

Module Internet et Réseau

Cours n°1

Introduction : couches du modèle TCP/IP et addresses

Polytech - SI4 - 2015-2016

L. Sassatelli

sassatelli@i3s.unice.fr

http://www.i3s.unice.fr/~sassatelli/CoursSI4_2015.pdf

http://www.i3s.unice.fr/~sassatelli/TD_SI4_2015.pdf

Informations générales

- Organisation :
 - 6 semaines cours réseau (D. Lopez)
 - 6 semaines programmation réseau (AM Pinna)
- Notation : 1 DS + 1 TP noté
 - Contrôle surprise possible
- En séance :
 - pas de laptop/tablette/tél
 - Prise de note sur papier uniquement
 - Responsabilité personnelle de maintenir son PC pour pouvoir faire les TP (VirtualBox, VM, espace HDD)

Plan du 1er cours

- I. Les couches du modèle TCP/IP (OSI)
- II. Approche bottom-up rapide
- III. La couche réseau : adressage IP
- IV. La couche liaison de données : le protocole ARP

Plan

- I. Les couches du modèle TCP/IP (OSI)
- II. Approche bottom-up rapide
- III. La couche réseau : adressage IP
- IV. La couche liaison de données : le protocole ARP

LES couches du modèle TCP/IP

IMPORTANTISSIME

- Au début des années 1970, lorsque s'est posé le problème de faire communiquer 2 machines au travers d'un réseau, ce gros problème a été divisé en plusieurs sous-problèmes.
- Cette division a été normalisée. C'est le modèle OSI.
- Une couche du modèle OSI correspond donc à un sous-problème.
- Un protocole « appartient » à une couche s'il résout ce sous-problème.
- Un protocole correspond donc à un traitement effectué.
- Ce traitement est implémenté dans différents composants du réseau. Dans votre machine, où les traitements de toutes les couches sont implémentés, vous devez savoir où chacun l'est.

- **Le modèle OSI correspond donc au découpage de la chaîne de traitements à appliquer pour communiquer sur un réseau, en blocs de traitements dont les entrées/sorties sont normalisées.**
- **Intérêts de l'isolation entre les couches : assurance du bon fonctionnement quand on associe différentes résolutions de chaque sous-problème (inter-opérabilité).**

Les couches du modèle TCP/IP

Couche	Sous-problème	Implémenté dans	Exemple de protocole
Application	Communication machine/utilisateur	Logiciel	http, ftp, ssh,...
Transport	Faire communiquer 2 processus entre eux indépendamment de ce qui se passe sur le réseau	OS	TCP, UDP
Réseau	Trouver le chemin entre les 2 machines (la suite d'équipements intermédiaires à traverser)	OS	IP
Liaison de données	Gérer l'accès au medium (câble, sans-fil, fibre, ...), comme accès multiple, correction d'erreur, etc.	Carte réseau	Ethernet, WiFi,...
Physique	Assurer la traduction bit/ondes électromagnétiques	Carte réseau	Ethernet, WiFi,...

Les couches du modèle TCP/IP

- Une couche est donc un sous-problème.
- Il peut exister plusieurs façons de résoudre le même sous-problème.
- Un protocole est un traitement.
- On dit qu'un protocole appartient à une couche s'il résout le sous-problème défini par cette couche.
- Plusieurs protocoles peuvent appartenir à la même couche s'ils résolvent le même sous-problème de manières différentes (exemple avec la couche transport : TCP et UDP).
- Un protocole peut n'appartenir à aucune couche.

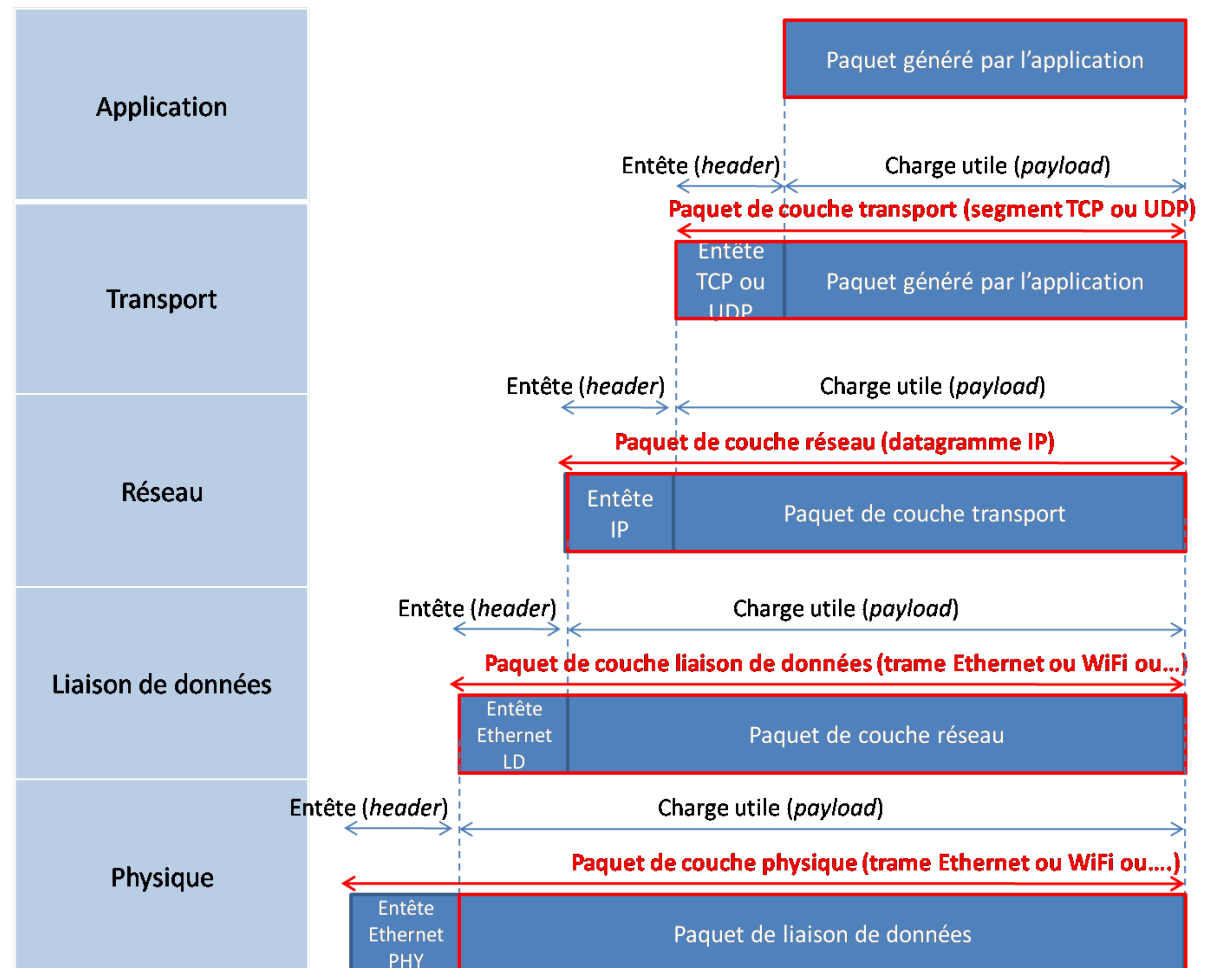
Dénomination des paquets

- « **paquet** » : terme générique désignant un ensemble de bits issu de n'importe quelle couche OSI, c'est-à-dire des bits en sortie de tout bloc de traitement correspondant à une couche.
- L'ensemble des bits issu d'une couche regroupe
 - les bits rajoutés par cette couche
 - les bits rajoutés aux couches précédentes (« supérieures » dans le modèle OSI).
- Selon la couche, un paquet qui en est issu porte un nom différent.

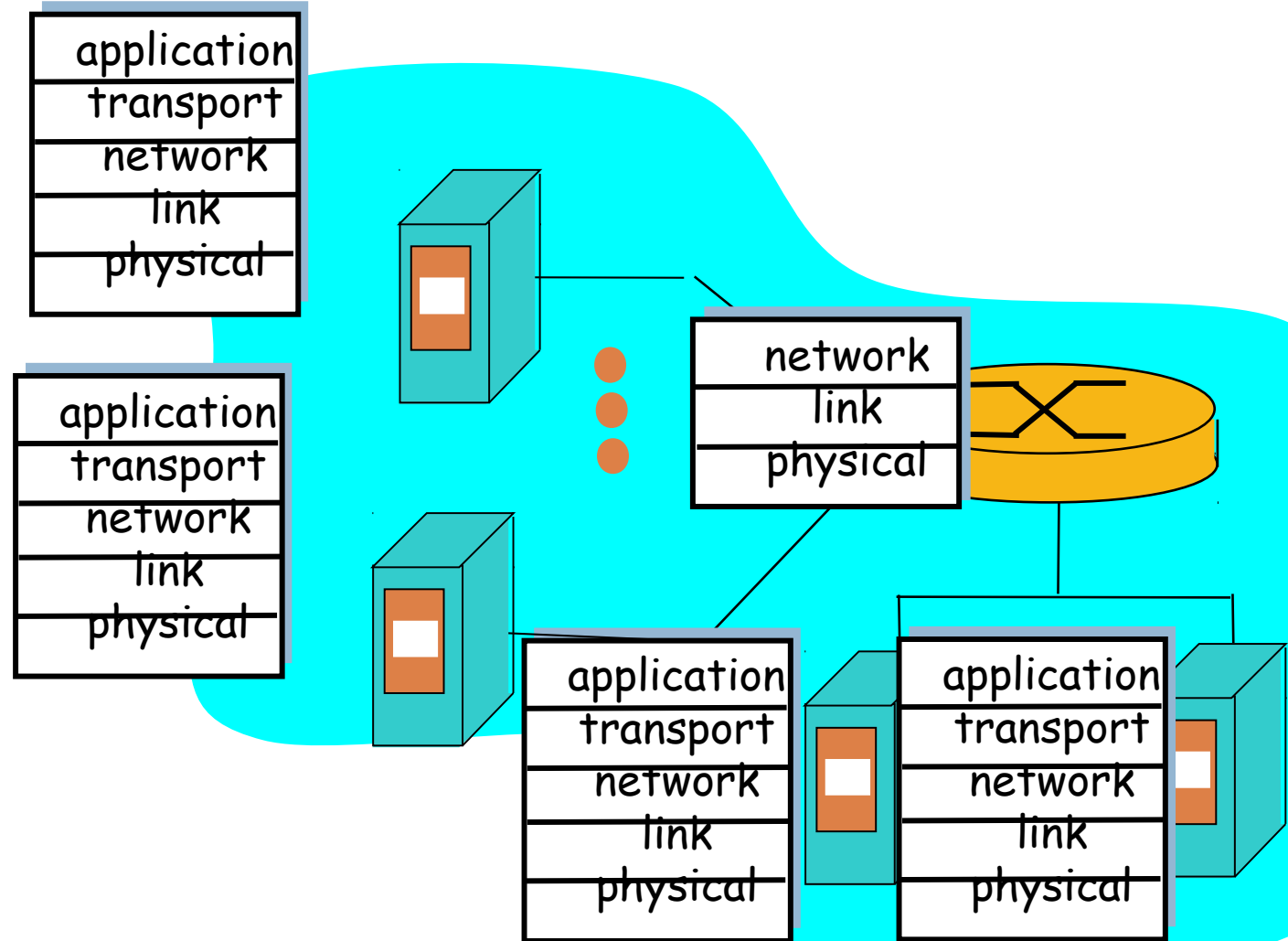
Couche	Ex. de protocole	Nom du paquet
Application	http, ftp, ssh,...	Message
Transport	TCP, UDP	Segment
Réseau	IP	Datagramme
Liaison de données	Ethernet, WiFi,...	Trame
Physique	Ethernet, WiFi,...	Trame

L'encapsulation

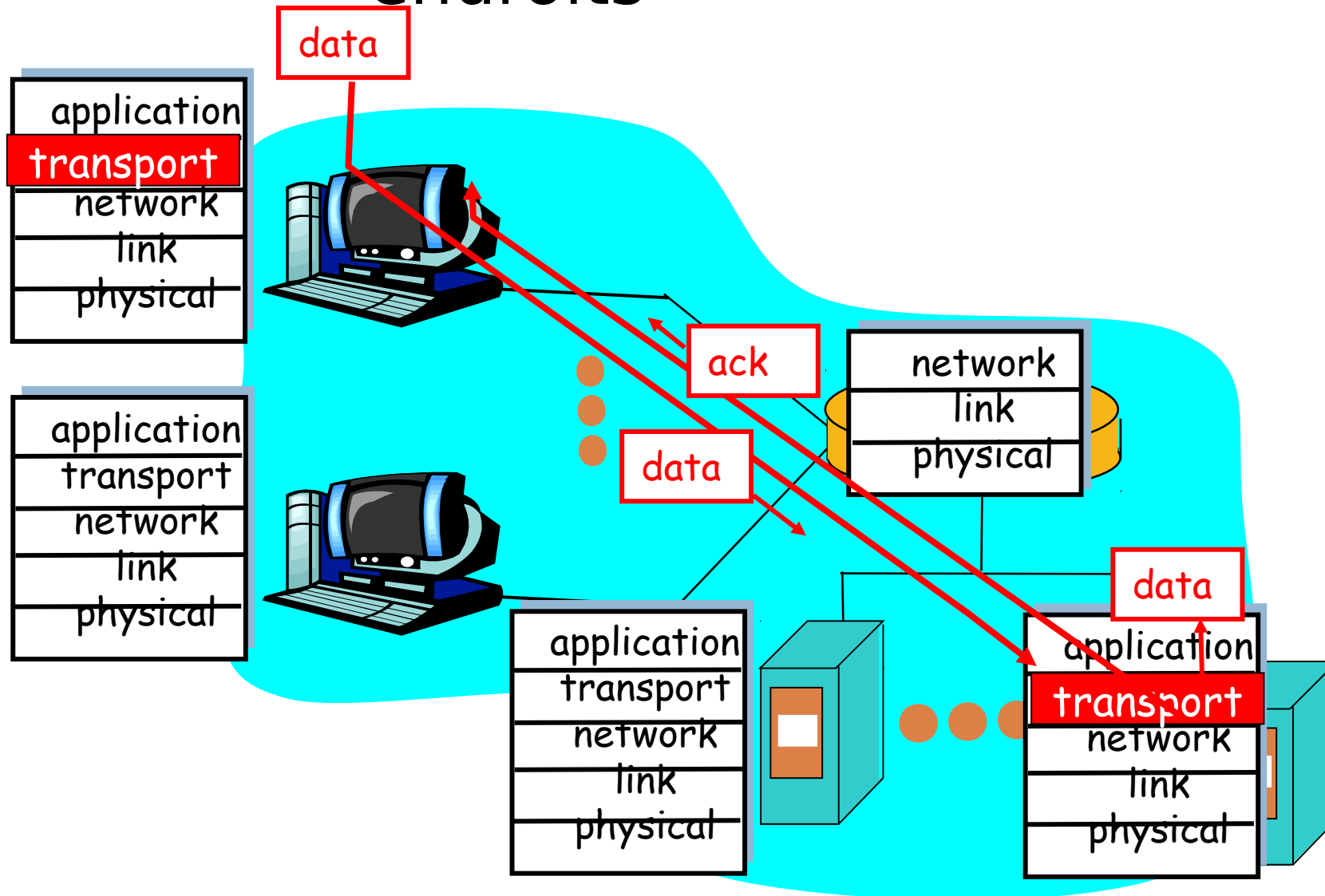
- Des bits sont ajoutés par chaque traitement (à chaque passage à travers une couche) pour que ce traitement puisse fonctionner.
- Ce traitement est un protocole qui résout le sous-problème que la couche définit.
- On dit que chaque protocole rajoute une **entête**.
- Si le protocole A est implémenté après le protocole B, alors on dit que le protocole A « **encapsule** » le protocole B.
- Les entêtes sont rajoutées successivement en préfixe du paquet sortant de la couche précédente :



Couches : implémentées à différents endroits



Couches: implémentées à différents endroits



Plan

- I. Les couches du modèle TCP/IP (OSI)
- II. Approche bottom-up rapide
 1. Entre 2 machines sur le même réseau local (Local Area Network - LAN)
 2. Entre 2 machines sur 2 LAN différents
 3. Problème de la résolution @IP/Nom de machine
- III. La couche réseau : adressage IP
- IV. La couche liaison de données : le protocole ARP

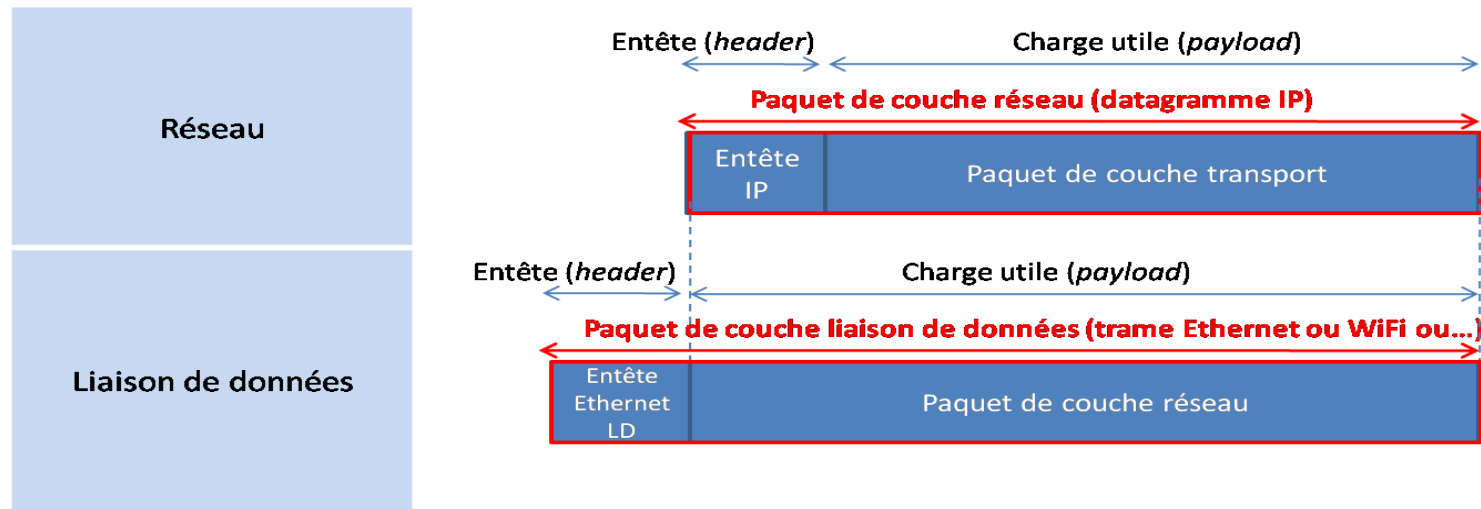
Préambule : approche bottom-up rapide

- Une machine qui se connecte à un réseau se connecte d'abord à un réseau local
 - son adresse peut être connue par toutes les machines/éqts intermédiaires du même réseau
 - = adresse locale = adresse MAC
 - adresse attachée à équipement physique
- Une machine qui veut atteindre un réseau extérieur :
 - son adresse ne peut pas être connue par toutes les éqts intermédiaires qui doivent trouver un chemin
 - a besoin d'une adresse logique globale = adresse IP
 - car elle passe d'un réseau à un autre réseau : Internet = Inter – Networks
- Êtres humains ont une nette préférence pour les noms plutôt que les longues suites de chiffres
 - DNS convertit les adresse littérales en adresses numériques
 - permet d'utiliser www.google.fr et non une adresse IP 74.125.79.147

1. Entre 2 machines sur le même réseau local
(*Local Area Network* – LAN)



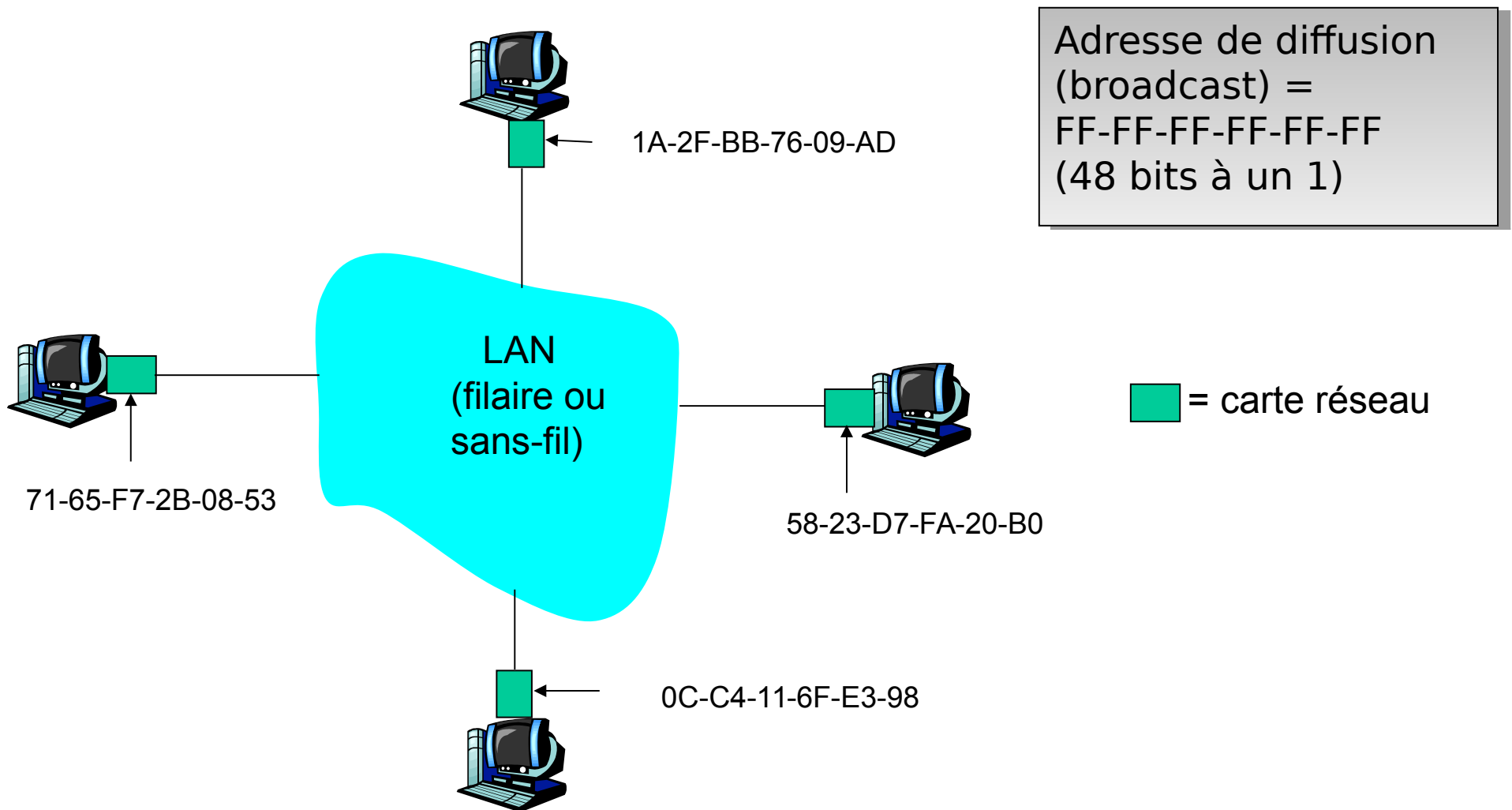
Entre 2 machines du même réseau local (LAN)



- Une machine qui se connecte à un réseau se connecte d'abord à un réseau local
 - son adresse peut être connue par toutes les machines/eqts interm. du même réseau
 - = adresse locale = adresse MAC
 - adresse attachée à équipement physique

Adresses MAC dans un LAN

Chaque carte sur le LAN à une adresse unique



Adresse de diffusion
(broadcast) =
FF-FF-FF-FF-FF-FF
(48 bits à un 1)

Adresses MAC

Adresses MAC (ou LAN ou physique ou Ethernet) :

- **Identifie la carte réseau**
- **Fonction : permet de transférer une trame d'une interface réseau à une autre interface sur le même réseau IP**
- 6B (pour la plupart des LANs)
- codée dans la mémoire morte de la carte réseau → choisie par le constructeur (garantie unicité de l'adresse)

Adresse MAC

- 2 cartes réseaux → 2 @ MAC sur cette machine

```
Terminal
File Edit View Search Terminal Help
lucile@lucile-laptop:~$ ifconfig -a
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 00:21:70:ea:38:59
          inet addr:134.59.129.172  bcast:134.59.129.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::221:70ff:feea:3859/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:62186 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:14738 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:27688400 (27.6 MB)  TX bytes:1972404 (1.9 MB)
          Interrupt:22 Memory:f6fe0000-f7000000

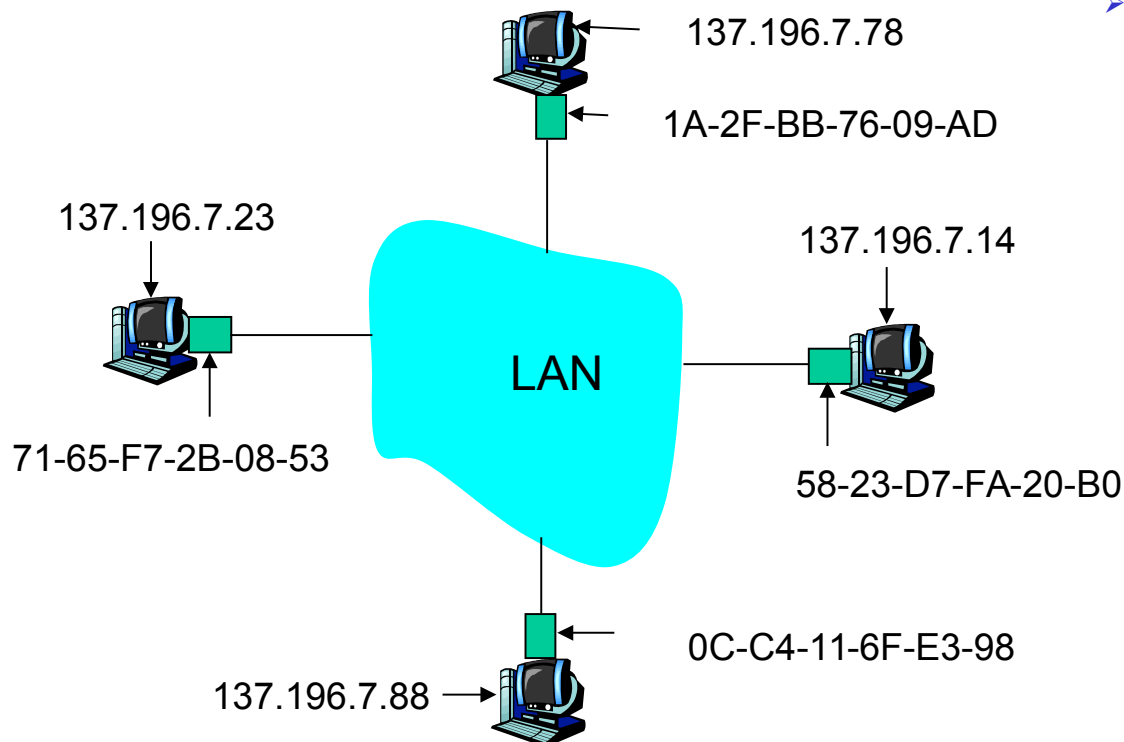
lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:16436  Metric:1
          RX packets:8 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:8 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:0
          RX bytes:480 (480.0 B)  TX bytes:480 (480.0 B)

wlan0    Link encap:Ethernet  HWaddr 00:16:ea:89:1e:c8
          BROADCAST MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)

lucile@lucile-laptop:~$
```

ARP: Address Resolution Protocol

Question: Comment déterminer l'adresse MAC de B à partir de son @ IP ?



➤ Chaque nœud IP (machine, routeur) sur un LAN à une table ARP

➤ **Table ARP** : stocke correspondance entre @IP et @MAC.

@IP	@MAC

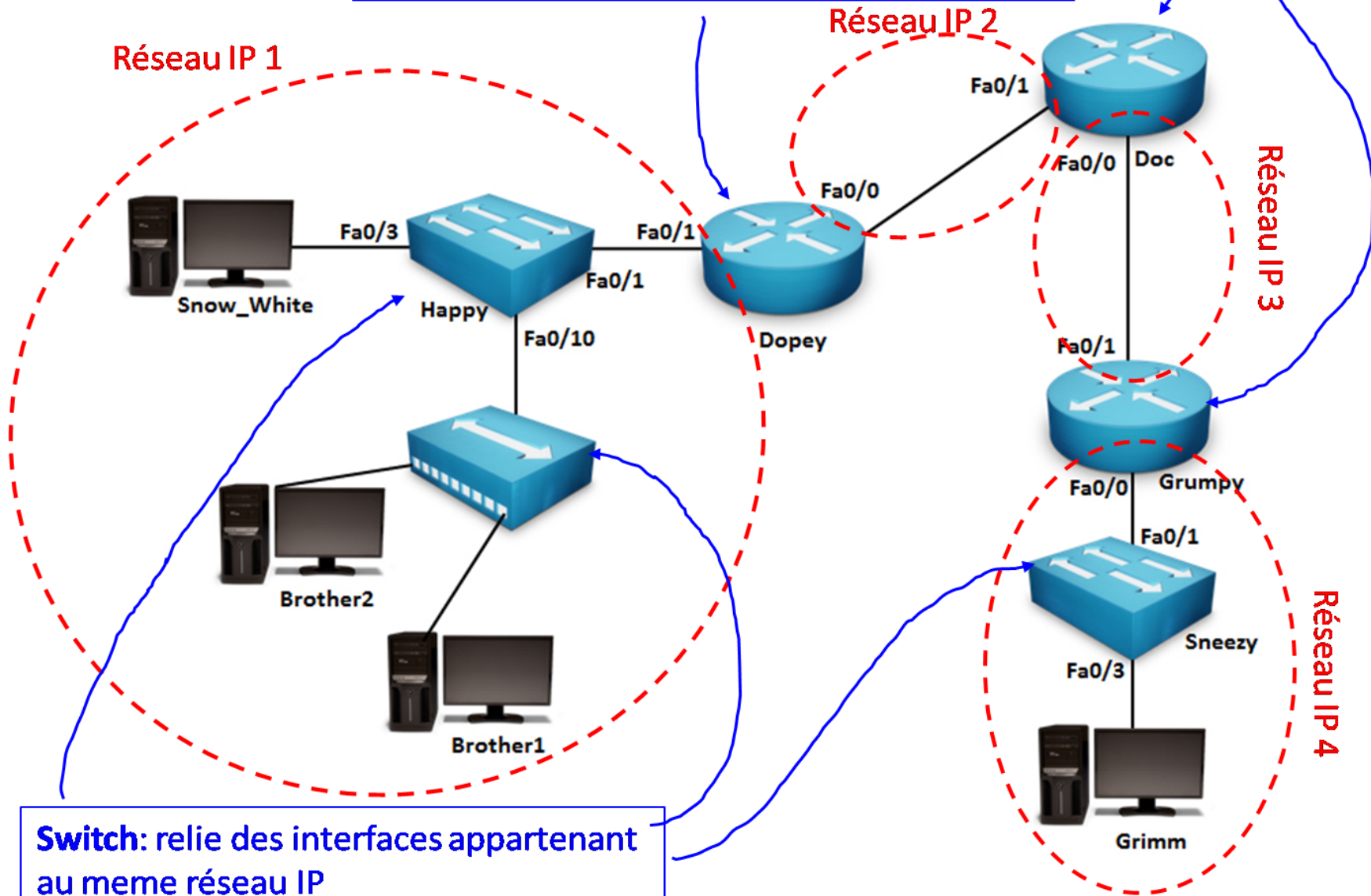
2. Entre 2 machines sur 2 LAN différents

Adresse IP

- L'adresse MAC identifie de façon unique la carte réseau
 - Adresse MAC = adresse physique locale
 - 1 équipement intermédiaire (routeur) ne peut pas connaître 2 machines arbitraires voulant se joindre, et le chemin pour les lier
 - Il faut diviser les machines en « groupes » hiérarchisés pour qu'elles puissent se retrouver,
 - même s'il y a beaucoup de machines
 - même si les machines changent de groupe en fonction des déplacements de l'utilisateur
 -
- sous-division des machines en différents **réseaux IP**
- Adresse IP = adresse logique globale

Les niveaux de réseaux et équipements

Router: chacune de ses interfaces appartient à un réseau IP différent



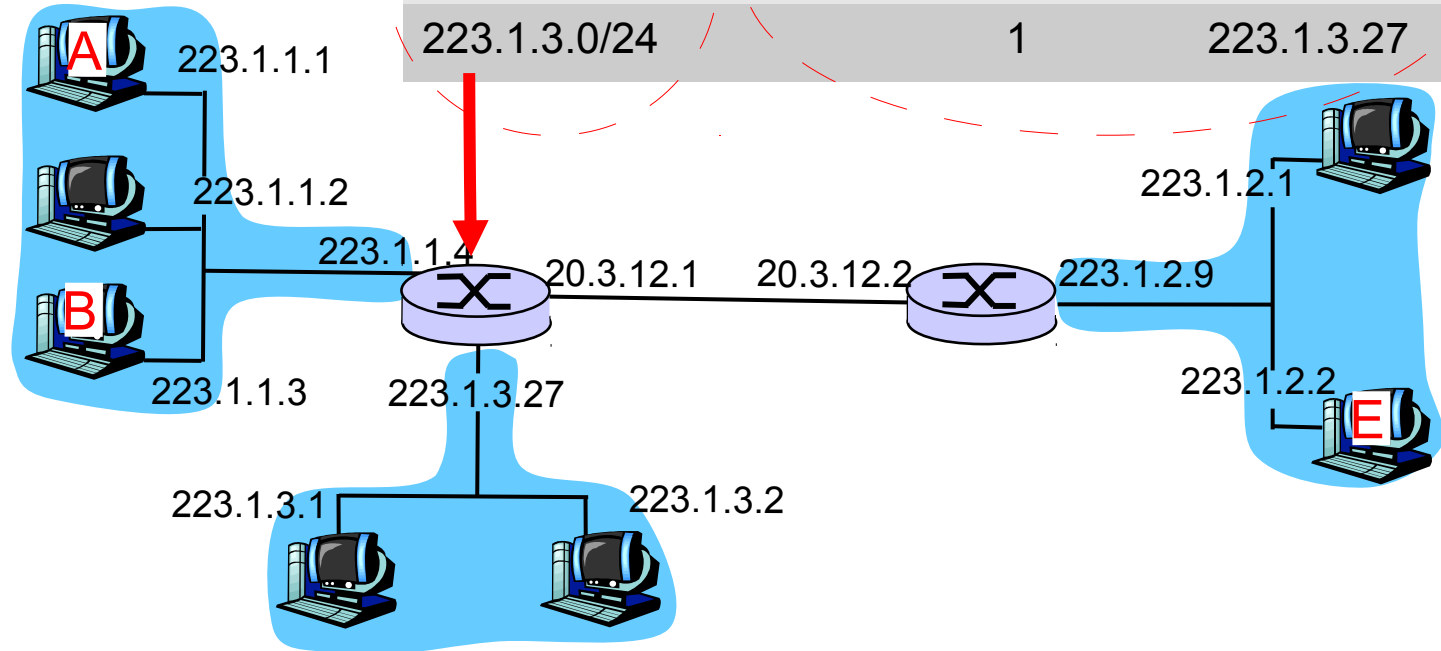
Routage IP : trouver la route entre machine source et machine destination

Table de routage du routeur

Réseau dest.	Prochain routeur	Nb sauts	Interface
223.1.1.0/24		1	223.1.1.4
223.1.2.0/24	20.3.12.2	2	20.3.12.1
223.1.3.0/24		1	223.1.3.27

Groupes

Chemins



- Dst MAC est celle associée à l'@IP du prochain saut, tel qu'indiqué dans la table de routage

2. Problème de la résolution @IP/Nom de machine

Conversion nom / adresses IP

- Etres humains ont une nette préférence pour les noms plutôt que les longues suites de chiffres
- → *Domain Name Server* (DNS)
- Permet d'utiliser `www.google.fr` et non une adresse IP `74.125.79.147`

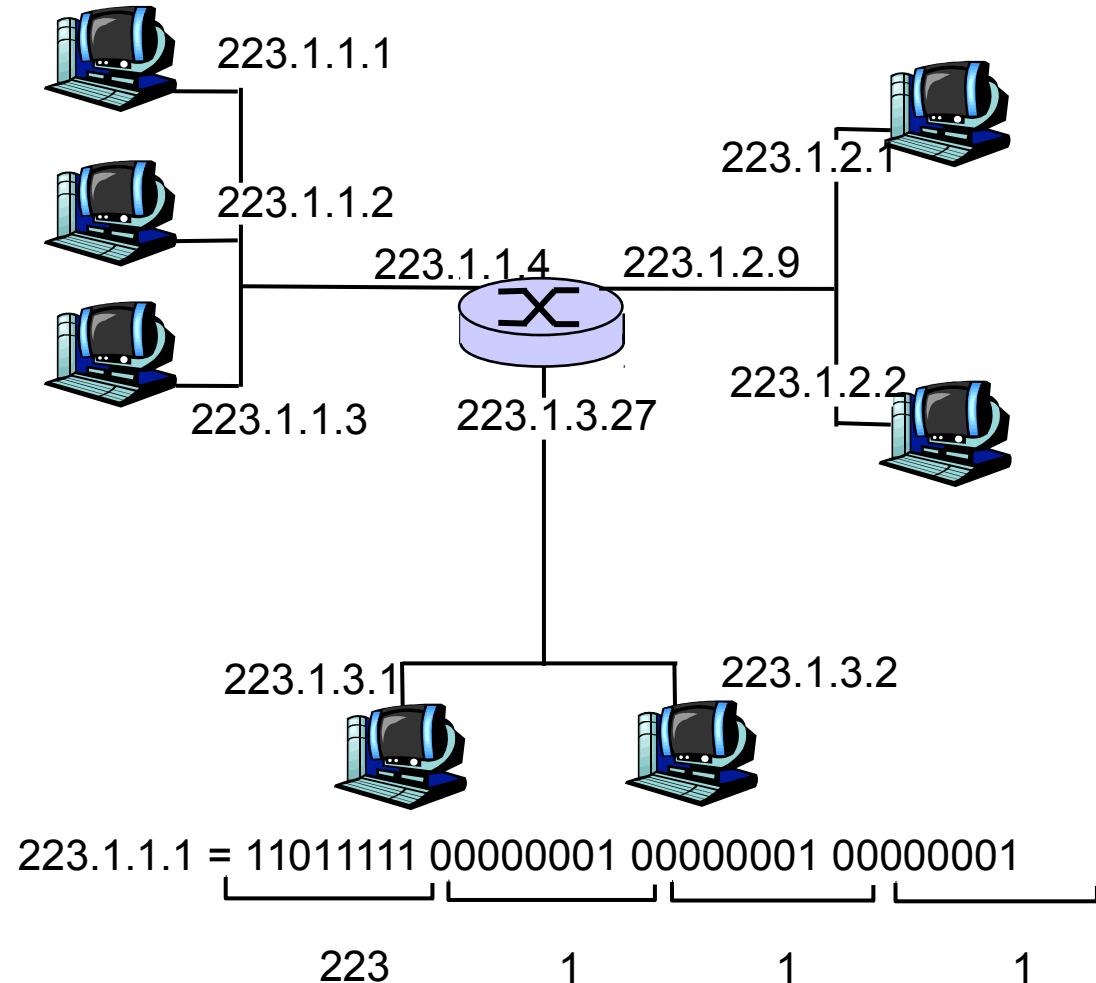
Plan

- I. Les couches du modèle TCP/IP (OSI)
- II. Approche bottom-up rapide
- III. La couche réseau : adressage IP
 1. Adressage IP
 2. Fonctions de IP, routeurs et routage
 3. Principe général du routage IP
- IV. La couche liaison de données : le protocole ARP

Adressage IP : introduction

Adresses IP:

- 4 Bytes (32 bits)
- identifie l'interface réseau (carte) d'une machine ou d'un routeur dans un LAN
- Une adresse IP est un entier écrit sur 4 octets, elle peut donc prendre des valeurs entre 0 et $2^{32} - 1$.
- Pour plus de commodité, on note les adresses en donnant les valeurs de chaque octet séparés par des points :
- $11000000101010000000000100001101$ s'écrit :
 $11000000.10101000.00000001.00001101$
1 devient 192.168.1.13.
- Les routeurs ont de multiples interfaces
- Les machine aussi (par ex : filaire et sans fil)
- Une adresse IP est associée à chaque interface



Adresses IP : Masques réseau

- Une adresse IP se découpe en :
 - Une adresse réseau (bits de poids fort : à gauche)
 - Une partie machine (bits de poids faible)

- Deux machines se trouvant sur un même réseau possèdent la même adresse réseau mais pas la même partie machine.

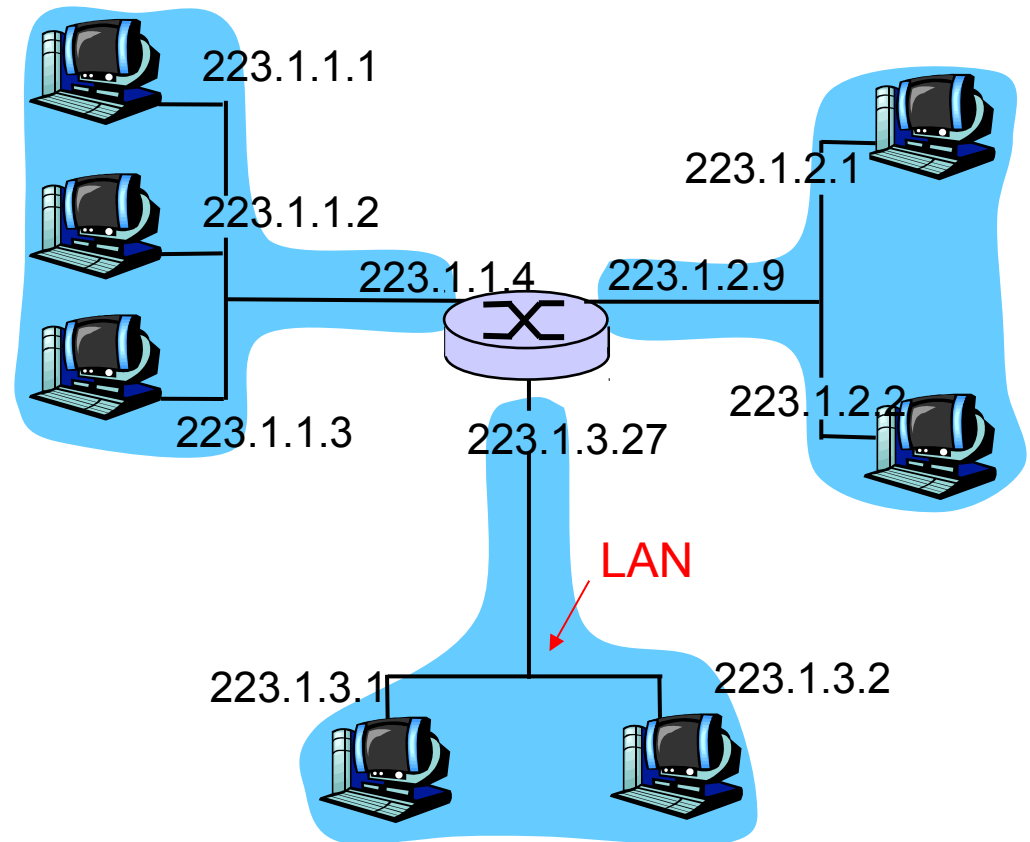
- Découpage représenté avec un **masque réseau** : 32 bits
 - bits de la partie réseau à 1
 - bits de la partie machine à 0
 - Exemple
 - 207.142.131.245 est une adresse IP
 - 255.255.255.0 un masque réseau indiquant que les 3 premiers octets sont l'adresse réseau et le dernier octet pour la machine.

- 207.142.131.245/255.255.255.0 désigne donc la machine d'adresse 245 sur le réseau d'adresse 207.142.131.0.
- 207.142.131.245/24 pour abrégé

Adressage IP

➤ Qu'est ce qu'un réseau ? (du point de vue de l'adressage IP)

- Ensemble d'interfaces avec @IP ayant même partie réseau
- Ces machines peuvent se joindre physiquement SANS un routeur
- Elles constituent par définition un réseau local ou *Local Area Network (LAN)*



Réseau global constitué de 3 réseaux IP (pour les adresses IP commençant par 223 si 24 bits pour le réseau et 8 pour la machine) : 223.1.1.0 223.1.2.0 et 223.1.3.0

Configuration IP d'une machine

```
Autoconfiguration Enabled . . . . . : Yes
IP Address . . . . . : 192.168.245.1
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . :
DHCP Server . . . . . : 192.168.245.254
Lease Obtained . . . . . : Sunday 22 August 2010 10:57:35
Lease Expires . . . . . : Sunday 22 August 2010 11:27:35

Ethernet adapter Local Area Connection:

Connection-specific DNS Suffix . : eurecom.fr
Description . . . . . : Marvell Yukon 88E8055 PCI-E Gigabit
Ethernet Controller
Physical Address . . . . . : 00-23-26-B5-21-F0
Dhcp Enabled . . . . . : Yes
Autoconfiguration Enabled . . . . . : Yes
IP Address . . . . . : 88.114.219.103
Subnet Mask . . . . . : 255.255.240.0
Default Gateway . . . . . : 88.114.208.1
DHCP Server . . . . . : 193.229.28.21
DNS Servers . . . . . : 193.229.0.40
                        193.229.0.42
NetBIOS over Tcpip. . . . . : Disabled
Lease Obtained . . . . . : Sunday 22 August 2010 10:12:36
Lease Expires . . . . . : Sunday 22 August 2010 12:12:36

Ethernet adapter {C23404A8-E4EB-4D61-957E-6576447F0420}:

Media State . . . . . : Media disconnected
Description . . . . . : Check Point Virtual Network Adapter
For SecureClient - SecuRemote Miniport
Physical Address . . . . . : 54-A8-03-D4-2F-09

Ethernet adapter Wireless Network Connection:

Media State . . . . . : Media disconnected
Description . . . . . : Intel(R) WiFi Link 5300 AGN
Physical Address . . . . . : 00-21-6A-8C-61-4A

C:\Documents and Settings\rootlocal>
```

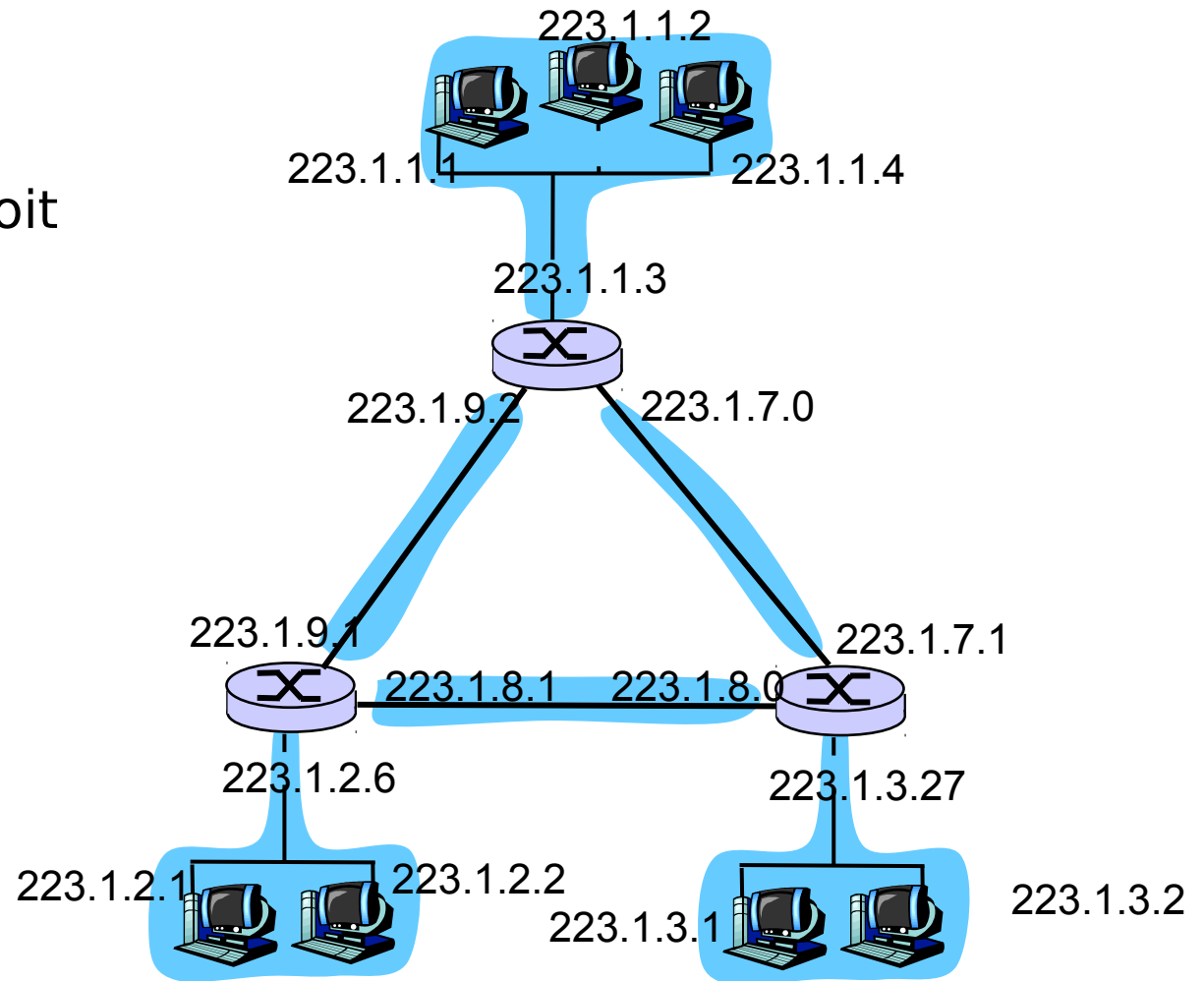


Adressage IP

Comment compter les réseaux IP?

- Par définition, chaque interface d'un routeur doit appartenir à un réseau différent

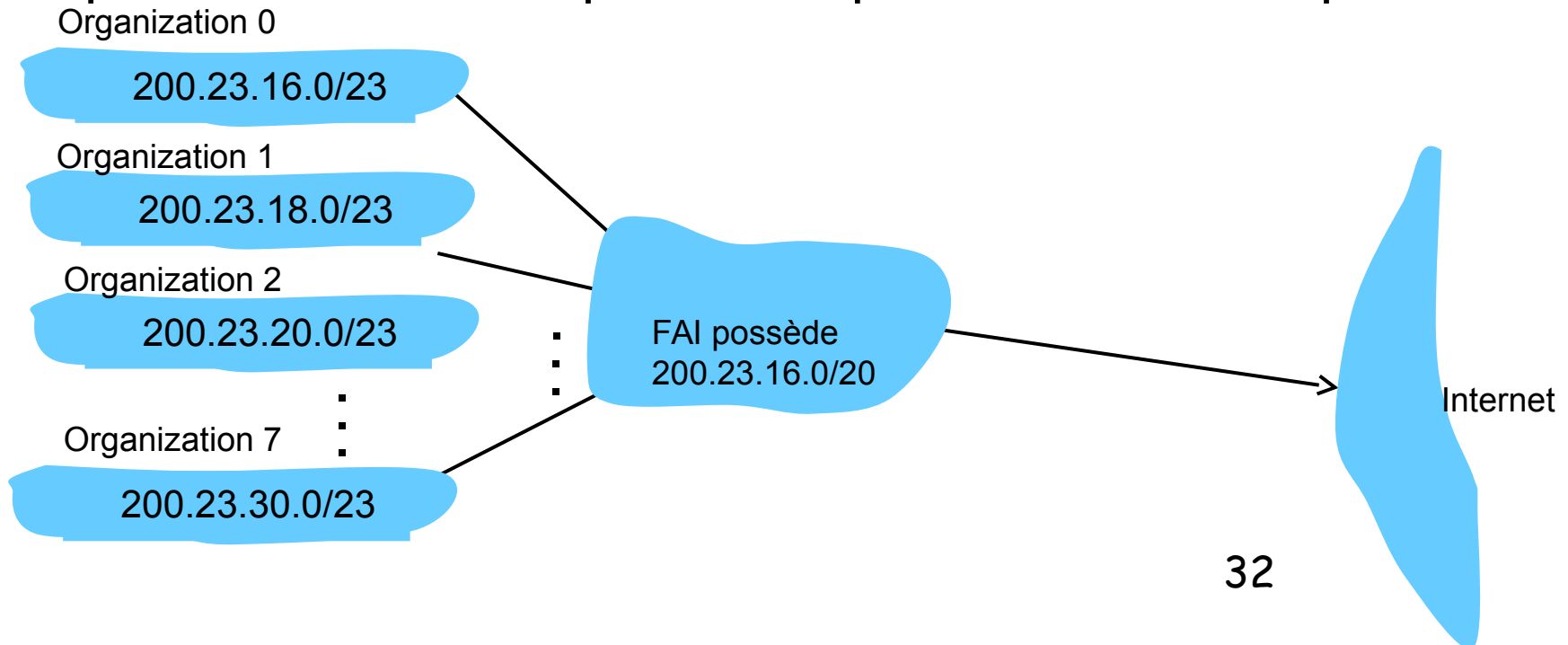
Combien de réseaux IP ici?





Un adresse réseau IP : comment l'obtenir?

- Une organisation/entreprise l'obtient de son fournisseur d'accès Internet
 - Subdivision avec CIDR
- Celui-ci a un ensemble d'adresses obtenu de l'IANA (Internet Assigned Numbers Authority) ou d'un représentant local, par exemple RIPE en Europe

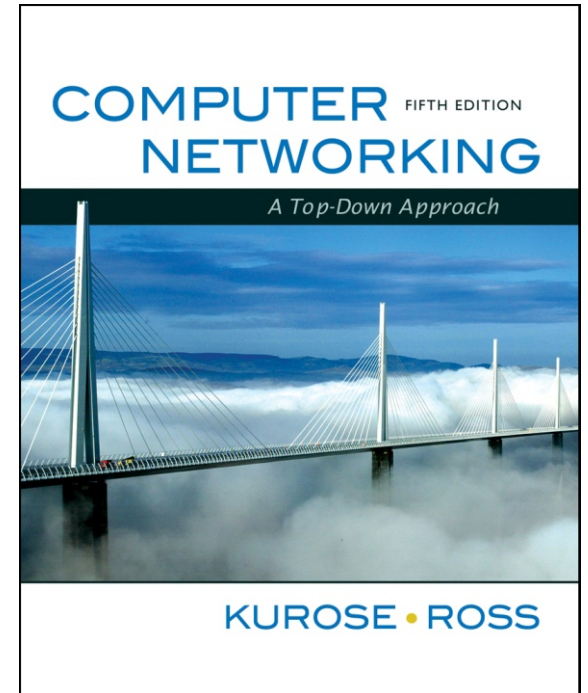


Une adresse machine IP : comment l'obtenir?

- Entrée manuellement (on dit « codée en dur ») par l'administrateur système
 - Ex: Dans windows : panneau de contrôle → réseau → configuration → tcp/ip → propriétés
- **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol**: la machine demande dynamiquement (à chaque fois qu'elle démarre) une config réseau à un serveur spécifique, le serveur DHCP

Plan

- I. Les couches du modèle TCP/IP (OSI)
- II. Approche bottom-up rapide
- III. La couche réseau : adressage IP
 1. Adressage IP
 2. Fonctions de IP, routeurs et routage
 3. Principe général du routage IP
- IV. La couche liaison de données : le protocole ARP



A note on the use of these ppt slides:

We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers).

They're in powerpoint form so you can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a *lot* of work on our part. In return for use, we only ask the following:

- If you use these slides (e.g., in a class) in substantially unaltered form, that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- If you post any slides in substantially unaltered form on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

All material copyright 1996-2009

J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved

*Computer Networking: A
Top Down Approach*
5th edition.
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, April 2009.

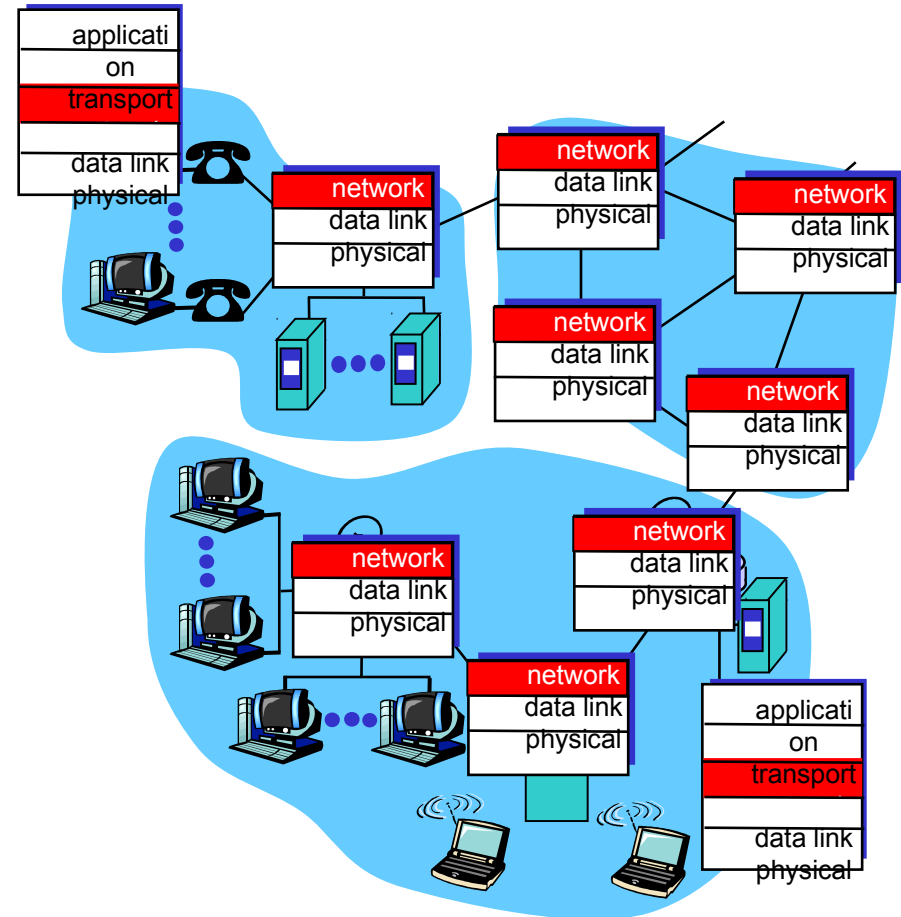


Fonction de la couche réseau

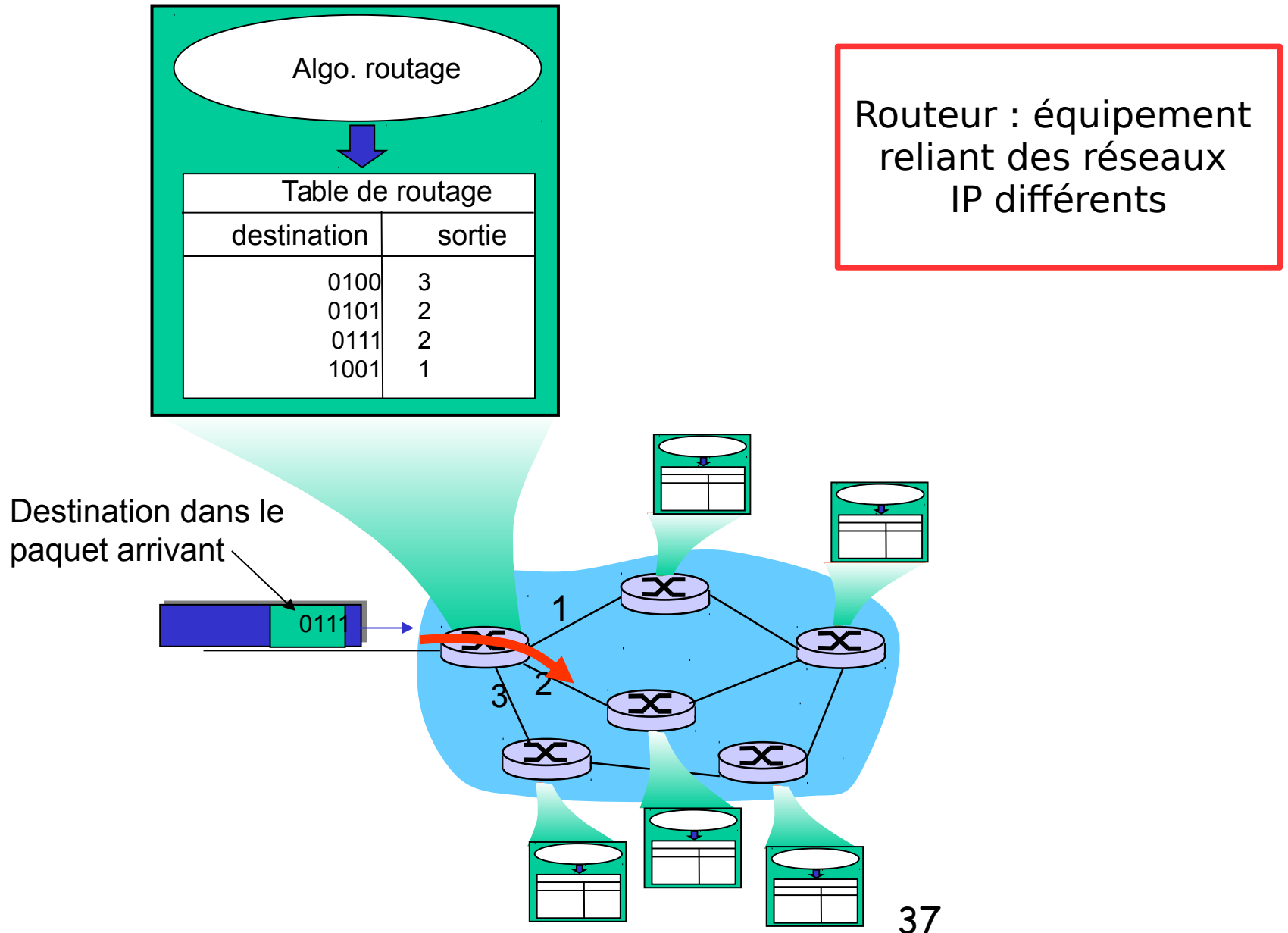
- La couche réseau est implantée dans chaque machine et dans chaque routeur de l'Internet

Fonction importante:

- *Détermination du chemin*: route prise par les paquets de la source à la destination
 - système d'adressage
 - algorithmes de routage



🗨️ Routage : adr destination → port de sortie

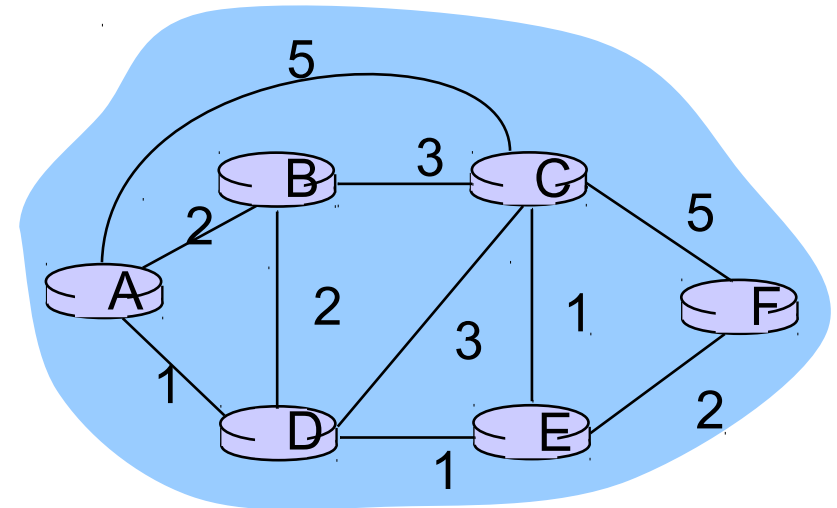




Routage : comment choisir le port de sortie

Protocole de routage

But: déterminer le bon chemin (séquence de routeurs) au travers du réseau pour toutes les destinations



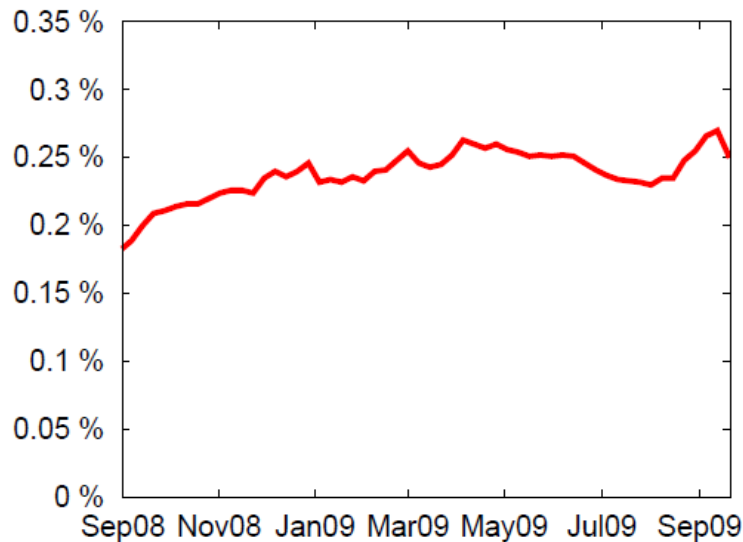
Le problème de ces algorithmes est un problème de graphe :

- Les nœuds du graphe sont les routeurs
- Les liens du graphe les liens physiques
 - Liens ont des coûts: délai, prix, niveau de congestion

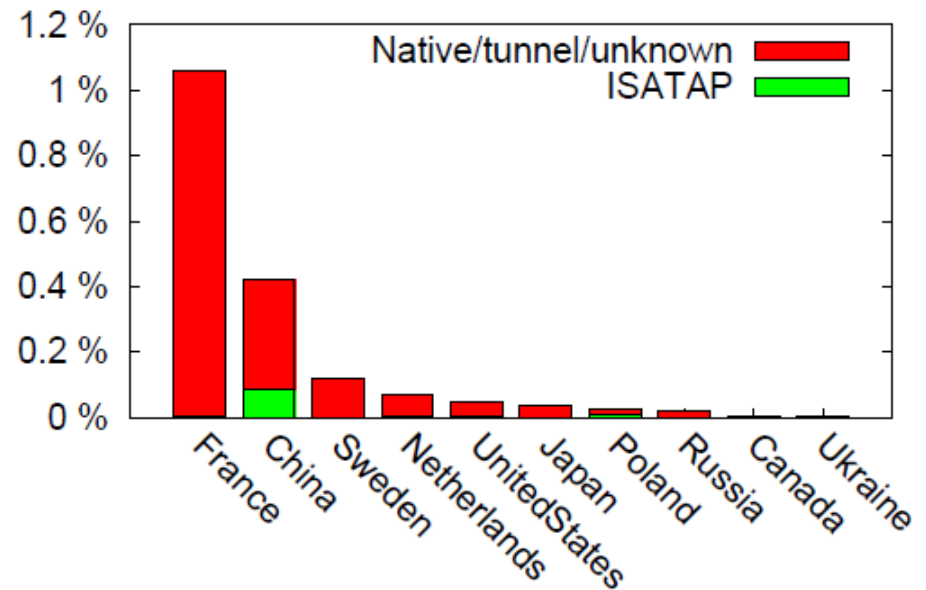
- Qu'est-ce qu'un "bon chemin"?
 - Typiquement, un chemin de coût minimum

Format datagramme IP

- Version : 4 ou 6
 - Très majoritairement IPv4 dans le monde
 - Étude Google (conférence PAM 2010) :



0.2% trafic en v6...



France atteint 1% avec...Free

Plan

- I. Les couches du modèle TCP/IP (OSI)
- II. Approche bottom-up rapide
- III. La couche réseau : adressage IP
 1. Adressage IP
 2. Fonctions de IP, routeurs et routage
 3. Principe général du routage IP
- IV. La couche liaison de données : le protocole ARP

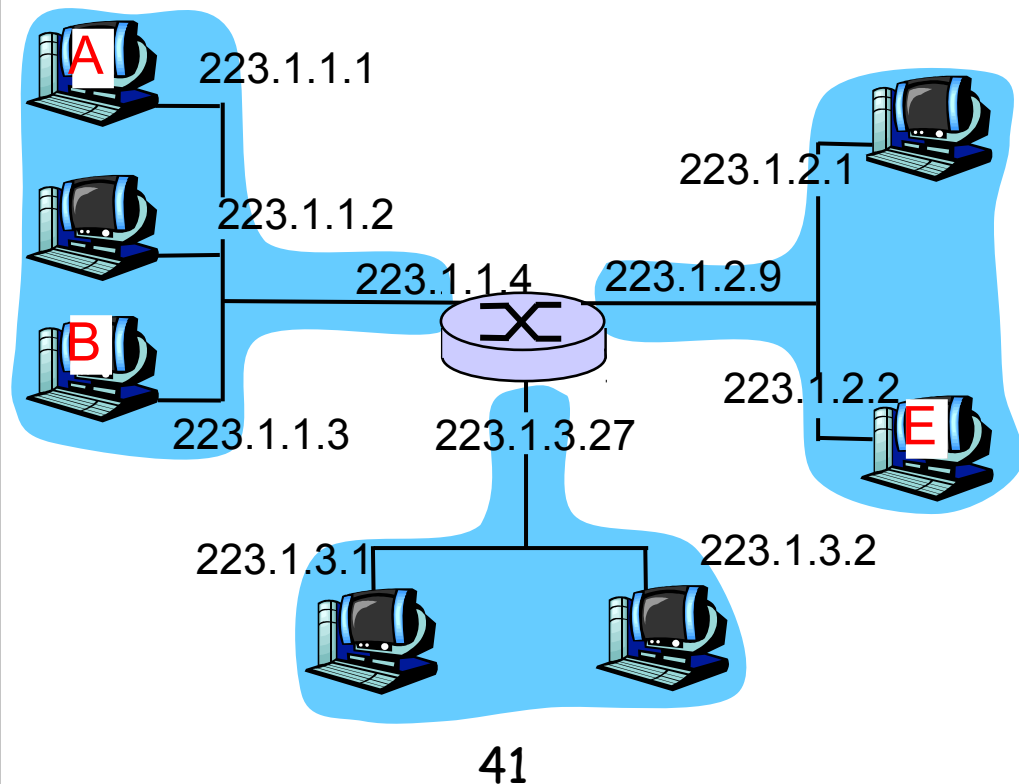
Transfert d'un datagramme de sa source à sa destination

Datagramme IP:

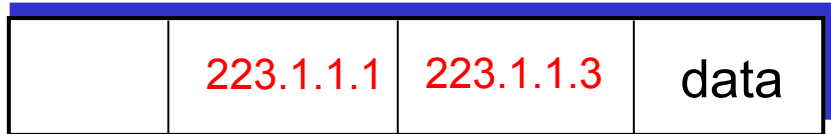
misc fields	source IP addr	dest IP addr	data
-------------	----------------	--------------	------

1. Un paquet IP est créé par le système.

- Adresse IP dst trouvée possiblement par DNS
- Les champs adresse et data ne seront pas modifiés sur le chemin.



Scénario 1: datagramme entre A et B



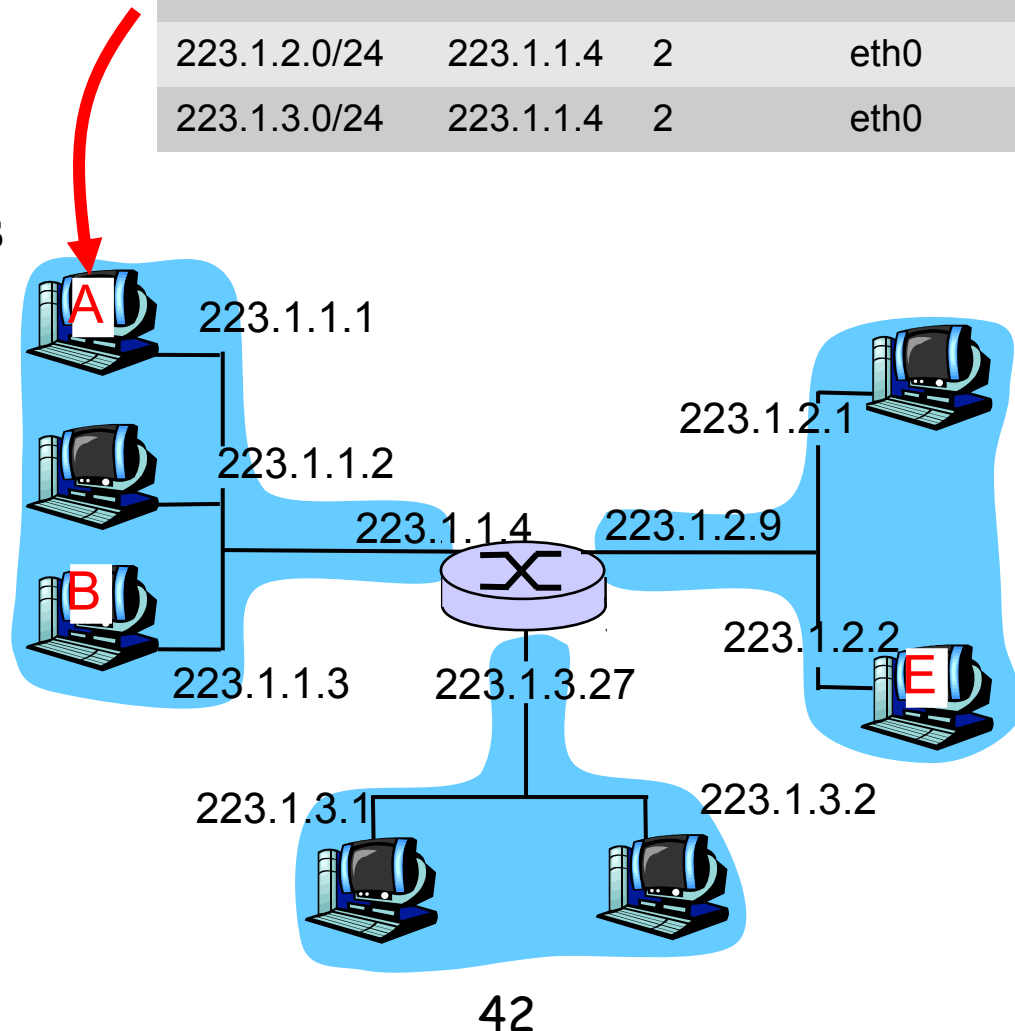
Opération de A

2. Recherche dans sa table de routage si adresse de B est dans un réseau

- Si B et A sont dans même sous-réseau, c'est la couche sous IP, la couche liaison de données, qui prend le relai.

Table de routage de A

Réseau dest.	Prochain routeur	Nb sauts	Interface
223.1.1.0/24		1	eth0
223.1.2.0/24	223.1.1.4	2	eth0
223.1.3.0/24	223.1.1.4	2	eth0



Scénario 2: datagramme entre A et E

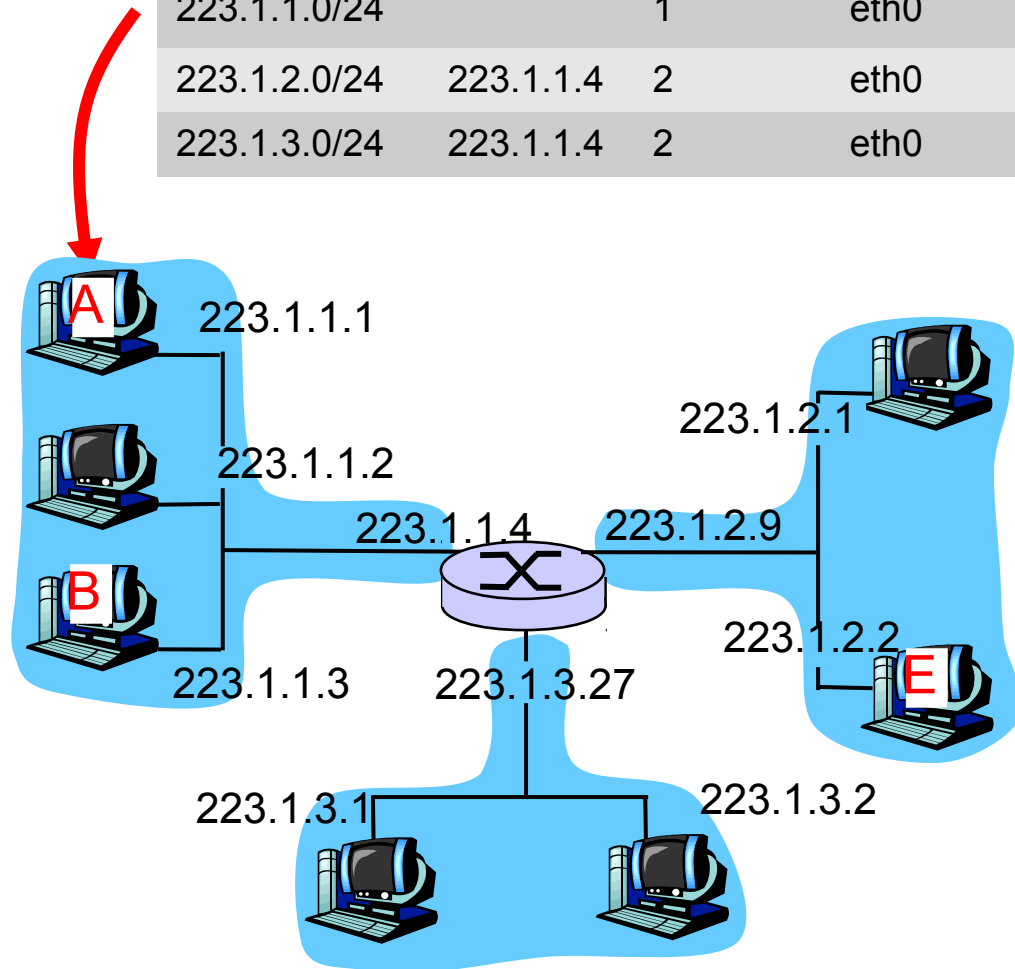
misc fields	223.1.1.1	223.1.2.3	data
-------------	-----------	-----------	------

Opérations:

2. A observe que E est dans un réseau IP différent
 - **Table de routage indique que le prochain routeur est 223.1.1.4**
3. **Couche liaison de donnée envoie datagramme de A vers 223.1.1.4** (puisque'ils sont dans le même sous-réseau)
 - datagramme arrive à 223.1.1.4
 - On continue.....

Table de routage de A

Réseau dest.	Prochain routeur	Nb sauts	Interface
223.1.1.0/24		1	eth0
223.1.2.0/24	223.1.1.4	2	eth0
223.1.3.0/24	223.1.1.4	2	eth0



Scénario 2: datagramme entre A et E

Table de routage du routeur

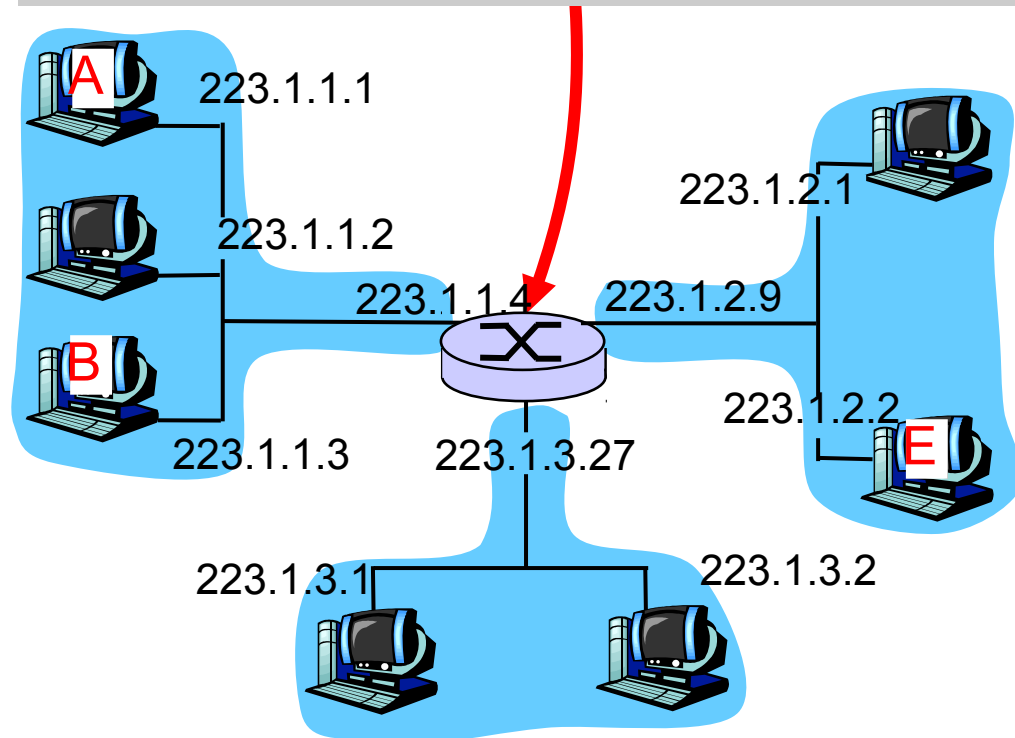
Réseau dest.	Prochain routeur	Nb sauts	Interface
223.1.1.0/24		1	223.1.1.4
223.1.2.0/24		1	223.1.2.9
223.1.3.0/24		1	223.1.3.27

Arrivé à 223.1.1.4 et destiné à 223.1.2.2

4. **Correspondance @IPdest avec table de routage** → la destination est dans un sous-réseau directement connecté

5. Il passe à la couche liaison sur cette interface, pour **envoi vers @IPdest**

6. Le datagramme va ainsi arriver à 223.1.2.2 : comment ? Voir partie III



Routage IP : pour le passage à l'échelle

- La hiérarchisation de l'adressage IP permet de ne pas augmenter la taille des tables de routage avec le nombre de machines : ce ne sont pas des adresses machines qui sont stockées, mais des adresses de réseaux de différents niveaux.
- Ainsi au « cœur » de l'Internet, les adresses réseaux sont sur peu de bits, et au fur-et-à-mesure qu'on approche de la périphérie, on se concentre sur des sous-réseaux de plus en plus fins.
- Quand on a atteint le LAN de destination, le paquet IP est acheminé grâce au protocole de couche 2.

Plan

- I. Les couches du modèle TCP/IP (OSI)
- II. Approche bottom-up rapide
- III. La couche réseau : adressage IP
- IV. La couche liaison de données
 1. Couche liaison de donnée
 2. Adresses MAC
 3. Protocole ARP

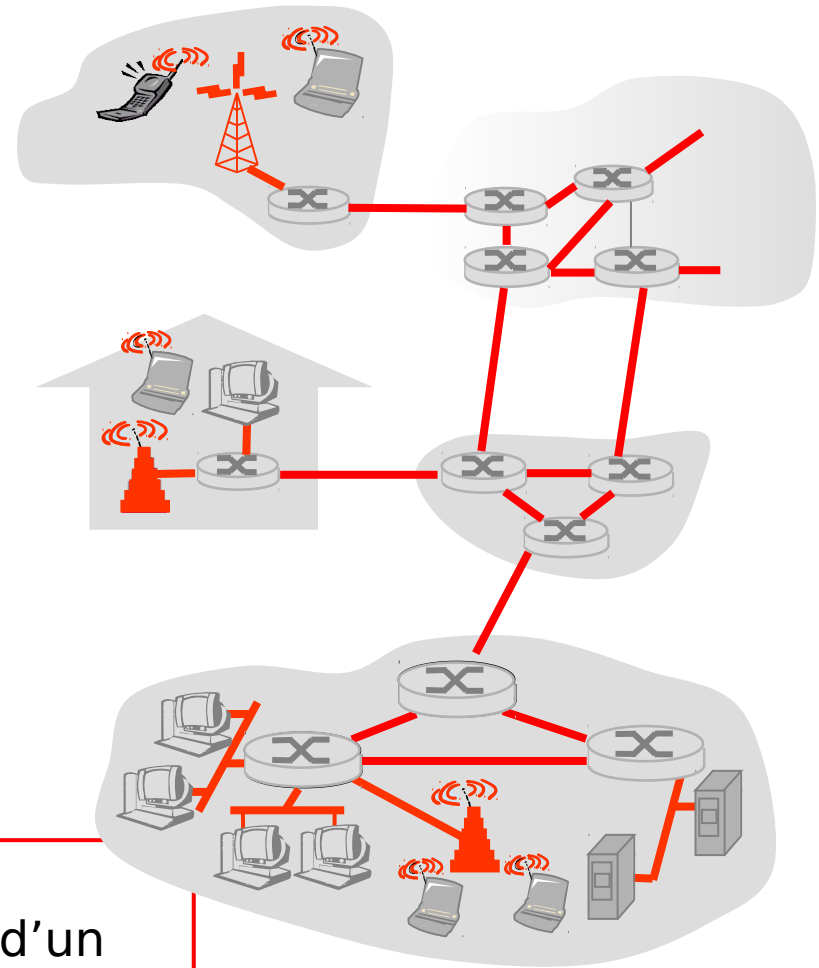
🗨️ Couche liaison de données (*data link*) : Introduction

Terminologie :

- Les machines et les routeurs sont des **nœuds (IP)**
- Les canaux de communication qui connectent les nœuds adjacents le long d'un chemin sont appelés **liens**
 - Liens filaires
 - Liens sans fils
- Une paquet de niveau 2 est appelé une **trame (frame)**

La couche liaison de données

est chargée de transférer des datagrammes d'un nœud à un autre nœud sur le même LAN.





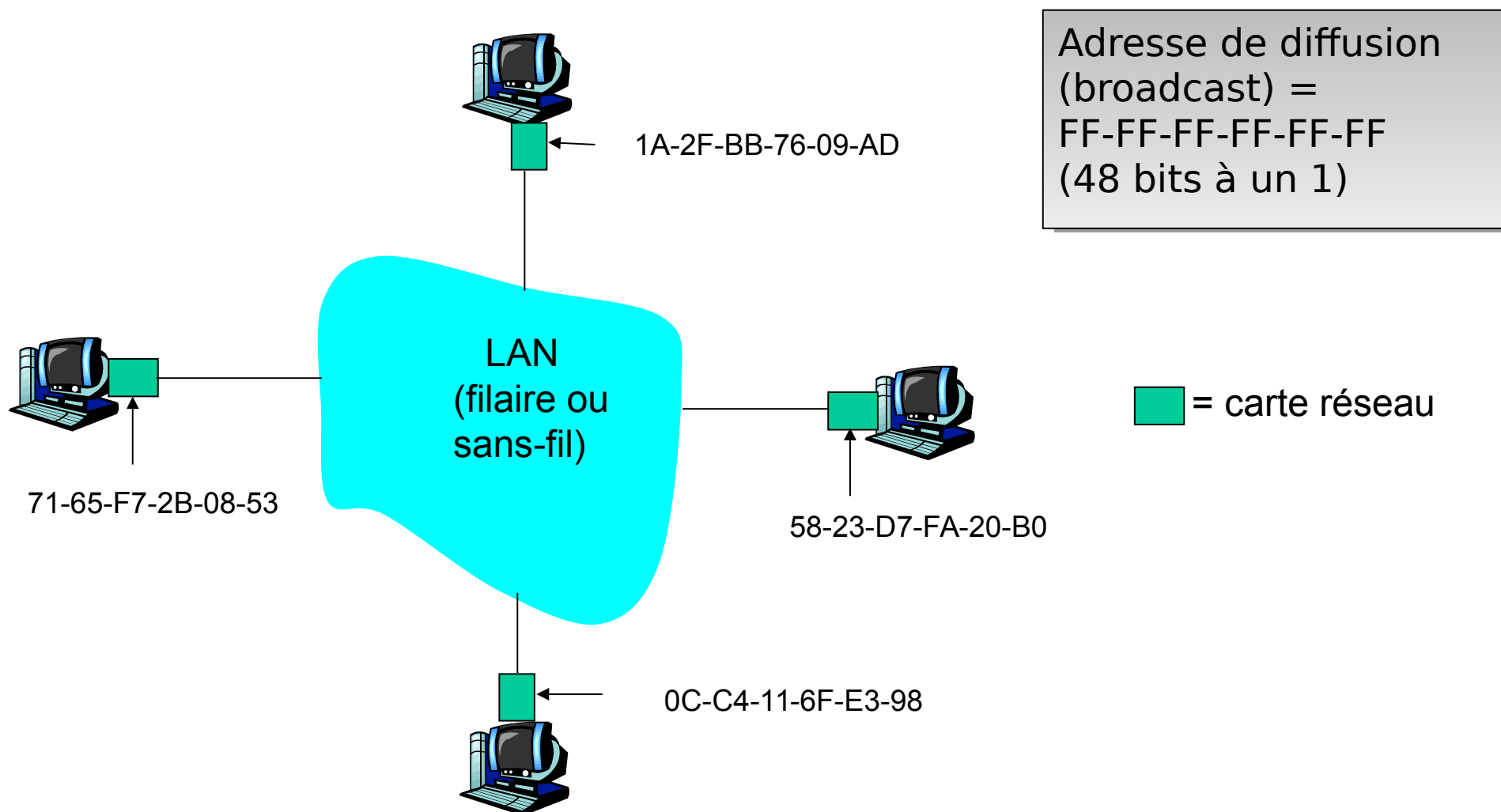
Services de la couche liaison de données

- Les datagrammes sont encapsulés dans des trames avec ajout d'une entête et d'une enqueue (des données de contrôle à la suite du datagramme)
- **Les adresses "MAC" (adresses de la couche liaison de données) des trames identifient la source et la destination sur le réseau local traversé**
 - différentes des adresses IP (qui identifient la source initiale et la destination finale)
- Différences entre les protocoles de couche 2 suivant le contexte :
 - Gestion de l'accès multiple (802.3, 802.11)
 - Fiabilité (retransmissions sur des critères différents)
 - Sécurité...



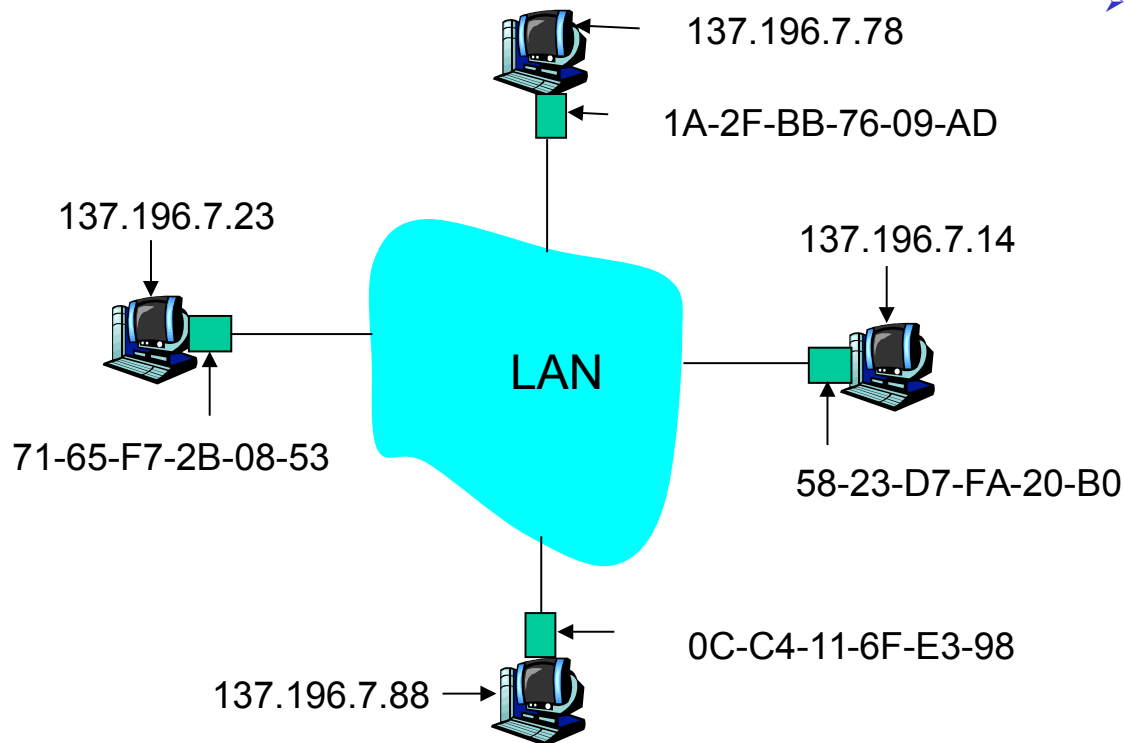
Adresses MAC dans un LAN

Chaque carte sur le LAN à une adresse unique



ARP: Address Resolution Protocol

Question: Comment déterminer l'adresse MAC de B à partir de son @ IP ?



➤ Chaque nœud IP (machine, routeur) sur un LAN à une table ARP

➤ **Table ARP** : stocke correspondance entre @IP et @MAC.
< @IP | @MAC >

ARP: Address Resolution Protocol

A a un pkt IP à envoyer à B

1. A regarde dans sa table de routage : pas de routeur à traverser, B dans le même LAN
2. Le pkt est passé de la couche réseau à la couche LD.
3. L'entête Ethernet doit être rajoutée :
 1. Src MAC : celle de A
 2. Dst MAC : soit dans table ARP, soit ?
4. Si @MAC de B pas dans table ARP de A, le protocole ARP se déclenche :
5. A envoie un pkt ARP request avec @MAC dest.=FF-FF-FF-FF-FF-FF :
 - Who has 137.196.7.88 ? Tell 137.196.7.78
6. B envoie un pkt ARP reply avec @MAC dest.=1A-2F-BB-76-09-AD :
 - 137.196.7.88 is at 0C-C4-11-6F-E3-98
7. A rajoute une entrée à sa table ARP
8. L'entête Ethernet est rajoutée au pkt IP, qui est émis par la carte réseau de A.

