

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

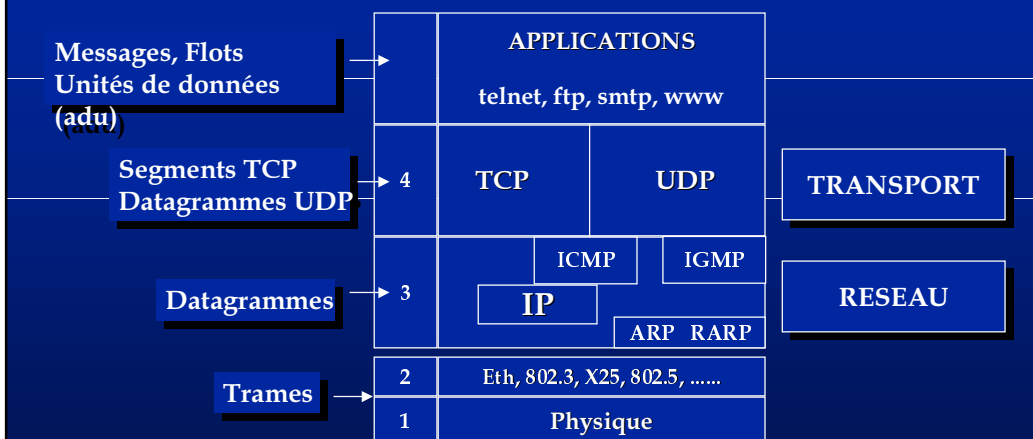
- Introduction
- Couche réseau : IP (fonctions, adressage, datagramme)
(Internet Protocol)
- Mapping adresses IP-adresses physiques : ARP, RARP
(Address Resolution Protocol, Reverse Address Resolution Protocol)
- ICMP
(Internet control Message System)
- Couche transport : TCP et UDP
(Transport Control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

TCP/IP

3

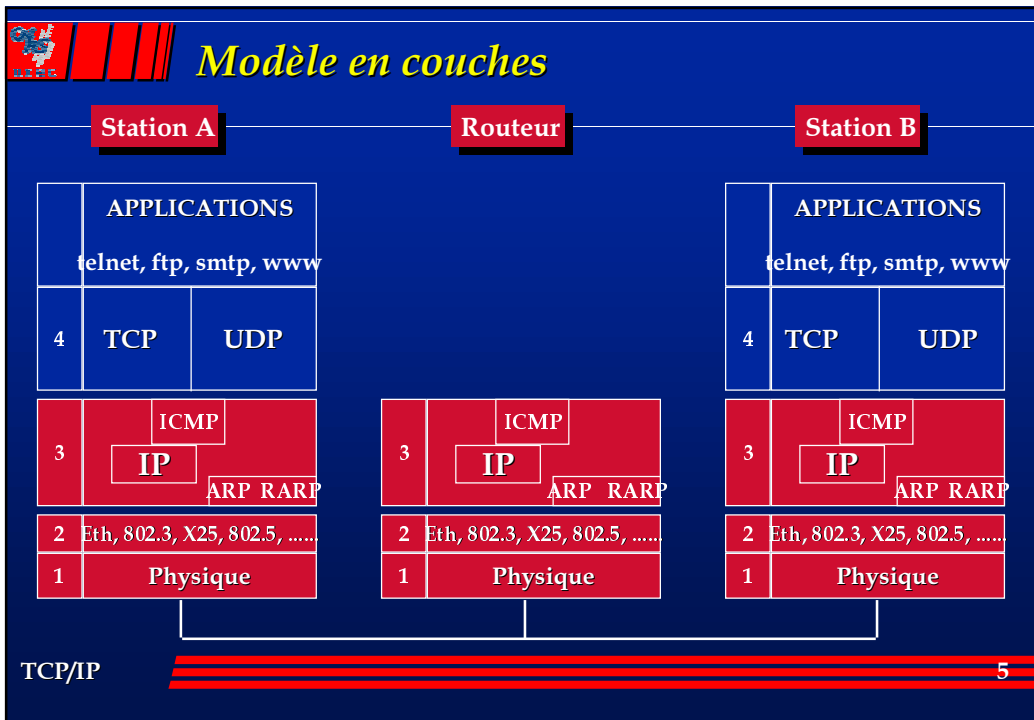


Modèle en couches



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)

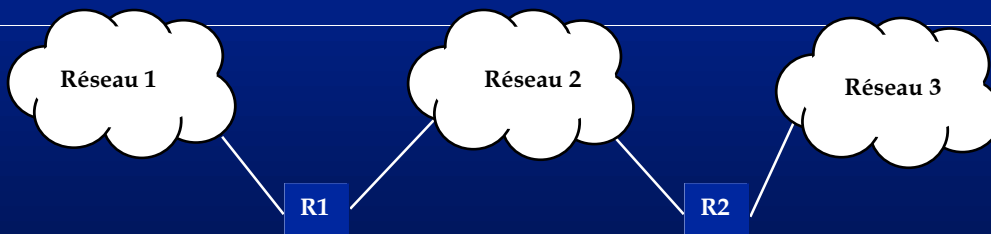
7



Architecture de l'internet

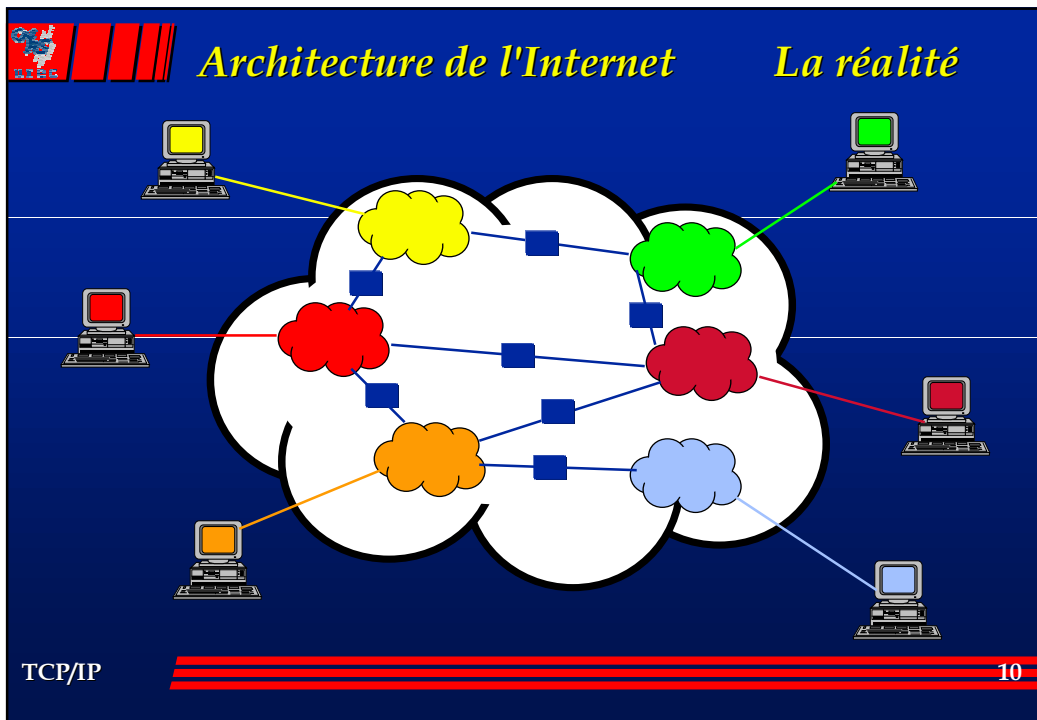
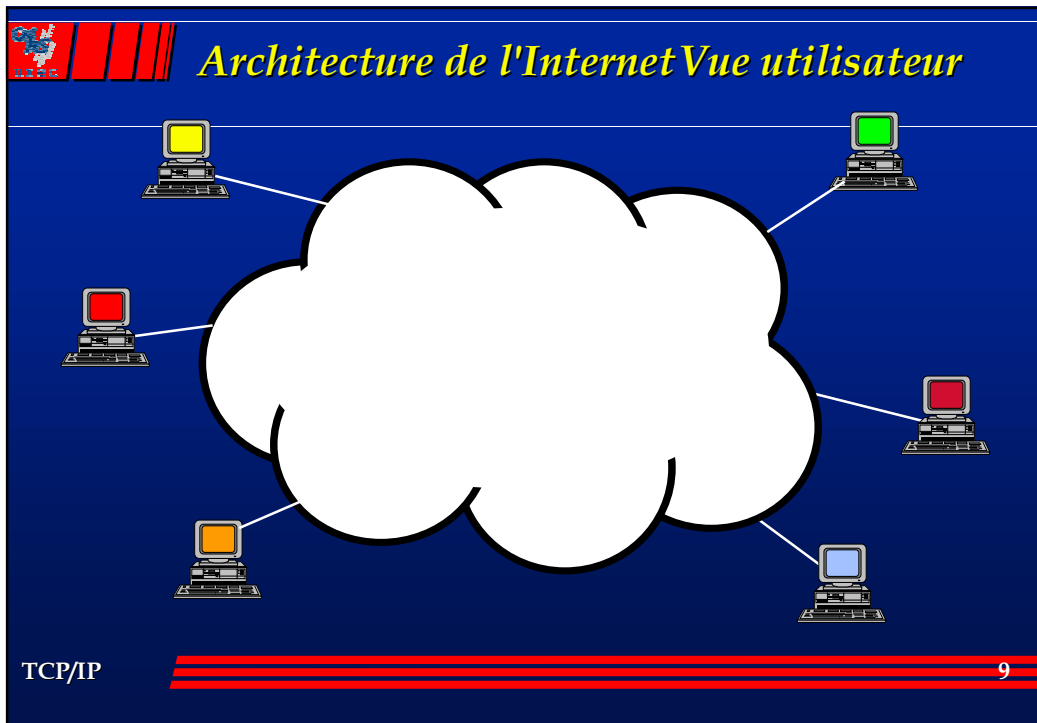
L'internet est un réseau virtuel construit en interconnectant des réseaux physiques par des passerelles, les routeurs.

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

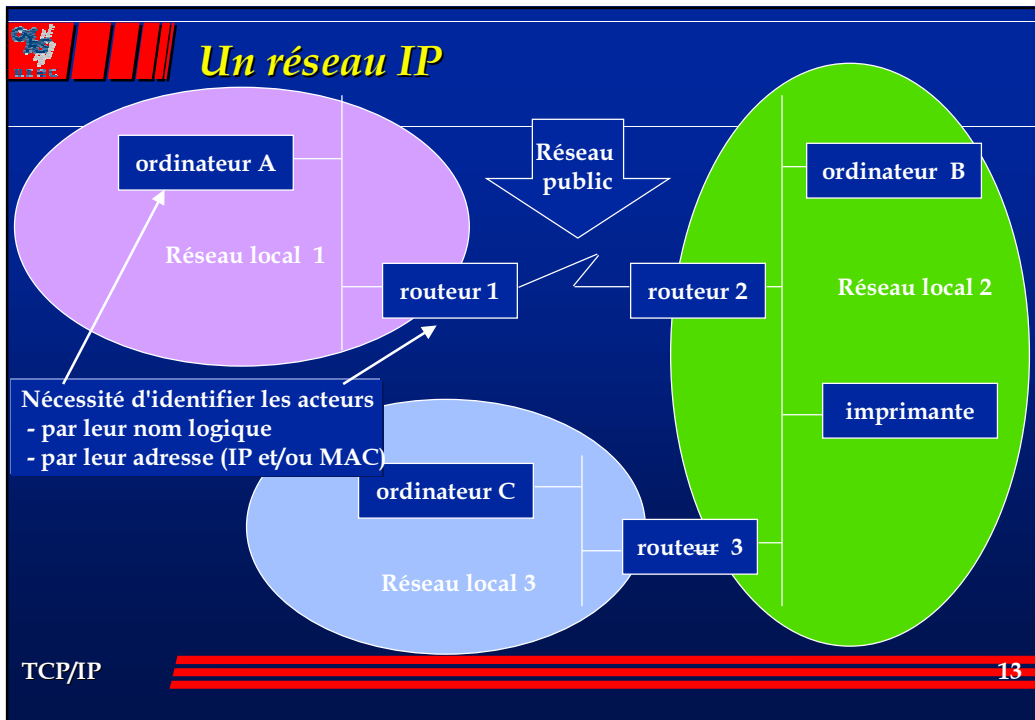


IP

- 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)



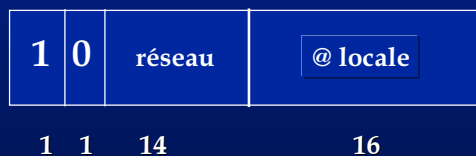
TCP/IP

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...



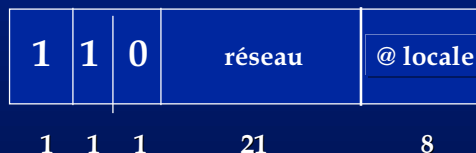
TCP/IP

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)



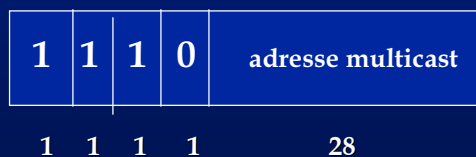
TCP/IP

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

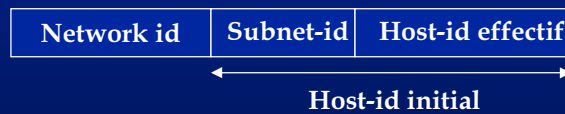
- **Classe E :** $239 < H < 254$ Reserved for Futur Use
- **Adresses particulières**
 - soi-même : 127.0.0.1 (loopback ou localhost)
 - » test logiciels, communication inter-processus sur la station
 - tous les bits de la partie machine à 0 => le réseau
 - » 130.190.0.0 désigne le réseau de classe B : 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

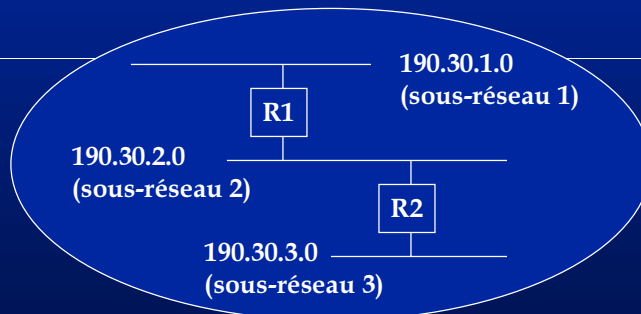


Sous-réseaux IP

● 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

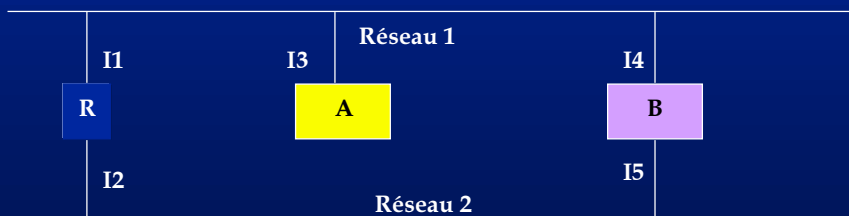
TCP/IP

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

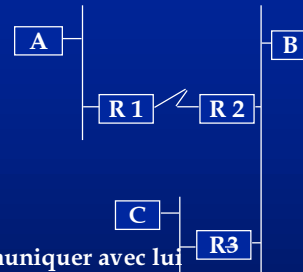
• Transporte des datagrammes de bout en bout

- 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



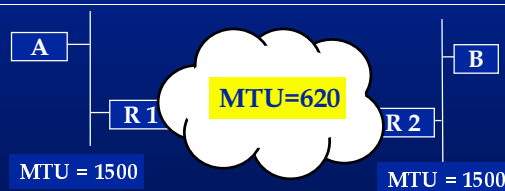
IP : Fonctions

• 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

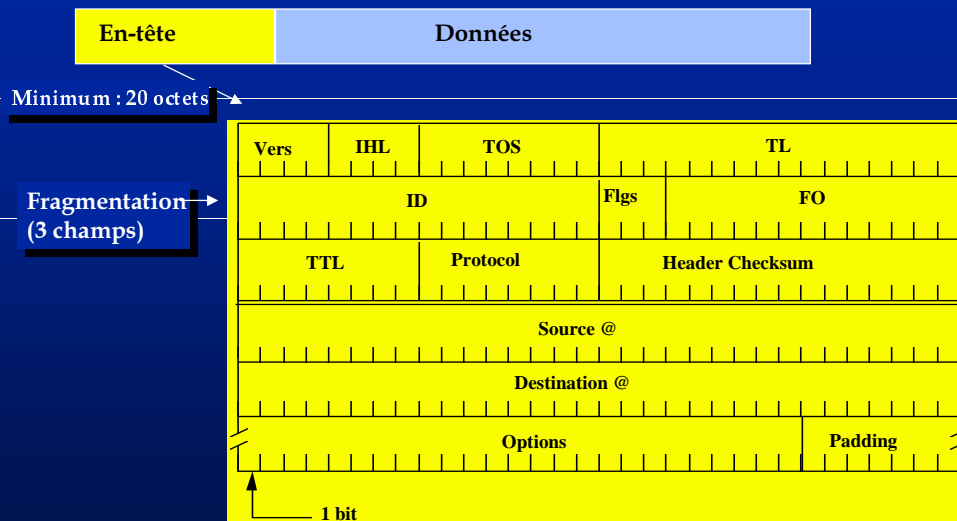


IP : Fonctions

- 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



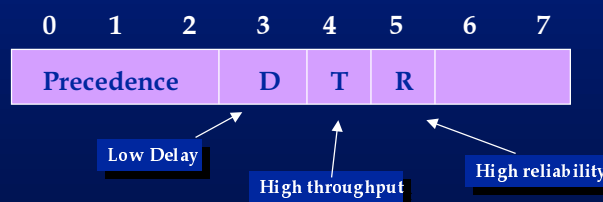
Datagramme IP





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)
 - Était prévu pour routage avec contrainte de qualité de service... mais n'a pas été utilisé !
 - Prcedence (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
 - Décémenté 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)

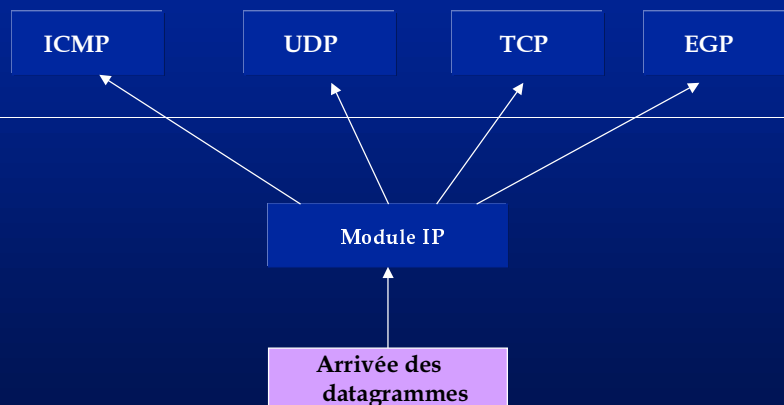
TCP/IP

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

28 octets

En tête de frame

Message ARP

0 16 31

Eth = 1	Hardware interface	Protocol	0800 = IP
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



Couche Transport

Définitions

- **Identification d'une application : numéro de port**
 - le port est une destination abstraite utilisé par le protocole
- **socket = Combinaison @ IP - Numéro de port**
 - 130.190.5.1 - 23 est le démon telnetd sur la station 130.190.5.1
- **La combinaison de 2 sockets définit complètement une connexion TCP ou un échange UDP**
 - Exemple 130.190.5.1 - 23 et 147.171.150.2 - 1094
 - » Connexion entre un processus client qui a pris le numéro 1094 sur la machine 147.171.150.2 et le démon telnetd sur la machine 130.190.5.1
 - » Un utilisateur sur 147.171.150.2 a fait un telnet 130.190.5.1
 - » C'est ce que l'on peut voir avec la commande Unix *netstat -a*

TCP/IP

47



Couche Transport

Définitions

- **Port pré-définis (RFC 1060 "Assigned numbers") pour les services :**

- 20	FTP-Transfert
- 21	FTP-Contrôle
- 23	Telnet
- 25	SMTP
- 53	DNS (Domain Name Server)
- 69	tftp
- **Mode client serveur**
 - serveur , on parle de démons dans Unix.
 - le client se voit attribué un numéro de port non affecté (>1000) pour éviter toute confusion avec les ports "officiels"
- **Tous les équipements TCP/IP respectent cette attribution de ports pré-définis**
 - fichier /etc/services d'Unix

TCP/IP

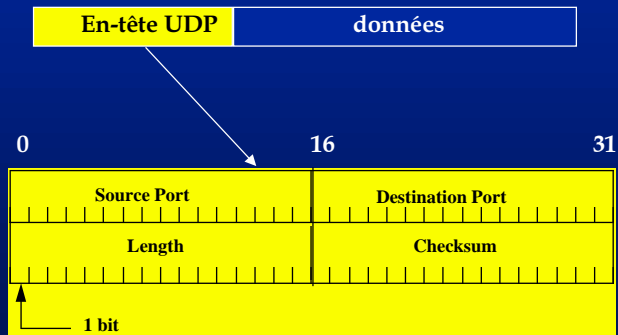
48



UDP (RFC768)

• User Datagram Protocol

- service sans connexion, sans garantie, utilisant IP pour le transport de messages entre machines



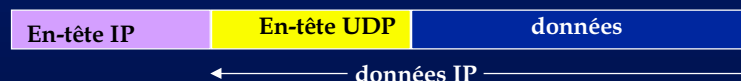
TCP/IP

49



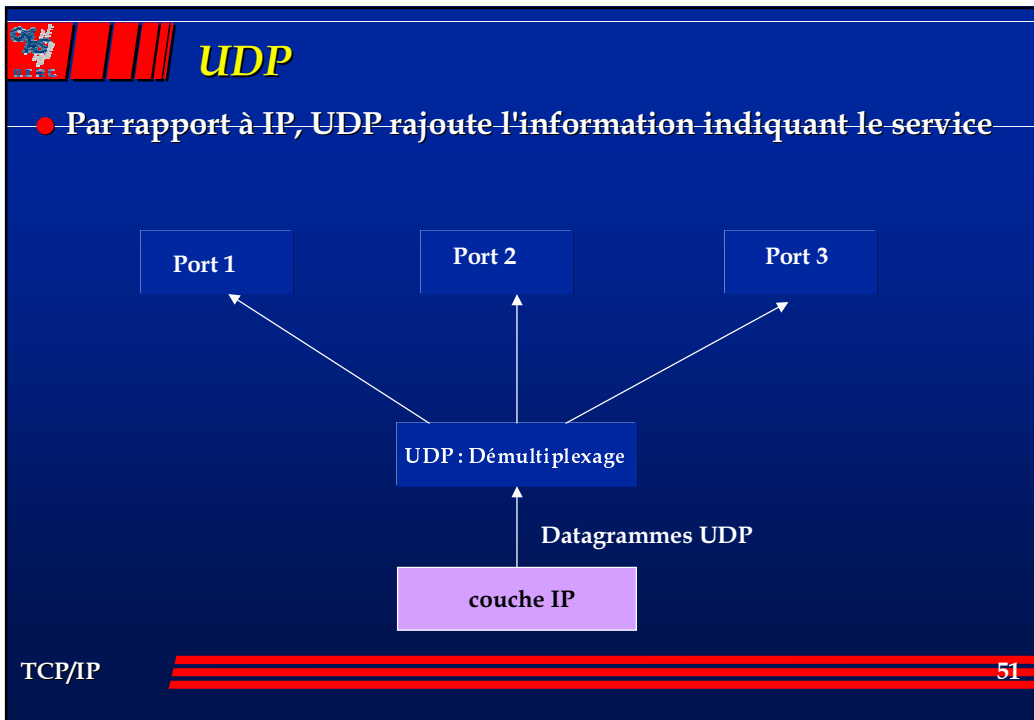
UDP : Champs

- Entête de 8 octets
- Source Port : numéro de port
 - optionnel, identifie un port pour la réponse.
- Destination Port : numéro de port
- Length, taille de l'entête et des données
 - Unité = octet
 - Taille maximale = 64 Koctets
- Checksum : fonction de l'entête et des données
 - optionnel
 - c'est la seule garantie sur la validité des données qui arrivent à destination
- Un datagramme UDP est contenu dans un datagramme IP



TCP/IP

50



UDP

- Ne fait pas
 - mode connecté,
 - retransmission si erreur ou perte,
 - séquençement,
 - contrôle de flux => très facile de saturer le réseau local et les routeurs !!!
- C'est un protocole de transport non fiable
- Utilisé par NFS
- Utilisé pour la diffusion
 - rwho
 - routed
 - tftp (Trivial FileTransfert Protocol) , port 69
 - ntp (Network Time Protocol), port 123
 - dès que le multicast est nécessaire

TCP/IP

52



- Transmission Control Protocol
- TCP ne tourne pas dans les routeurs !
 - uniquement aux extrémités (ordinateurs, les imprimantes...)
- Transport
 - De bout en bout entre applications
 - En mode connecté : ouverture ... fermeture (circuit virtuel)
 - Sans erreur : contrôle et retransmission si nécessaire
 - Sans perte : "numérotation" et retransmission
 - Ordonné : bon séquençement
 - Système d'acquittement
 - Avec contrôle de flux (fenêtre d'émission)
 - Full duplex
 - Indication du service par numéro de port

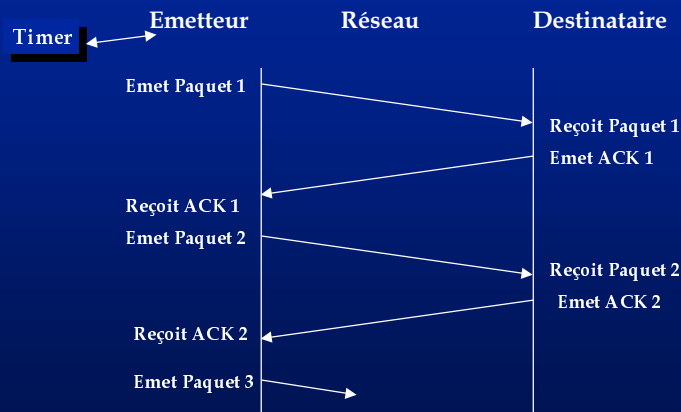


- Traite les données venant des couches supérieures comme une suite d'octets.
- Découpe cette suite d'octets en segments
 - Taille maximale de 64 Koctets
 - La taille du segment dépend du média devant la station qui émet
- 1 segment TCP est contenu dans un datagramme IP
 - Champ protocole du datagramme IP = 6
- Des segments sont échangés pour :
 - ouvrir les connexions
 - transférer des données
 - envoyés des ACK, gérer le contrôle de flux
 - fermer les connexions



Fiabilité d'un service réseau

Mécanisme « Send and Wait » : La technique la plus simple...
(on transmet un segment puis on attend l'acquittement avant de transmettre le suivant)



TCP/IP

55



Fiabilité d'un service réseau

● Mécanisme "Send and Wait"... suite

- si l'on n'a pas d'acquittement à l'arrivée à échéance du timer, on retransmet puis on attend de nouveau...
- exploite très mal le réseau
 - » il n'est utilisé que lors de la transmission !

tt: temps de transmission de la trame d'information

tp: temps de propagation

efficacité = temps utile / temps total = $tt / (tt + 2*tp) = 1 / (1 + 2*tp/tt)$

- » si la taille du réseau augmente, tp augmente, l'efficacité diminue !

● On introduit la notion de fenêtre d'anticipation...

(ou fenêtre de transmission)

TCP/IP

56



Fiabilité d'un service réseau

- Mécanisme du glissement de fenêtre (sliding window)

fenêtre initiale

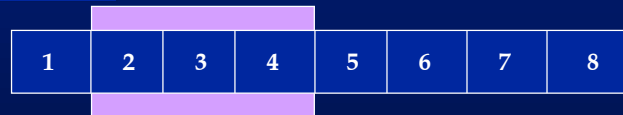
émetteur et destinataire sont concernés



L'émetteur peut envoyer 3 paquets avant de recevoir un acquittement

L'acquittement du paquet 1 arrive, la fenêtre glisse

glissement



Les performances sont fonctions de la taille de la fenêtre et de la vitesse à laquelle le réseau accepte les paquets.

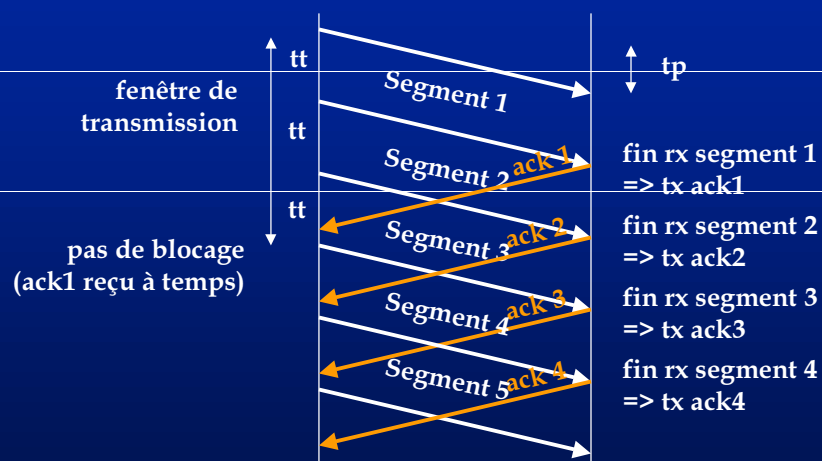
TCP/IP

57



Fiabilité d'un service réseau

- Si la fenêtre a une taille suffisante, il n'y a pas de blocage !



TCP/IP

58

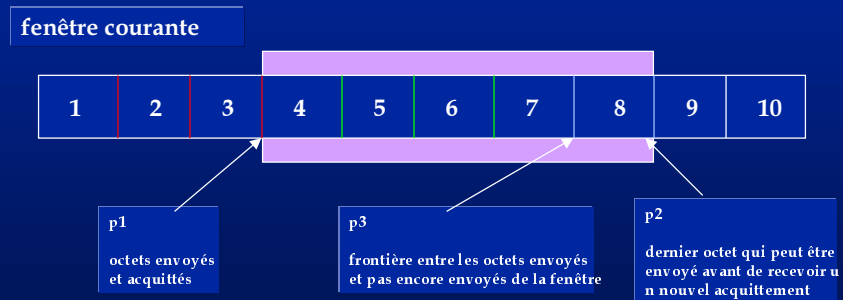


TCP

Fiabilité du

● Mécanisme de "sliding window"

- au niveau de l'octet
- les octets du flot de données sont numérotés séquentiellement.
- l'émetteur gère 3 pointeurs



TCP est full duplex => 2 fenêtres pour chaque connexion

TCP/IP

59



TCP

Contrôle de

flux/congestion

● Le destinataire joue avec la place disponible dans les buffers pour réduire la transmission (où l'augmenter)

- champ « window advertisement » dans les ACK
- donne le nombre d'octets que le receveur est prêt à accepter à ce moment
- on modifie la fenêtre d'émission en conséquence

● Contrôle de flux/congestion sont indispensables à l'Internet

- hétérogénéité des machines pour les communications de bout en bout...
 - » TCP résoud ce problème avec le contrôle de flux
- réseaux et routeurs de différentes capacités.
 - » TCP résoud ce problème avec l'algorithme de contrôle de congestion du « slow start »
 - perte de segment interprétée comme signe de congestion
 - => on réduit drastiquement la fenêtre de congestion

TCP/IP

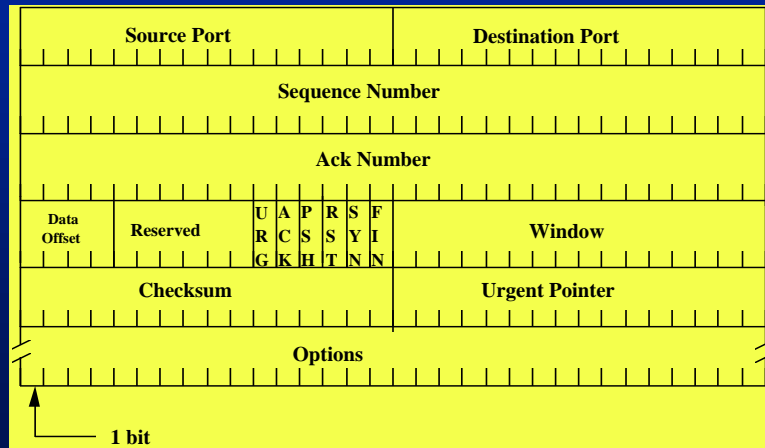
60



Segment TCP

en-tête

- Taille minimale de 20 octets
 - plus 20 octets en-tête IP => en-tête TCP/IP : 40 octets



TCP/IP

61




Segment TCP

- Unité de transfert TCP pour :
 - Etablir des connexions
 - Transférer des données
 - Envoyer les acquitements
 - Avertir de la taille des fenêtres
 - Fermer les connexions

TCP/IP

62




Segment TCP

Champs

- **Source Port (16 bits)**
 - Numéro du port TCP qui identifie l'application du côté émetteur du segment TCP
- **Destination Port (16 bits)**
 - Numéro du port TCP qui identifie l'application du côté destinataire du segment TCP
- **Sequence Number (32bits)**
 - Nombre donné en octets.
 - Par rapport au début de la connexion; référence au flux dans la même direction que le segment
 - Assure le bon séquençement.
- **Acknowledgment Number (32 bits)**
 - Nombre donné en octets, c'est une information en retour.
 - Identifie la position du dernier octet reçu en donnant le numéro du prochain octet que lui, destinataire, espère recevoir.
 - Les octets précédents ont été reçus sans erreur ni perte

TCP/IP 63



Segment TCP

Champs

- **Data Offset ou HLEN, longueur de l'en-tête (4bits)**
 - Donné en multiple de 32 bits, souvent = 5
- **URG : Urgent (1bit)**
 - exemple interruption, Ctrl C dans telnet
- **ACK : tenir compte de l'Acknowledgment Number (1bit)**
- **PSH : délivrer immédiatement les données (1bit)**
 - l'émetteur ne prévoit pas d'envoyer d'autres données dans l'immédiat
 - exemple : après une fin de ligne sous telnet en mode ligne)
- **RST (reset) : reprise d'une connexion au départ (1bit)**
 - après plusieurs SYN incompréhensifs ou un crash, ...
- **SYN : Désire établir une connexion (1bit)**
- **FIN : Termine la connexion (1bit)**

TCP/IP 64



Segment TCP Champs

● Window :

- Nombre d'octets que l'émetteur peut envoyer par rapport à l'Acknowledgment Number sans recevoir d'acquittement (espace libre dans le buffer de réception). C'est une information de retour.
- Permet le contrôle de flux

● Checksum :

- Fonction sur l'entête et les données
- Permet de vérifier que le transport s'est effectué sans erreur
- Si le récepteur s'aperçoit d'une erreur, il fait comme si le segment avait été perdu, il ne l'acquitte pas



Segment TCP Champs

- Urgent Pointer , indique le dernier octet de données urgentes quand URG = 1

● Options :

- Permet d'ajouter des options.
- Certaines sont standards (décrites dans des RFCs).
- Une option utilisée lors de l'établissement de la connexion est de négocier la taille maximum de segment que l'on souhaite recevoir

Les accusés de réception

- Peuvent être transportés avec des données
- Acquittent un nombre d'octets de données (et non obligatoirement un segment entier)
- Ne sont pas obligatoires à chaque segment reçu



Segment TCP Champs

● ACK et retransmission

- le schéma d'ACK de TCP est cumulatif
 - » référence au nombre d'octets déjà reçu
- avantages
 - » facile à générer et sans ambiguïté.

● Les délais de retransmission

- pour chaque segment envoyé il y a un timer de déclenché, mais la structure de l'Internet impose des timers variable.
- algorithme adaptatif
 - » ajustement automatique et dynamique, tout au long de la connexion,
 - » en fonction des délais d'acquittement des segments précédents ("segment round-trip time") .

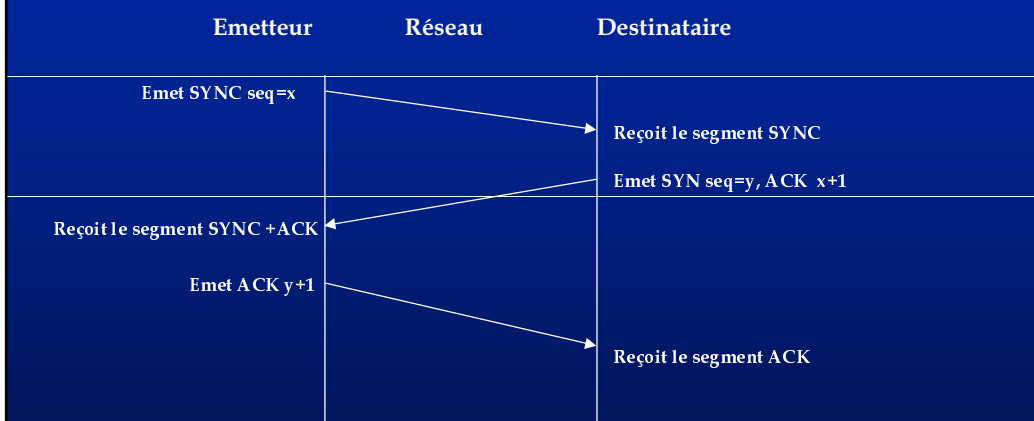
Ceci permet à TCP de s'adapter sans paramétrage, à tous les débits et à tous les temps de réponse, donc à tous les réseaux

TCP/IP

67



TCP Etablissement d'une connexion



x et y sont les numéros de séquence initiaux

TCP/IP

68



Fichiers et Commandes sous Unix

- Principaux fichiers et commandes utilisables sur un système Unix, pour gérer TCP/IP
- Sur les systèmes UNIX System V et BSD
 - les commandes sont identiques,
 - les fichiers de configuration peuvent être différents ou situés ailleurs dans l'arborescence des fichiers (en fonction du système et des constructeurs).

TCP/IP

69



Fichiers sous /etc

- *rc**
 - on trouve les commandes ifconfig, route et le démarrage des daemons tels que inetd, Sendmail, routed, named
 - » même philosophie avec System V
- *hosts*
 - permet aux applications d'avoir le numéro IP à partir d'un nom de machine. (Presque) inutile si on utilise resolv.conf
 - » Ex : 127.0.0.1 localhost loghost # The machine
 - » 129.88.32.1 imag mailhost # Gould NP1 BatB
 - » 129.88.32.24 hal hal-gw # Sps7-300 Spix32
- *networks*
 - fait la correspondance nom de réseau et numéro de réseau IP (idem host mais pour les réseaux)

TCP/IP

70



Fichiers sous /etc

- **inetd.conf**
 - sous-démons lancés par inetd (telnetd, ftpd,...)
- **sendmail.cf**
 - règles de réécritures utilisé par le démon sendmail pour
 - » écrire les adresses de messagerie
 - » aiguiller le message vers la bonne destination (définir le mailer)
- **named.boot**
 - premier fichier de configuration pour le serveur de noms
 - les autres sont traditionnellement dans le répertoire /var/named



Commandes

- **ifconfig :**
 - indique le numéro IP du coupleur, le masque de subnet, le broadcast IP
- **route**
 - pour mettre à jour la table de routage
- **netstat**
 - affiche de très nombreuses informations d'état et de valeurs de compteurs :
 - » -r : visualise la table de routage.
- **ping :**
 - ping serv1.grenet.fr
 - » Envoie un datagramme ICMP echo à la machine
 - » Cela permet de savoir si la machine est accessible
 - » Indique aussi le temps de réponse.



Commandes (suite) :

- **arp -a**
 - visualise la table ARP
 - » cisco-viallet (147.171.149.128) at 0:0:c:0:5b:37
 - » alpe (147.171.149.3) at 8:0:2b:8:47:f8
 - » alize (147.171.149.11) at 8:0:20:0:bc:eb
- **arp -s**
 - fixe une adresse Ethernet pour une @ IP
 - » Ex : arp -s 147.171.200.200 08:00:2B:00:BC:09
- **tracert**
 - Permet de suivre le chemin emprunté par les datagrammes
 - Utilise le champs Time To Live de IP.
- **whois -h mcsun.eu.net nom_ou_numéro_de_réseau**
 - Permet d'avoir des informations sur un réseau (coordonnées des responsables administratifs et techniques ...).

TCP/IP

73



Exemple d'application : FTP (RFC959) 1

- **File Transfer Protocol**
 - Application pour transférer des fichiers
- **Utilise 2 connexions TCP (---> transfert fiable) :**
 - 1 de contrôle (commandes et réponses) : port 21
 - 1 de transfert de données : port 20
 - » cette connexion est ouverte puis fermée à chaque transfert
- **Modes**
 - *client* : processus d'un utilisateur, par exemple
 - *serveur* : démon ftpd qui est lancé par inetd sous Unix
- **Le client ouvre la connexion**
 - le serveur attend

TCP/IP

74



- **Vérification de l'identité du client**

- Nom et mot de passe à l'ouverture de la connexion.
- Le client doit être déclaré sur le serveur.
- Ses droits d'accès découlent de cette déclaration.

- **Dialogue entre le client et le serveur**

- Vous pouvez tester ce dialogue avec la commande Unix :
 - » telnet nom_de_machine 21

- **Commandes de FTP**

- Une commande utilisateur est envoyée presque sans modification, sous forme d'une suite de caractères terminée par CRLF (identique à telnet).
- Dirigés vers le port 21
- Exemples : help reste HELP, ls devient LIST, quit reste QUIT



- **La réponse du serveur :**

- Précédée d'un nombre de 3 caractères :
 - » 1er chiffre permet de savoir à quoi se rapporte la réponse

- **1XX :**

- la commande commence à être exécutée, il y aura une autre réponse.
- Ex :150 Opening data connection for ... (message en début de transfert)

- **2XX :**

- La commande a été exécutée avec succès.
- Vous pouvez envoyer une autre commande.
- Ex: 226 Transfer complete (message en fin de transfert)

- **5XX :**

- Commande non acceptée.
- Ex: 550 fichier: No such file or directory en réponse à "get fichier"



FTP

4

● Permet de transférer des fichiers

- En mode "stream" ou "block" (Unix toujours en mode stream)
- Texte (ASCII sous Unix)
 - » Suite d'octets avec 7 bits significatifs.
 - » Les fins de ligne, de page ... sont détectées et transformées si besoin pour être adaptées à la machine cible.
 - » Il peut y avoir un transcodage: ASCII-EBCDIC
- Binaire (Image)
 - » Suite d'octets avec 8 bits significatifs.
 - » Aucune transformation est apportée

TCP/IP

77



FTP

5

● Principales commandes (SunOs 4.1.3)

- | | |
|-------------|--|
| - help ou ? | liste des commandes |
| - status | état des connexions |
| - open | ouvrir une connexion (transparent) |
| - user | entrer un nom d'utilisateur (transparent) |
| - passwd | envoyer le mot de passe (transparent) |
| - ls | fait un ls sur la machine distante |
| - cd | changer de répertoire sur la machine distante |
| - get | rapatrier un fichier (ouvre une connexion TCP) |
| - put | envoyer un fichier (ouvre une connexion TCP) |
| - type | indiquer le type de fichier (ASCII ou binaire) |
| - delete | effacer un fichier sur la machine distante |
| - quit | fermer une connexion |

TCP/IP

78



FTP

6

- **ftp anonymous**

- Autorise l'accès FTP à tout le monde.
- Généralement réservé à des serveurs.
- Exemple: serveur de l'UREC ftp.urec.fr

- **Sécurité :**

- On peut ne pas lancer le daemon ftpd sur sa station (
 - » fichier /etc/inetd.conf sous Unix)
- Sur certains systèmes Unix, dans /etc/ftpusers on peut indiquer les indésirables (utilisateurs qui n'ont pas le droit d'entrer par ftp)

TCP/IP

79



TFTP (RFC 783) *Trivial File Transfer Protocol*

- **Utilise UDP**
- **Sans contrôle d'accès**
- **Utilisé pour charger le système dans des équipements sans mémoire non-volatile et sans disque**

TCP/IP

80



Exemple d'application TELNET (RFC854)

1. ● **TERminaL NETwork protocol**
 - terminal virtuel, remote terminal, terminal à distance
- **Utilise une connexion TCP**
 - Fiable mais gourmand en bande passante
 - Utilise le *port* 23 pour le serveur
- **Mode**
 - *client* : processus d'un utilisateur
 - *serveur* : daemon telnetd qui est lancé par inetd sur Unix
- **Le client ouvre la connexion**



TELNET

2

- **Vérification de l'identité du client**
 - Nom et mot de passe à l'ouverture de la connexion.
 - Le client doit être déclaré sur le serveur.
 - Ses droits d'accès découlent de cette déclaration.
- **Lorsque la connexion est ouverte**
 - C'est une suite d'octets qui s'échangent.
 - Elle permet de transporter des octets avec 8 bits significatifs.
 - On peut donc émuler n'importe quel type de terminal
 - » VT100, IBM 3270 (logiciel TN3270), ...
- **Pour insérer des commandes, le protocole utilise le caractère 255 comme échappement**
 - ce caractère est appelé IAC (Interpret As Command)



TELNET

3

- Options négociées entre le client et le serveur :
 - Type de terminal
 - Echo local ou distant
 - Transmission binaire
 - Longueur de ligne
 - Taille de la page
 - Tabulations horizontales et verticales
 -
- rlogin est le concurrent de telnet sur Unix

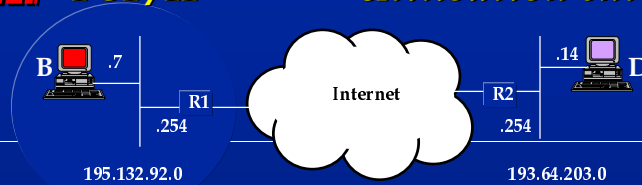
TCP/IP

83



TCP/IP

Utilisation entre 2 stations




Sur la machine B, "telnet Machine D"

Que se passe-t-il ?

- Nom --> @ IP
 - » La machine B traduit le nom "machine D" en 193.64.203.14
 - table hosts ou cache ou interrogation d'un DNS.
 - Si elle ne trouve pas, message "Host unknown".*
- Comment atteindre 193.64.203.14 (1er saut) ?
 - » Ce n'est pas un numéro 195.132.92.X
 - » Il faut donc passer par un routeur.
 - » B consulte sa table de routage : il faut passer par 195.132.92.254
- Si elle n'a pas ce renseignement, message "Network unreachable"*

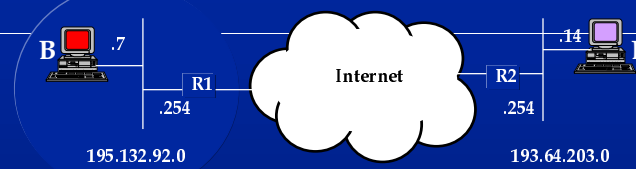
TCP/IP

84




TCP/IP

Utilisation entre 2 stations



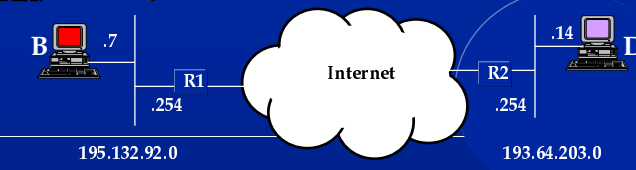
- @IP de R1 --> @ Ethernet de R1
 - » B émet une trame de "broadcast" Ethernet après avoir vérifié qu'elle n'a pas déjà l'information dans sa table ARP
 - » Contenant une trame ARP avec la question :
 - » quelle est l'adresse Ethernet de 195.132.92.254 ?
 - » R1 répond à B : l'@ Ethernet de 195.132.92.254 est 0:0:c:0:5b:37
- B envoie une trame Ethernet avec l'@ destination 0:0:c:0:5b:37
 - » Incluant un datagramme IP (@ orig 195.132.92.7 et @ dest 193.64.203.14)
 - Contenant un segment TCP
 - Avec un numéro de port destinataire 23 (telnetd)
 - SYN=1 (ouverture d'une connexion TCP)

TCP/IP85




TCP/IP

Utilisation entre 2 stations



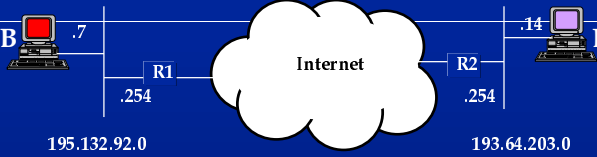
- R1 reçoit la trame Ethernet
 - » Extrait le datagramme IP, l'@ IP du destinataire (193.64.203.14) et cherche où l'envoyer.
 - » Il a une interface sur l'Internet (par Renater ou un autre opérateur)
 - » Les protocoles de routage font leur travail et le datagramme IP arrive sur R2
- R2 recherche alors l'@ Ethernet de 193.64.203.14
 - » S'il ne la trouve pas dans sa table ARP, il envoie un broadcast ARP
 - » Il peut ensuite envoyer le datagramme IP à la machine D
- D reçoit le datagramme IP
 - » Extrait le segment TCP.
 - » Ouvre une session TCP.
 - » Avec l'indication de port numéro 23, il appelle la partie telnetd du démon inetd.

TCP/IP86



TCP/IP

Utilisation entre 2 stations




- telnetd demande le nom de l'utilisateur.
 - » La question est transportée par un segment TCP, dans un datagramme IP
 - @origine 193.64.203.14, @ destination 195.132.92.7.

Pour envoyer ce datagramme

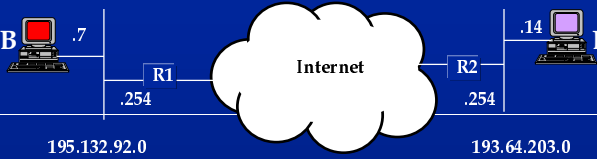
- la machine D cherche l'itinéraire avec la même méthode que la machine B au départ
 - » table de routage, ARP, ...

TCP/IP87



TCP/IP

Utilisation entre 2 stations



- **Remarques**
 - D ne tient pas compte de la précédente arrivée d'un datagramme IP pour trouver l'itinéraire de la réponse. Il refait le raisonnement, comme s'il n'avait rien reçu
 - Pour tester la connectivité IP, il n'est pas utile de tester un appel de B vers A, si on a déjà testé un appel de A vers B
 - Le broadcast ARP n'est utilisé que lors de la première recherche d'adresse Ethernet
 - Quand il y a un problème, la recherche d'erreur est difficile quand on n'a pas ce mécanisme en tête

TCP/IP88



Bilan

TCP/IP aujourd'hui

- C'est le protocole le plus utilisé actuellement, sur tous les types de réseaux (locaux et longues distances)
- Quel sera son remplaçant ?



BILAN

Avantages de TCP/IP

- Gratuit
- Indépendant des constructeurs
- Disponible sur tous les types de matériel
 - micro, station, super ordinateur et équipements de réseaux
- Facile à installer
- Produits éprouvés depuis longtemps dans un monde hétérogène
- Inclut de très nombreuses applications
- Bien standardisé et documenté
- Les protocoles sont simples mais efficaces



BILAN

Les handicaps de TCP/IP

- **Les standards sont édités aux USA**
 - pas une norme internationale
- **La plage d'adresses commence à s'épuiser**
 - surtout classe B
- **Le protocole est très ouvert**
 - on peut créer facilement un réseau que rapidement l'on ne peut plus gérer
- **Pas de routage basé sur l'adresse d'origine**
- **La sécurité n'est pas prise en compte dans la conception.**
 - De plus, le mode non-connecté est un problème difficile pour la sécurité