

Module ASR4 ASR40

Réseaux informatiques

Contenu

1. Introduction
2. Réseaux locaux Ethernet et IEEE 802.3
3. Architecture TCP/IP : Protocole IP
4. Architecture TCP/IP : Protocole TCP
5. Réseaux locaux virtuels (VLANs)

Volume : 7,5 h Cours, 10 h TD, 10 h TP

Coefficients : contrôle continu = 10, contrôle partiel = 16

Module ASR-4

Réseaux informatiques

Chapitre 1

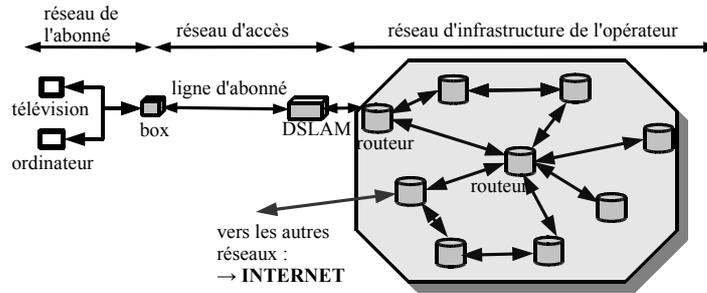
Introduction

Notions générales

1. Introduction

- 1.1. Notions fondamentales
 - Réseau, station, nœud, lien, topologie
 - Protocole, service, adressage, format d'échange, flux
- 1.2. Normalisation, architectures normalisées
 - OSI, TCP/IP
- 1.3. Réseaux locaux : Ethernet, WiFi, Bluetooth
- 1.4. Réseaux étendus
 - Réseaux de transport et réseau d'accès, Internet
- 1.5. Définitions

1. Composants d'un réseau



- station : équipement utilisateur d'un réseau : ordinateur, télévision, téléphone, etc.
- nœud : équipement d'interconnexion : commutateur, routeur, « box », DSLAM, etc.
- lien : support de transmission : paire téléphonique, onde radio, câble optique, etc.

Année 2007-2008

4

Architecture réseaux et protocole

- Organisation des fonctions réalisées dans un réseau sous forme d'une **architecture en niveaux**
- Chaque niveau est défini par :
 - Les **entités** logicielles ou matérielles qui implantent les fonctions.
 - Les **protocoles** qui fixent la structure des données et les règles d'échange entre les entités.
- Architecture (simplifiée) définie en trois niveaux de base :
 - niveau application : message
 - niveau acheminement : paquet
 - niveau transmission : trame

Année 2007-2008

5

Architecture en 3 niveaux

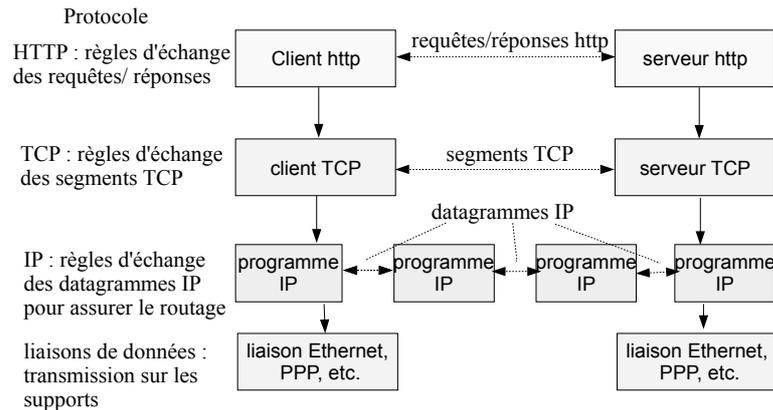
niveau	fonction	unité de données
application	Réalisation des échanges entre les composants de l' application . ex: serveur web et client navigateur	message (ex : mail, requête /réponse HTTP)
acheminement	Transport de bout en bout des données des applications avec la qualité de service requise (fiabilité, sécurité, synchronisation). Acheminement à travers le réseau. ex : routage IP, transport TCP.	paquet (ex : datagramme IP, segment TCP)
transmission	Transmission sur chaque lien . Détection des erreurs , gestion du partage et de l' accès aux liens. ex: Ethernet, Wifi, WDM	trame (ex : trame Ethernet, cellule ATM, trame PPP)

Année 2007-2008

6

Niveaux de protocole

Exemple des protocoles HTTP/TCP/IP



Année 2007-2008

7

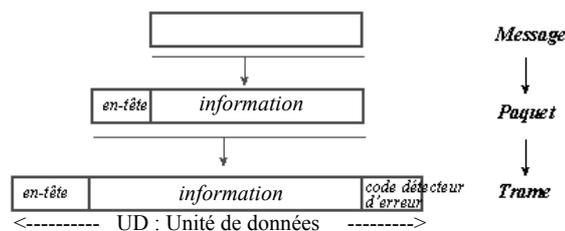
Adressage dans les réseaux

- adresse « **réseau** » : identification des **équipements** par une adresse IP : indépendante de la localisation, définie hiérarchiquement à partir d'une **adresse réseau** et de l'adresse de la **machine** dans ce réseau :
 - IPv4 (sur 32 bits) : 194.62.123.43
 - IPv6 (sur 128 bits) : 1fff:0000:0a88:85a3:0000:0000:ac1f:8001
- adresse « **physique** » (des stations, des routeurs, etc.) : adresses MAC sur 48 bits : 00:C0:4F:26:E1:CF
- adresse **interne** au réseau : (ex. circuit virtuel ATM)
- adresse de niveau **application** :
 - numéro de port (niveau transport) ex: port 80 (HTTP)
 - identifiants utilisés dans les applications : adresse mail, uri, nom dns, etc.

Année 2007-2008

8

Encapsulation des données



- UD : **Unités de Données** de chaque niveau (trame, paquet = datagramme ou segment, message).
- Le champ « **information** » ou « payload » contient l'Unité de Données du niveau supérieur.
- L'**en-tête** de chaque UD contient les données supplémentaires nécessaires à la réalisation du protocole : adresses, numéros, commandes, etc.

Année 2007-2008

9

Fonctions générales d'un réseau

- Définition du mode de communication : avec/sans **connexion**
- **Encapsulation** et fragmentation des UD à transmettre
- **Contrôle d'erreur** :
 - détection d'erreur physique ou logique (UD manquante)
 - correction d'erreur : automatique ou par **retransmission**.
- **Contrôle de flux** : adaptation de l'émission aux capacités de réception.
- **Contrôle de congestion** : gestion au mieux des ressources internes du réseau pour assurer la transmission des flux de façon fluide et selon la qualité de service requise.
- **Partage du/des liens** : gestion des accès en fonction des demandes et/ou multiplexage des flux.

2. Organismes de normalisation

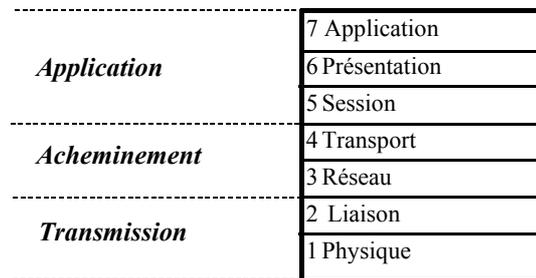
- Importance : pour communiquer, il faut s'entendre...
- Complexité technologique et convergence de métiers différents : informatique, télécommunication, téléphonie, télévision, audio...
- Principales organisations de normalisation :
 - **ISO** : International Standardisation Organisation (<http://www.iso.ch>)
 - **ITU** : International Telecommunication Union (<http://www.itu.ch>)
 - **IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers (<http://www.ieee.org>)
 - **IETF** : Internet Engineering Task Force (<http://www.ietf.org>)

Autres structures de standardisation

- Associations professionnelles :
 - Le consortium **W3C** (<http://www.w3.org>) : normes relatives au web.
 - Le forum **WiMAX** (<http://www.wimaxforum.org>)
 - Le forum **DSL** (<http://www.adsl.com>) : lignes d'accès haut débit.
- Agences de réglementation :
 - **ARCEP** : (<http://www.arcep.fr>) Agence de Régulation des Communications Électroniques et de la Poste, ex- ART
 - **CNIL** : (<http://www.cnil.fr>) Commission Nationale Informatique et Libertés

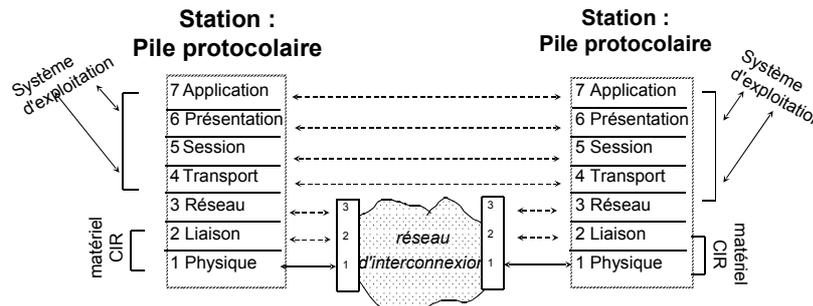
Architecture OSI

- Open Systems Interconnexion
- Objectif : architecture de référence



Interconnexion OSI

- Seuls les 3 premiers niveaux sont mis en œuvre dans les nœuds d'interconnexion (commutateurs, routeurs, ponts, etc.)



Architecture TCP/IP

	Niveau OSI	Niveau TCP/IP	Unité de données	Principaux services et protocoles
<i>Application</i>	7	Application	Message	<i>Messagerie (SMTP, POP, IMAP), transfert de fichiers (FTP, SSH/SFTP), connexion à distance (TELNET, SSH), Web (HTTP)</i> <i>Bases d'Informations (LDAP, Postgres, MySQL)</i>
<i>Acheminement</i>	4	Transport	Paquet de transport (segment)	Acheminement de processus à processus communications port à port (TCP, UDP)
	3	Réseau	Paquet de réseau (datagramme)	Acheminement de station à station: routage IP
<i>Transmission</i>	-	Interface	Trame	<i>Ethernet, WiFi, ATM, etc.</i>

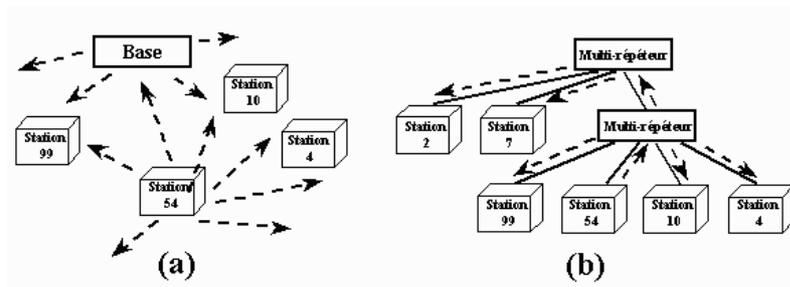
3. Réseaux locaux

- caractéristiques : localisation, accès privé
- technologies principales : Ethernet, WiFi
- topologie : arborescente ou étoile
- mode de transmission des signaux : diffusion, commutation
- mode de partage du support : par compétition (avec risque de collision) ou de façon contrôlée (centralisée)
- standardisation par l'IEEE :
 - couche LLC « Logical Link Control » pour assurer les fonctions communes comme le contrôle de flux (norme 802.2)
 - couche MAC « Medium Access Control » qui définit le format des trames, et la méthode d'accès au médium : normes 802.3 (Ethernet), 802.11 (WiFi),

Année 2007-2008

16

Réseaux locaux par diffusion de signal



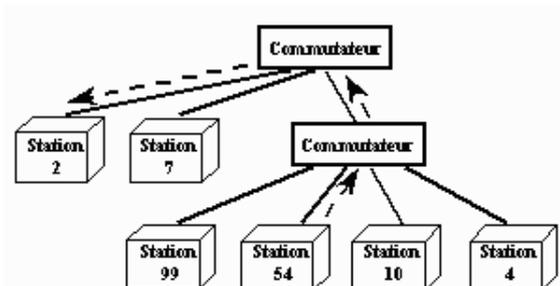
(a) diffusion dans un réseau WiFi

(b) diffusion dans un réseau Ethernet

Année 2007-2008

17

Réseaux locaux par commutation



- réseau local Ethernet avec commutateurs
- le commutateur décode la trame pour la rediriger uniquement vers le port du destinataire
- topologie en arbre

Année 2007-2008

18

4. Réseaux étendus

- caractéristiques : zone de répartition des stations, accès privé ou public, interconnexion (Internet)
- structure : réseau d'accès et réseau de transport (réseau d'infrastructure)
- technologies :
 - d'accès : « boucle locale » (RTC, ADSL)
 - d'infrastructure : multiplexage WDM sur fibres optiques
- structure d'**Internet** :
 - réseaux privés
 - réseaux des FAI « Fournisseurs d'Accès à Internet » (services + accès Internet)
 - réseaux de transit « backbones »

5. Notions indispensables

- Rappels sur les unités et les codages
- Notions sur la transmission
 - support
 - temps de transmission et débit
- Notions de liaison
 - types de liaison
 - fonctions
 - caractéristiques temporelles

Rappel sur les unités

- Unités de temps : seconde : **s**
 - milliseconde : **ms** (0,001 s) : 10^{-3} s
 - microseconde : **µs** (0,000 001 s) : 10^{-6} s
 - nanoseconde : **ns** (0,000 000 001 s) : 10^{-9} s
- Volume de données (émises, reçues) : bit : **b**, ou octet : **o**.
bit (*bit* en anglais) et **octet** (*Byte* en anglais) : **1 octet = 8 bits**
 - Kilo**bit Kb** ou KiloByte **KB** (1 000) : 10^3
 - Méga **Mb** ou MegaByte **MB** (1 000 000) : 10^6
 - Giga **Gb** (1 000 000 000) : 10^9
 - Tera **Tb** (1 000 000 000 000) : 10^{12}
- !! **Débits** : niveau transmission en **b/s**, niveau application en **B/s**

Rappel sur les codages

- Codage binaire :
 - puissances de 2 ($2^4 = 16$, $2^8 = 256$, $2^{10} = 1024$)
 - conversions décimal <-> base deux (pour adresses IP)
- Codage des caractères : ASCII, ISOLatin1, Unicode...

- Codage hexadécimal :

chiffre hexa	valeur binaire	valeur décimale
0	0000	0
9	1001	9
A	1010	10
B	1011	11
C	1100	12
D	1101	13
E	1110	14
F	1111	15

Notion de support de transmission

- Propriétés attendues :
 - **Débit**, qualité de service (taux d'erreur, synchronisation...)
 - Facilité d'utilisation : connexion, mobilité
 - Sécurité, intégrité, confidentialité
- Types de support :
 - **Paire torsadée** de fils de cuivre, incluse dans un câble métallique => signal électrique
 - **Fibre optique**, incluse dans un câble optique => signal lumineux tout ou rien
 - **Onde radio** (> 2 Ghz) => onde électromagnétique
 - Autres : câble coaxial, CPL (courant porteur en ligne)

Caractéristiques des supports

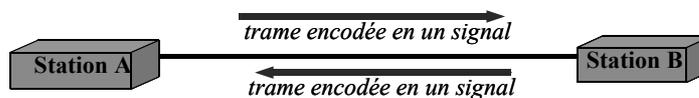
- **Portée** : distance sur laquelle le signal transmis n'est pas trop perturbé pour pouvoir être décodé par le récepteur.
- **Vitesse de propagation** des signaux
 - ondes : vitesse de la lumière = 300 000 km/s
 - câbles : $\sim 2/3$ de la vitesse de la lumière = 200 000 km/s.
- **Bande passante** : intervalle de fréquences sur lequel le signal est correctement transmis.
- **Sensibilité** aux perturbations électromagnétiques
 - câbles électriques, ondes radio
 - fibres optiques pas sensibles -> transmission possible sur longues distances et à très grand débit

Notion de débit binaire

- Débit binaire **De** = nombre de bits émis par seconde
- Unités : **b/s**
 - Kilo Kb/s (1000) : 10^3 b/s
 - Méga Mb/s (1 000 000) : 10^6 b/s
 - Giga Gb/s (1 000 000 000) : 10^9 b/s
 - Tera Tb/s (1 000 000 000 000) : 10^{12} b/s
- Sur une liaison, le débit à la réception **est égal** au débit à l'émission (pas de stockage intermédiaire)
- Notion de « débit utile » **Du** = fraction du débit **De** correspondant au transport des informations (payload).
- Remarque : les débits sont parfois donnés en octet/s (Byte/s) : **B/s, KB/s**

Notion de liaison

- ensemble d'équipements (liens, amplificateurs, modems, convertisseurs, commutateurs, hubs, etc.) et de protocoles qui permettent l'échange de données appelées **frames** entre deux (ou plus) stations.



Propriétés des liaisons

- **Topologie bipoint /multipoint**
 - émission **point à point** : support en paire de fil (boucle locale), en fibre optique ou onde radio longue distance (réseaux d'infrastructure)
 - émission **multipoint**, à destination de plusieurs stations : support en paire de fil (Ethernet) ou onde radio (WiFi)
- Mode de transmission **simplex/duplex**
 - simplex : flux dans un seul sens (ex. diffusion radio)
 - duplex : flux possible dans les 2 sens
 - **half-duplex** : de façon alternée (cas du multipoint Ethernet, WiFi)
 - **full-duplex** : avec 2 liens, multiplexage fréquentiel ou avec annulation d'écho

Protocole de liaison

Un protocole de liaison définit les règles d'échange de trames entre stations reliées par une liaison :

- gestion du **mode de connexion** : mode connecté (ouverture/fermeture) ou non connecté (pas de connexion préalable à la transmission)
- gestion de l'**accès** au support en mode multipoint
- **contrôle des erreurs** de transmission : détection par code détecteur d'erreur
- **contrôle de flux** pour éviter que l'émetteur n'envoie plus vite que la capacité de réception du récepteur

Caractéristiques temporelles

T_e : Temps d'émission, dépend du débit

T_p : Temps de propagation, dépend de la vitesse de propagation du signal

T_t : Temps de transfert, temps de transmission de bout en bout

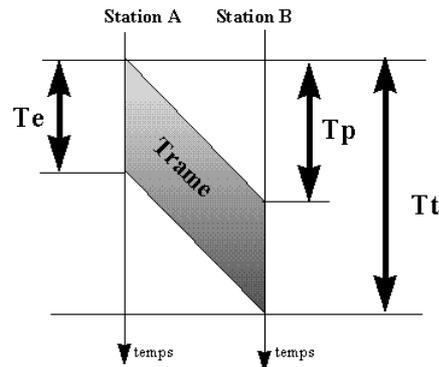
$$T_e = N / D_e$$

$$T_p = L / V_p$$

$$T_t = T_e + T_p$$

N : nombre de bits de la trame

L : longueur du support



Glossaire

- ADSL
- ATM
- CPL
- De
- DSLAM
- Ethernet
- FAI
- HTTP
- Internet
- IP
- LLC
- MAC
- OSI
- PPP
- RTC
- TCP
- UD
- UDP
- WDM
- WiFi

Module ASR4 ASR40

Réseaux informatiques

Chapitre 2

Réseaux Ethernet

Réseaux locaux Ethernet et IEEE 802.3

1. Principales normes Ethernet et IEEE 802.3
2. Niveau physique : câblage, signaux, topologie
3. Format des trames
4. Réseaux 10/100baseT sur commutateurs
5. Ethernet 1000BaseT Full-Duplex
6. Extensions du service de transmission

1. Normes de la famille Ethernet

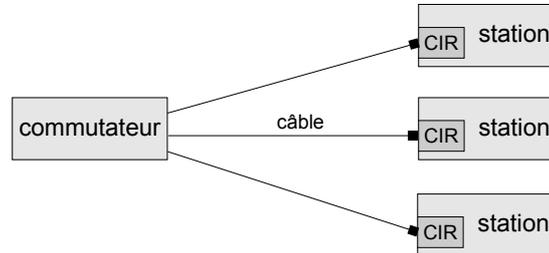
Nomenclature : 10BaseT, 100BaseT, 1000BaseT, 100BaseFX, etc.

Décodage : **débit – type d'encodage – support** :

- débit : 10 Mb/s, 100 Mb/s ou 1 Gb/s
- type d'encodage : bande de **base** (numérique)
- support de transmission :
 - câble coaxial sur bus (abandonné) : 10Base5
 - paires torsadées (Twisted pairs) sur topologie en arbre : 10BaseT, 100BaseT, etc.
 - fibres optiques sur topologie en arbre : 10BaseFX, 100BaseFX, etc.
- Interopérabilité entre les réseaux de cette famille grâce à un format de trame commun.
- Normalisation par l'IEEE : 802.3, 802.3a, ...

Composants d'un réseau Ethernet

- carte CIR : Carte Interface Réseau (interne ou externe),
- câble : paire torsadée de fil de cuivre
- commutateur : nœud d'interconnexion qui redirige les trames en fonction de l'adresse du destinataire



2. Caractéristiques physiques des normes 100BaseT et 1000BaseT

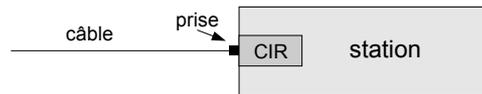
Caractéristiques	100BaseT	1000BaseT
Signaux de trame		
Débit d'émission	100Mb/s	1000Mb/s (1Gb/s)
Encodage	4B/5B NRZI	PAM5
Silence inter-trames min (96Tb)	0,96µs	0,096µs
Liens		
Support d'un lien	2 paires torsadées	4 paires torsadées
Longueur maximum	100 mètres	100 mètres
Type de câble recommandé	UTP cat. 5 et sup.	UTP cat. 5e et sup.
Bande passante	Bp = 100 Mhz par paire	Bp = 100 Mhz par paire
Vitesse de propagation	Vp ≥ 180 000Km/s	Vp ≥ 180 000Km/s
Encodage : forme donnée au signal élémentaire émis pour chaque bit ou bloc de bits.		
Tb : Temps bit, c'est à dire durée d'émission d'un signal élémentaire correspondant à 1 bit.		
UTP : Unshielded Twisted Pair, paire torsadée non blindée.		
Bp : Bande passante de chaque paire, intervalle de fréquences transmissibles.		

Contraintes physiques

- Le **silence inter-trames** est nécessaire pour garantir la dissipation du signal écho produit par tout signal de trame. Sans un silence minimum, cet écho agirait comme un bruit aléatoire sur le signal de la trame suivante.
- La **longueur maximum d'un lien** est la limite jusqu'à laquelle les fabricants de câble garantissent une atténuation du signal négligeable pour la bonne reconnaissance des trames par les récepteurs.
- La **catégorie 5e** est recommandée pour les liens 1Gb/S, car elle offre une meilleure résistance aux interférences entre les signaux transmis sur les paires torsadées cohabitant dans la même gaine.

Stations d'un réseau Ethernet

- Une station émet et reçoit des trames :
 - soit en mode **Unicast** : 1 émetteur vers 1 destinataire.
 - soit en mode **Broadcast** (diffusion) : 1 vers toutes les stations.
- Une station est un équipement relié au réseau par une (ou plusieurs) carte(s) CIR : **Carte Interface Réseau**.
- Chaque carte est identifiée par une adresse Ethernet, appelée adresse MAC : **Medium Access Control**.
- Chaque carte est reliée au câble par une **prise de type RJ-45**.



Année 2007-2008

7

Câbles UTP et STP

- Les câbles sont constitués de 4 paires torsadées.
- En 100BaseT, 2 paires sont utilisées pour connecter une station (1 paire par sens de transmission), donc 2 stations peuvent être raccordées avec un même câble.
- En 1000BaseT, les 4 paires sont nécessaires pour raccorder 1 station
- Types de câbles :
 - Les câbles UTP *Unshielded Twisted Pairs* sont non blindés :



- les STP *Shielded Twisted Pairs* sont blindés :

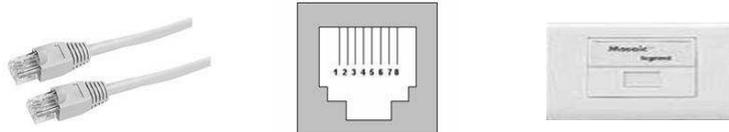


Année 2007-2008

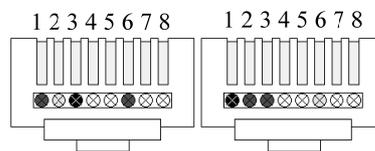
8

Connecteurs et prises RJ-45

- Connecteurs et prises type RJ-45 (*Registered Jack*) :



- Seules les broches 1-2 et 3-6 sont utilisées pour transmettre les informations (2 par sens de transmission).
- Utilisation :
 - câble **croisé** (entre 2 stations)
 - câble **droit** (entre une station et un commutateur).



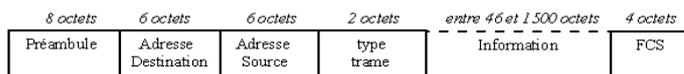
Année 2007-2008

9

Rôle des broches RJ-45

Numéro	Utilisation	Couleur des fils du câble
1	Sortie des Données (+)	blanc/orange
2	Sortie des Données (-)	orange
3	Entrée des Données (+)	blanc/vert
4	Réservé pour le téléphone	bleu
5	Réservé pour le téléphone	blanc/bleu
6	Entrée des Données (-)	vert
7	Réservé pour le téléphone	blanc/marron
8	Réservé pour le téléphone	marron

3. Format des trames Ethernet



- **préambule** : $(AA\ AA\ AA\ AA\ AA\ AA\ AA\ AB)_{16}$ pour permettre au récepteur de se synchroniser.
Rappel : $A_{16} = 1010_2$, $B_{16} = 1011_2$
- **taille minimale de trame** : 72 octets = 64 octets + préambule.
Des octets de **bourrage** sont ajoutés si nécessaire.
- **taille maximale** : 1526 octets = 1500 (info) + 18 + préambule
- **champ type trame** (dépend de la nature du protocole utilisé) :
 - Ethernet II : **type trame** = identifiant du protocole du niveau hiérarchique supérieur (IP=0800, ARP=0806, ...)
 - IEEE 802.3 : **type trame** = longueur utile du champ information.

Adressage Ethernet

- Chaque carte CIR est identifiée par une **adresse MAC unique** (mondialement!) :
 - allouée par le fabricant de la carte CIR,
 - ... cette adresse est (éventuellement) modifiable.
 - Rq: une station a autant d'adresses Ethernet que de cartes CIR.
- **Adressage MAC** « Medium Access Control » :
 - longueur : 6 octets
 - les 3 premiers octets identifient le **fabricant**
 - notation par groupes de 2 chiffres hexa séparés par « : »
 - exemple : **00:0B:DB:DF:6F:35**
 - adresse de diffusion : FF:FF:FF:FF:FF:FF

Exemple de trame de type Ethernet II

0: 0800 2087 b044 0800 1108 c063 0800 4500
 16: 0048 49ba 0000 1e06 698d c137 33f6 c137
 32: 3304 1770 96d4 397f 84c2 bf3a 21fd 5018
 48: 111c 99bc 0000 0e00 313f 02c0 0011 0000
 64: 3ec1 0000 0011 0000 0002 2828 a7b0 8029
 80: eafc 8158 9070 +FCS

rq : pas de préambule ni FCS affichés,

type=0800 : la trame contient un paquet IP

4. Ethernet sur commutateur (switch)

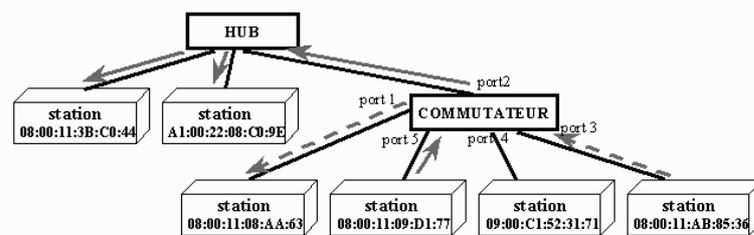
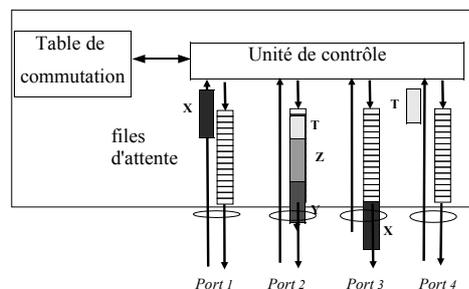


Table de commutation :
 indique,
 pour chaque **adresse** Ethernet,
 le numéro de **port** associé.

Adresse destination	Port
08:00:11:08:AA:63	1
08:00:11:AB:85:36	3
08:00:11:3B:C0:44	2
09:00:C1:52:31:71	4
A1:00:22:08:C0:9E	2
08:00:11:09:D1:77	5

Structure d'un commutateur

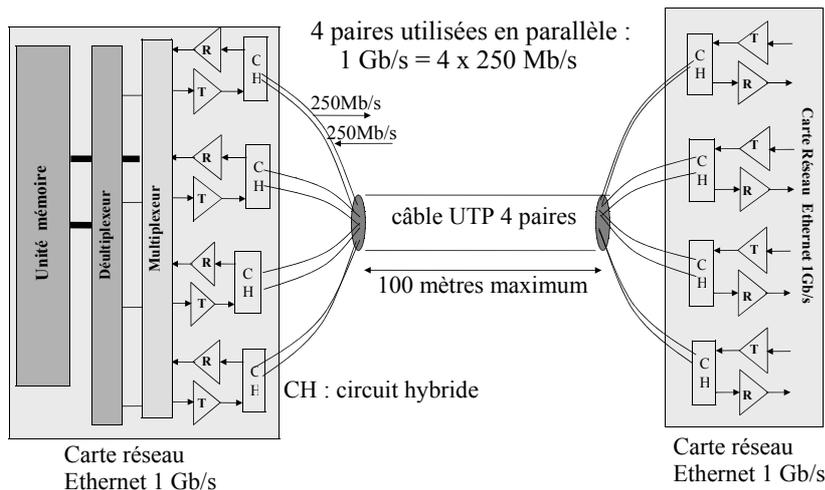


- **files d'attente** en entrée et en sortie des ports.
- **unité de contrôle** : algorithme de commutation, mise à jour de la table de commutation.
- **temps de latence** : intervalle de temps qui sépare l'arrivée d'une trame sur un port d'entrée de son émission sur un port de sortie.
- risque de **congestion** : contrôlé par le commutateur qui envoie une trame **pause** (type= 0808)

Modes de commutation

- **cut and through** : retransmission à la volée ... mais seulement après le décodage de l'adresse destination!
=> temps de latence minimal.
- **store and forward** : retransmission après décodage de toute la trame :
=> permet de détecter les éventuelles erreurs de transmission.
- *fragment free* : retransmission après décodage des 72 octets :
=> permet de détecter les éventuelles collisions (mode de moins en moins utilisé car les installations actuelles n'ont quasiment plus de hubs).
- Exemple : pour HP ProCurve Switch 2650, le temps de latence minimal annoncé par le constructeur est **13,3 µs**.

5. Ethernet 1000BaseT



Caractéristiques de Ethernet 1000BaseT

- Topologie **bipoint** utilisant un câblage de 4 paires de fils.
- Câbles de catégorie 5e : **bande passante** supérieure à 100 Mhz.
- Transmission de chaque octet en 4x2 bits en **parallèle** synchronisé, 2 bits émis sur chaque paire de fils.
 - **Débit** sur chaque paire : 250 Mb/s
- **Encodage numérique** PAM5 (Pulse Amplitude Modulation, 5 niveaux) :
 - 4 niveaux pour chaque valeur de dibits (00, 01, 10, 11)
 - et 1 niveau pour la redondance (traitement d'erreurs).
- Collisions supprimées par l'utilisation de la technique **d'annulation d'écho** (avec les circuits hybrides).

6. Protocoles d'extension

- Utilisation d'un format de trame spécifique appelé **Tagged frame** « trame Ethernet marquée » :
 - champ « type trame 1 » = \$0801,
 - champ « type trame 2 » = contient le champ « type » de la trame Ethernet standard (ex. \$0800 pour un contenu IP).

8 octets	6 octets	6 octets	2 octets	2 octets	2 octets	entre 46 et 1500 octets	4 octets
Préambule	Adresse Destination	Adresse Source	type trame 1	Priorité & ID VLAN	type trame 2	Information	FCS

- **Protocole 802.1q** : réseaux locaux virtuels (VLANs) définis dynamiquement (utilise le champ « ID VLAN »).
- **Protocole 802.1p** : priorité des flux (utilise le champ « priorité »).
- **Protocole 802.1d** (STP : Spanning Tree Protocol) : permet de réaliser un arbre « logique » sur une topologie physique maillée.

VLAN : Virtual Local Area Network

- 1 commutateur/routeur permet de répartir les stations en plusieurs réseaux **virtuellement** indépendants :
 - La **commutation** et la diffusion des trames ne se font qu'entre stations d'un même VLAN.
 - Pour les autres échanges, il faut utiliser les services de **roulage IP** du commutateur/routeur.
- Intérêt : administration **centralisée** des réseaux, plus facile à configurer et à faire évoluer.
- Technique étudiée dans le dernier chapitre.

Glossaire

- 100BaseT
- 1000BaseT
- 4B/5B NRZI
- Broadcast
- Catégorie 5e
- CIR
- Ethernet II
- full-duplex
- FCS
- hub
- IEEE
- IEEE 802.3
- PAM5
- RJ-45
- STP
- Unicast
- UTP
- VLAN

Module ASR4 ASR40

Réseaux informatiques

Chapitre 3

Architecture TCP/IP

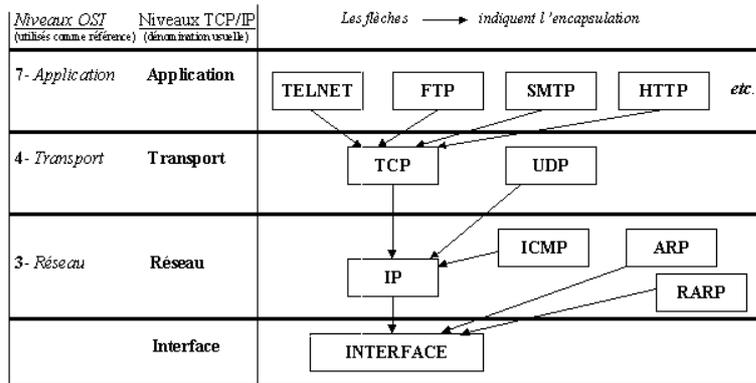
Protocole IP

Année 2007-2008

1

Architecture TCP/IP

- Objectifs : déploiement d'applications sur un système d'interconnexion de réseaux, indépendamment des technologies physiques de ces réseaux.



Année 2007-2008

2

Principes de l'architecture TCP/IP

- Architecture en 4 niveaux :
 - Applications :
 - applications standard : FTP, HTTP, SMTP, POP, IMAP, ...
 - applications de service : DNS, DHCP, NFS, X11, SNMP
 - applications spécifiques développées avec le modèle client/serveur
 - Transport :
 - UDP : service de transport « simple » sans connexion
 - TCP : service de transport avec connexion assurant la fiabilité des connexions
 - Réseau :
 - IP : bâti sur un adressage logique des stations « l'adresse IP »
 - Protocoles de service : ICMP (contrôle), ARP (adressage)
 - Interface : assure l'accès aux différents réseaux physiques

Année 2007-2008

3

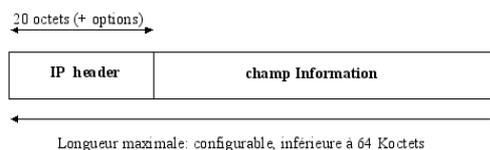
Identifiants dans l'architecture TCP/IP

- adresses physiques du niveau **interface** :
 - dépend du réseau (ex. adresse MAC Ethernet ou WiFi)
- Adresse du niveau **réseau** :
 - Adresse IP : comprenant une partie identifiant le réseau et une partie identifiant la machine dans le réseau
 - Routeur IP : machine connectée à plusieurs réseaux, donc ayant plusieurs adresses IP
- Identification des processus au niveau **transport** :
 - numéro de port (+ adresse IP de la station)
- Identification des utilisateurs/ressources dans les **applications** : adresse mail, URL, etc...

Protocole IP

- Fonction : assurer l'acheminement des UD unités de données « paquets IP » ou « datagrammes IP » dans l'inter-réseau
- Mode non connecté, sans contrôle d'erreur ni contrôle de flux de bout en bout
- Service de type « best-effort »
- Fragmentation possible suivant les réseaux traversés
- Deux versions du protocole :
 - IPV4 : adresses sur 32 bits
 - IPV6 : adresses de 128 bits

Format des paquets IPV4



31		23		15		0	
Version	Header Lg	Type of Service	Total Length (bytes)				
Identification			Flags	Fragment Offset			
Time To Live		Protocol	Header Cchecksum				
IP Source Address							
IP Destination Address							
Options							

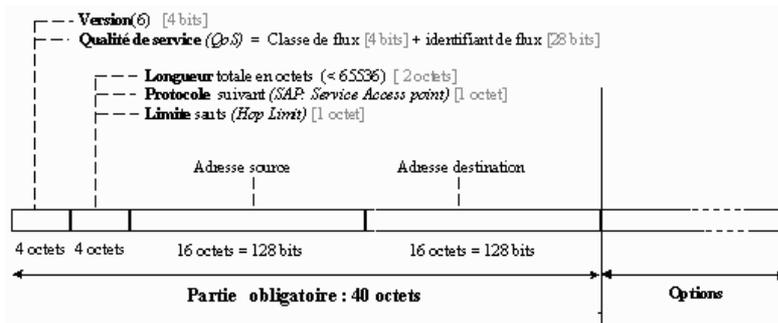
Champs de l'en-tête IPV4

- Version (4 bits): valeur = 4.
- Header Lg (4 bits): longueur de l'en-tête en mots de 32 bits.
- Identification: numéro d'émission du paquet.
- Flags (3 bits): b2=0 si frag. autorisée, b3 =0 dernier fragment
- Fragment Offset (13 bits): position du fragment dans le paquet.
- TTL « Time To Live » (1 octet): nombre maximum de routeurs que le paquet est autorisé à traverser, décrémenté par chaque routeur traversé.
- Protocol: identifiant du protocole en charge du champ Information : ICMP = (01)16, TCP = (06)16, UDP = (17)16 .
- Source Address, Destination Address: adresses IP.

Année 2007-2008

7

Format des paquets IPV6



Année 2007-2008

8

Adressage IP

- Adressage hiérarchique :
 - Adresse de réseau IP
 - Adresse de chaque machine dans le réseau
 - + Adresse de diffusion
- Réseau IP : défini par une suite d'adresses contiguës, donc avec la même valeur de poids fort
- Format d'adresse :
 - 32 bits : adresse /réseau (n bits) + adresse machine (m bits)
 - un réseau IP possède 2^m valeurs réparties en :
 - l'adresse IP du réseau : les m bits sont tous à 0
 - les adresses des machines : au maximum $2^m - 2$ machines
 - une adresse de diffusion : les m bits sont tous à 1

Année 2007-2008

9

Notation CIDR des adresses IP

- Représentation « décimale pointée » : les 32 bits sont regroupés par 8 et codés en décimal
 - Ex: 11000000 00010010 10000011 00011001
192 . 18 . 131 . 25
- Notation CIDR (Classless Inter-Domain Routing) :
 - Adresse de réseau IP / nombre de bits du préfixe réseau.
 - Exemple : 192.18.131.0/24 : 24 bits de préfixe réseau
 - Il reste 8 bits pour la partie adresse machine : $2^8 - 2$ machines
 - Adresse de diffusion dans ce réseau : 192.18.131.255
 - Remarque : cette notation est équivalente à celle qui consiste à donner l'adresse du réseau et l'adresse du masque de réseau (utilisée dans les tables de routage).

Routage IP

- Principe : lorsqu'un paquet IP arrive dans un routeur, celui-ci retransmet le paquet :
 - Soit à la station destinataire si celle-ci est directement connectée au routeur
 - Soit vers un autre routeur auquel il est directement connecté... le routage se fait « de proche en proche »
- Ce principe s'applique à toute station, même si elle n'est pas routeur!
- La détermination du routeur responsable de l'acheminement se fait par une table de routage :
 - Table de correspondance entre adresse de réseau destinataire et routeur (avec interface d'envoi de la trame).

Table de routage

- **Structure de la table** : tableau de 4 (ou plus) colonnes et d'autant de lignes que de réseaux destinataires
 - colonnes principales : **Destination Mask Gateway Interface**
 - **Destination Mask** : pour identifier le **réseau** (adrDestination) auquel appartient la machine **destinataire** du paquet (adrIP-dest)
 - **Gateway Interface** : pour déterminer quelle trame envoyer : vers un routeur ou vers le destinataire final si la cellule Gateway est vide.
- **Algorithme** : pour chaque paquet à envoyer, chaque ligne est essayée successivement jusqu'à trouver une correspondance entre l'adresse IP destinataire et une adresse de la colonne **Destination** :
 - Si (adrIP-dest && Mask) = adrDestination alors Trouvé (&& = ET logique)
 - La dernière ligne peut indiquer le routeur à utiliser par défaut pour toutes les adresses non identifiées dans les lignes précédentes :
Le champ Destination est default ou 0.0.0.0

Routage depuis une station st-dg-xx

commande : `netstat -r`

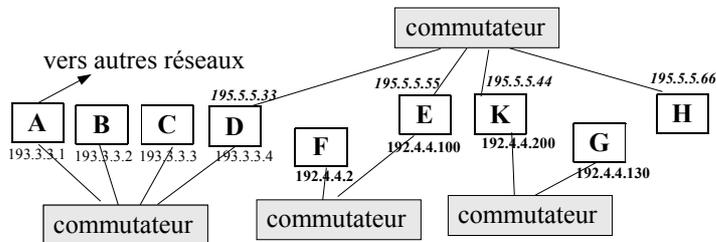
Destination	Mask	Gateway	Interface
192.168.1.0	255.255.255.0	lv-routeur	eth0
192.168.141.0	255.255.255.0	*	eth0
default	0.0.0.0	sw-dg-40d-1-tx	eth0

- Si le destinataire du paquet est une machine du réseau 192.168.1.0/24, le paquet est envoyé au routeur « lv-routeur ».
- Si le destinataire du paquet est une machine du réseau 192.168.141.0/24, c'est une station du même réseau que la station st-dg-xx :
 - la station st-dg-xx trouvera l'adresse Ethernet de ce destinataire (avec le protocole ARP)
 - et elle enverra directement le paquet encapsulé dans la trame Ethernet portant cette adresse.

Année 2007-2008

13

Exemple de table de routage



- Table de routage de la machine D :

Destination	Mask	Gateway	Interface
193.3.3.0	255.255.255.0	*	eth1
195.5.5.0	255.255.255.0	*	eth0
192.4.4.0	255.255.255.128	195.5.5.55	eth0
192.4.4.128	255.255.255.128	195.5.5.44	eth0
0.0.0.0	0.0.0.0	193.3.3.1	eth1

Année 2007-2008

14

Routage dans la station D

- **Cas d'un paquet émis par B vers H :**
 - $195.5.5.66 \&\& 255.255.255.0 = 195.5.5.0$
 - Deuxième ligne, Gateway = *
 - C'est un acheminement **direct** de D au destinataire H puisqu'ils sont sur un même réseau : 195.5.5.0/24.
- **Cas d'un paquet émis par B vers F :**
 - $192.4.4.2 \&\& 255.255.255.128 = 192.4.4.0$
 - Troisième ligne, **Gateway** = 195.5.5.55 (c'est l'adresse de E sur le réseau 195.5.5.0/24)
 - C'est un acheminement vers un autre **routeur** car le destinataire F n'est pas situé sur un même réseau que D.

Année 2007-2008

15

Routage dans la station D

- **Cas d'un paquet émis par E vers A :**

- ligne appliquée :
- Gateway =
- Interprétation :

- **Cas d'un paquet émis par A vers G :**

- ligne appliquée :
- Gateway =
- Interprétation :

- **Table de routage de la machine E :**

Destination	Mask	Gateway	Interface
0.0.0.0			

Glossaire

- ARP
- Best-effort
- CIDR
- DHCP
- DNS
- FTP
- Gateway
- ICMP
- IMAP
- Interface
- IPV4
- IPV6
- Mask
- POP
- SMTP
- TTL
- URL

Module ASR4 ASR40

Réseaux informatiques

Chapitre 4

Protocoles UDP et TCP

Année 2007-2008

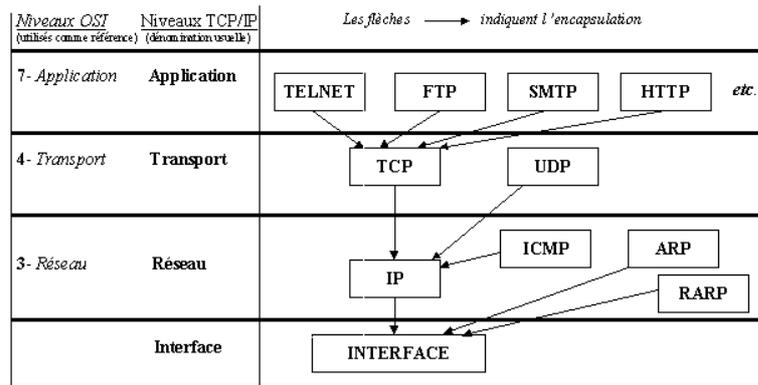
1

Rappel architecture TCP/IP

Niveau transport :

UDP : service de transport « simple » sans connexion

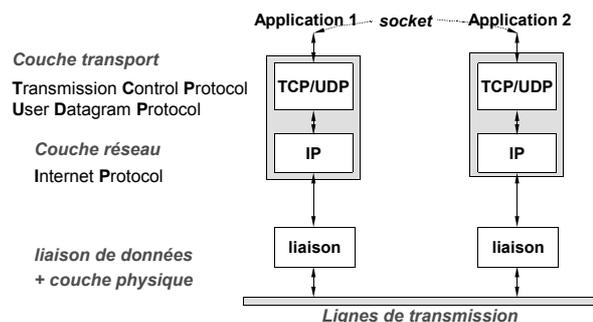
TCP : service de transport avec connexion (fiabilité des connexions)



Année 2007-2008

2

Niveau transport dans l'architecture Internet



- Objectif : offrir un service **de bout en bout** entre les **processus** des applications, quelles que soient les caractéristiques du réseau

Année 2007-2008

3

Fonctions du niveau transport

- **Transport des datagrammes** ou des **flots d'octets** entre un processus client et un processus serveur.
- Nécessité d'**identifier ces processus** lors de cet acheminement :
 - l'adresse IP ne suffit pas : plusieurs appli sur une même station
 - le numéro de processus système ne convient pas car le « PID » est local
 - > **numéro de port** : champ sur 16 bits de l'en-tête TCP ou UDP
- **Modèle client/serveur** :
 - toute communication est **initialisée par un client**.
 - le numéro de port et l'adresse IP du serveur doivent être connus du (des) client(s) avant toute communication.
 - les échanges de données sont ensuite **symétriques**.

Année 2007-2008

4

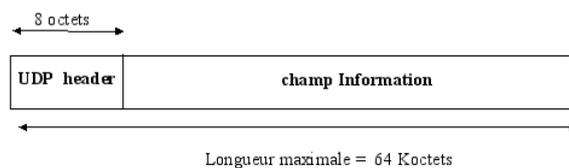
Protocole UDP

- Principe : service de transport minimum et simple
- Services offerts :
 - Communication directe, dite « sans connexion ».
 - Encapsulation : dans un paquet IP (taille max = celle de IP).
 - Fragmentation/réassemblage : assuré pour les applications.
 - Multiplexage : possible par les n° de port.
 - **PAS** de contrôle d'erreur ni de flux.
- Exemples d'utilisation :
 - Protocoles « services » : NFS, DHCP
 - Applications : téléphonie, télémétrie, jeux.

Année 2007-2008

5

Format des datagrammes UDP



En-tête

Remarque : le contrôle d'intégrité est facultatif et porte uniquement sur l'en-tête.

31	Source port	15	Destination port	0
	Total length (bytes)		Header Checksum	

Année 2007-2008

6

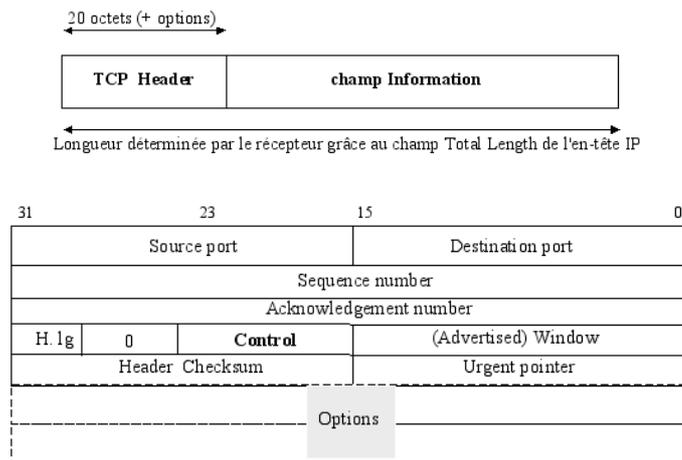
Protocole TCP

- Principes :
 - couche logicielle qui masque aux applications les contraintes du réseau (hors les délais induits!).
 - service de **transport fiable en mode flot d'octets**.
- Notion de **connexion TCP** associée au couple constitué du processus client et du processus serveur :
 - < @IP serveur, N° port serveur, @IP client, N° port client >
- Réalisation du **mode flot** :
 - Numérotation des octets à émettre.
 - Stockage dans des tampons.
 - Émission des octets indépendamment des dépôts.

Année 2007-2008

7

Format des paquets (segments) TCP



Année 2007-2008

8

Champs de l'en-tête TCP

- **Sn : Sequence number** : n° du premier octet contenu dans le champ info (n° dans le flot sortant).
- **An : Acknowledge number** : n° du prochain octet attendu dans le flot entrant, acquitte les octets de n° inférieurs.
- **AW : Advertised Window** : fenêtre d'émission.
- **H.lg : Header Length** : longueur de l'en-tête, en mots de 32 bits.
- **Control** : <0, 0, URG, ACK, PSH, RST, SYN, FIN>
 - **SYN** : demande d'ouverture de connexion.
 - **FIN** : demande de fermeture de connexion.
 - **ACK** : le paquet acquitte des données ou une demande O/F.
 - **PSH** : les données peuvent être délivrées à l'application.

Année 2007-2008

9

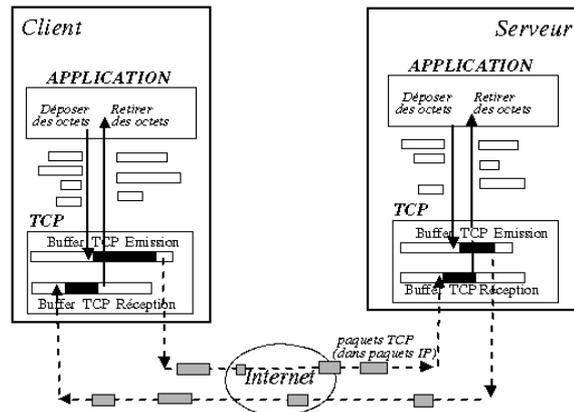
Fonctions du protocole TCP

- Service de transport en **mode connecté**.
- conservation de l'**ordre** des octets déposés par l'application.
- **Fragmentation** : découpage du flot en segments dont la taille est $\text{MIN}(Na, \text{MSS}, W)$, Na : Nb d'octets « application » à émettre.
- **Contrôle d'erreur** : numérotation des octets et délai de garde T_{max} .
 - S_n : numéro du premier octet émis dans le segment.
 - A_n : numéro+1 du dernier octet acquitté.
- **Contrôle de flux** : envoi de W , la fenêtre d'émission.
- **Contrôle de congestion** : le délai T_{max} est augmenté s'il y a réémission, considérant que la cause est probablement due à une congestion dans les routeurs.

Année 2007-2008

10

Tampons TCP



- Désynchronisation entre le dépôt et l'envoi d'une part et entre la réception et la délivrance des données d'autre part.
- Permet la mise en place des contrôles d'erreur et de flux.

Année 2007-2008

11

États des tampons émission et réception

Tampon émission

zone libre (octets acquittés)	octets émis mais non acquittés	octets déposés mais non encore émis	zone libre
----------------------------------	-----------------------------------	--	---------------

↑Premier numéro
à émettre (S_n)

Tampon réception

zone libre (octets délivrés)	octets reçus et acquittés, mais non encore délivrés à l'application	octets reçus mais non encore acquittés	zone libre
---------------------------------	---	---	---------------

↑dernier numéro
à acquitter (A_n-1)

Valeur de W à émettre = zone libre du tampon réception
= Longueur_tampon_réception – octets reçus et non délivrés

Année 2007-2008

12

Champs de l'en-tête TCP pour le contrôle de flux

- **AW : Advertised Window**
 - Permet de déterminer la fenêtre d'émission W :
 $W = AW$ ou $W = AW * 2^{WS}$, avec $WS = \text{Window Scale}$ (option)
 - **W indique le nombre d'octets que le récepteur est prêt à recevoir (et donc que l'émetteur peut envoyer).**
 - Permet de réaliser le **contrôle de flux** puisque les tampons réception ne sont jamais en débordement.
 - Avec AW et WS, les processus TCP peuvent ajuster la fenêtre d'émission pour **optimiser la connexion.**
- **WS : Window Scale**
 - Cette option TCP permet de définir des valeurs de fenêtre d'émission W supérieures à la valeur max de AW ($=2^{16}-1$).

Année 2007-2008

13

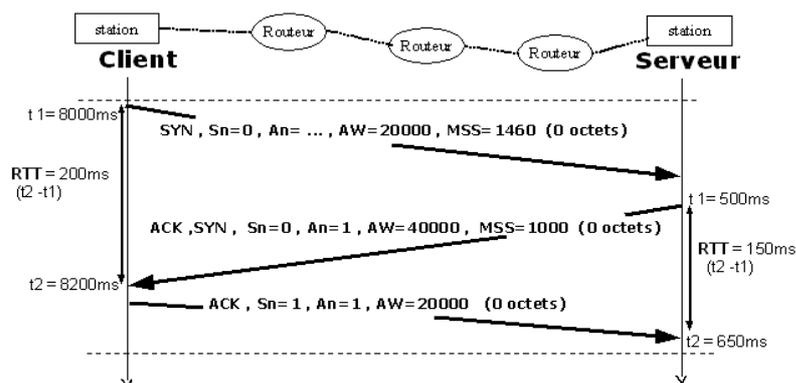
Options TCP

- Aux champs fixes de l'en-tête TCP, on peut ajouter des options pour :
 - **Le contrôle de flux** : WS.
 - **La fragmentation** : MSS (Maximum Segment Size) établie à la valeur du champ information de la trame moins les en-têtes TCP et IP.
 - sur un réseau Ethernet : MSS = 1460 octets
 - **Le contrôle d'erreur** :
 - TS (Time Stamps) : pour mettre à jour la valeur du délai de réémission RTT (Round Trip Time).
 - SACK (Selective ACK Permission /Indication) pour mettre en œuvre le service d'acquiescement sélectif.

Année 2007-2008

14

Échanges à l'ouverture d'une connexion

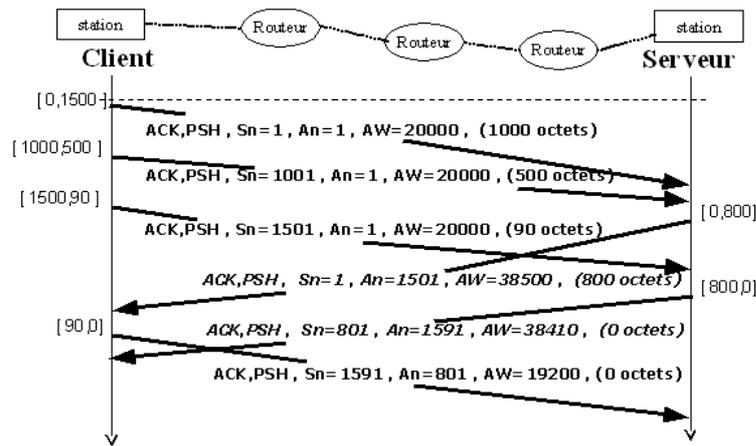


- Initialisation de N_s , A_n , MSS , AW , $T_{max} = 2 * RTT$

Année 2007-2008

15

Échanges de données sur une connexion

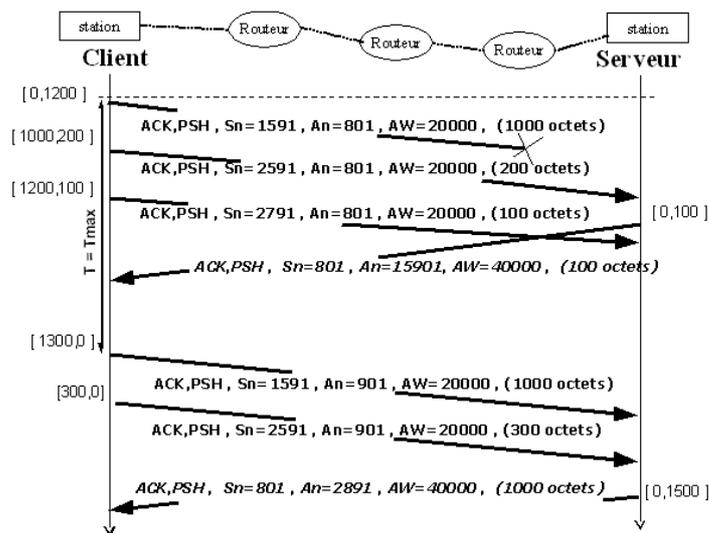


- **Acquittement** systématique de tout paquet reçu au bout d'un délai fixe.
- AW évolue en fonction de la **place** dans le tampon réception.

Année 2007-2008

16

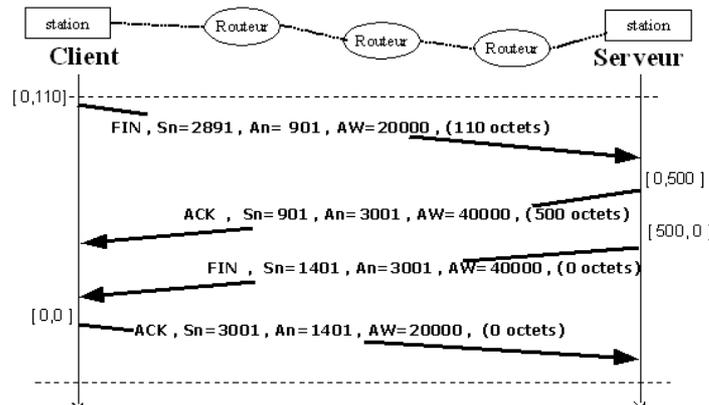
Échanges de données avec perte



Année 2007-2008

17

Échanges à la fermeture d'une connexion

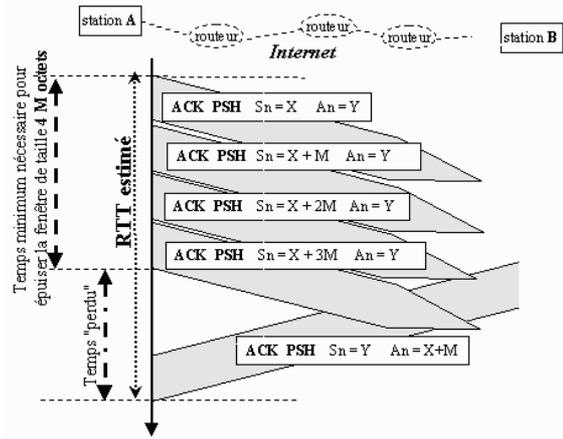


- Après une demande FIN, les tampons sont vidés, puis la connexion arrêtée.
- De nombreux cas sont à considérer (double envoi de FIN...).

Année 2007-2008

18

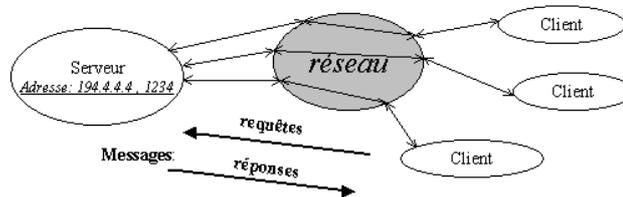
Évaluation optimale de W



- $W_{\text{optimal}} = \text{nb bits en transit} = D_{\text{tcp}} * \text{RTT}$

Interface socket

- Interface de programmation pour la mise en œuvre de programmes d'application au-dessus de la couche TCP ou UDP
- Modèle client /serveur :



Glossaire

- ACK
- An
- AW
- connexion TCP
- datagramme UDP
- mode flot
- MSS
- PSH
- RTT
- socket
- SYN
- Tampon
- Tmax
- W
- WS

Module ASR4 ASR40

Réseaux informatiques

Chapitre 5

Réseaux locaux virtuels VLAN

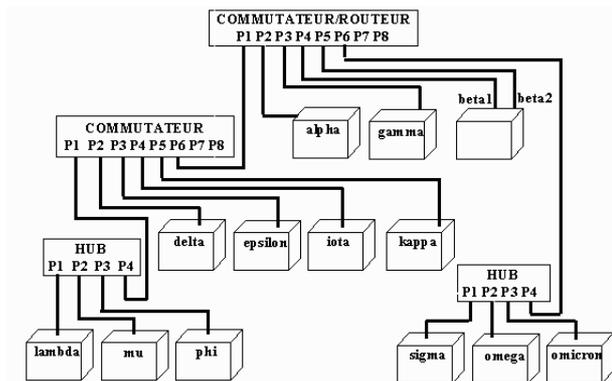
VLAN : Virtual Local Area Network

- Un commutateur/routeur permet de répartir les stations en plusieurs réseaux **virtuellement** indépendants :
 - La commutation et la diffusion des trames ne se font qu'entre stations d'un même VLAN.
 - Pour les autres échanges, il faut utiliser les services de routage IP du commutateur/routeur.
- Intérêt : administration centralisée des réseaux, plus facile à configurer et à faire évoluer.

Fonctionnement des VLAN

- Répartition des stations entre les VLAN
 - Statique : un VLAN est défini par un ensemble de ports du commutateur
 - Les stations d'un même port font partie d'un même VLAN.
 - Les trames échangées sont des trames Ethernet standard.
 - Dynamique : un identifiant est associé à chaque VLAN.
 - Les stations d'un même VLAN sont librement réparties.
 - Les trames échangées entre stations doivent porter l'identifiant du VLAN dont font partie l'émetteur et le récepteur.
 - Le protocole 802.1q est donc activé (échange de trames marquées).

Fonctionnement d'un commutateur/routeur



- Méthode statique définissant 3 VLAN :
 - VLAN1 : (P1, P2), VLAN2 : (P3, P4) et VLAN3 : (P5, P6)

Tables de routage et de commutation

- Le commutateur/routeur dispose :
 - D'une table de commutation utilisée pour tous les échanges entre stations d'un même VLAN.
 - D'une table de routage pour les autres échanges:

Destination	Mask	Gateway	Interface
144.4.4.0	255.255.255.0	144.4.4.32	Eth1
155.5.5.32	255.255.255.224	155.5.5.48	Eth2
155.5.5.64	255.255.255.192	155.5.5.65	Eth3

- Les tables des stations du VLAN1 sont de la forme (avec @IP de la station = 144.4.4.xx) :

Destination	Mask	Gateway	Interface
144.4.4.0	255.255.255.0	144.4.4.xx	Eth1
Default	-	144.4.4.32	Eth1

Commutation ou routage ?

- Cas1: **delta** envoie un paquet IP à **alpha** :
 - Sa table de routage indique que le « gateway » est elle-même.
 - Elle envoie donc directement une trame dont l'adresse destination Ethernet est l'adresse de **alpha**.
 - Le commutateur /routeur utilise sa table de commutation pour envoyer cette trame sur le port 2 où est situé **alpha**.
- Cas2 : **delta** envoie un paquet IP à **sigma** :
 - Sa table de routage lui indique que le « gateway » est le commutateur/routeur d'adresse IP 144.4.4.32
 - Elle envoie donc une trame Ethernet dont l'adresse destination est l'adresse du comm/routeur sur le réseau 144.4.4.0.
 - Le comm/routeur va faire appel à sa table de routage IP pour pouvoir acheminer ce paquet vers **sigma**.