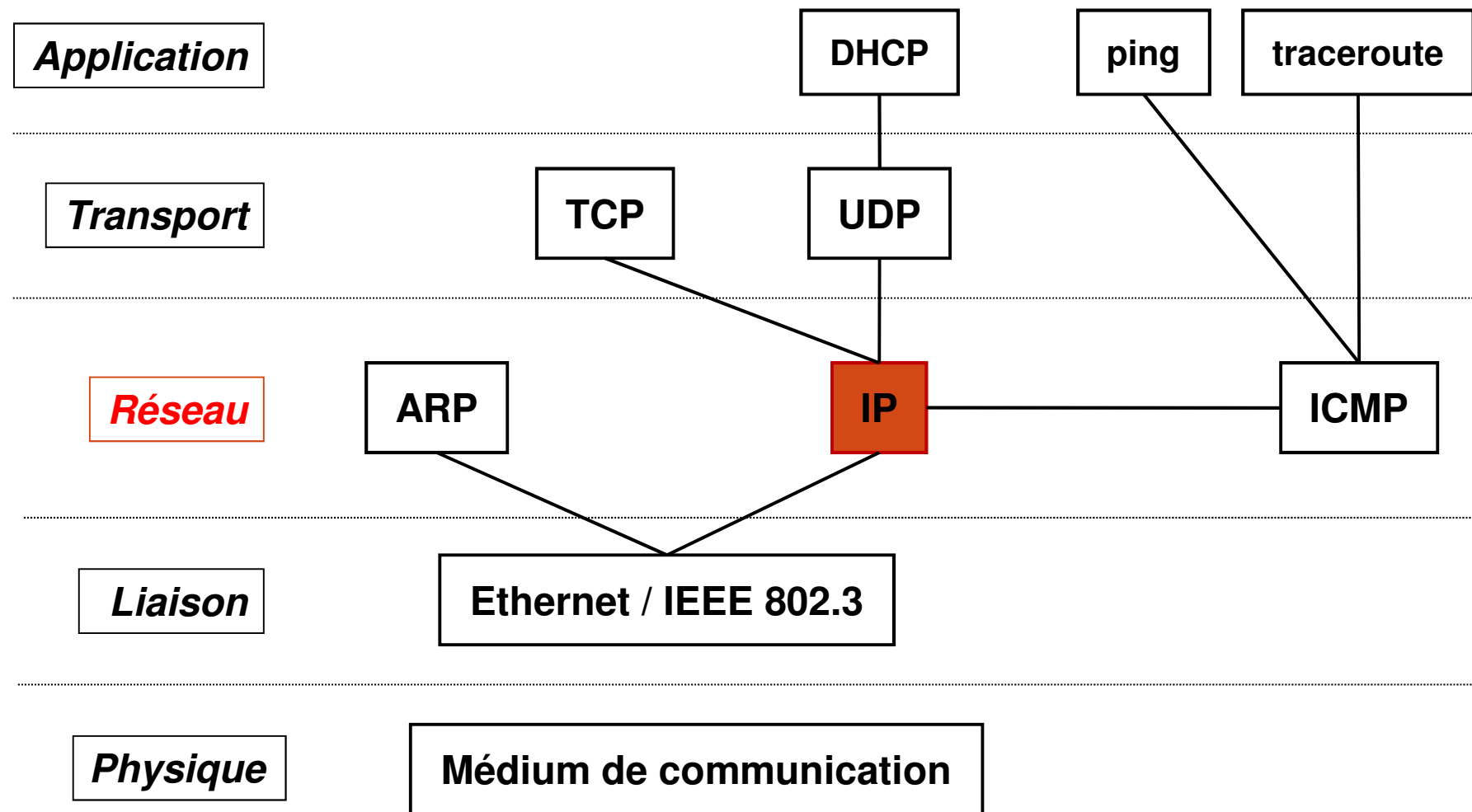


VI - La couche réseau : adresse IP

La couche réseau

- Achemine les données entre l'émetteur et le destinataire au travers de différents réseaux en mettant en place un système **d'adressage hiérarchique**.
- C'est la première couche de **bout en bout**
- Les problèmes à traiter :
 - **Routage** : pour toutes paires d'adresses : trouver un chemin entre les 2 machines. Extension à un groupe d'adresses (diffusion, multicast). Routage.
 - **Annuaire** : Nommer (désigner) les machines : adresses réseaux, noms.
- Unité d'information : **le paquet**

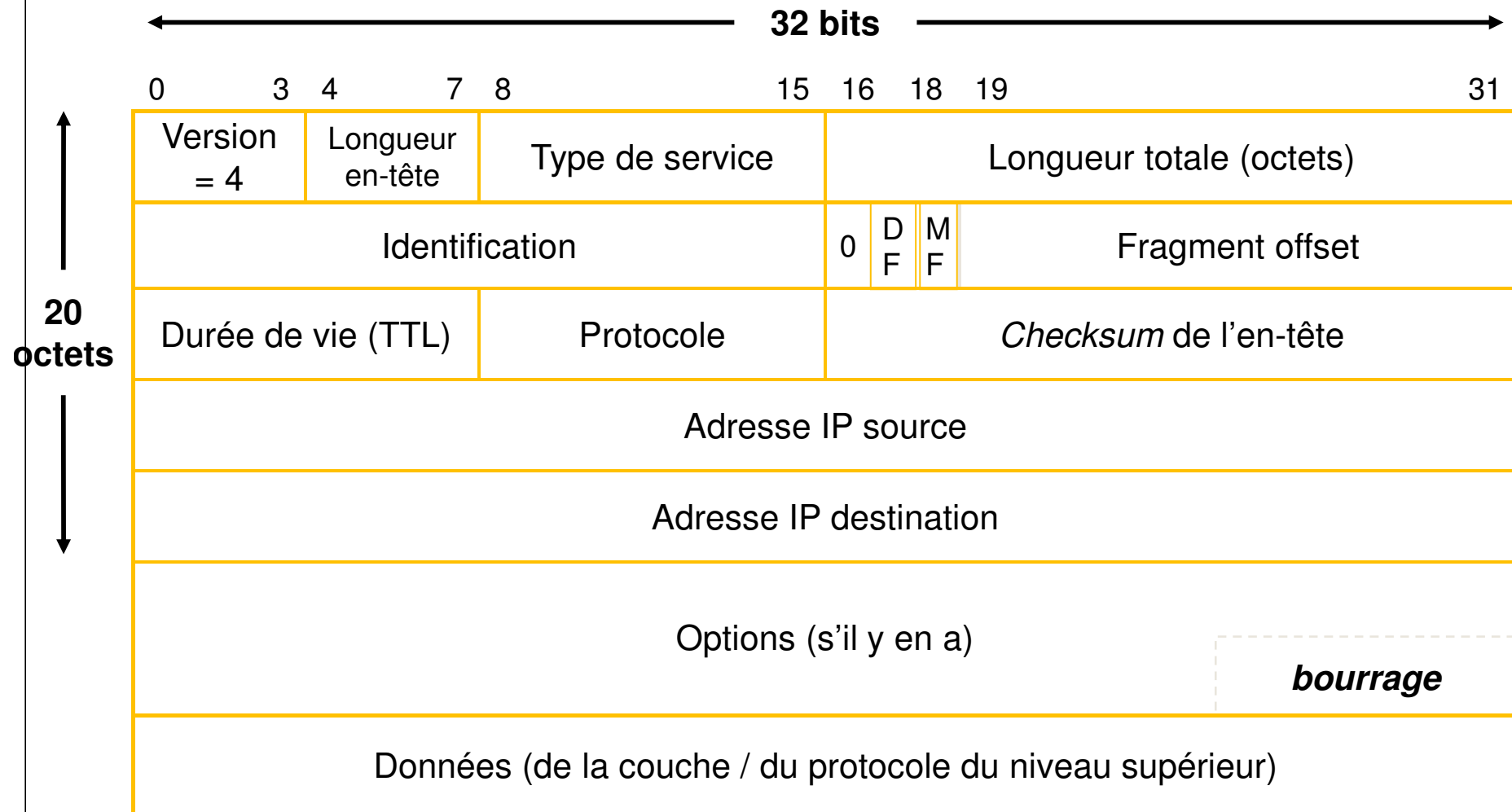
Protocoles de la couche réseau 3



Couche réseau 3 - Internet Protocol

- Internet protocol (IP) achemine les paquets entre des machines au travers de réseaux
- Chaque machine possède une **adresse IP unique** pour l'identifier
- Une **route** doit exister entre la machine source et la machine de destination

Format d'un paquet IP



Fragmentation : champs de l'en-tête

- **Identification** : numér unique (pour l'émetteur)
 - Si le paquet est fragmenté après, tous les fragments le portent
- **Place du fragment** : position du 1^{er} octet du fragment dans le datagramme original (non fragmenté)
 - Découpe des fragments en multiples de 8 octets
- **DF** (*don't fragment*) = 1 \Rightarrow le paquet ne doit pas être fragmenté
 - Si fragmentation nécessaire : écartement du paquet + génération d'un message ICMP vers la source
- **MF** (*more fragments*)
 - MF = 0 dernier fragment
- Drapeaux par défaut (paquet non fragmenté) : DF = MF = 0

16 bits	1 bit	1 bit	1 bit	13 bits
Identification	0	DF	MF	Place du fragment

Fragmentation

- La **fragmentation** d'un datagramme se fait au niveau des routeurs
- Si la **MTU** (*Maximum Transmission Unit*) de la liaison ne permet de transporter le paquet entier : envoi du paquet en fragments
- Le réassemblage est fait uniquement par le destinataire final
- Mécanisme coûteux pour les routeurs
- N'existe plus en IPv6



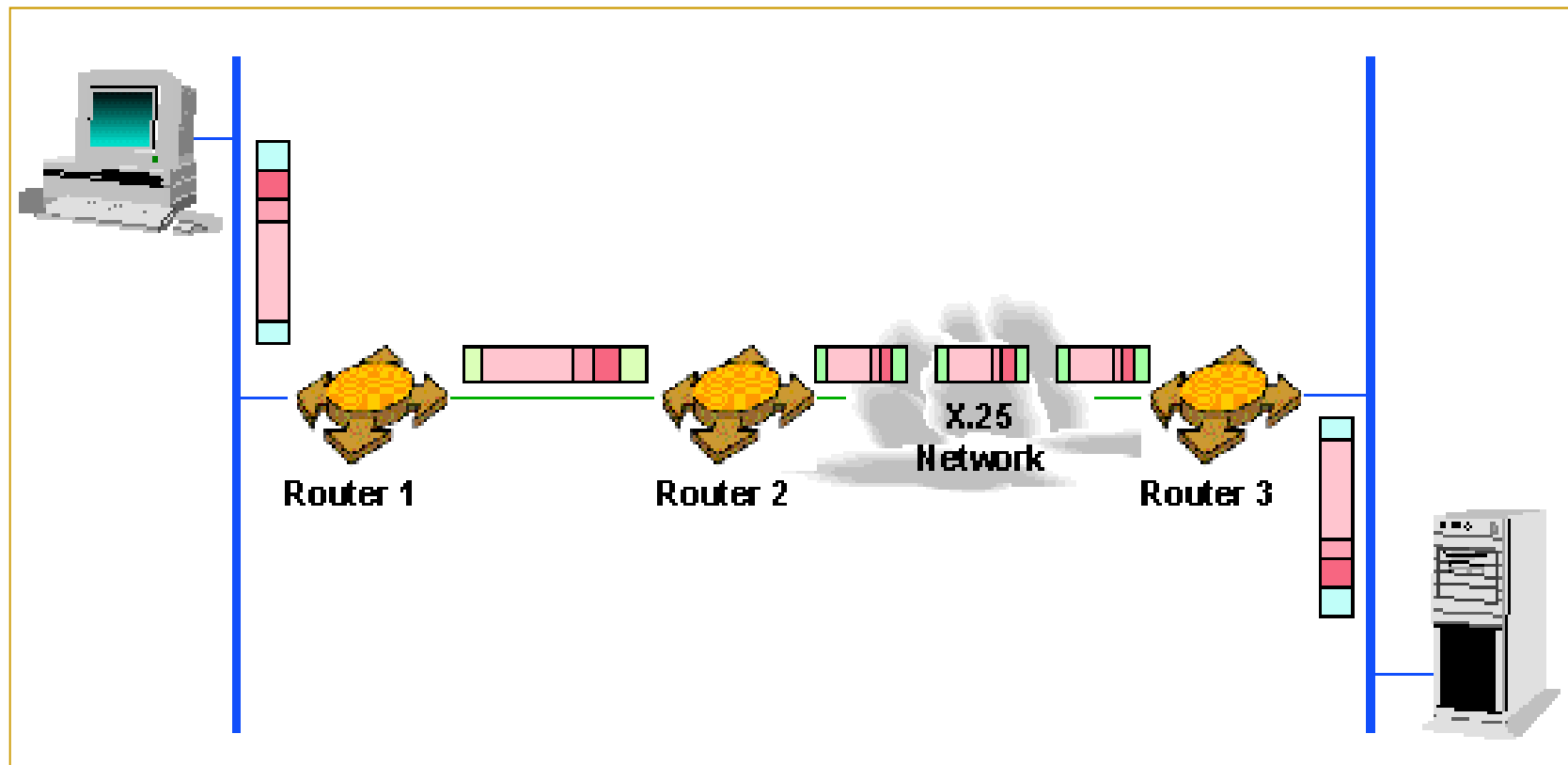
Maximum Transmission Unit

- Chaque réseau de niveau 2 possède sa propre valeur de MTU
- La MTU spécifie la taille maximale que le média réseau peut transporter en un seul PDU
- Exemples de MTU

X.25	576
Ethernet	1500
FDDI	4352
Token ring (4 Mbs)	4464
Token ring (16 Mbs)	17914

Path MTU (Maximum Transmission Unit)

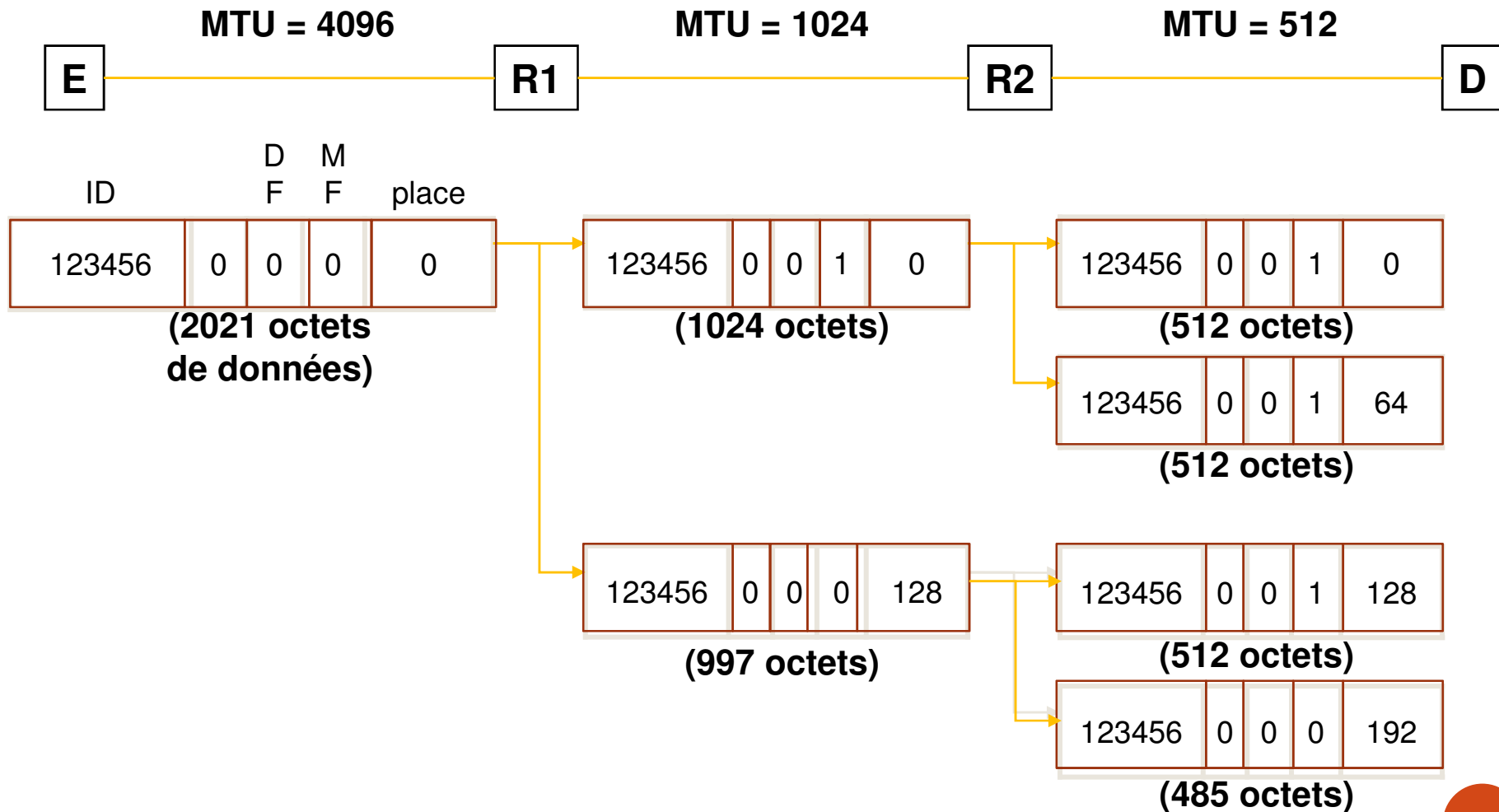
Et quand on traverse des segments de technologies de niveau 2 différentes ?



Path MTU

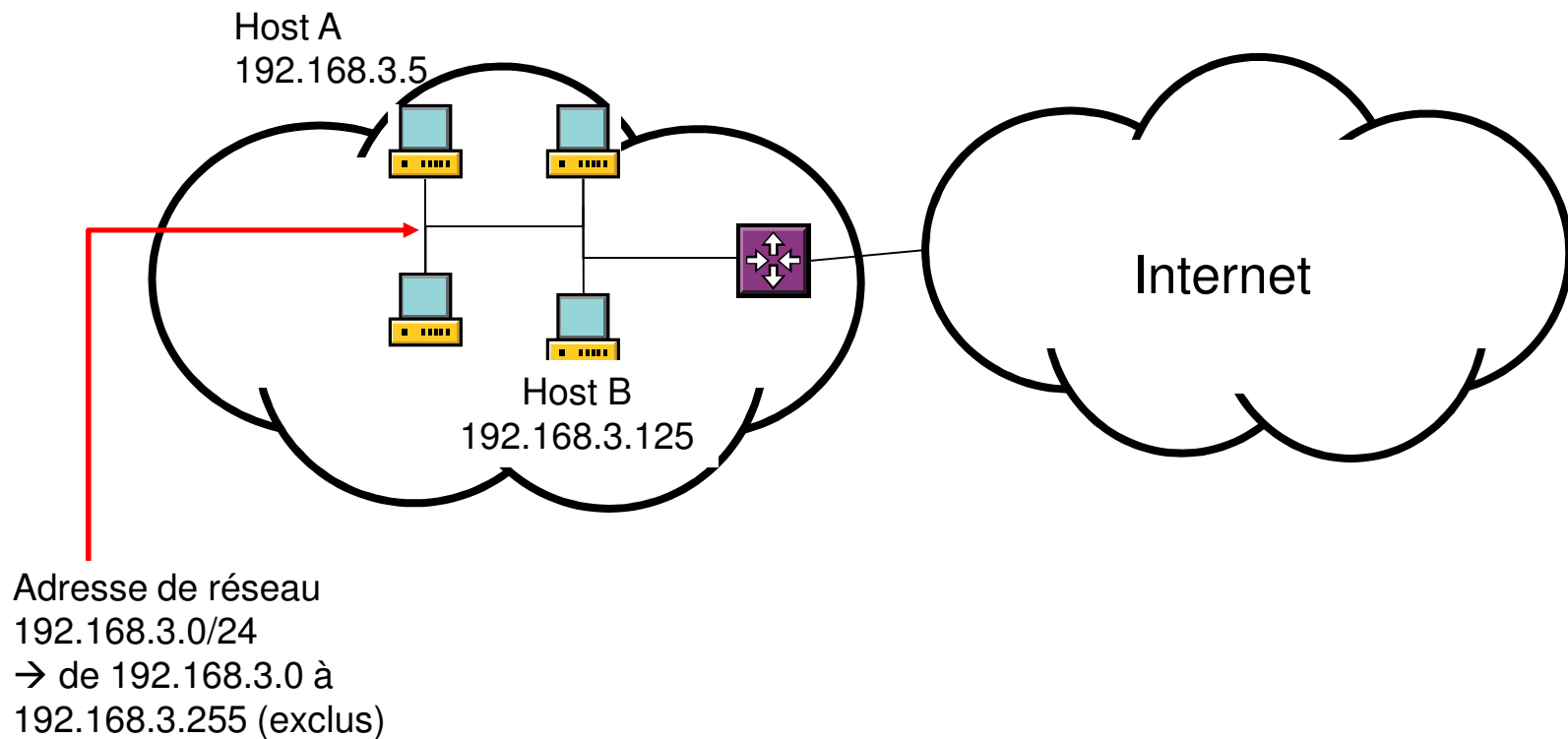
- La Path (chemin) MTU représente la plus petite MTU des réseaux de 2ème niveau rencontrés sur le chemin
- La Path MTU est une information très utile pour optimiser la fragmentation IP

Fragmentation : exemple



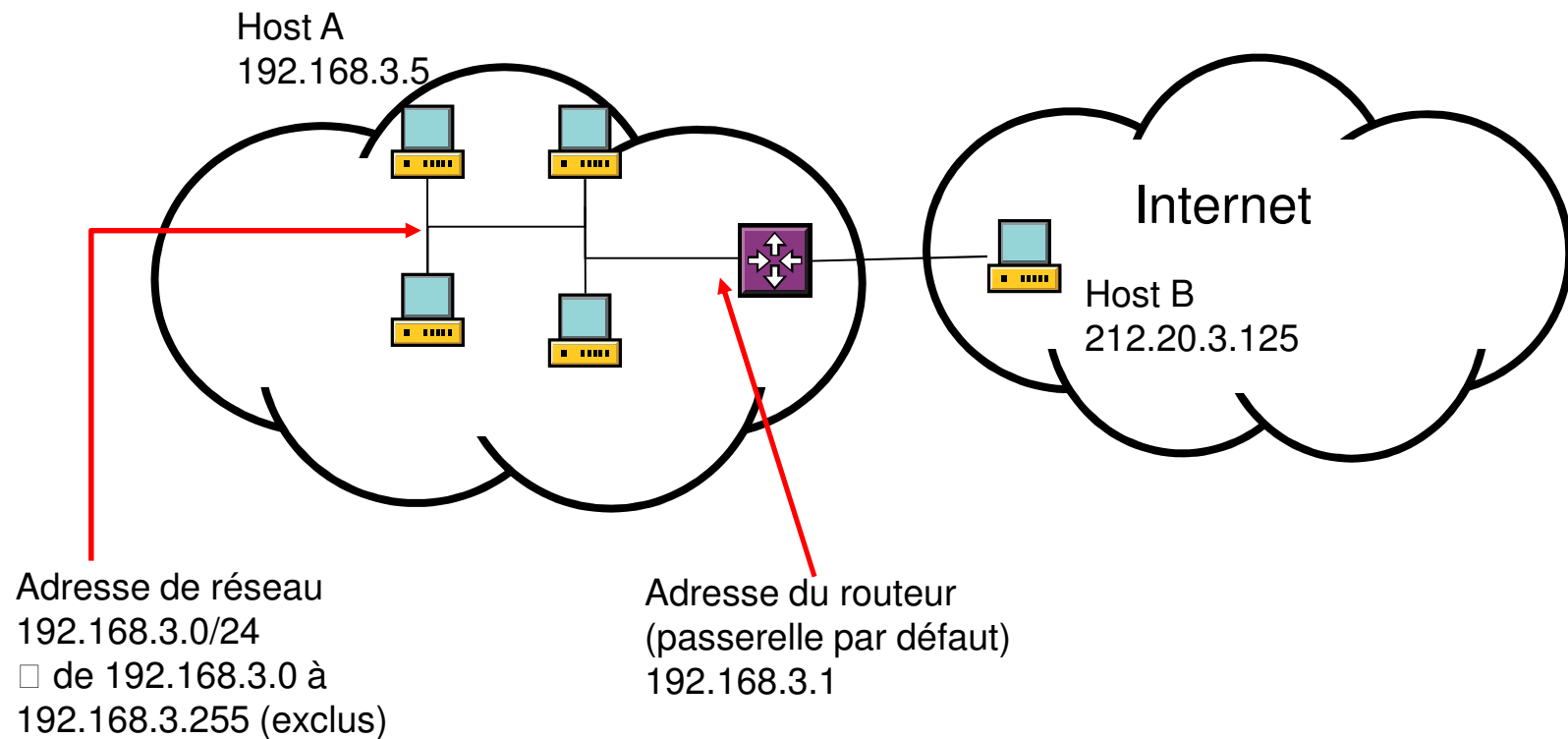
Utilisation du protocole IP

- Scénario 1: A veut dialoguer avec B situé sur le même réseau



Utilisation du protocole IP

- Scénario 2: A veut dialoguer avec B mais non situé sur le même segment



VI - Couche Réseau : Adressage

L'adressage IP

- ❑ Internet Protocol : actuellement en version 4
- ❑ L'utilisation a fortement évoluée (→ futur: IP v6)
 - ❑ IP première fois standardisé en Septembre 1981

- ❑ Adresse IP:

- ❑ 32 bits utilisés, écriture en 4 fois 8 bits.

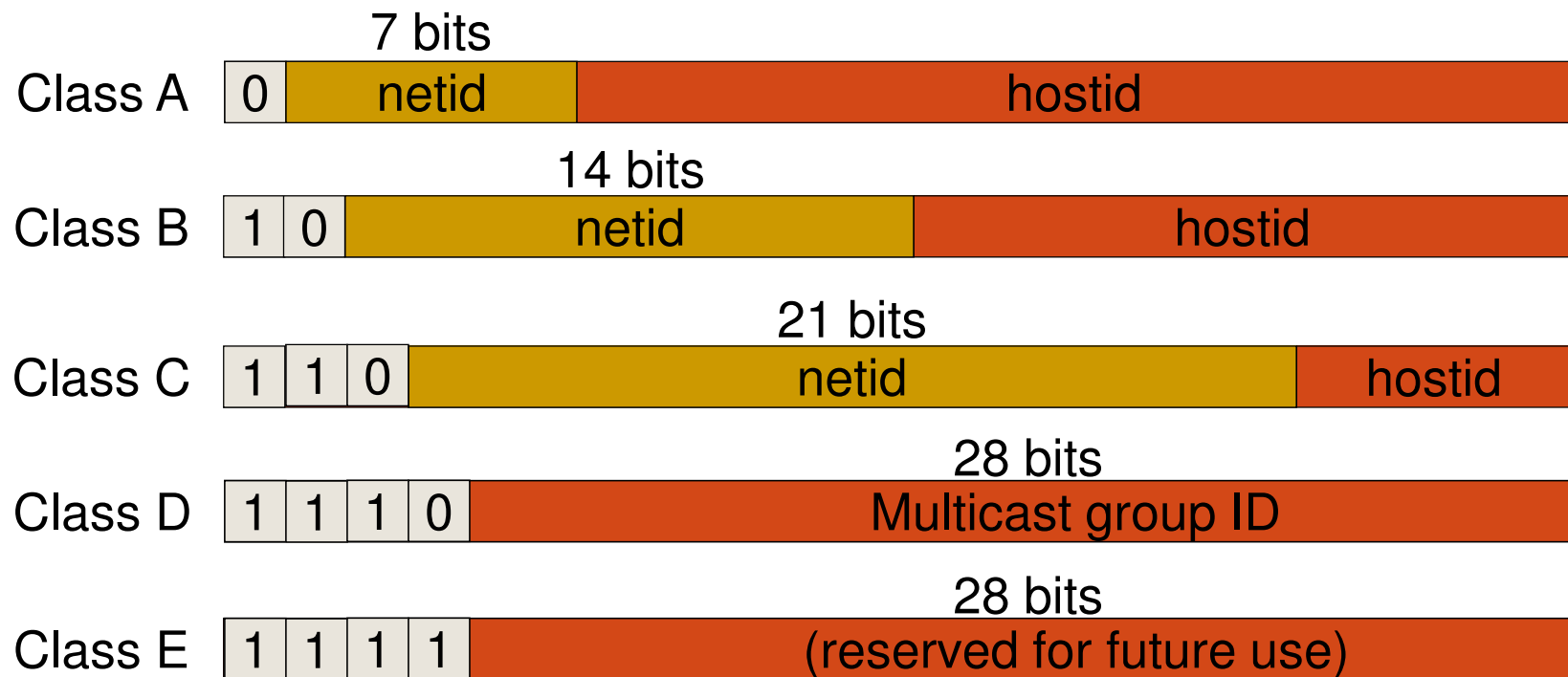
11000000.10101000.00001010.10000010 = 192.168.10.130

- ❑ **adressage d'une machine/d'un réseau = @ IP + masque sous-réseau**

Organisation de l'adressage IP

- ❑ Plusieurs méthodes de découpage des plages d'adresses :
 - ❑ **Classes** (A, B, C, ...)
 - ❑ ... voir plus loin
 - ❑ **Subnetting**
 - ❑ **CIDR** (*Classless Inter-Domain Routing*)
 - ❑ **VLSM** (*Variable Length Subnetwork Mask*)
→ sorte de CIDR local à l'entreprise
- ❑ Il existe des exceptions : ... voir plus loin
 - ❑ des plages IP réservées (e.g. *cast)
 - ❑ et d'autres à ne pas router (e.g. adressage privé)

Classes d'adresses



Classe A

de	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1	1.0.0.1
à	0 1 1 1 1 1 1 0	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 0	126.255.255.254

De 1.0.0.1 à 126.255.255.254

- net-id = 1^{er} octet
- 1^{er} bit de poids fort à 0
- Adressage de 126 réseaux (2^7-2), chacun pouvant contenir plus de 16 millions ($2^{24}-2$), de machines.

Classe B

de	1 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1	128.0.0.1
à	1 0 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 1 1 1 1 0	191.255.255.254

De 128.0.0.1 à 191.255.255.254

- net-id = deux premiers octets
- Les 2 bits de poids forts = 10
- Adressage de 16384 réseaux (2^{14}) chacun pouvant contenir 65534 ($2^{16}-2$) machines
- C'est la classe la plus utilisée, les adresses aujourd'hui sont pratiquement épuisées.

Classe C

de	1 1 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1	192.0.0.1
à	1 1 0 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 1 1 1 1 0	223.255.255.254

De 192.0.0.1 à 223.255.255.254

- net-id = les trois premiers octets, les 3 bits de poids forts sont à 110
- Adressage de plus de 2 millions de réseaux (2^{21}), chacun pouvant contenir 254 machines.

Classe D

1 1 1 0

a d r e s s e m u l t i c a s t

De 224.0.0.1 à 239.255.255.254

- Les 4 bits de poids forts sont à 1110
- Adresse de diffusion vers les machines d'un même groupe qui se sont abonnées

Adresse Publiques/privées

- Plages d'adresses privées utilisables par tout réseau privé, ou réseau d'entreprise
- Adresses non routables sur internet : elles ne sont pas uniques

Classe	Début de la plage	Fin de la plage	Nombre de réseaux
A	10.0.0.0		1
B	172.16.0.0	172.31.0.0	16
C	192.168.0.0	192.168.255.0	256

Adresses IP spéciales

- **<net-id><0>** : on obtient **l'adresse réseau**. Cette adresse ne peut être attribuée à aucun des ordinateurs du réseau.
- **<0><host-id>** : on obtient **l'adresse machine**. Cette adresse représente la machine spécifiée par le host-ID qui se trouve sur le réseau courant.
- **<net-id><1>** : on obtient **l'adresse de diffusion** (en anglais **broadcast**). Pour envoyer à toutes les machines situées sur le réseau spécifié par le net- id.
- **<net-id>=1 et <host-id>=0** : on obtient **le masque du réseau**
- **<0><0>** : dans les routeurs, route par défaut.
- Enfin, l'adresse **127.0.0.1** désigne la **machine locale** (en anglais **localhost**).

Adressage IP (avant 1994)

- Espace d'adressage plat
 - Pas de numérotation hiérarchique
 - Pas de rapport entre adresse et localisation géographique : privilégier la simplicité d'administration
 - 128.92/16 = IntelliCorp (Etats-Unis)
 - 138.96/16 = INRIA (France)
 - 128.94/16 = Agere Systems (Etats-Unis)
- Classes A, B, C : utilisation inefficace et peu flexible des adresses
- Évolutions :
 - CIDR
 - Adresses privées + NAT
 - IPv6 (adresses sur 128 bits)

Subnetting

- Diviser un **gros réseau** unitaire en ce qui apparaît comme **plusieurs sous-réseaux**
- Les sous-réseaux sont utiles pour réduire le nombre d'entrées dans la table de routage pour Internet en cachant des informations sur les sous-réseaux individuels d'un site
- De plus, cela a permis de réduire la surcharge réseau (overhead), en divisant le nombre d'hôtes recevant des appels broadcast IP

Subnetting

- **Masque de sous-réseau** : indique le nombre de bits utilisés pour identifier le sous-réseau, et le nombre de bits caractérisant les hôtes.
- **Un masque de sous réseau** est une adresse de 32 bits contenant des 1 aux emplacements des bits que l'on désire conserver, et des 0 pour ceux que l'on veut rendre égaux à zéro.
- Une fois ce masque créé, il suffit de faire un ET entre la valeur que l'on désire masquer et le masque afin de garder intacte la partie que l'on désire et annuler le reste
- Il y a plusieurs avantages à utiliser ce procédé. Un d'entre eux est de **pouvoir connaître le réseau associé à une adresse IP.**

CIDR (Classless Inter-Domain Routing)

- Mis au point afin (principalement) de diminuer la taille de la table de routage contenue dans les routeurs
- Agréger plusieurs entrées de cette table en une seule
- Cette technique a permis d'agréger des réseaux par région géographique et fournisseurs d'accès
- Agrégation maximum des sous-réseaux qui sont routés ensembles avec la même politique
- L'adresse IP est suivie par un slash ("/") indiquant le nombre de bits à 1 dans la notation binaire du masque de sous-réseau.
- **Exemple :** 192.0.2.96/23 indique une adresse IP où les 23 premiers bits sont utilisés comme adresse réseau. Le masque comporte 23 « 1 » : 255.255.254.0

CIDR (2)

- Par exemple, les réseaux 193.127.32.0 et 193.127.33.0 peuvent être agrégés sous la notation 193.127.32.0 / 23
- On peut donc voir le réseau 193.127.32.0 / 23 comme un réseau de **512 machines**, ou comme 2 réseaux de 256 machines chacun, car le 24e bit permet de coder l'un ou l'autre des 2 réseaux
- Pour tout le reste de l'Internet, il n'existe qu'un seul réseau 193.127.32.0/23
- **Une seule ligne** dans les tables de routage est suffisante pour traiter les 2 réseaux simultanément
- Par contre, le routeur qui connecte ces deux réseaux à l'Internet se sert du 24e bit (égal à 0 ou 1) de l'adresse contenue dans les datagrammes qui lui proviennent pour les diriger vers le sous-réseau auquel ils sont destinés assurant ainsi un **routage hiérarchique**.

Exemple

- Réseau « 192.44.77 / 26 »
 - 11000000 00101100 01001101 xxxxxxxx
 - 11111111 11111111 11111111 11000000
 - Adresse commence par 192 = $11000000_2 \Rightarrow$ adresse classe C
 - Classe C = 24 bits pour le réseau ; or, *netmask* = 26 bits \Rightarrow 2 bits pour les sous-réseaux
 - Sous-réseaux déconseillés : 00 et 11
 - **Ambiguïté** : adresse « 192.44.77.(1111 1111)₂ » = diffusion sur tout le réseau ou seulement sur le sous-réseau 3 ?
 - De même pour le sous-réseau 0 (adresses de diffusion BSD)
 - On dispose donc des plages :
 - 192.44.77.64 / 26 11000000 00101100 01001101 **0**1000000
 - 192.44.77.128 / 26 11000000 00101100 01001101 **1**0000000
 - Dans chacun de ces sous réseaux 64-2 machines

Adresses Publiques/privées

- Si un réseau utilisant des adresses privées à un besoin d'un accès à un réseau public :
 1. Renuméroter les machines avec des adresses publiques
 2. Conversion d'adresses privées en une adresse publique avec NAT
- Avec la deuxième solution, on économise des adresses publiques.

Exemple de création de sous-réseaux

- 130.79.153.28/23 : adresse réseau 130.79.152.0
- Adresse réseau : 10000010 01001111 10011000 00000000
- Si je veux créer 3 sous-réseaux : j'ai besoin de 2 bits supplémentaires dans l'adresse réseau pour les créer (je crée ainsi 4 sous-réseaux).
 1. 10000010 01001111 10011000 00000000 : 130.79.152.0/25
 2. 10000010 01001111 10011000 10000000 : 130.79.152.128/25
 3. 10000010 01001111 10011001 00000000 : 130.79.153.0/25
 4. 10000010 01001111 10011001 10000000 : 130.79.153.128/25
- Chaque sous-réseau pourra adresser 126 hôtes= 2^7-2

Exemple de masque de sous-réseaux

Exemple : 130.79.153.28/23

Ecriture binaire

Adresse : 10000010 01001111 10011001 00011100

Masque : 11111111 11111111 11111110 00000000

On fait un **ET** logique

Adresse réseau : 10000010 01001111 10011000 00000000

En décimal : 130.79.152.0

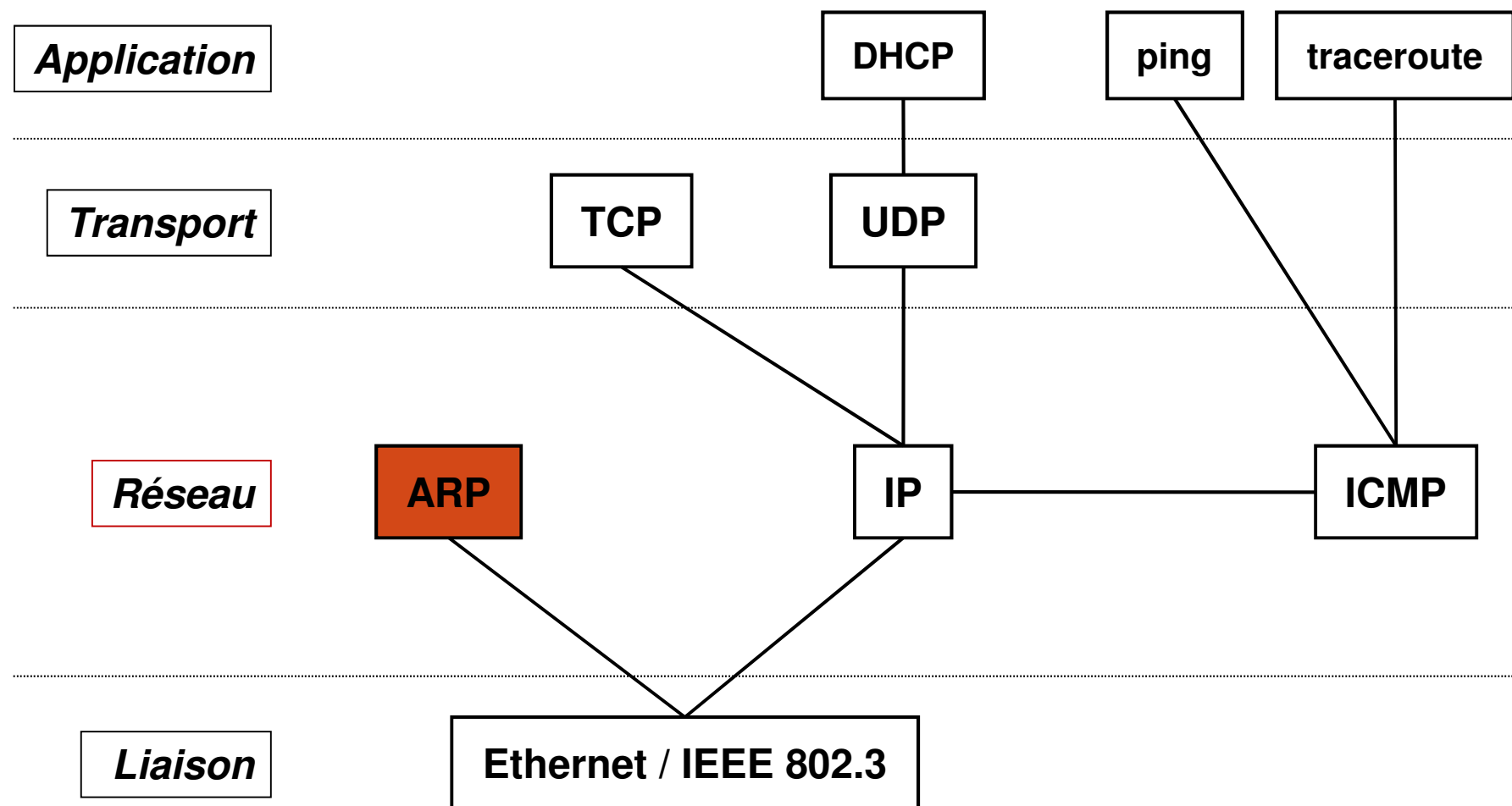
1. Est-ce que l'adresse 130.79.154.1 fait partie de ce réseau ?
2. Et l'adresse 130.79.153.35 ?

Table des masques réseau

<u>Forme</u>	<u>Courte</u>	<u>Forme Complète</u>	<u>#Max de Machines</u>	<u>Commentaire :</u>
/8	/255.0.0.0	16,777,215	Appelé 'un réseau de classe A '	
/16	/255.255.0.0	65,535	Appelé 'un réseau de classe B '	
/17	/255.255.128.0	32,767		
/18	/255.255.192.0	16,383		
/19	/255.255.224.0	8,191		
/20	/255.255.240.0	4,095		
/21	/255.255.248.0	2,047		
/22	/255.255.252.0	1,023		
/23	/255.255.254.0	511		
/24	/255.255.255.0	255	Appelé 'un réseau de classe C '	
/25	/255.255.255.128	127		
/26	/255.255.255.192	63		
/27	/255.255.255.224	31		
/28	/255.255.255.240	15		
/29	/255.255.255.248	7		
/30	/255.255.255.252	3		

VI - Couche réseau : protocole ARP

Couche 3 : architecture simplifiée



Protocole ARP

- *Address Resolution Protocol* (RFC 826)
- Correspondance adresse réseau (IP) → adresse MAC
 - Les applications ne manipulent que des adresses IP
 - Dans un sous-réseau IP : adresses affectées en suivant certaines règles
 - Les trames sont échangées en utilisant les adresses MAC
 - Dans un sous-réseau IP : numérotation aléatoire

ARP

- **Besoin :** la communication entre machines ne peut s'effectuer qu'à travers l'interface physique
- Les extrémités ne connaissant que des adresses IP, comment établir le lien adresse IP / adresse physique ?
- **Solution :** ARP (Address Resolution Protocol)
- **Rôle :** fournir à une machine donnée l'adresse physique d'une autre machine située sur le même réseau à partir de l'adresse IP de la machine destinatrice
- **Technique :**
 - La machine d'adresse IP émet un message contenant son adresse physique
 - Les machines non concernées ne répondent pas
 - Gestion cache pour ne pas effectuer de requête ARP à chaque émission

Fonctionnement d'ARP (1)

- Un ordinateur connecté à un réseau informatique souhaite émettre une trame Ethernet à destination d'un autre ordinateur dont il connaît l'adresse IP.
- Il interroge son cache ARP à la recherche d'une entrée correspondant à l'adresse IP de la machine cible. Deux cas peuvent se présenter :
 1. L'adresse IP est présente dans le cache de l'émetteur, il lit l'adresse MAC correspondante pour envoyer la trame Ethernet.
 2. L'adresse IP est absente du cache de l'émetteur. Dans ce cas, cet ordinateur met son émission en attente et effectue une requête ARP en **broadcast**. Cette requête est de type « Quelle est l'adresse MAC correspondant à l'adresse IP adresseIP ? Répondez à adresseMAC ».

Fonctionnement d'ARP (2)

- Tous les ordinateurs connectés au support physique vont recevoir la requête.
- La machine qui possède l'IP demandée, sera la seule à répondre en envoyant à la machine émettrice une réponse ARP du type « je suis adresseIP, mon adresse MAC est adresseMAC ».
- Pour émettre cette réponse au bon ordinateur, il crée une entrée dans son cache ARP à partir des données qu'il vient de recevoir.
- La machine à l'origine de la requête ARP reçoit la réponse, met à jour son cache ARP et peut donc envoyer le message qu'elle avait mis en attente à l'ordinateur concerné.

ARP request à tout le monde

69753	1656.228884	Dell_79:e0:7b	Broadcast	ARP	who has	138.96.0.11?	Tell	138.96.215.13
69755	1656.290967	CompaqHp_96:25:a7	Broadcast	ARP	who has	138.96.93.17?	Tell	138.96.93.23
69756	1656.301907	wwPcbaTe_6d:42:6a	Broadcast	ARP	who has	138.96.232.79?	Tell	138.96.0.33
69758	1656.377128	Dell_e0:11:b2	Broadcast	ARP	who has	138.96.211.66?	Tell	138.96.64.23
69759	1656.388077	Cisco_1f:78:0a	Broadcast	ARP	who has	138.96.43.63?	Tell	138.96.40.250
69760	1656.483019	Intel_de:b0:6a	Broadcast	ARP	who has	138.96.201.71?	Tell	138.96.160.82

Frame 69758 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)

Ethernet II, Src: Dell_e0:11:b2 (00:11:43:e0:11:b2), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)

 Destination: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)

Source: dell_e0:11:b2 (00:11:43:e0:11:b2)

Type: ARP (0x0806)

Trailer: 00

☒ Address Resolution Protocol (request)

```
Hardware type: Ethernet (0x0001)
```

Protocol type: IP (0x0800)

Hardware size: 6

Protocol size: 4

```
opcode: request (0x0001)
```

```
sender MAC address: dell_e0:11:b2 (00:11:43:e0:11:b2)
```

Sender IP address: 138.96.64.23 (138.96.64.23)

```
Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
```

Target IP address: 138.96.211.66 (138.96.211.66)

2000	ff ff ff ff ff ff 00 11	43 e0 11 b2 08 06 00 01		C.....
2010	08 00 06 04 00 01 00 11	43 e0 11 b2 8a 60 40 17		C.....@.
2020	00 00 00 00 00 00 8a 60	d3 42 00 00 00 00 00 00		B.....
2030	00 00 00 00 00 00 00 00	00 00 00 00 00 00 00 00		

- Qui à l'adresse IP 138.96.211.66 ?
- Qu'il me renvoi son adresse MAC

ARP reply à celui qui a fait l'ARP request

```
668/U 1575.811572 Dell_11:2b:5c Dell_30:67:8d ARP 138.96.241.88 is at 00:1c:23:11:2b:5c
67358 1590.812763 Dell_11:2b:5c WwPcbaTe_6c:e7:5a ARP 138.96.241.88 is at 00:1c:23:11:2b:5c
```

```
+ Frame 67358 (42 bytes on wire, 42 bytes captured)
- Ethernet II, Src: Dell_11:2b:5c (00:1c:23:11:2b:5c), Dst: WwPcbaTe_6c:e7:5a (00:0f:1f:6c:e7:5a)
  + Destination: WwPcbaTe_6c:e7:5a (00:0f:1f:6c:e7:5a)
  + Source: Dell_11:2b:5c (00:1c:23:11:2b:5c)
    Type: ARP (0x0806)
- Address Resolution Protocol (reply)
  Hardware type: Ethernet (0x0001)
  Protocol type: IP (0x0800)
  Hardware size: 6
  Protocol size: 4
  Opcode: reply (0x0002)
  Sender MAC address: Dell_11:2b:5c (00:1c:23:11:2b:5c)
  Sender IP address: 138.96.241.88 (138.96.241.88)
  Target MAC address: WwPcbaTe_6c:e7:5a (00:0f:1f:6c:e7:5a)
  Target IP address: 138.96.0.6 (138.96.0.6)
```

C'est moi et mon adresse mac est
00:1C:23:11:2B:5C

```
0000  00 0f 1f 6c e7 5a 00 1c 23 11 2b 5c 08 06 00 01  ...1.Z.. #.+ \....
0010  08 00 06 04 00 02 00 1c 23 11 2b 5c 8a 60 f1 58  .... #.+ \. .x
0020  00 0f 1f 6c e7 5a 8a 60 00 06  ...1.Z. ` ..
```

Structure d'une requête ARP

- La requête ARP est véhiculée dans un message protocolaire lui-même encapsulé dans la trame de liaison de données.
- Lorsque la trame arrive à destination, la couche liaison de données détermine l'entité responsable du message encapsulé;
- Champ type de la trame Ethernet : 0X0806 pour ARP

Protocole ARP (suite)

- Table de correspondance (*cache*) dynamique
 - Construite et mise à jour par le système
 - Chaque ligne a une durée de vie finie

```
Z:\>arp -a

Interface : 138.96.241.88 --- 0x2
  Adresse Internet      Adresse physique      Type
  138.96.0.6            00-0f-1f-6c-e7-5a     dynamique
  138.96.0.7            00-11-43-30-67-8b     dynamique
  138.96.0.10           00-0f-1f-6d-42-6a     dynamique
  138.96.0.11           00-0f-1f-6c-e7-5a     dynamique
  138.96.0.23           00-14-22-1e-12-26     dynamique
  138.96.0.33           00-0f-1f-6d-42-6a     dynamique
  138.96.0.34           00-0f-1f-6c-e7-5a     dynamique
  138.96.0.35           00-11-43-30-67-8b     dynamique
  138.96.0.36           00-11-43-30-67-57     dynamique
  138.96.64.10          00-c0-fd-02-0b-1c     dynamique
  138.96.112.250        00-04-de-1f-78-0a     dynamique
  138.96.160.81         00-0c-f1-de-b0-30     dynamique
  138.96.160.82         00-0c-f1-de-b0-6a     dynamique
  138.96.160.83         00-0c-f1-de-a3-6f     dynamique
  138.96.160.84         00-11-11-4d-af-bb     dynamique
  138.96.241.55        00-14-22-1e-03-15     dynamique

Interface : 193.51.208.195 --- 0x3
  Adresse Internet      Adresse physique      Type
  193.51.208.13         00-04-de-1f-78-0a     dynamique
```

Paquet ARP (pour Ethernet et IP)

