

# **Cours des réseaux Informatiques**

**(2010-2011)**

**Rziza Mohammed**

rziza@fsr.ac.ma

## Fonction de La couche réseau

Le rôle principal de cette couche est de :

- Transporter des paquets de la source vers la destination via les différents nœuds de commutation du réseaux traversés
- Trouver un chemin tout en assurant une régulation et répartition de la charge des réseaux

Ce rôle est assuré par un ensemble de fonctions :

- Fragmentation et réassemblage (**conversion de messages en paquets**)
- Adressage et routage (**acheminement des paquets**)
- Régulation et répartition de la charge (**contrôle de flux**)

# Le protocole IP : L'adressage Internet

- **But** : fournir un service de communication universel permettant à toute machine de communiquer avec toute autre machine de l'interconnexion
- Une machine doit pouvoir être identifiée par :
  - un **nom**,
  - une **adresse** qui doit être un identificateur universel de la machine,
  - une **route** précisant comment la machine peut être atteinte.

# Le protocole IP : L'adressage Internet

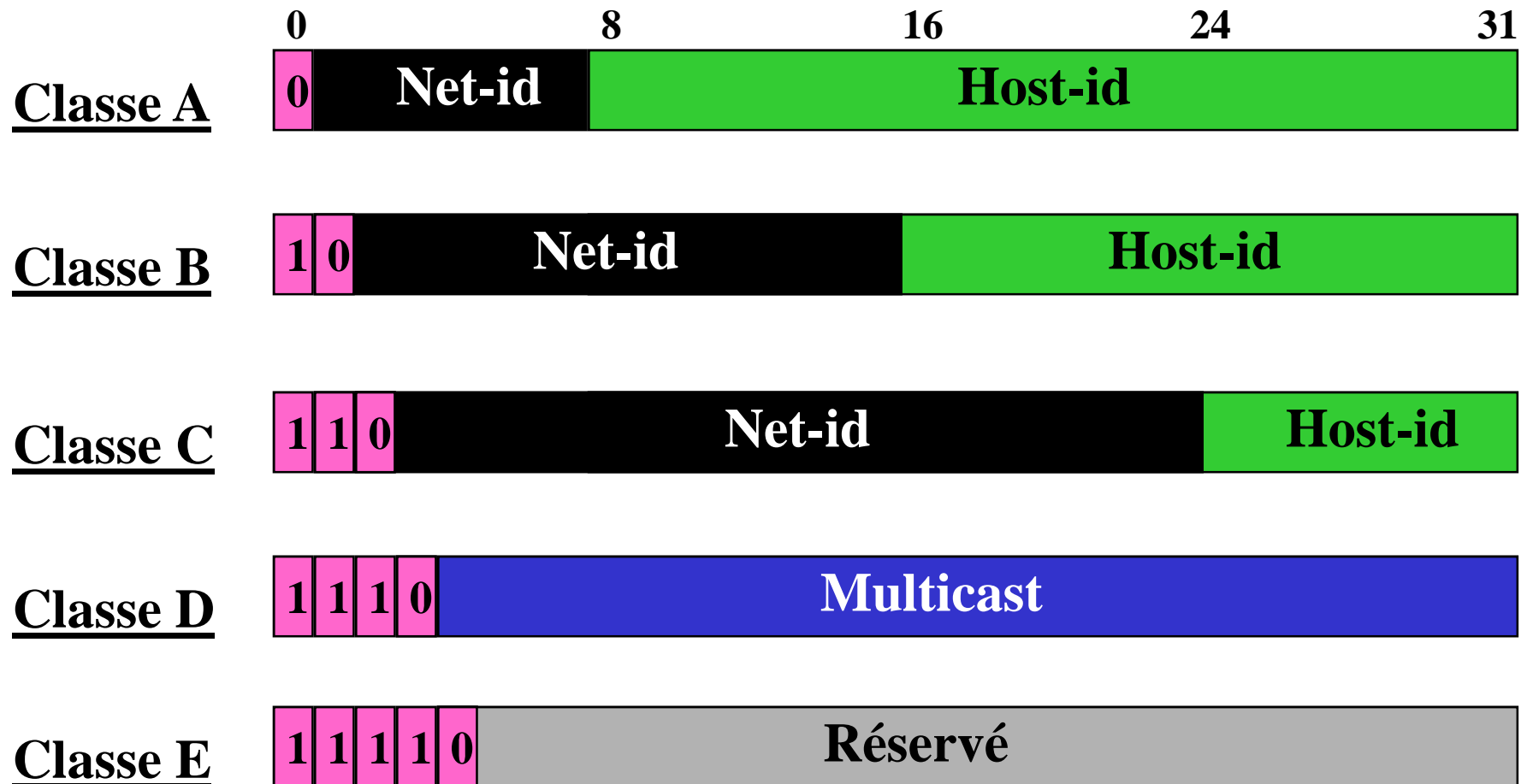
## Solution :

- adressage binaire compact assurant un routage efficace
- Utilisation de noms pour identifier des machines (réalisée à un autre niveau que les protocoles de base)

## Les classes d'adressage

- Une adresse = 32 bits dite "**Internet address**" ou "**IP address**" constituée d'une paire (**netid, hostid**) où **netid** identifie un réseau et **hostid** identifie une machine sur ce réseau.
- Cette paire est structurée de manière à définir **cinq classes d'adresse**

# Le protocole IP : L'adressage Internet



# Le protocole IP : L'adressage Internet

On dispose en théorie des plages d'adresses suivantes :

Classe	Plage	
A	0.0.0.0	127.255.255.255
B	128.0.0.0	191.255.255.255
C	192.0.0.0	223.255.255.255
D	224.0.0.0	239.255.255.255
E	240.0.0.0	247.255.255.255

# Le protocole IP : L'adressage Internet

Classe A : 126 réseaux et 16777214 machines par réseaux

Classe B : 16382 réseaux et 65534 machines par réseaux

Classe C : 2097150 réseaux et 254 machines par réseaux

- Il existe des adresse dites non routables.
- Ces adresse sont réservées à usage interne, ou dans le cas de réseaux privées

Classe A : 10.0.0.0

Classe B : 172.16.0.0 à 172.31.0.0

Classe C : 192.168.0.0 à 192.168.255.0

# Le protocole IP : L'adressage Internet

- Notation décimale

utilisation de quatre entiers décimaux séparés par un point, chaque entier représente un octet de l'adresse IP : 128.10.2.30

10000000 00001010 00000010 00011110

- Adresses particulières

- **Adresses réseau** : adresse IP dont la partie **hostid** ne comprend que des **zéros**; => la valeur zéro ne peut être attribuée à une machine réelle : **172.20.0.0** désigne le réseau de classe **B 172.20**.
- **Adresse machine locale** : adresse IP dont le champ réseau (**netid**) ne contient que des zéros;
- **hostid = 0** (=> **tout à zéro**), l'adresse est utilisée au **démarrage** du système afin de connaître **l'adresse IP (RARP)**.



# Le protocole IP : L'adressage Internet

## Détermination du netmask

- Soit le sous réseau de classe C 192.168.16.x ( $0 < x < 255$ ).
- Nous avons donc un réseau de  $n=255$  machines,
- $\text{netmask} = \text{NON}(n) = \text{NON}(0.0.0.255)$ , soit (255.255.255.0)
- Le **netmask** est donc nécessaire pour connaître le nombre de machines présente dans le sous-réseau.
- Le **netmask** permet de diviser la classe C en plusieurs sous réseaux.

## Exemple:

Adresse de sous réseau	Netmask	Nb de machines
192.168.16.0	255.255.255.128	128
192.168.16.128	255.255.255.224	64
192.168.16.192	255.255.255.224	32
192.168.16.224	255.255.255.224	32

# Le protocole IP : L'adressage Internet

## Calcul de l'adresse de diffusion

- L'adresse de **diffusion**, ou adresse de **broadcast**, permet d'adresser toutes les machines sur le même réseau que le votre d'une seule opération.
- Elle est **calculée à partir du netmask** et de **l'adresse de sous-réseau**.
- Si **R** est **l'adresse de sous-reseau** et **N** le **netmask** associé, on peut calculer l'adresse de **broadcast** par la formule suivante:

$$\mathbf{B = NON (N) OU (R)}$$

### Exemple:

$$N = 255.255.255.128$$

$$R = 192.168.16.0$$

$$B = \text{NON } (255.255.255.128) \text{ OU } 192.168.16.0$$

$$= (0.0.0.127) \text{ OU } 192.168.16.0$$

$$= 192.168.16.127$$

# Le protocole IP : L'adressage Internet

## L'adresse de passerelle

L'adresse de passerelle indique si nécessaire à quelle machine doit-on s'adresser lorsqu'une requête n'est pas destinée à une machine de notre réseaux

Pour une classe C 192.16.168.0, l'adresse 192.16.168.254 est réservée au routeur ou passerelle.

Comment déterminer si la machine émettrice se trouve dans le même réseau que la machine qu'elle souhaite contacter?

L'opération suivante est effectuée :  $V = IP_{dest} \text{ ET Netmask}$

si  $V$  donne la même adresse de sous-réseau que la machine émettrice, alors la machine de destination se trouve dans le même réseau que la machine émettrice (on a pas besoin de la passerelle).

# Le protocole IP : L'adressage Internet

- Adresses de diffusion : la partie **hostid** ne contient que **des 1**
- En conséquence, une adresse **IP** dont la valeur **hostid** ne comprend que **des 1** ne peut être **attribuée** à une **machine réelle**.
- Adresse de boucle locale : l'adresse réseau **127.0.0.0** est réservée pour la **désignation de la machine locale**, c'est à dire la communication **intra-machine**.

**Une adresse réseau 127 ne doit, en conséquence, jamais être véhiculée sur un réseau et un routeur ne doit jamais router un datagramme pour le réseau 127.**

# Le protocole IP : L'adressage Internet



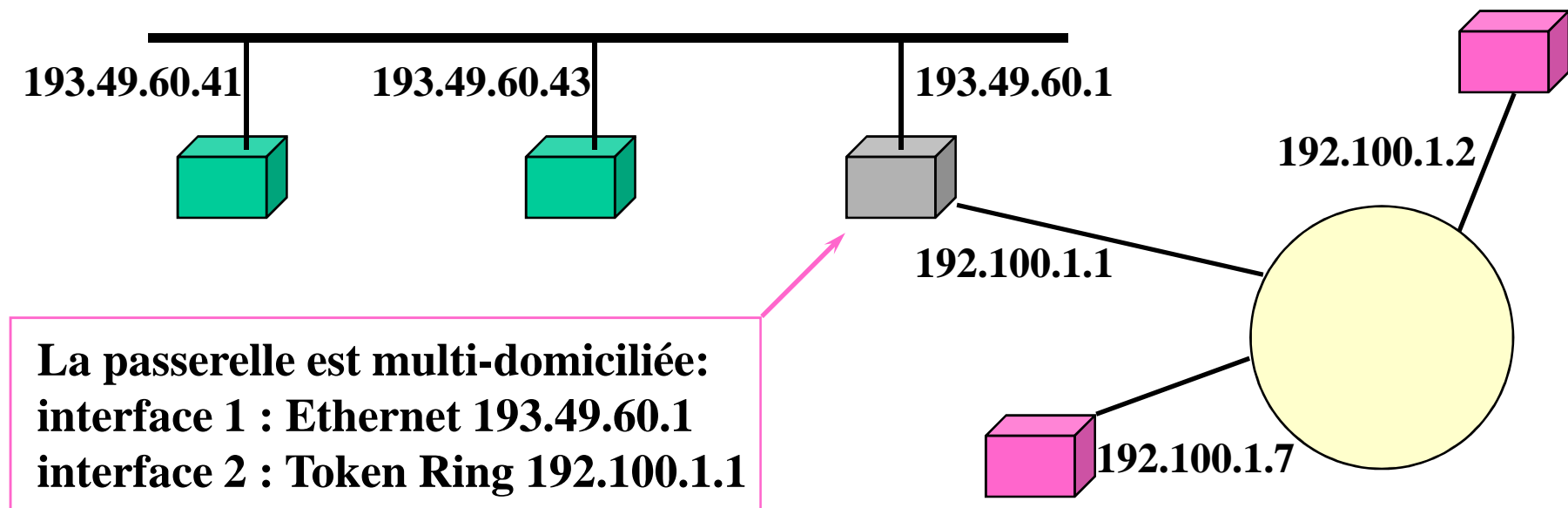
# Le protocole IP : L'adressage Internet

## Adresses et connexions

Une adresse IP => une interface physique => une connexion réseau.

A une machine, est associé un certain nombre **N** d'adresses **IP**.

Si **N > 0** la machine (ou **passerelle**) est multi-domiciliée.



## Le sous-adressage

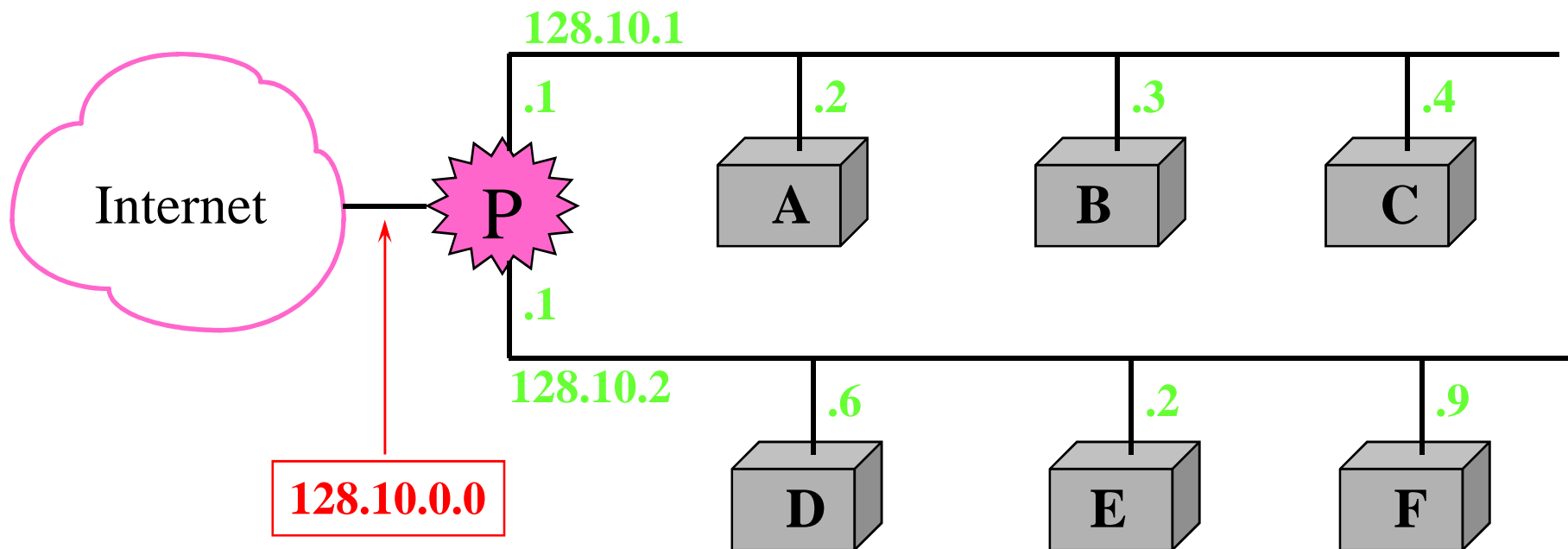
- Le **sous-adressage** est une **extension du plan d'adressage initial**
- Devant la **croissance du nombre de réseaux de l'Internet**, il a été introduit afin de **limiter la consommation** d'adresses IP, qui permet également de **diminuer** :
  - la gestion administrative des adresses IP,
  - la taille des tables de routage des passerelles,
  - la taille des informations de routage,
  - le traitement effectué au niveau des passerelles.

### Principes

- A l'intérieur d'une entité associée à une adresse IP de classe A, B ou C, plusieurs réseaux physiques partagent cette adresse IP.
- On dit alors que ces réseaux physiques sont des sous-réseaux (*subnet*) du réseau d'adresse IP.

# Le sous-adressage

Les sous-réseaux **128.10.1.0** et **128.10.2.0** sont notés seulement avec le **NetId**, les machines seulement avec le **Hostid** ; exemple IP(F) = **128.10.2.9**



La **passerelle P** accepte tout le trafic destiné au réseau **128.10.0.0** et sélectionne le **sous-réseau** en fonction du **troisième octet de l'adresse destination**.

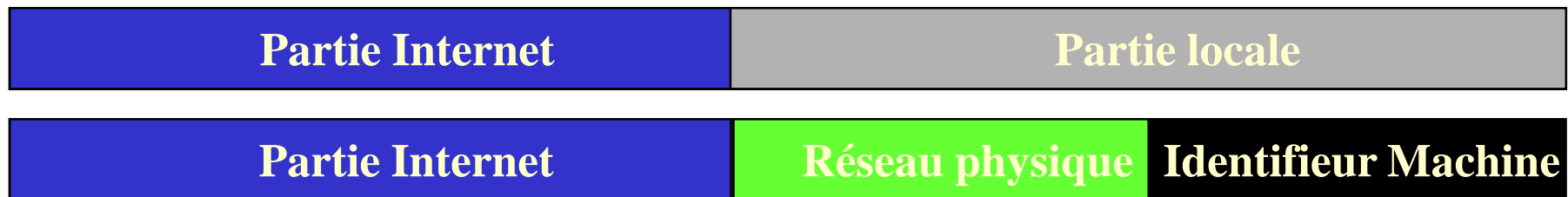


## Le sous-adressage

- La passerelle doit router vers l'un ou l'autre des sous-réseaux ; le découpage du site en sous-réseaux a été effectué sur la base du troisième octet de l'adresse :
  - les adresses des machines du premier sous-réseau sont de la forme 128.10.1.X,
  - les adresses des machines du second sous-réseau sont de la forme 128.10.2.X.
- Pour sélectionner l'un ou l'autre des sous-réseaux, P examine le troisième octet de l'adresse destination : si la valeur est 1, le datagramme est routé vers réseau 128.10.1.0, si la valeur est 2, il est routé vers le réseau 128.10.2.0.

## Le sous-adressage

- Conceptuellement, la **partie locale dans le plan d'adressage initial** est **subdivisée** en “partie réseau physique” + “identification de machine (hostid) sur ce sous-réseau” :



- ➔ «**Partie Internet**» correspond au **NetId** (plan d'adressage initial)
- ➔ «**Partie locale**» correspond au **hostid** (plan d'adressage initial)
- ➔ les champs «**Réseau physique**» et «**identifieur Machine**» sont de taille variable; la **longueur des 2 champs** étant toujours égale à la **longueur** de la «**Partie locale**».

## Le sous-adressage

- Le choix du découpage dépend des perspectives d'évolution du site:
  - Exemple Classe B : 8 bits pour les parties réseau et machine donnent un potentiel de 254 sous-réseaux et 254 machines par sous-réseau, tandis que 3 bits pour la partie réseau et 13 bits pour le champ machine permettent 6 réseaux de 8190 machines chacun.
  - Exemple Classe C : 4 bits pour la partie réseau et 4 bits pour le champ machine permettent 14 réseaux de 14 machines chacun.

# Le protocole ARP : Address Resolution Protocol

## Le besoin

- La communication entre machines ne peut s'effectuer qu'à travers l'interface physique
- Les applicatifs ne connaissent que des adresses IP, **comment établir le lien adresse IP / adresse physique?**

## La solution : ARP

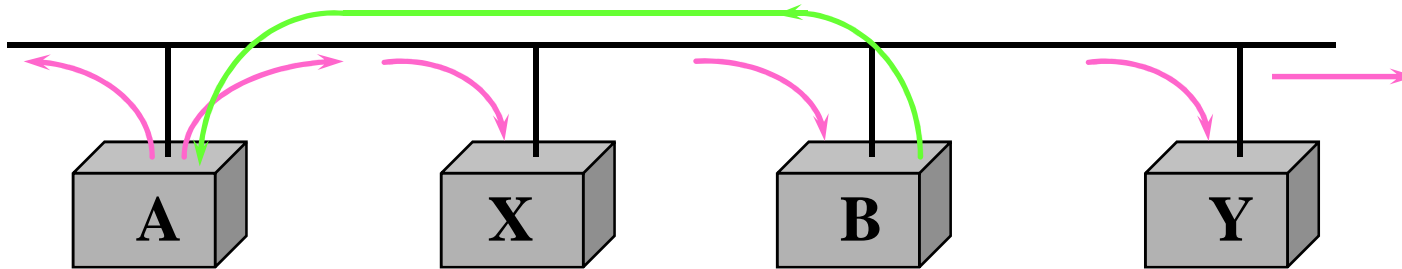
- Mise en place dans TCP/IP d'un protocole de bas niveau appelé **Address Resolution Protocol (ARP)**
- **Rôle de ARP** : fournir à une machine donnée **l'adresse physique** d'une autre machine située sur le même réseau à partir de **l'adresse IP** de la machine destinataire

## La technique

- Diffusion d'adresse sur le réseau physique
- 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

## Le protocole ARP : Address Resolution Protocol

- L'association **adresse physique - adresse IP** de l'émetteur est incluse dans la **requête ARP** de manière à ce que les récepteurs **enregistrent** l'association dans leur propre **mémoire cache**



- Pour connaître l'adresse physique de **B, PB**, à partir de son adresse **IP, IB**, la machine **A diffuse une requête ARP** qui contient l'adresse **IB** vers toutes les machines; la machine **B répond avec un message ARP** qui contient la paire (**IB, PB**).

# Le protocole ARP : Address Resolution Protocol

## Format du message 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;

**Exemple:** champ type de la trame Ethernet: **0806** pour ARP

# RARP: Reverse Address Resolution Protocol

## Le besoin

- L'adresse IP d'une machine est configurable (*elle dépend du réseau sur lequel elle se trouve*) et est souvent enregistrée sur la mémoire secondaire où le système d'exploitation l'accède au démarrage.
- Ce fonctionnement usuel n'est plus possible dans le cas où la machine est une station sans mémoire secondaire.

**Problème** : déterminer un mécanisme permettant à la station d'obtenir son adresse IP depuis le réseau.

## La solution

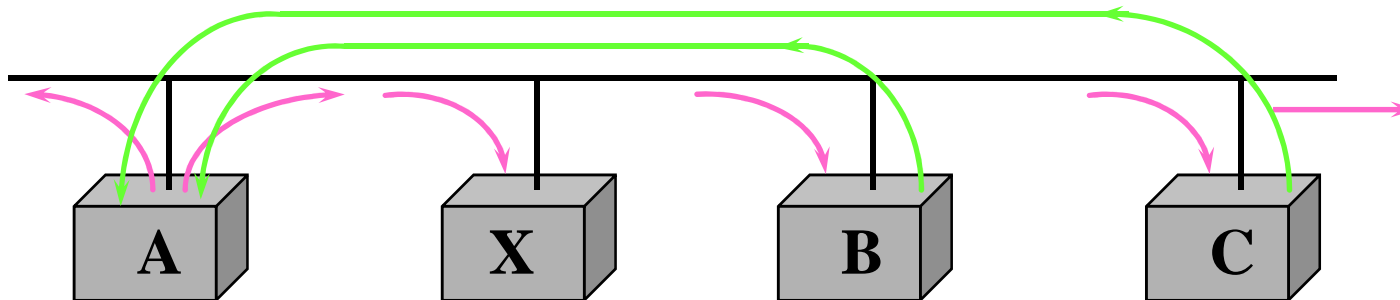
- Protocole de bas niveau appelé **Reverse Address Resolution Protocol**
- Permet d'obtenir son **adresse IP** à partir de l'adresse physique qui lui est associée.

## Fonctionnement

Serveur **RARP** sur le réseau physique; son **rôle**: fournir les **adresses IP** associées aux **adresses physiques** des stations du réseau;

# RARP: Reverse Address Resolution Protocol

- Le serveur possède une base de données contenant les couples adresse **physique/adresse IP**,
- les stations émettent une requête **RARP** sur le réseau, consistant à demander l'adresse IP qui est associée à leur adresse physique,
- Les requêtes RARP sont propagées vers le ou les serveur(s) RARP par mécanisme de diffusion. Le(s) serveur(s) RARP réponde(nt) par un message de type RARP.



Pour connaître son adresse IP, **A** diffuse sur le réseau, une requête **RARP** qui la désigne comme destinataire

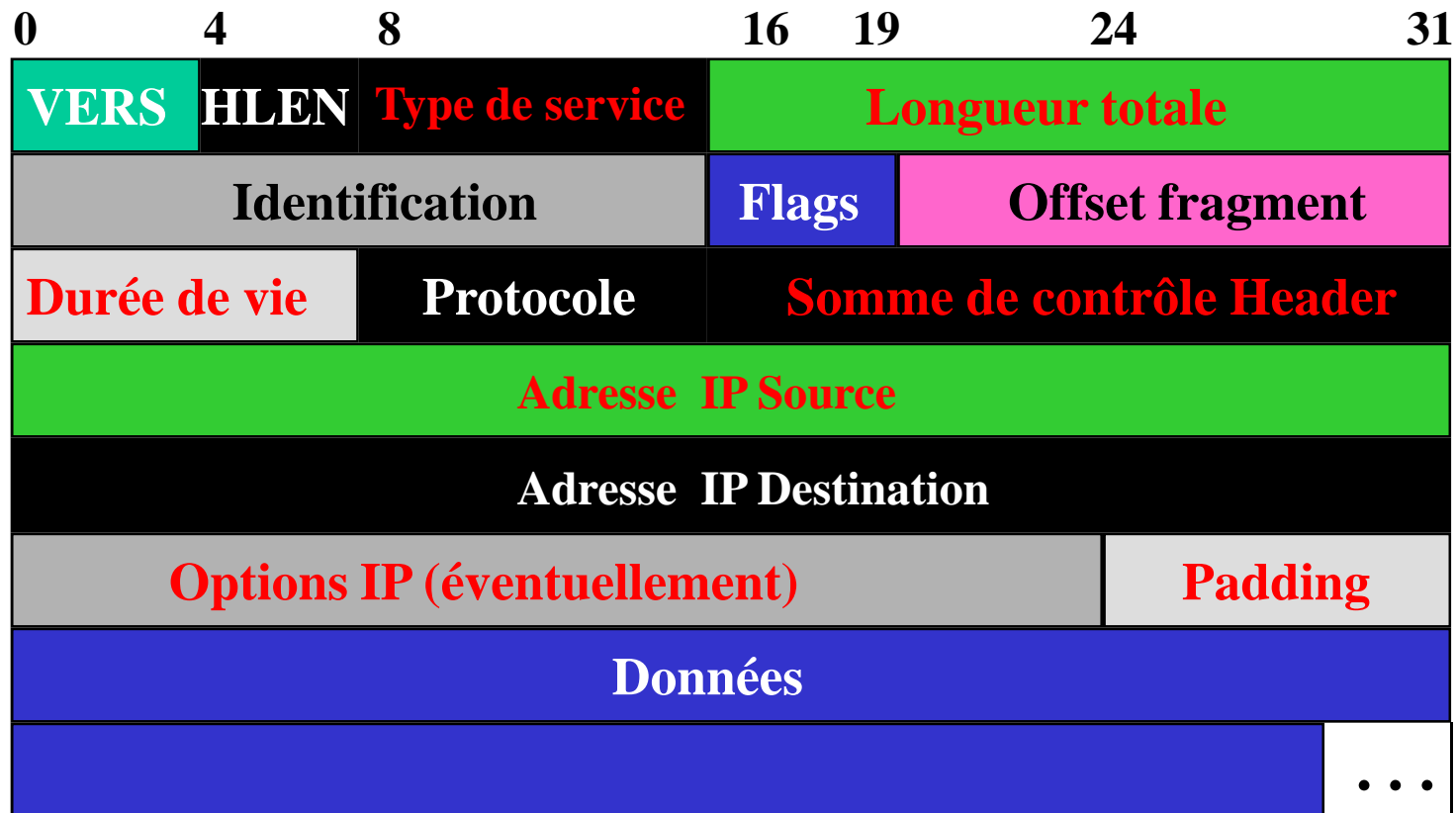
**Les Serveurs RARP (B et C) répondent à la requête.**



# IP : Internet Protocol (le datagramme)

## Le datagramme IP

L'unité de transfert de base dans un **réseau Internet** est le **datagramme** qui est **constituée** d'un en-tête et d'un champ de données:



# IP : Internet Protocol (le datagramme)

## Signification des champs du datagramme IP :

- **VERS** : numéro de version de protocole IP, actuellement version 4,
- **HLEN** : longueur de l'en-tête en mots de 32 bits,
- **Longueur totale** : longueur totale du datagramme (en-tête + données)
- **Type de service** : indique comment le datagramme doit être géré :



- **PRECEDENCE (3 bits)** : définit la priorité du datagramme.
- **Bits D, T, R** : indiquent le **type d'acheminement** désiré du **datagramme**, permettant à une passerelle de choisir entre plusieurs **routes** (si elles existent) : **D** signifie délai court, **T** signifie débit élevé et **R** signifie grande fiabilité.

# IP : Internet Protocol (le datagramme)

## FRAGMENT OFFSET, FLAGS, IDENTIFICATION :

les champs de la fragmentation.

- Sur toute **machine ou passerelle** mettant en oeuvre TCP/IP, une **unité maximale de transfert** (*Maximum Transfert Unit* ou MTU) **définit la taille maximale d'un datagramme véhiculé** sur le réseau physique correspondant.
- Lorsque le **datagramme est routé** vers un réseau physique dont le **MTU est plus petit que le MTU courant**, la **passerelle fragmente le datagramme en un certain nombre de fragments** véhiculés par autant de trames sur le réseau physique correspondant.
- Lorsque le **datagramme est routé** vers un réseau physique dont le **MTU est supérieur au MTU courant**, la passerelle **route les fragments tels quels** (**rappel** : les datagrammes peuvent emprunter des chemins différents).
- Le **destinataire final reconstitue le datagramme initial** à partir de **l'ensemble des fragments reçus**; la taille de ces **fragments correspond au plus petit MTU emprunté** sur le réseau. Si un **seul des fragments est perdu**, le **datagramme initial est considéré comme perdu** : la probabilité de perte d'un datagramme augmente avec la fragmentation.

## IP : Internet Protocol (le datagramme)

- **FRAGMENT OFFSET** : indique le déplacement des données contenues dans le fragment par rapport au datagramme initial. C'est un **multiple de 8 octets**; la taille du fragment est donc également un multiple de 8 octets.
- Chaque **fragment a une structure identique à celle du datagramme initial**, seul les **champs FLAGS et FRAGMENT OFFSET** sont spécifiques.

## Taille MTU

La taille de MTU dépend de la couche liaison

- Ethernet : 1500 octets
- Anneau à jeton :
  - 4464 (4 Mbit/s) octets
  - 17914 (16 Mbit/s) octets
- FDDI : 4352 octets
- Frame Relay : 1600 octets
- ATM/AAL5 : 9180 octets
- PPP : 296 - 1500 octets

## IP : Internet Protocol (le datagramme)

- **Longueur totale** : taille du fragment et non pas celle du datagramme initial, à partir du dernier fragment (**TOTAL LENGTH, FRAGMENT OFFSET et FLAGS**) on peut déterminer la taille du datagramme initial.
- **IDENTIFICATION (N° de datagramme)** : entier qui identifie le datagramme initial (**utilisé pour la reconstitution de datagramme à partir des fragments qui ont tous la même valeur**).
- **FLAGS** contient un bit appelé "*do not fragment*" (01X)
- un autre bit appelé "*More fragments*" (**FLAGS = 001** signifie d'autres **fragments à suivre**) permet au destinataire final de reconstituer le datagramme initial en identifiant les différents fragments (**milieu ou fin du datagramme initial**)
- les passerelles doivent accepter sans les fragmenter, les **datagrammes** de **longueur 576 octets**.

# IP : Internet Protocol (le datagramme)

- Durée de vie

- Ce champ indique en **secondes**, la **durée maximale de transit du datagramme sur l'internet**. La machine qui émet le datagramme définit sa durée de vie.
- Les passerelles qui traitent le datagramme doivent décrémenter sa durée de vie du nombre de secondes (**1 au minimum**) **que le datagramme a passé pendant son séjour dans la passerelle**; lorsque celle-ci expire le datagramme est détruit et un message d'erreur est renvoyé à l'émetteur.

- Protocole

Ce champ **identifie le protocole de niveau supérieur** dont le **message est véhiculé dans le champ données du datagramme** :

- 6 : **TCP**,
- 17 : **UDP**,
- 1 : **ICMP**.

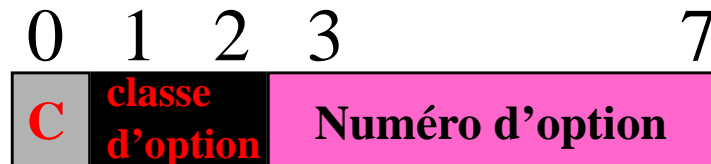




# IP : Internet Protocol (le datagramme)

- OPTIONS

- Le champ **OPTIONS** est **facultatif** et de longueur variable. Les options concernent essentiellement des fonctionnalités de mise au point (**enregistrement de route, horodatage, bourrage ...**).
- Une option est définie par un champ octet :



- copie (C) indique que l'option doit être recopiée dans tous les fragments (c=1) ou bien uniquement dans le premier fragment (c=0).
- les bits classe d'option et numéro d'option indiquent le type de l'option.
- Une option particulière de ce type est:

## IP : Internet Protocol (le datagramme)

- Enregistrement de route (classe = 0, option = 7) :

permet à la source de créer une liste d'adresse IP vide et de demander à chaque passerelle d'ajouter son adresse dans la liste.

## IP : Internet Protocol (le datagramme)

- Routage strict prédéfini par l'émetteur (classe = 0, option = 9):

Prédéfini le routage qui doit être utilisé dans l'interconnexion en indiquant la suite des adresses IP dans l'option.

Le chemin spécifié ne tolère aucun autre intermédiaire; une erreur est retournée à l'émetteur si une passerelle ne peut appliquer le routage spécifié.

## IP : Internet Protocol (le datagramme)

- Routage lâche prédéfini par l'émetteur (classe = 0, option = 3):

Cette option autorise, entre deux passages obligés, le transit par d'autres intermédiaires :

## IP : Internet Protocol (le datagramme)

- Horodatage (classe = 2, option = 4) :

Cette option permet d'obtenir les temps de passage (*timestamp*) des datagrammes dans les passerelles. Exprimé en heure et date universelle.

Une liste de couples (**adresse IP - horodatage**) est réservée par l'émetteur; les passerelles ont à charge de remplir un champ lors du passage du datagramme.

## IP : Internet Protocol (le datagramme)

- Les **horodatages**, bien qu'exprimés en temps universel, ne constituent qu'une **estimation sur le temps de passage** car **les horloges des machines situées sur les réseaux ne sont pas synchronisées**.

# Routage des datagrammes

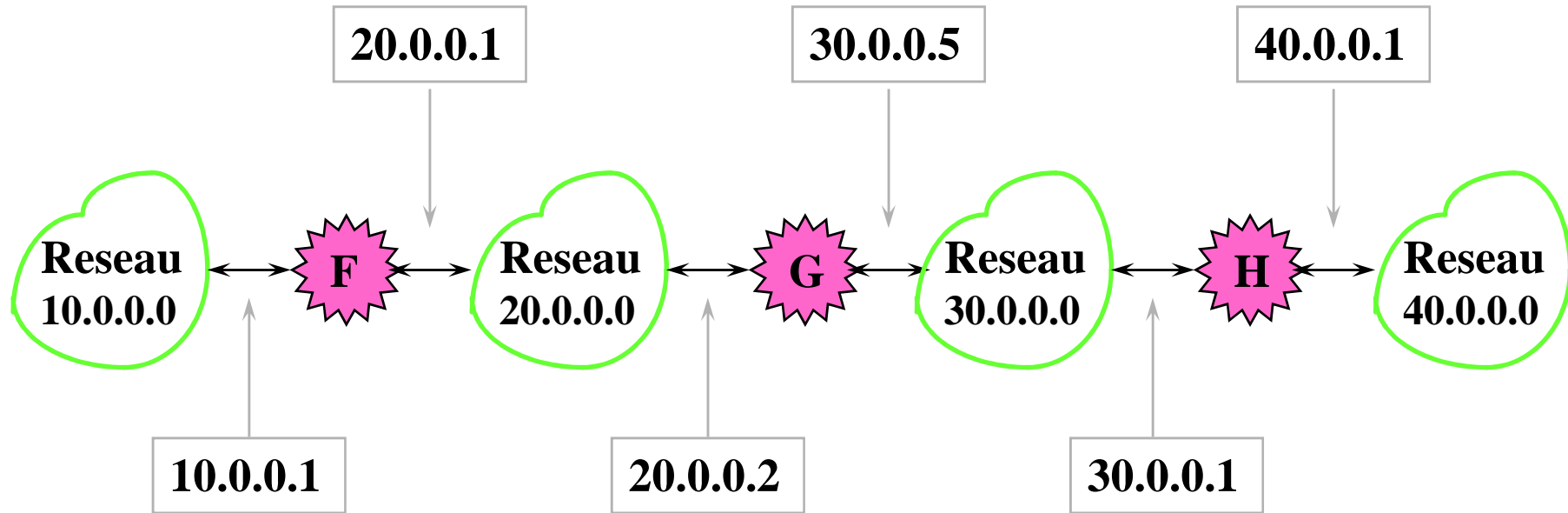
- Le **routage** est le processus permettant à un **datagramme d'être acheminé** vers le **destinataire** lorsque celui-ci **n'est pas sur le même réseau physique** que l'émetteur.
- Le chemin parcouru est le **résultat du processus de routage** qui effectue les choix **nécessaires afin d'acheminer le datagramme**.
- Les **routeurs forment une structure coopérative** de telle manière qu'un **datagramme transite de passerelle en passerelle** jusqu'à ce que l'une d'entre elles **le délivre à son destinataire**.
- Un **routeur possède** deux ou plusieurs connexions réseaux tandis qu'une **machine possède généralement qu'une seule connexion**.
- **Machines et routeurs participent au routage** :
  - les machines doivent déterminer si le **datagramme doit être délivré sur le réseau physique sur lequel elles sont connectées** (routage direct) ou bien si le **datagramme doit être acheminé vers une passerelle**; dans ce cas (**routage indirect**), elle doit identifier la passerelle appropriée.
  - les **passerelles effectuent le choix de routage vers d'autres passerelles** afin d'acheminer le datagramme vers sa destination finale.

# Routage des datagrammes

- Les **tables de routage IP**, pour des raisons évidentes **d'encombrement**, renseignent seulement **les adresses réseaux** et **non pas les adresses machines**.
- Typiquement, **une table de routage** contient des couples **(R, P)** où **R** est **l'adresse IP** d'un **réseau destination** et **P** est **l'adresse IP** de la **passerelle correspondant au prochain saut dans** le cheminement vers le réseau destinataire.
- La passerelle ne connaît pas le chemin complet pour atteindre la destination.
- Pour une table de routage contenant des couples **(R, P)** et appartenant à la **machine M**, **P** et **M** sont **connectés** sur le même **réseau physique** dont **l'adresse de niveau réseau** (partie **Netid** de l'adresse **IP**) **est R**.



# Routage des datagrammes



<b>Pour atteindre les machines du réseau</b>	10.0.0.0	20.0.0.0	30.0.0.0	40.0.0.0
<b>Router vers</b>	20.0.0.1	direct	direct	30.0.0.1

**Table de routage de G**

# Routage des datagrammes

**Route\_Datagramme\_IP**(datagramme, table\_de\_routage)

- Extraire l'adresse IP destination, ID, du datagramme,
- Calculer l'adresse du réseau destination, IN.
- Si IN correspondant à une adresse de réseau directement accessible,  
envoyer le datagramme vers sa destination, sur ce réseau.
- sinon si dans la table de routage, il existe une route vers ID  
router le datagramme selon les informations contenues dans la table de routage.
- sinon si IN apparaît dans la table de routage,  
router le datagramme selon les informations contenues dans la table de routage.
- sinon s'il existe une route par défaut  
router le datagramme vers la passerelle par défaut.
- sinon déclarer une erreur de routage.

# Routage des datagrammes

- Après **exécution de l'algorithme de routage**, IP transmet le **datagramme** ainsi que l'**adresse IP déterminée**, à l'**interface réseau** vers lequel le **datagramme doit être acheminé**.
- L'**interface physique** détermine alors l'**adresse physique** associée à l'**adresse IP** et **achemine le datagramme sans l'avoir modifié**.
- Si le **datagramme est acheminé vers une autre passerelle**, il est à **nouveau géré de la même manière**, et ainsi de **suite jusqu'à sa destination finale**.

# Routage des datagrammes

- Les **datagrammes entrants** sont traités différemment selon qu'ils sont reçus par une **machine** ou une **passerelle** :
- **Machine** : le logiciel IP examine l'adresse destination à l'intérieur du datagramme
  - si cette **adresse IP** est **identique** à celle de la machine, IP **accepte** le datagramme et **transmet** son contenu à la **couche supérieure**.
  - **sinon**, le **datagramme est rejeté**; une **machine recevant** un **datagramme destiné** à une **autre machine** ne doit pas router le datagramme.
- **Passerelle** : IP détermine si le **datagramme** est **arrivé à destination** et dans ce cas le **délivre à la couche supérieure**. Si le **datagramme** n'a pas atteint sa destination finale, il est **routé selon l'algorithme de routage précédemment décrit**.