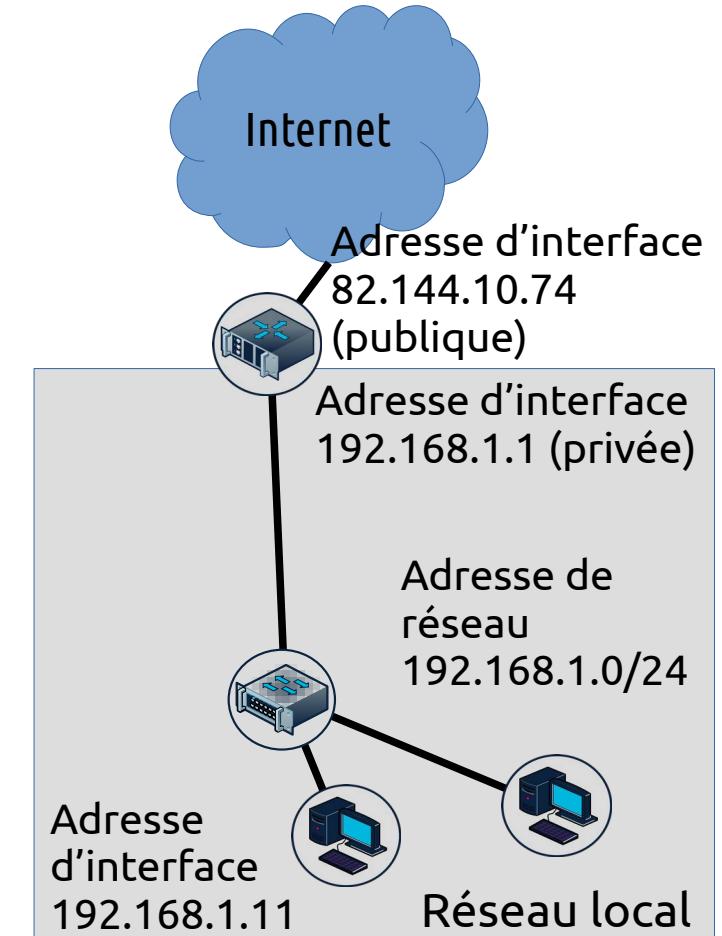
NAT (Network Address Translator)

- ▶ La translation d'adresse permet de lier l'adresse d'interface publique du routeur de bordure, et une adresse d'interface privée d'un terminal
- ▶ NAT utilise les numéros de port des applications utilisant le service réseau
 - Numéro permettant d'identifier l'application au sein du système d'exploitation des terminaux ou serveurs

192.168.1.11 + numéro de port 10277



82.144.10.74



Service réseau

NAT

68

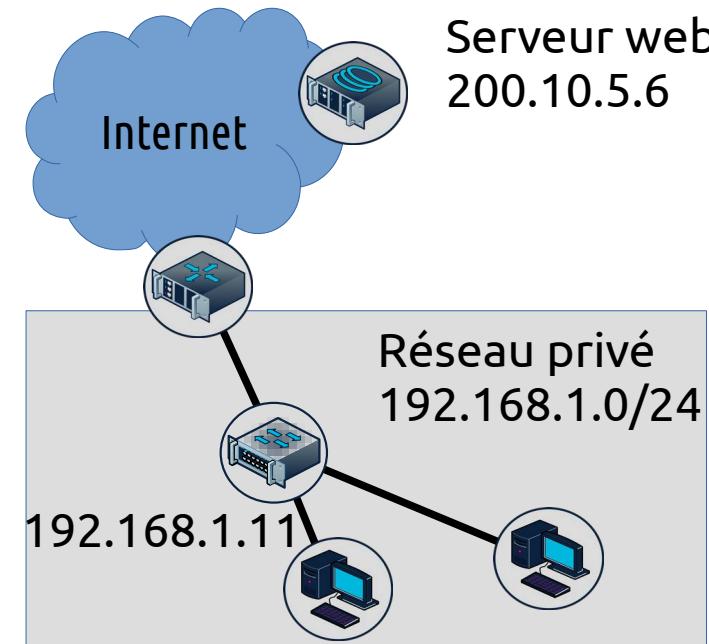
| Interne (privé) | | Externe (public) | | | |
|-------------------|-------|-------------------|-------|------------------------|------|
| Source Adresse | Port | Source Adresse | Port | Destination Adresse | Port |
| 192.168.1.11 | 10277 | 82.144.10.74 | 32041 | 200.10.5.6 | 80 |

Identifie le navigateur Web au sein du système d'exploitation du terminal

Identifie le service Web au sein du système d'exploitation du serveur

192.168.1.11 – 200.10.5.6 10277 – 80 HTML

Paquet transmis par le navigateur Web



Service réseau

NAT

69

| Interne (privé) | | Externe (public) | | | |
|-----------------|--------|------------------|-------|------------|------|
| Source | Source | Destination | | | |
| Adresse | Port | Adresse | Port | Adresse | Port |
| 192.168.1.11 | 10277 | 82.144.10.74 | 32041 | 200.10.5.6 | 80 |

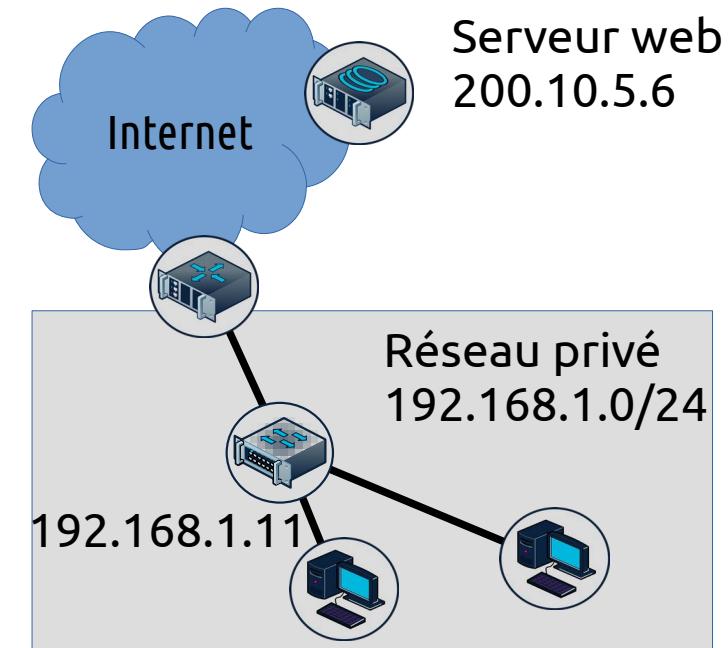
Paquet reçu par le serveur Web

82.144.10.74 – 200.10.5.6 | 32041 – 80 | HTML

↑ Translation des adresses et des ports en sortie du réseau privé

192.168.1.11 – 200.10.5.6 | 10277 – 80 | HTML

Paquet transmis par le navigateur Web



Service réseau

NAT

70

| Interne (privé) | | Externe (public) | | | |
|-----------------|--------|------------------|-------|------------|------|
| Source | Source | Destination | | | |
| Adresse | Port | Adresse | Port | Adresse | Port |
| 192.168.1.11 | 10277 | 82.144.10.74 | 32041 | 200.10.5.6 | 80 |

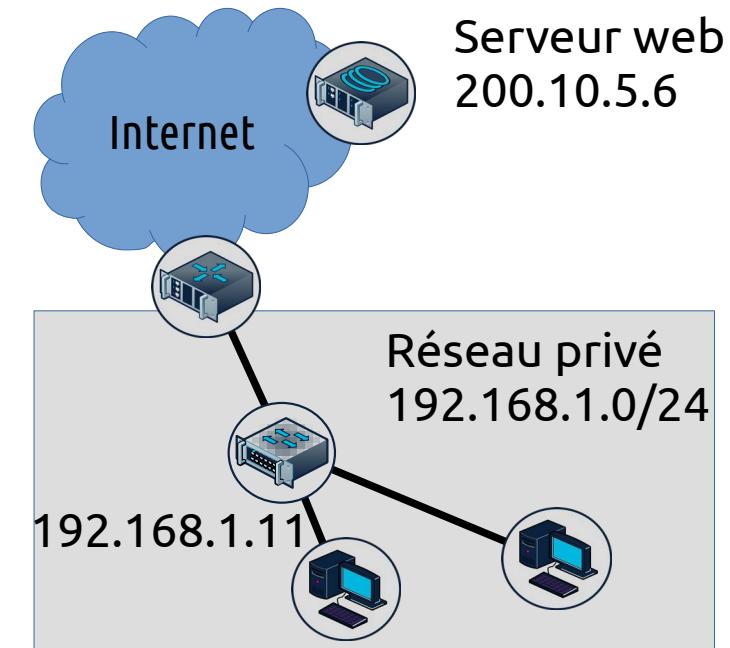
Paquet transmis par le serveur Web

200.10.5.6 – 82.144.10.74 80 – 32041 HTML

Translation des adresses et des ports en entrée du réseau privé

200.10.5.6 – 192.168.1.11 80 – 10277 HTML

Paquet reçu par le navigateur Web



Service réseau

NAT

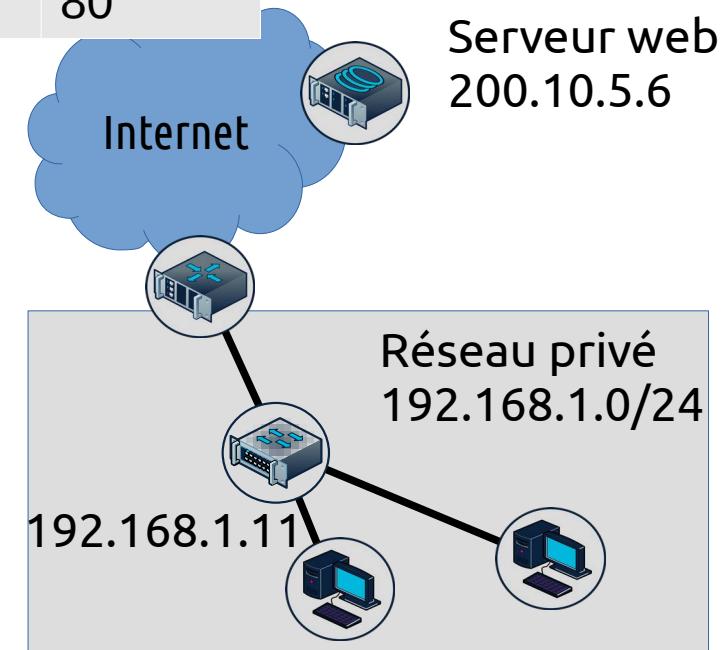
71

| Interne (privé) | | Externe (public) | | | |
|-----------------|--------|------------------|-------|------------|------|
| Source | Source | Destination | | | |
| Adresse | Port | Adresse | Port | Adresse | Port |
| 192.168.1.11 | 10277 | 82.144.10.74 | 32041 | 200.10.5.6 | 80 |
| 192.168.1.11 | 20354 | 82.144.10.74 | 32042 | 200.10.5.6 | 80 |



Identifie le 2^{ème} navigateur Web au sein du terminal

- Un 2^{ème} navigateur Web effectue une requête auprès du serveur Web, depuis le même terminal



Les équipements hybrides

72

Le modem ADSL ou FTTH (Fiber To The Home)

- ▶ Il combine un routeur, commutateur Ethernet et point d'accès WiFi
- ▶ Mais aussi
 - Serveur DHCP
 - Serveur DNS
 - Et routeur avec service NAT

