

TCP/IP

Protocoles de l'Internet



cours@urec.cnrs.fr



Protocoles de l'Internet

- 1992 : Jean-Luc Archimbaud

- modifications

- 1993-1998 : Jean-Paul Gautier
- 1999 : Vincent Roca



Protocoles de l'Internet : Plan

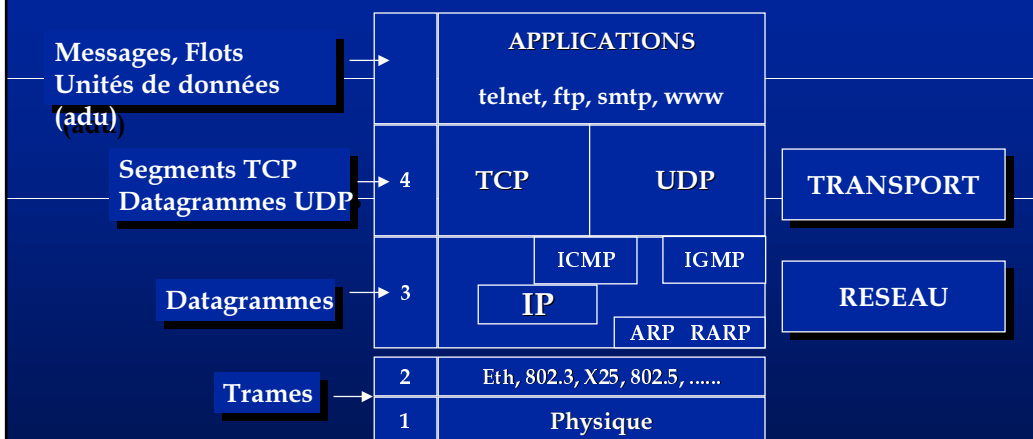
- Introduction
- Couche réseau : IP (fonctions, adressage, datagramme)
(Internet Protocol)
- Mapping adresses IP-adresses physiques : ARP, RARP
(Address Resolution Protocol, Reverse Address Resolution Protocol)
- ICMP
(Internet control Message System)
- Couche transport : TCP et UDP
(Transport Control Protocol, User Datagram Protocol)
- Fichiers & commandes sous Unix
- Exemples
- Bilan

TCP/IP

3

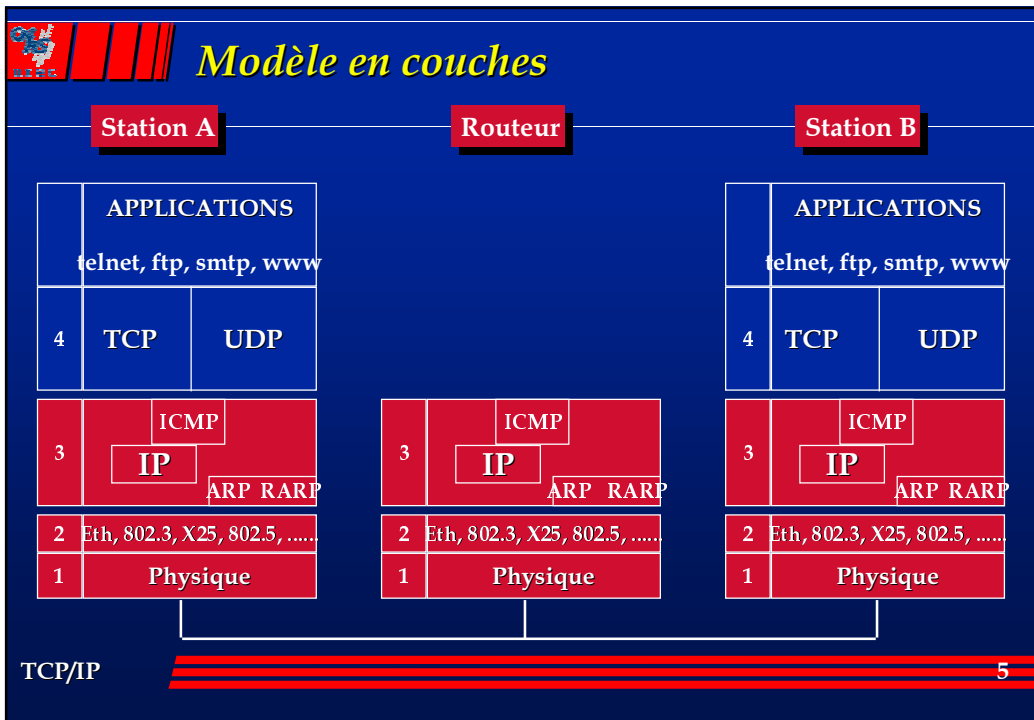


Modèle en couches



TCP/IP

4



Internet Historique en quelques mots

- **Recherches du DARPA**
 - Defense Advanced Projects Research Agency
- **ARPANET fut le premier réseau à commutation de paquet au milieu des années 1970**
 - protocoles sous leur forme actuelle en 1978-79.
 - réseau de liaisons point à point.
 - » exploration sur les liaisons radios et satellites.
- **La mise en oeuvre de TCP/IP en 1980 sur le réseau de recherche de DARPA est le début de l'Internet .**
- **La transition est complète quand DARPA exige que toutes les machines de ARPANET utilisent TCP/IP**
- **TCP/IP intégré à l'unix BSD**
 - entrée dans le monde universitaire.
 - développement d'applications réseaux avec les *sockets*
- **NSFnet en 1986, 12 réseaux régionaux**

TCP/IP



Internet

ISOC, IAB, IETF

● ISOC

- Internet Society
- Pilote l'IAB et l'IETF

● Internet Architecture Board

- organisation autonome, foyer de la recherche et du développement de l'Internet.
- 10 "task forces".
- plusieurs rencontres annuelles.
- le chairman de l'IAB est l'architecte de l'Internet

● Internet Engineering Task Force

- organisée en groupes de travail
- rapports techniques : drafts Internet, RFCs (Request For Comments)
- très ouvert (accès libre aux réunions/documents/groupes)

TCP/IP

[ID/RFCs accessibles sur: ftp.lip6.fr](ftp.lip6.fr)

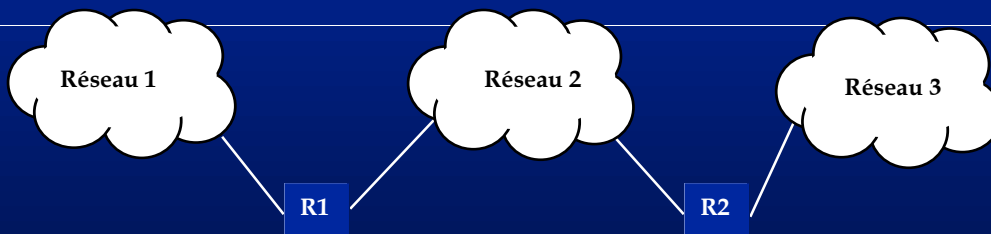
7



Architecture de l'internet

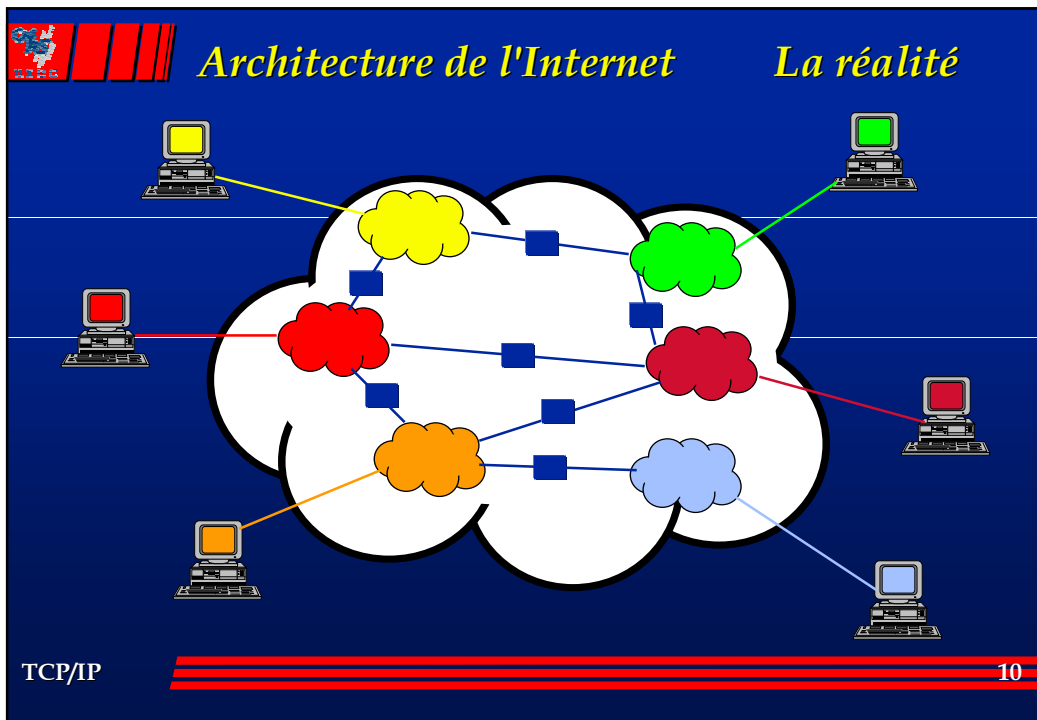
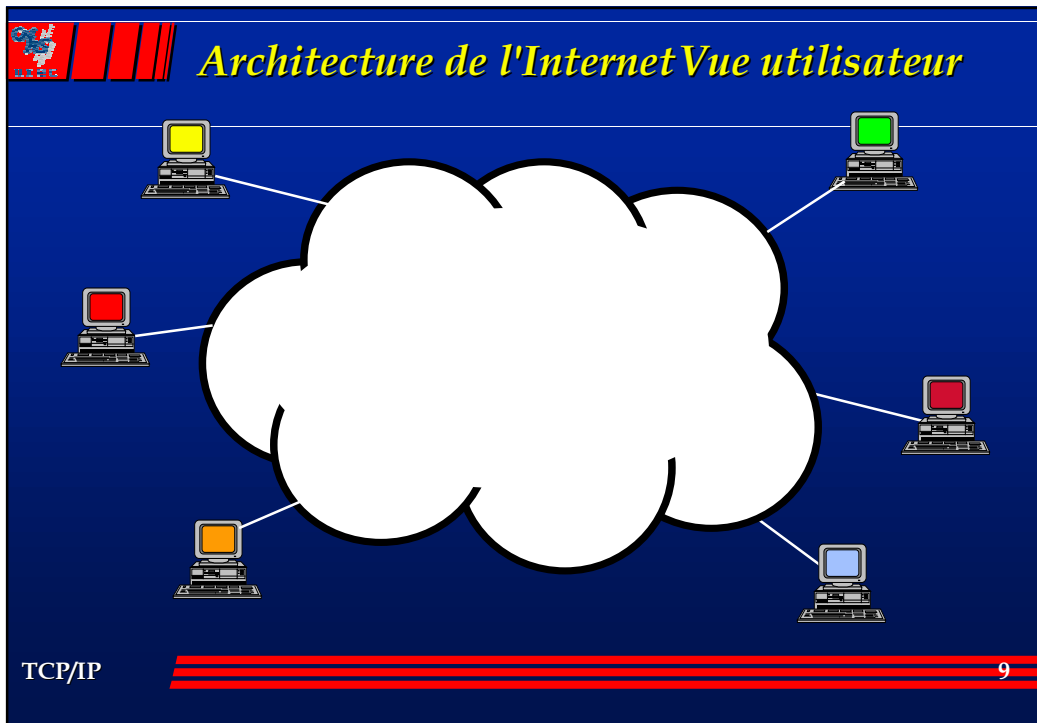
L'internet est un réseau virtuel construit en interconnectant des réseaux physiques par des passerelles, les routeurs.

L'internet supporte un service de communication universel



TCP/IP

8





Les services de l'Internet

- Interopérabilité au niveau des applications
- Les utilisateurs invoquent les applications sans avoir besoin de connaître la technologie de l'Internet ni son architecture.
- Les plus populaires sont
 - Le courrier électronique (smtp)
 - Le transfert de fichiers (ftp, tftp)
 - L'accès à l'information distante (www)
 - L'accès à des machines distantes (telnet)
 - Les forums (News)

TCP/IP

11

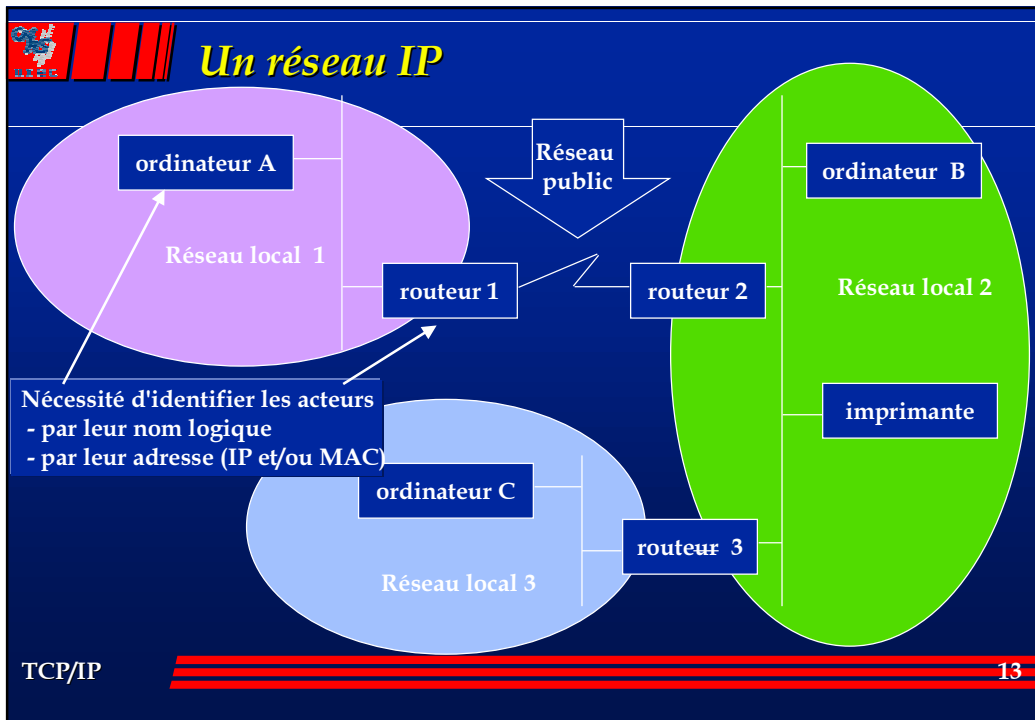


IP

- Internet Protocol (RFC 791)
 - couche 3 du modèle OSI
- « IP au dessus de tout »
 - IP = protocole de convergence
 - Fonctionne sur :
 - » Ethernet (RFC894)
 - » Token-Ring
 - » Liaison série de 9.6 Kb/s à 2 Mb/s
 - SLIP (RFC1055)
 - PPP (Point to Point Protocol) (RFC1353), X25 (RFC877)
 - » FDDI (RFC1188)
 - » Ethernet 100 Mbps
 - » ATM (RFC1483, RFC1577, LANE 1.0)
 - Raison : seuls des services d'émission/réception sans garanties sont nécessaires

TCP/IP

12



Adressage IP

- **Une adresse IP :**
 - 4 octets (32 bits),
 - notation « décimal pointé » A.B.C.D.
 - » exemples : 130.190.5.1 193.32.20.150 134.157.4.14
- **Elle doit être unique au Monde**
 - configurable par logiciel (commande ifconfig d'Unix)
 - associée à chaque interface réseau
- **Attribution des adresses de réseau en France:**
 - Classe A et B par le NIC (Network Information Center) de l'Internet
 - » mail à hostmaster@ripe.net
 - Classe C en France :
 - » NIC : www.nic.fr
 - » Renater : rensvp@renater.fr

TCP/IP

14



Adressage IP

- Découpée en deux :

- adresse de réseau, ou *network id*
assigné par une autorité, identifie le réseau
- identificateur local de machine, ou *host id*
assigné par l'administrateur du réseau, identifie la machine sur le réseau
- le découpage précis dépend de la classe d'adresses...

- Classification :

- » classe A : N.H.H.H
- » classe B : N.N.H.H
- » classe C : N.N.N.H
- » N = adresse réseau
H = adresse locale
- » classe D : cas particulier, pas de distinction network/host

- L'espace d'adressage n'est pas hiérarchisé ou arborescent

- » à la différence du téléphone, de Transpac, d'ATM, d'IPv6

TCP/IP

15



Adressage IP : classe A

- 7 bits pour le numéro de réseau

- 1.0.0.0 à 126.0.0.0

- 24 bits pour l'adressage local

- 254^3 @ locales possibles (16,277,214)

- En France, pas de réseau de classe A

- Ex : 16.0.0.0 (DEC) 18.0.0.0 (MIT)



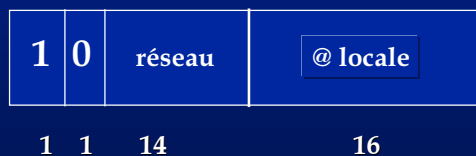
TCP/IP

16



Adressage IP : classe B

- 16 bits pour le numéro de réseau
 - 128.1..0.0 à 191.255.0.0
- 16 bits pour l'adressage local
 - 254 x 254 @ locales possibles (65,534)
 - » Ex : 129.88 (IMAG) 134.157 (Jussieu)
- quasi épuisée...



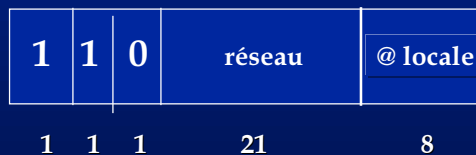
TCP/IP

17



Adressage IP : classe C

- 24 bits pour le numéro de réseau
 - 192.0.1.0 à 223.255.255.0
- 8 bits pour l'adressage local
 - 254 @ locales possibles
 - » Ex : 192.33.181 (IBP) 192.70.89 (CITI2)



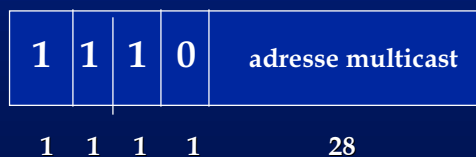
TCP/IP

18



Adressage IP : classe D

- **adresses multicast (RFC 1700)**
 - transmissions point à multipoint; exemple vidéo-conférence
- **réseaux 224 à 231**
 - ex : 224.4.4.4
- **pas de structuration...**
 - ... car utilisée de façon très spéciale, ponctuelle, sans contrainte d'unicité, sans organisation gérant leur attribution



Adressage IP : particularités

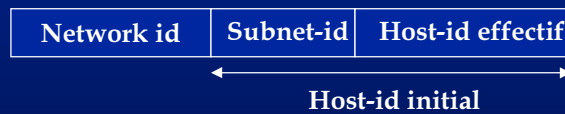
- **Classe E :** $239 < H < 254$ Reserved for Futur Use
- **Adresses particulières**
 - soi-même : 127.0.0.1 (loopback ou localhost)
 - » test logiciels, communication inter-processus sur la station
 - tous les bits de la partie machine à 0 => le réseau
 - » 130.190.0.0 désigne le réseau de classe B : 130.190
 - tous les bits de la partie machine à 1 => tous les hosts du réseau
 - » diffusion, broadcast IP
 - » 130.190.255.255 désigne toutes les machines du réseau 130.190
 - 0.0.0.0 : une machine ne connaît pas son adresse
 - » (station sans disque qui utilise RARP)



Sous-réseaux IP

● Découpage d'un réseau en entités plus petites

- sous-réseau ou "subnet"
- permet meilleure structuration du réseau du site
- décidé par l'administrateur du site
- adresse de sous-réseaux prélevé sur la partie « host-id »
- longueur comptée en bits décidée par l'administrateur



- tous les équipements réseaux doivent utiliser la notion de sous-réseau (stations, serveurs de terminaux, routeurs, imprimantes...)
- interconnexion des sous-réseaux impérativement par des routeurs

TCP/IP

21

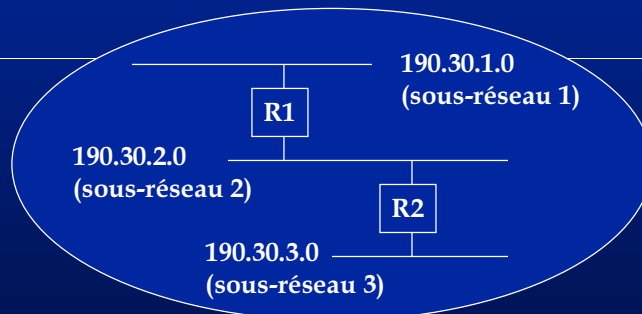


Sous-réseaux IP

● Exemple :

- découpage en 3 sous-réseaux, numérotation par le 3ème octet

190.30.0.0 adresse réseau
du site connue de l'extérieur



TCP/IP

22



Sous-réseaux IP

- le découpage est inconnu de l'extérieur !
- passe par l'utilisation d'un subnet-mask
 - même notation que l'adresse IP:
 - » bits réseau à 1
 - » bits de la partie sous-réseau à 1
 - » bits de la partie "host" à 0
 - exemple : 130.190.0.0 , réseau de classe B
 - » masque par défaut: 255.255.0.0 si pas de subnet
 - » masque 255.255.255.0 si présence de (au plus 254) sous-réseaux
- utilisation :
 - @IP & subnet_mask = adresse network + subnet
 - » utilisée pour le routage local au site
 - @IP & ~(subnet_mask) = host id effectif

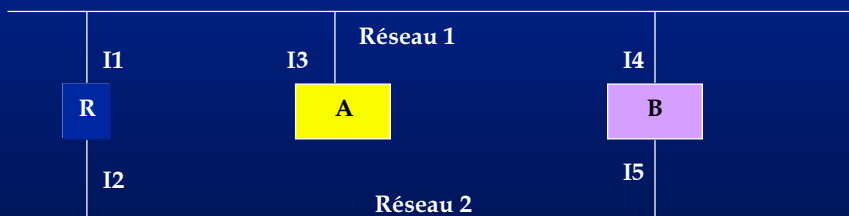
TCP/IP

23



Points faibles de l'adressage IP

- Si une machine change de réseau, son adresse doit changer
- Le routage utilisant la partie réseau de l'adresse, le chemin suivi par les datagrammes vers un host avec de multiples adresses IP dépend de l'adresse utilisée.



TCP/IP

24



IP : Fonctions

• Transporte des datagrammes de bout en bout

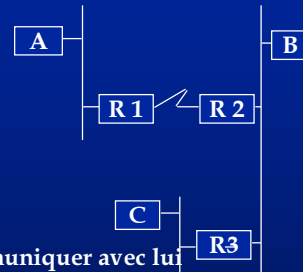
- Pour aller de l'équipement A à l'équipement C, le datagramme passe par R 1, R 2, R3

- Chaque datagramme contient
 - » l'adresse IP (Internet) de l'émetteur
 - » l'adresse IP (Internet) du destinataire
 - » chaque interface d'un équipement a une adresse IP
 - la commande ifconfig d'Unix

- Il faut connaître l'adresse IP d'un équipement pour communiquer avec lui

- C'est un mode sans connexion
 - » chaque datagramme est traité indépendamment des autres

- Sans garantie de remise des datagrammes (unreliable)
 - » IP fait au mieux (Best Effort)



TCP/IP

25



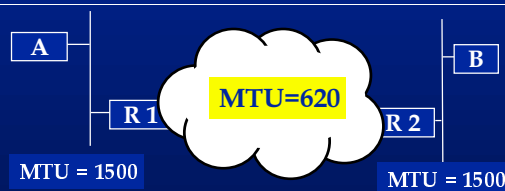
IP : Fonctions

• Assure le routage : savoir où envoyer le datagramme.

- Les équipements IP ne connaissent que le prochain équipement sur le chemin (next hop).

• La fragmentation

- C'est la machine destinataire qui réassemble non le routeur à la frontière d'un type de réseau



Header	D1 600	D2 600	D3 200
Frag 1 Header	D1		
Frag 2 Header	D2		
Frag 3 Header	D3		

TCP/IP

26

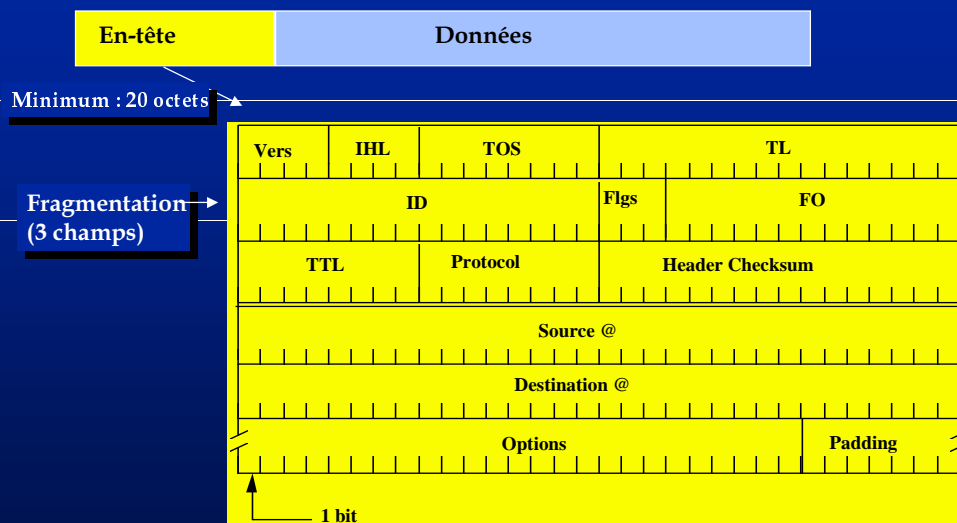


IP : Fonctions

- IP n'assure pas
 - le multiplexage
 - la vérification du séquençement
 - la détection de perte
 - la retransmission en cas d' erreur
 - le contrôle de flux
 - » ICMP assure partiellement cette fonction



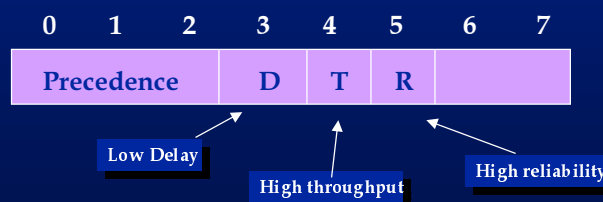
Datagramme IP





Datagramme IP

- **Vers :** Version du protocole
 - Actuellement 4
- **IHL :** Internet Header Length
 - En nombre de mots de 32 bits
 - Généralement 5, sans options l'en-tête est de 20 octets
- **TOS :** Type Of Service (qualité de service)
 - Etait prévu pour routage avec contrainte de qualité de service... mais n'a pas été utilisé !
 - Precedence (0-7 indiquant l'importance du datagramme)



TCP/IP

29



Datagramme IP

- **TL :** Total Length
 - Longueur du datagramme, incluant l'entête
 - Unité = octet
 - Maximum : 64 Koctets
 - Recommandé : moins de 576 octets
- **TTL :** Time To Live
 - Théoriquement exprimé en incréments de 1 seconde
 - L'expéditeur le met à une certaine valeur
 - Décroît de 1 (ou plus) à chaque traversée de routeur
 - Le datagramme est détruit quand TTL=0
 - Evite au datagramme de circuler éternellement en cas de boucle

TCP/IP

30



Datagramme IP

- **Protocol :** Identifie le protocole de la couche supérieure
 - 6 => TCP
 - 17 => UDP
 - 1 => ICMP
- **Header Checksum**
 - couvre l'entête IP uniquement
 - but: vérifier son intégrité
 - recalculé par chaque routeur (puisque le champ TTL est modifié)
 - mais ne couvre pas les données (de la responsabilité du transport)

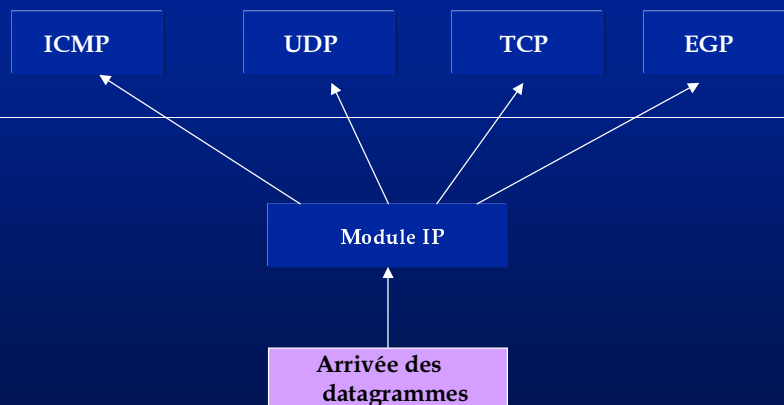
TCP/IP

31



Datagramme IP

- **Démultiplexage au niveau de la couche IP**
 - champ protocole de l'en-tête



TCP/IP

32



Datagramme IP

● Champs liés à la fragmentation IP

- ID : Identification du datagramme
 - » Utilisé par l'émetteur et le destinataire pour identifier le datagramme
 - » Numérotation faite par l'émetteur
 - » Uniquement utilisé pour la fragmentation
- Flags : Flags pour la fragmentation
 - » 001 : il y a encore des fragments
 - » 000 : dernier fragment (ou pas encore fragmenté)
 - » 01X : ne pas fragmenter
- FO : Fragment offset
 - » position du fragment dans le datagramme d'origine,
 - » calculé en unité de 8 octets,
 - » premier fragment = 0
 - » Le destinataire doit récupérer tout les fragments, si un fragment est perdu tout le datagramme est jeté.



Datagramme IP

- Source @ : Adresse IP de l'émetteur
- Destination @ : Adresse IP du destinataire
- Ce sont les adresses d'extrémité, pas les nœuds intermédiaires !



Datagramme IP

- Options : variables en taille, permettent des extensions
 - » Certaines options sont standards (décrites dans des RFCs).
 - Exemples : niveau de sécurité, time stamp (chaque routeur ajoute l'heure de passage)
 - » Elles se composent
 - du code de l'option 1 octet
 - de la longueur de l'option 1 octet
 - des données associées
 - Padding : Complète le champs options
 - Pour que la longueur de l'en-tête soit un multiple de 32.
- Remarque :
- Taille de l'entête est importante (> 20 octets)
- » IP ne peut pas utiliser un lien < 4.8 Kb/s
 - » Certains protocoles permettent la compression de l'entête IP

TCP/IP

35



Interface IP-Ethernet (RFC894)

- Datagramme IP dans une trame Ethernet
 - Champ Type = 0800 (Hex)
- Datagramme IP dans une trame IEEE802.3 (RFC1042)
 - LLC (3 octets) = DSAP (=170) + SSAP (=170) + Control (=3)
 - » (SAP : Service Access Protocol)
 - SNAP (5 octets) (Sub-Network Access Protocol)
 - » Protocol ID (=0 sur 3 octets)
 - » Ethernet Type (= 2048 sur 2 octets = 0800 hex)

TCP/IP

36




Interface IP-X25 (RFC877)

- @IP ---> @X25 (@ X121)
 - X25 n'a pas de notion de broadcast.
 - On ne peut donc pas utiliser le protocole ARP
 - On associe une adresse X25 à une adresse IP manuellement
 - C'est statique, donc lourd à gérer
- Les datagrammes IP sont fragmentés à 576 octets
 - Un paquet X25 1984 ne supporte qu'une taille maximale de 128 octets
 - » utilisation du bit M de x25 pour découper le datagramme IP



ARP (RFC826)

- Problème : Trouver une adresse MAC à partir de l'adresse IP
- Address Resolution Protocol
 - Permet de trouver l'adresse physique d'une machine sur le même réseau en donnant uniquement son adresse IP
- L'adresse IP est totalement indépendante de l'adresse physique
 - exemple Ethernet : l'adresse MAC est fournie par le constructeur.
- Stockage des @ physiques dans une table ARP (cache).
 - Le cache est remis à jour périodiquement
 - Sous Unix, pour Ethernet, visualisation de la table par la commande : arp -a




ARP

- Soit deux équipements sur le même segment Ethernet.
- La machine A veut envoyer un datagramme à la machine B.
- Elle connaît son adresse IP, mais pas son adresse Ethernet :
 - A envoie une frame de broadcast Ethernet qui demande l'adresse Ethernet de B :
 - » adresse destinataire FF.FF.FF.FF.FF.FF avec Type = 0806
 - » en indiquant l'adresse IP de B.
 - Toutes les machines reçoivent la requête.
 - Seul B répond à A en lui donnant son adresse Ethernet.
 - Si c'est une autre machine qui répond à la place de A on parle alors de "Proxy ARP".
 - » utilisation par les routeurs quand le destinataire est dans un autre réseau IP

TCP/IP

39



ARP

En tête de frame

Message ARP

28 octets

0	16	31
Eth = 1	Hardware interface	Protocol
Longueur des @ hard et protocole	HLEN	PLEN
		Operation
	ARP request (1), response (2) RARP request (3), response (4)	
Sender Hardware Address (octets 0-3)		
Sender HA (octets 4-5)		Sender Internet Address (0-1)
Sender IA (2-3)		Target Hardware Address (0-1)
Target Hardware Address (2-5)		
Target Internet Address Address (0-3)		

TCP/IP

40



RARP (RFC903)

- **Problème :**
 - Trouver une adresse IP à partir de l'adresse Ethernet
- **Reverse Address Resolution Protocol**
 - Permet de demander une adresse IP en indiquant l'adresse Ethernet.
 - Utilisé au moment du "boot" par certains équipements.
 - » envoie son adresse MAC dans le champ "Target HA"
- **Type = 8035 dans la trame Ethernet**
- **Ethernet type = 32821 dans la trame IEEE802.3**
- **Utilisé par**
 - les Macintosh avec une boîte Kinetics
 - les stations sans disque
 - les terminaux X
- **Même format de message que ARP**

TCP/IP

41




ICMP (RFC792)

- **Internet Control Message Protocol**
 - Protocole de "gestion" de réseau = *mécanisme de rapport d'erreur*.
- **Implémenté sur tous les équipements IP : stations, routeurs.**
- **Message envoyé par l'équipement destinataire ou un routeur intermédiaire**
 - Quand il s'aperçoit d'un problème dans un datagramme
 - Pour avertir l'émetteur afin qu'il modifie son comportement.
 - ex : routeur qui a une mauvaise information de routage.
- **Un message ICMP ne doit pas engendrer un autre message ICMP**
 - Il ne demande pas de réponse

TCP/IP

42



ICMP

- **Un message ICMP est contenu dans un datagramme IP**
 - Utilise IP comme un protocole de couche supérieure.
 - Champ protocole du datagramme IP = 1
- **Chaque message ICMP a son format**
 - 3 champs communs
 - » TYPE (1 octet), 22 types définis
 - » CODE (1 octet), plus d'information sur le champ type.
 - » CHECKSUM (2 octets), sur le message ICMP.

En-tête ICMP	données ICMP
--------------	--------------

En-tête IP	message ICMP complet
------------	----------------------

En-tête de trame	En-tête IP	message ICMP complet
------------------	------------	----------------------

TCP/IP 43




ICMP

- Le champ type

<ul style="list-style-type: none"> ● 0 Réponse d'écho ● 3 Destination inaccessible ● 4 « Source Quench » (demande de ralentissement) ● 5 Redirection ● 8 Echo ● 9 Annonce de routeur ● 10 Sollicitation de routeur ● 11 TTL expire ● 12 Problème de paramétrage ● 13 Horodatage (Time Stamp) ● 14 Réponse horodatage ● 15 Demande d'information ● 16 Réponse à la demande d'information ● 17 Demande de « netmask » ● 18 Réponse à la demande de « netmask » ● 30 Traceroute ● 31 Erreur de conversion des datagrammes 	<ul style="list-style-type: none"> ● 30 Traceroute ● 31 Erreur de conversion des datagrammes ● 32 Redirection d'un équipement mobile ● 33 Localisation d'un équipement IPv6 ● 34 Réponse à la demande de localisation d'un équipement IPv6 ● 35 Demande d'enregistrement d'un équipement mobile ● 37 Réponse à la demande d'enregistrement d'un équipement mobile
---	--

TCP/IP 44




ICMP

- **Type d'indication d'un message ICMP**

	(type message, code)
- Impossible d'atteindre le réseau (Network unreachable)	(3,0)
- Host non atteignable (Host unreachable)	(3,1)
- Port TCP or UDP (service) indisponible (Port unreachable)	(3,3)
- Demande de ralentir l'émission (Source quench)	(4,0)
- Durée de vie dépassée (Time to Live exceeded)	(11,0)
- Redirection (Redirect, change a route)	(5,0-3)
- Echo et réponse à echo (Echo Echo reply) , commande ping	(8)
- Demande de "subnet mask" (Address Mask request)	(17)
- Réponse de " subnet mask" (address mask Reply)	(18)
- **Permet de palier aux manques de services de IP**

TCP/IP
45



Couche Transport

Définitions

- **Deux protocoles pour la communication entre applications**
- **TCP : Transmission Control Protocol**
 - » protocole en mode orienté connexion
- **UDP: User Datagram protocol**
 - » protocole en mode sans connexion

TCP/IP
46