

## Chapitre I

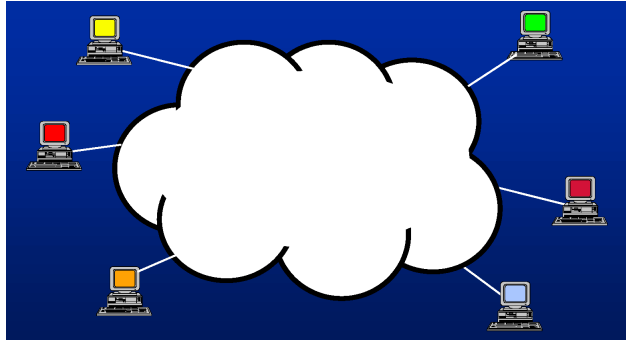
### La couche réseau



## Historique de l'Internet

- Né 1969 comme projet (D)ARPA
  - (Defense) Advanced Research Projects Agency; US
    - Commutation de paquets
    - Interconnexion des universités participant aux projets ARPA
    - Premier réseau: 4 ordinateurs
- 1972: ARPNET (centaine d'ordinateurs)
  - IMP (Interface Message Processor), similaire à X.25
  - NCP (Network Control Program), ancêtre de TCP
- 1974: Début de la spécification de TCP et IP
  - Interconnexion de réseaux hétérogènes: « Internet »
  - Fonctionnement robuste et grande tolérance aux pannes
- 1983: TCP remplace NCP dans ARPANET
- 1984: Division d'ARPANET en ARPANET et MILNET
- 1988: Nouveau réseau Backbone: NSFNET
- 1995: Arrêt du Backbone NSFNET

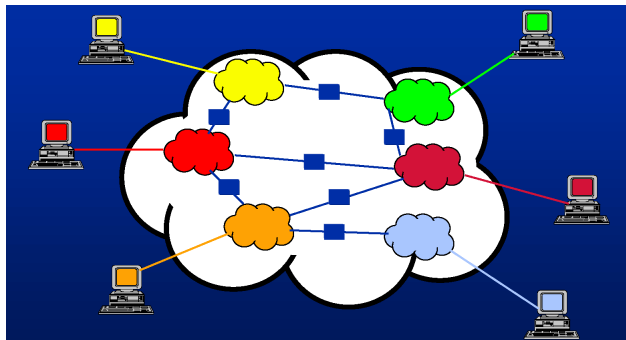
## Architecture de l'Internet



1. Couche réseau

3

## Architecture de l'Internet



- Réseaux backbones commerciaux
- Les ISP se connectent aux backbones à des points d'interconnexion (IXPs)
- Les entreprises connectent leurs réseaux aux ISP
- Les routeurs gèrent l'acheminement et le routage entre les réseaux

1. Couche réseau

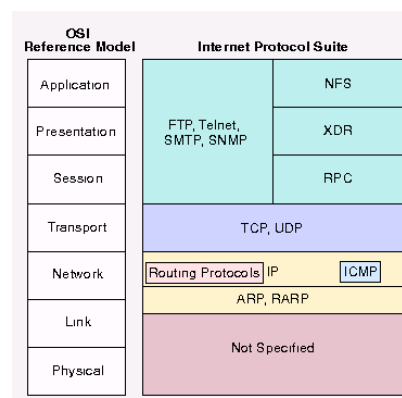
4

## Terminologie

- **Internet :**
  - LE réseau mondial
- **Un internet :**
  - Un ensemble de réseau (locaux) interconnectés à l'aide du protocole IP
- **Host, système terminal, end-system:**
  - Ordinateur connecté à un réseau (client, serveur)
- **Routeur, système intermédiaire**
  - Équipement capable d'acheminer des datagrammes IP
  - Possède plusieurs (normalement peu d') interfaces réseau
  - Travaille à la couche « réseau » de la hiérarchie TCP/IP
  - Ancien terme : Gateway
- **Gateway, passerelle**
  - Système intermédiaire effectuant la traduction de protocoles

## Modèle TCP/IP en couches

- **ARP, RARP:**
  - Traduction d'adresses  
MAC ↔ IP
- **ICMP :**
  - Signalisation de problèmes entre routeurs
- **Protocoles de routage (OSPF, RIP, BGP)**
- **IP**
  - Acheminement de datagrammes
  - Adressage
  - Fragmentation et réassemblage
- **Couche transport**
  - Orienté connexion, fiable --> TCP
  - Sans connexion --> UDP
- **Applications**
  - Implémentent généralement plusieurs couches



## Le protocole IP

- Défini dans la RFC 791
- Objectifs de la conception
  - Doit être utilisable sur toute les technologies sous-jacentes  
--> Protocole de **convergence**
- Modèle de service
  - Sans connexion
    - Un datagrammes contient toute l'information pour l'acheminer
  - Service **non-fiable**: « **best effort** »
    - IP essaie le mieux de délivrer les paquets mais ne peut pas le garantir
      - Des datagrammes peuvent être perdus
      - Des datagrammes peuvent arriver dans le désordre
      - Les datagrammes peuvent être dupliqués
      - Le datagrammes peuvent être retardés

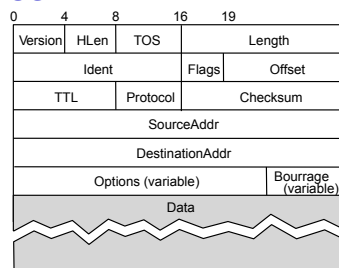
1. Couche réseau

7

## Format des datagrammes IPv4

- Longueur: 20 octets – 60 octets

1. **Version** : IPv4
2. **HLen**: Longueur de l'en-tête
3. **TOS**: Type of Service
  - Définition originale jamais utilisée
  - Base des Services Différenciés
4. **Longueur** du datagramme (avec l'entête)
  - 16 bit --> longueur max. 65535 octets
  - Nécessite la fragmentation en plusieurs trame
    - Entêtes Ident, Flags, Offset
5. **TTL**: Time to live
  - Permet de capturer des paquets dans des boucles de routage
6. **Protocole**
  - Désigne le protocole de la couche transport (normalement TCP ou UDP)
7. **Somme de contrôle**
  - Protège l'en-tête IP, non pas les données
  - Calcul simple (différent de CRC) et protection moins forte
8. **Adresses source et destination** : adresses des systèmes terminaux
9. **Options** (p.ex. sécurité, options de routage) : Rarement utilisées



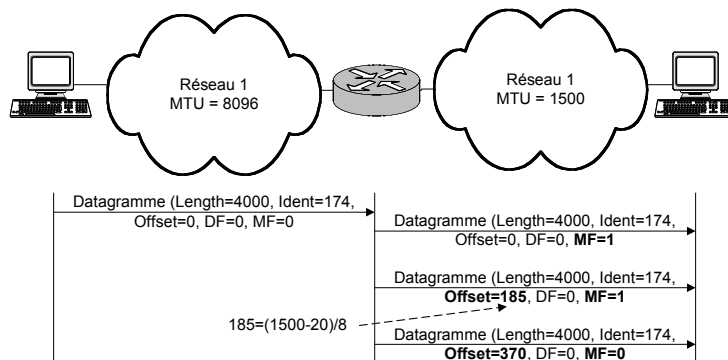
1. Couche réseau

8

## Fragmentation et réassemblage

- Problème
  - Les différentes technologies sous-jacentes ont des tailles de trames différentes
    - **MTU** : Maximum Transfer Unit
  - La source ne connaît pas le chemin emprunté par le datagramme
- Une source/un routeur fragmente un datagramme si  $MTU \text{ de l'interface} < \text{taille du datagramme}$
- Chaque fragment est un datagramme complet
- Le destinataire doit réassembler les fragments
  - Les fragments peuvent arriver dans le désordre
  - Si un fragment est perdu, le datagramme sera supprimé
    - Aucune retransmission de fragments au niveau IP

## Exemple de la fragmentation

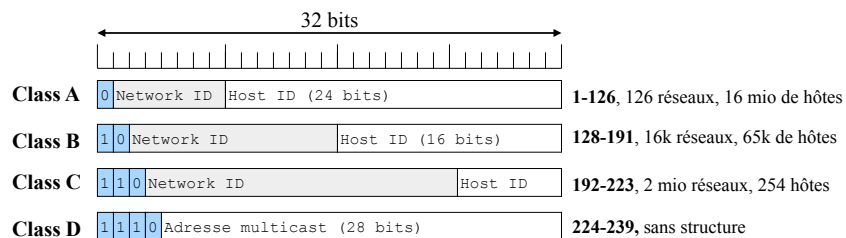


- **Ident:** identificateur unique de datagramme
- **Offset:** en multiples de 8 octets
- **DF:** Don't Fragment bit (utilisé par la source)
- **MF:** More Fragments (indique le dernier fragment)

## Exercices 1 et 2

## Classes adresses IP (obsolète)

- Chaque interface réseau a une adresse IP unique
- Longueur: 4 octets (p.ex. 193.10.4.3)
- Contient deux parties
  1. Identificateur de réseau (Network ID)
    - Assignée par une autorité (p.ex. ISP)
  2. Identificateur de machine (Host ID)



## Adresses particulières

- Classe E: 240-254
  - Réservées pour l'avenir

### Autres adresses particulières

0 0	This host	
0 0     ...     0 0	Host	A host on this network
1 1	Broadcast on the local network	
Network	1 1 1 1     ...     1 1 1 1	Broadcast on a distant network
127	(Anything)	Loopback

1. Couche réseau

13

## Adressage privé

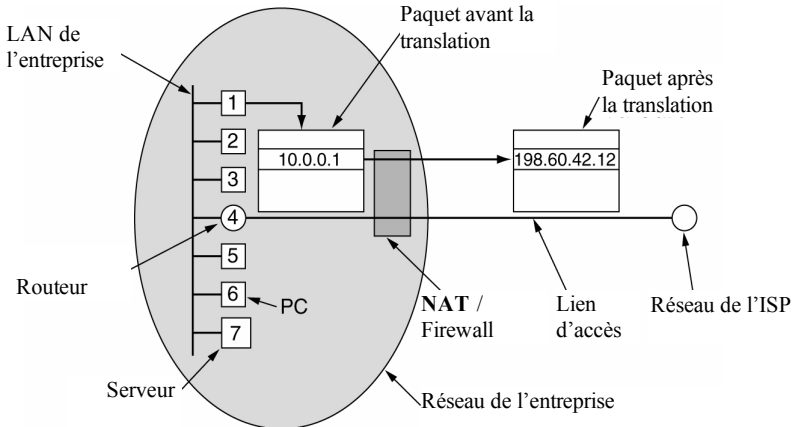
- Problème: manque d'adresses IP
- Idée
  - Réutilisation des adresses IP
    - Une organisation utilise des adresses privées à l'intérieur du réseau
    - Pour la communication avec l'extérieur, une adresse publique est assignée de manière temporaire
- Adresses privées
  - 10.0.0.0 – 10.255.255.255     (1 réseau classe A)
  - 172.16.0.0 – 172.31.255.255     (16 réseaux classe B)
  - 192.168.0.0 – 192.168.255.255     (256 réseaux classe C)

1. Couche réseau

14

# Exercices 3, 8, 9, 10

# NAT Traduction d'adresses privées



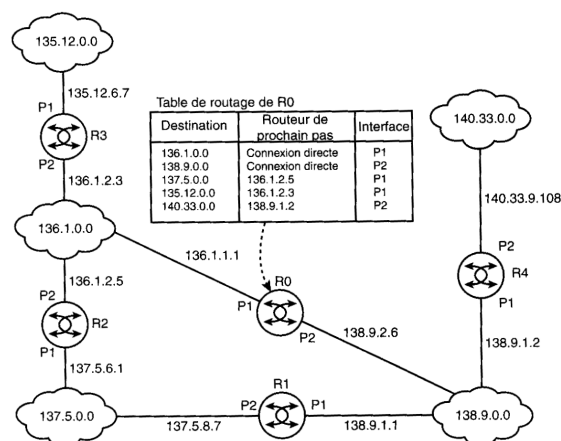


## Acheminement des datagrammes

### Comment un routeur achemine-t-il un datagramme ?

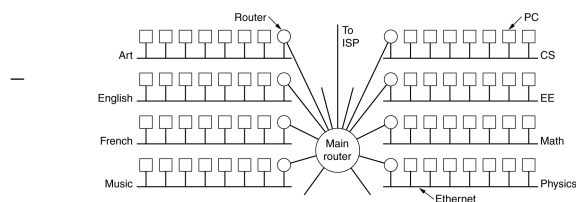
- Chaque datagramme contient l'adresse de la destination
- Le routeur a une **table de routage** qui contient des entrées:
  - Destination, Adresse Next Hop, Interface de sortie
- Le routeur cherche dans sa table l'entre pour le Network ID des adresses de destination
- Aucune entrée trouvé
  - Utiliser la route par défaut, s'il y en a
  - Sinon, écartier le datagramme avec une erreur « Non routable »

## Table de routage



## Sous-réseaux

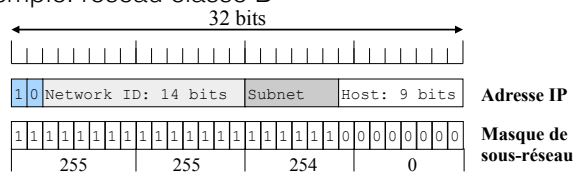
- Dans un réseau important, le nombre de hôtes du réseau pose des problèmes
  - Assignment des adresses IP aux hôtes doit être centralisée
  - Les tables de routage deviennent très grandes



- Solution: introduction d'un troisième niveau d'adressage

## Sous-réseaux (suite)

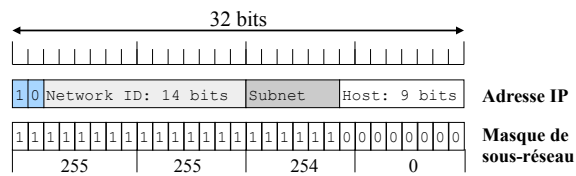
- Principe
  - Création de plusieurs pages d'adressages à l'intérieur d'un réseau
- Adressage à trois niveaux
  - Exemple: réseau classe B



- Sous-division du réseau classe B en 128 sous-réseaux
  - Chaque sous-réseau comprend jusqu'à  $2^9 = 512$  stations

## Sous-réseaux (suite)

- Adresse de sous-réseau
  - Partie « Host » remplie de 0
- Adresse de diffusion limitée
  - Partie « Host » remplie de 1
- Notation
  - 255.255.255.0 ou /24
- Adresse IP & Masque = Adresse sous-réseau



Exercices 11, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 24,  
Siyan p.368-369

## ARP: Résolution d'adresses IP

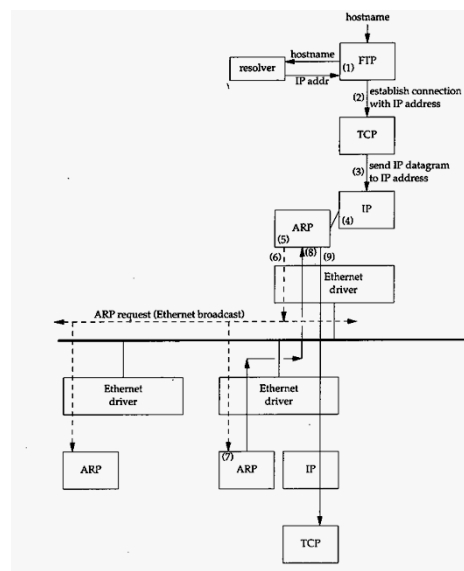
§ 3.4 Tutorial IBM + support

- **Traduit entre les adresses IP et les adresses physiques**
  - Machine de destination
  - Prochain routeur sur le chemin
- **ARP**
  - A un cache avec les correspondances: adresse IP, adresse physique (ou adresse MAC)
  - Requête en diffusion si l'adresse IP n'est pas dans la table
  - La machine concernée répond avec son adresse physique
  - Les entrées du cache sont éliminées si elles ne sont pas rafraîchies (toutes les 20 min)

1. Couche réseau

23

## Exemple ARP

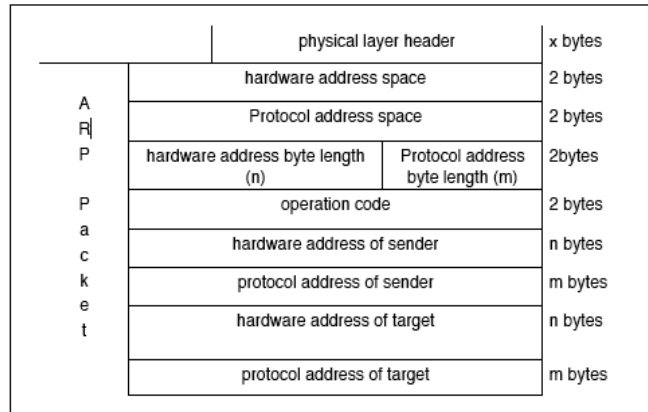


1. Couche réseau

24

## ARP: Request/reply packet

- HW address: par ex: adresse Ethernet
- Protocol address: Ethertype dans IEEE 802 (IP ou ARP)
- Operation code: spécifie s'il s'agit d'une requête ARP ou d'un réponse.



Source: tutorial IBM

## RARP (Reverse ARP)

### § 3.5 Tutorial IBM

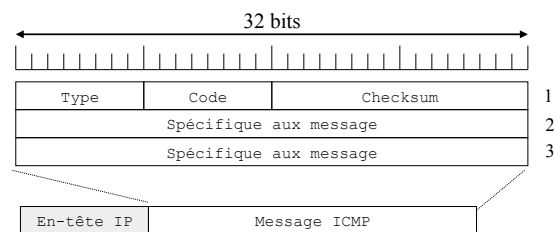
- Complémente ARP:
  - ARP: Le host connaît son adresse IP et MAC et aimerait connaître une adresse MAC distante.
  - RARP: Le host ne connaît que son adresse MAC et aimerait obtenir une adresse IP.
- Le format du paquet est identique à celui d'une requête ARP
- Quand un host (diskless) veut obtenir une adresse IP
- Rendu obsolète par DHCP qui est plus étendu.

## Doublons d'adresses IP

## ICMP Internet Control Message Protocol

### § 3.2 Tutorial IBM + support

- Permet de **communiquer des problèmes**
  - Envoyé par le routeur à la source
- Permet d'**effectuer des diagnostics**
  - Envoyer par un utilisateur à un équipement
- Format:



## Types de messages ICMP

Type	Message	Description
3	Destination Unreachable	Problème de routage
5	Redirect	Le routeur indique à la source qu'il y a un meilleur chemin
4	Source quench	La routeur signale une congestion au hôte (rarement utilisé)
11	Time exceeded	TTL d'un datagramme est arrivé à 0
0 et 8	Echo request et reply	Ping

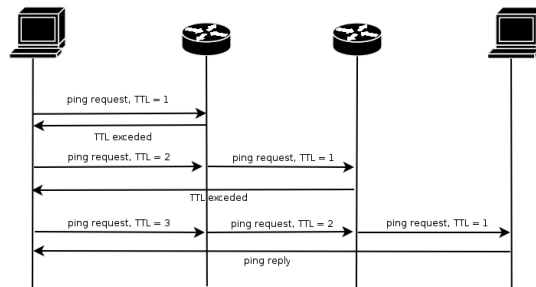
## Applications de ICMP

- Ping
  - Vérifie la connectivité et le bon fonctionnement d'un système
  - Utilise les messages ICMP Echo et ICMP Reply
  - Si on peut "pinguer" une station alors les autres applications peuvent aussi communiquer avec elle (sauf si on restreint l'accès à cause de mesures de sécurité)
  - Exemple

```
ping www.google.ch
PING www.google.ch (192.32.43.12): 56 data bytes
64 bytes from 192.32.43.12: icmp_seq=0 ttl=255 time=12.3 ms
64 bytes from 192.32.43.12: icmp_seq=1 ttl=255 time=20.1 ms
```
  - Variante: `ping -r <IP-address-destination>`
    - Affiche le chemin vers la station (jusqu'à 9 sauts)
    - Utilise l'option IP d'enregistrer le chemin parcouru dans l'en-tête IP

## Applications de ICMP (2)

- Traceroute
  - Envoie des messages avec un petit TTL
  - Utilise le message d'erreur ICMP Time Exceeded



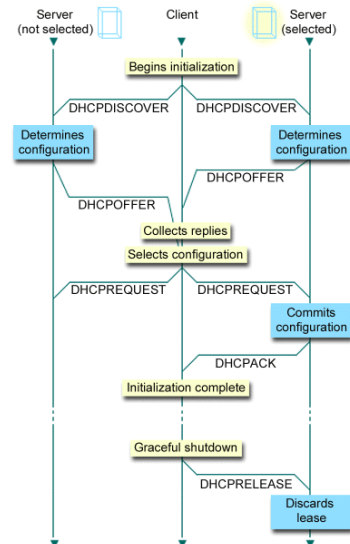
1. Couche réseau

31

## DHCP

§ 3.7 Tutorial IBM + Siyan p.521-540

- Protocole DHCP:
  - Allocation adresses IP + paramètres TCP/IP
- Allocation adresses:
  - Manuelle
  - Automatique
  - Dynamique



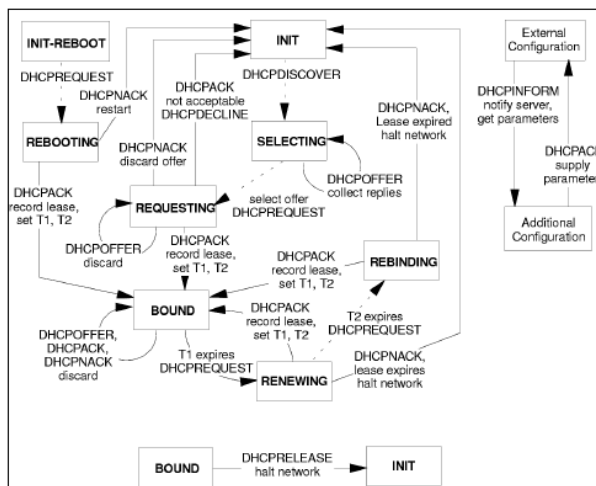
Source: IBM/RFC 2131

1. Couche réseau

32



## DHCP: Diagramme de transition d'états



**T1: temporisateur renouvellement**

**T2: temporisateur rebinding**

**T3: durée validité**

**T1=0.5 \* T3**

**T2= 0.875 \* T3**

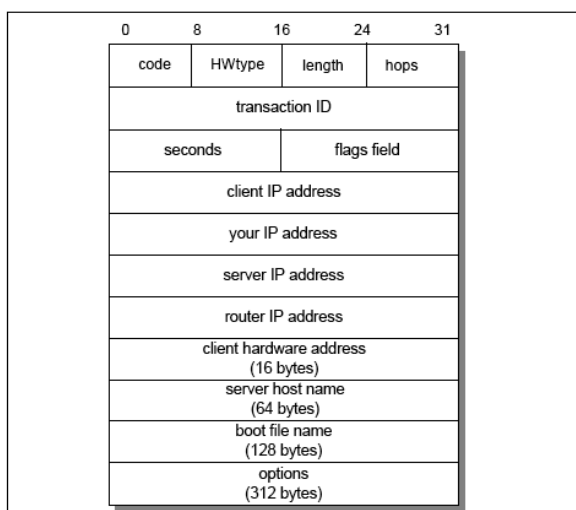
Source: tutorial IBM

1. Couche réseau

33

## Format paquets DHCP

- Code: request/reply
- HWType: Ethernet/...
- Length: HW address length in octets
- Hops: le client DHCP lui attribue la valeur 0, evt. Relais
- Seconds: nombre de secondes depuis que le client a initié le processus d'acquisition ou de renouvellement (RFC 2131)
- Adresse client: 0.0.0.0 au départ
- Your IP address: donnée par le serveur
- Serveur IP: donnée par le serveur
- Routeur IP: adresse relai
- Server host name: optional server name



Source: tutorial IBM

1. Couche réseau

34

## Exemple de fichier dhcpd.conf

```
- max-lease-time 240;
- default-lease-time 240;
- deny unknown-clients;
- option domain-name "bar.com";
- option domain-name-servers foo1.bar.com, foo2.bar.com;

subnet 192.168.1.0 netmask 255.255.255.0
{
  range 192.168.1.2 192.168.1.100;
  range 192.168.1.110 192.168.1.254;
  option broadcast-address 192.168.1.255;
}
group
{
  option routers 192.168.2.101;
  host foo3
  {
    hardware ethernet 00:c0:c3:11:90:23;
    option host-name pc3;
  }
  host foo4
  {
    hardware ethernet 00:c0:c3:cc:0a:8f;
    fixed-address 192.168.1.105;
  }
}
host foo5
{
  hardware ethernet 00:c0:c3:2a:34:f5;
  server-name "bootp.bar.com";
  filename "boot";
}
```