

## Réseaux et Internet

Isabelle Chrisment



<http://www.loria.fr/~ichris>

## Présentation du module

### Contenu et objectifs du module

- Définition des concepts de base des réseaux
  - Démystification de l'Internet
  - Beaucoup d'acronymes !!!
  - Apprendre un nouveau langage
- Approche top-down
  - Des applications aux protocoles d'accès aux réseaux
  - Partir de ce que vous connaissez (web,..)

## Organisation pratique

### Déroulement

- Responsable : Isabelle Chrisment
- Volume : 5 CM, 4 TD, 4 TP
- SPOC *IMT - Principe des réseaux de données (Nancy)* à l'adresse <https://edge.edx.org>.
  - Création d'un compte avec l'adresse de telecommancy.eu
  - Uniquement pour certains Labs

### Références

- J.F. Kurose et K.W.Ross. Computer Networking. A Top-Down Approach Featuring the Internet, Pearson Addison Wesley.
- A. Tanenbaum. Computer Networks, Prentice Hall.

## Plan de cette partie du module RS

- ❶ Introduction et architecture
- ❷ Les applications
- ❸ Le transport des données (TCP/UDP)
- ❹ Le protocole IP et le routage

## 2 Introduction et architecture

- Approche des réseaux

- Qu'est-ce que l'Internet ?
- Extrémité du réseau
- Réseaux d'accès
- Cœur du réseau
- Notions de performance

- Architecture des réseaux

- Couches
- Protocoles
- Modèles

- Normalisation

## 2 Introduction et architecture

- **Approche des réseaux**

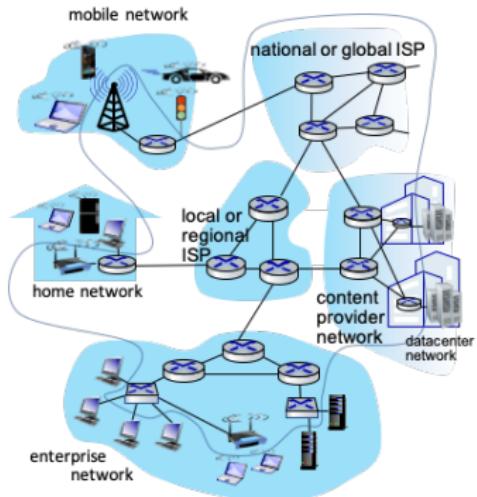
- Qu'est-ce que l'Internet ?
- Extrémité du réseau
- Réseaux d'accès
- Cœur du réseau
- Notions de performance

- **Architecture des réseaux**

- Couches
- Protocoles
- Modèles

- **Normalisation**

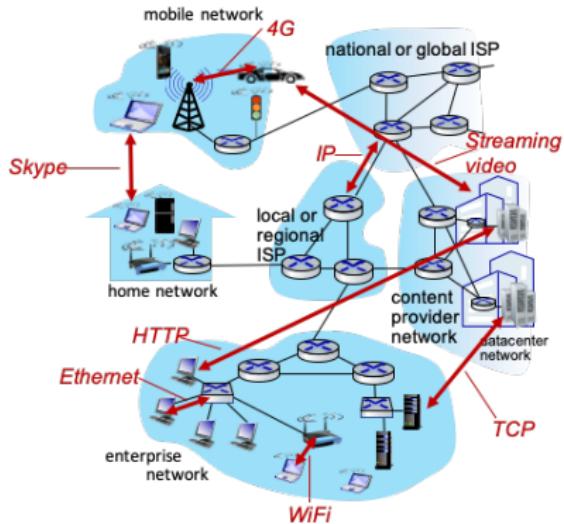
# Qu'est-ce que l'Internet ?



Transparents J. Kurose et K. Ross

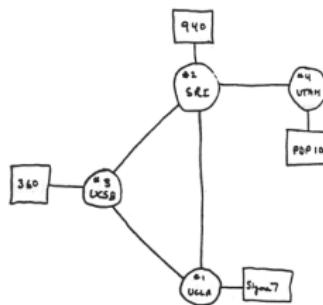
- Des appareils connectés :
  - machine hôte = système terminal
  - ordinateur, smartphone, capteurs,..
- Des liaisons pour communiquer
  - câble, fibre, satellites, liaisons sans fil,...
- Des nœuds d'interconnexion pour transmettre des paquets de données
  - routeurs et commutateurs (switches)
- Des réseaux
  - Ensemble d'appareils connectés, de nœuds d'interconnexion et de liaisons

# Qu'est ce que l'Internet ?



- Internet : réseau des réseaux
  - Interconnexion d'ISP (Internet Service Provider)
- Des protocoles pour envoyer et recevoir des messages
  - 4G, 5G, TCP, IP, HTTP, ....
- Standards
  - RFC, IETF,....

Transparents J. Kurose et K. Ross



THE ARPA NETWORK

DEC 1969

4 NODES

FIGURE 6.2 Drawing of 4 Node Network  
(Courtesy of Alex McKenzie)

FIGURE: L'Internet en 1969

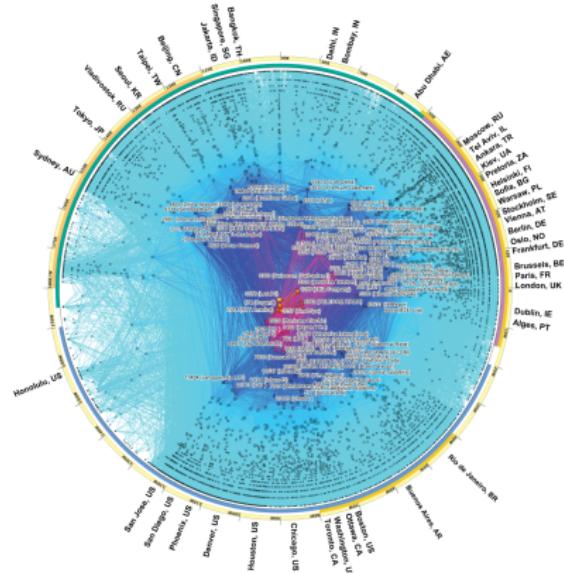
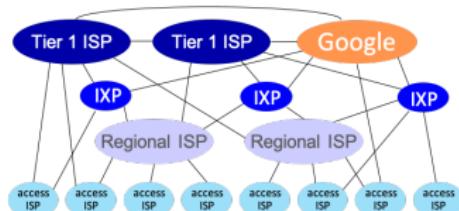
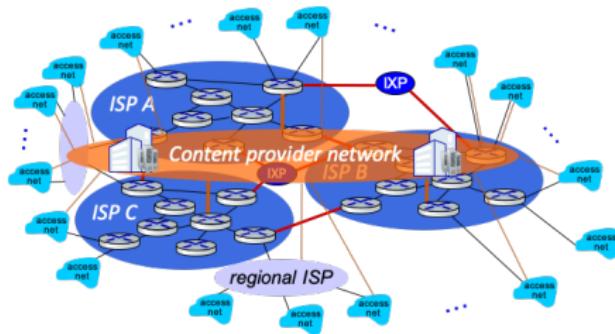


FIGURE: Graphe de la topologie Internet au niveau AS (Autonomous System) - source CAIDA

# Structure de l'Internet



Transparents J. Kurose et K. Ross

CSP : Content Service Provider

OTT : Over-The-Top

IXP : Internet eXchange Point

## 2 Introduction et architecture

- **Approche des réseaux**

- Qu'est-ce que l'Internet ?

- **Extrémité du réseau**

- Réseaux d'accès
  - Cœur du réseau
  - Notions de performance

- **Architecture des réseaux**

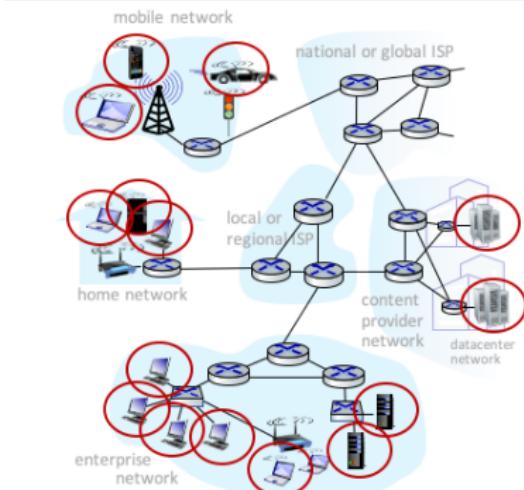
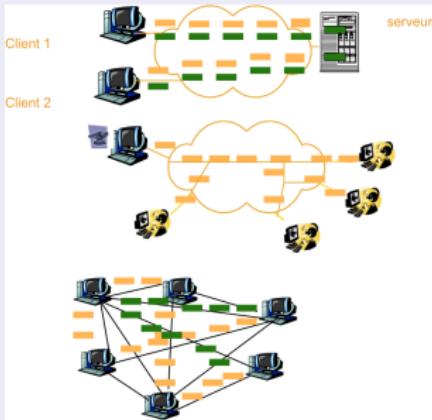
- Couches
  - Protocoles
  - Modèles

- **Normalisation**

## Extrémité du réseau

### Système terminal (hôte)

- Modèle client/serveur
- Modèle communication de groupe
- Modèle pair-à-pair (peer to peer)



Transparents J. Kurose et K. Ross

## 2 Introduction et architecture

- **Approche des réseaux**

- Qu'est-ce que l'Internet ?
- Extrémité du réseau
- **Réseaux d'accès**
- Cœur du réseau
- Notions de performance

- **Architecture des réseaux**

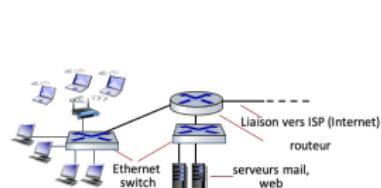
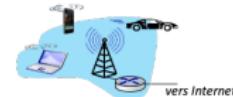
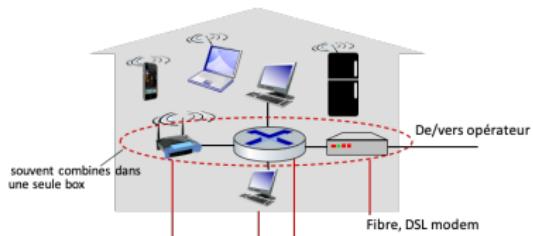
- Couches
- Protocoles
- Modèles

- Normalisation

## Réseaux d'accès

### Connexion entre systèmes terminaux et cœur de réseau

- Réseau d'accès domestique (ADSL, Fibre)
- Réseau d'accès mobile (WiFi, 4G/5G)
- Réseau d'accès entreprise (Wifi, Ethernet filaire).



Transparents J. Kurose et K. Ross

## 2 Introduction et architecture

- **Approche des réseaux**

- Qu'est-ce que l'Internet ?
- Extrémité du réseau
- Réseaux d'accès

- **Cœur du réseau**

- Notions de performance

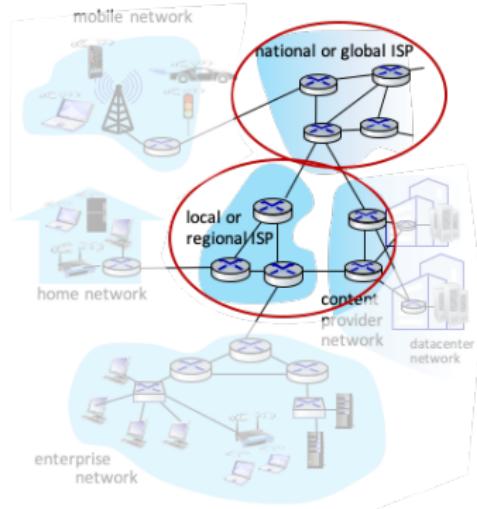
- Architecture des réseaux

- Couches
- Protocoles
- Modèles

- Normalisation

## Cœur du réseau

- Ensemble de nœuds interconnectés
- Transfert des données à travers le réseau ?
  - But : acheminer des données de la source vers la destination
  - Commutation de paquets (packet switching) : l'Internet
  - Commutation de circuits (circuit switching) : réseau téléphonique

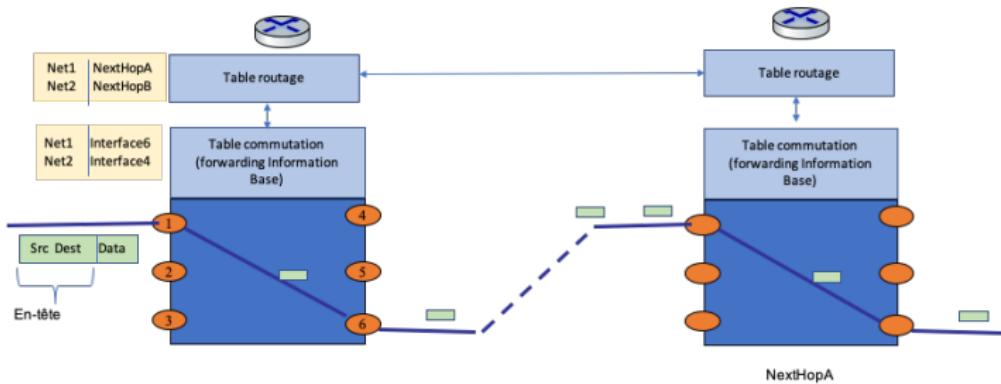


Transparents J. Kurose et K. Ross

## Réseaux à commutation de paquets

### Commutation de paquets

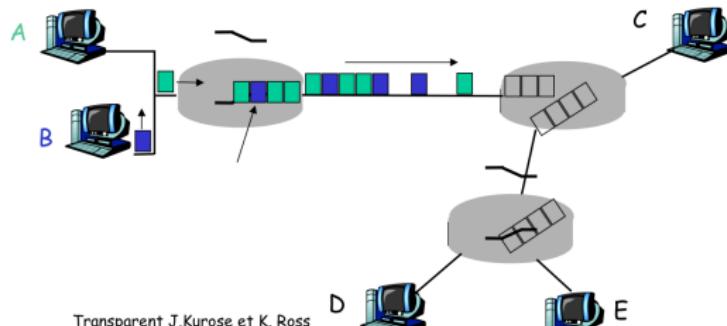
- Les données sont découpées en paquets (ou datagrammes)
- Commutation : sélectionner un port de sortie en fonction de l'adresse destination et de la table de routage (action locale, plan de données)
- Routage : process par lequel la table de routage est construite (action globale, plan de contrôle) pour aiguiller le paquet de la source vers la destination



## Réseaux à commutation de paquets

### Concept de Datagramme

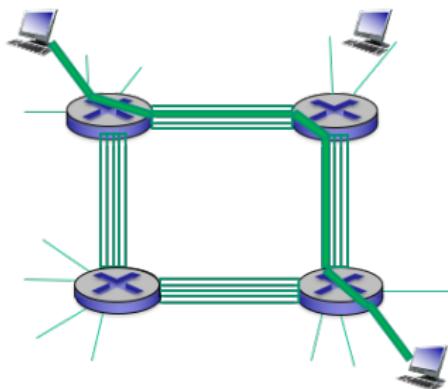
- Modèle sans établissement d'une connexion au préalable
- Chaque paquet est émis de manière indépendante
- Utilisation de l'adresse destination pour acheminer le paquet via une table de routage
- Mécanisme de "store-and-forward" : le paquet entier doit arriver sur le routeur/commutateur avant d'être retransmis
- Des files d'attente si les paquets arrivent trop vite



Transparent J.Kurose et K. Ross

## Réseaux à commutation de circuit

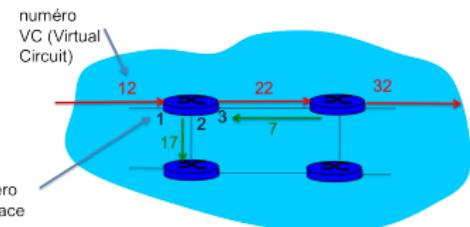
- Technique d'établissement d'un circuit
- Mise en place d'un chemin dédié par séquence d'appel
  - Phase d'établissement d'un appel
- Ressources réservées par appel
  - Garantie au niveau performance
- Exemple :
  - RTC (Réseau Téléphonique Commuté)



Transparents J. Kurose et K. Ross

## Réseaux à commutation de paquets à circuit virtuel

- Approche hybride
- Établissement explicite de la connexion et de la terminaison (orienté connexion)
- Maintien d'un circuit virtuel
- Les paquets suivent le même circuit
- Utilisation du VC ID (Virtual Circuit Identifier) est affecté à un VC
- Maintien d'une table de commutation pour aiguiller le paquet



Interface entrante	VC ID entrant	Interface sortante	VC ID sortant
1	12	3	22
2	63	1	18
3	7	2	17
1	97	3	87

Transparent J. Kurose K. Ross

Transparents J. Kurose et K. Ross

## 2 Introduction et architecture

- **Approche des réseaux**

- Qu'est-ce que l'Internet ?
- Extrémité du réseau
- Réseaux d'accès
- Cœur du réseau

- **Notions de performance**

- **Architecture des réseaux**

- Couches
- Protocoles
- Modèles

- Normalisation

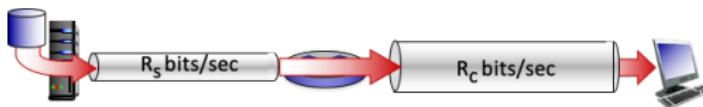
# Performance

## Débit binaire

- Quantité de données qui peut-être transmise par unité de temps
- Capacité d'une voie de communication (bande passante)
- Exemple : 10Mbit/s ou 10Mb/s ou 10Mbps
- Notation :
  - $1\text{ kbit/s} = 10^3 \text{ bits par seconde}$
  - $1\text{ Mbit/s} = 10^6 \text{ bits par seconde}$

Ne pas confondre

- $1\text{ kB} = 1\text{ ko} = 10^3 \text{ bytes ou octets}$
- $1\text{ KB} = 1\text{ KiB} = 1\text{ Kio} = 2^{10} \text{ bytes ou octets (KiB = kibibyte)}$

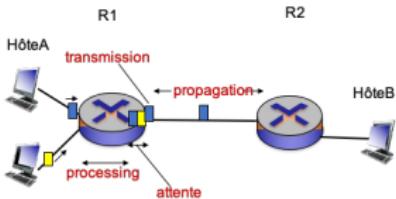


Transparent J. Kurose et K. Ross

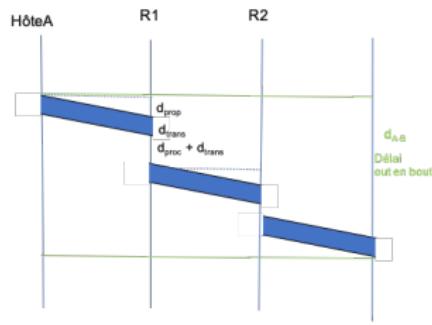
# Performance

## Latence (délai)

- Temps qu'il faut pour émettre un message de A vers B
  - Exemple : 24 millisecondes (ms)
  - Parfois exprimé par rapport au RTT (Round Trip Time)
- Éléments de la latence :
  - $d_{prop}$  = délai de propagation = distance / vitesse de propagation
  - $d_{trans}$  = délai de transmission = taille/débit
  - $d_{proc}$  = délai de traitement
  - $d_{att}$  = délai attente (queuing delay)



Transparent J. Kurose et K. Ross



# Performance

## Importance relative du débit et de la latence

- petit message (e.g., 1 octet) : 1ms vs 100ms
- grand message (e.g., 25 Mo) : 1Mbit/s vs 100Mbit/s plus important que 1ms vs 100ms
- produit débit par délai : débit binaire (bande passante) x délai
  - Si délai =  $d_{prop}$ 
    - Maximum de données pouvant être en transit dans le réseau (envoyées mais non reçues)
  - Si délai = RTT =  $2 * d_{prop}$ 
    - Maximum de données pouvant être envoyées avant de recevoir un acquittement (accusé de réception).
- Exemple : délai 100ms et 45Mbit/s de débit soit ?? de données (en Kio)

## 2 Introduction et architecture

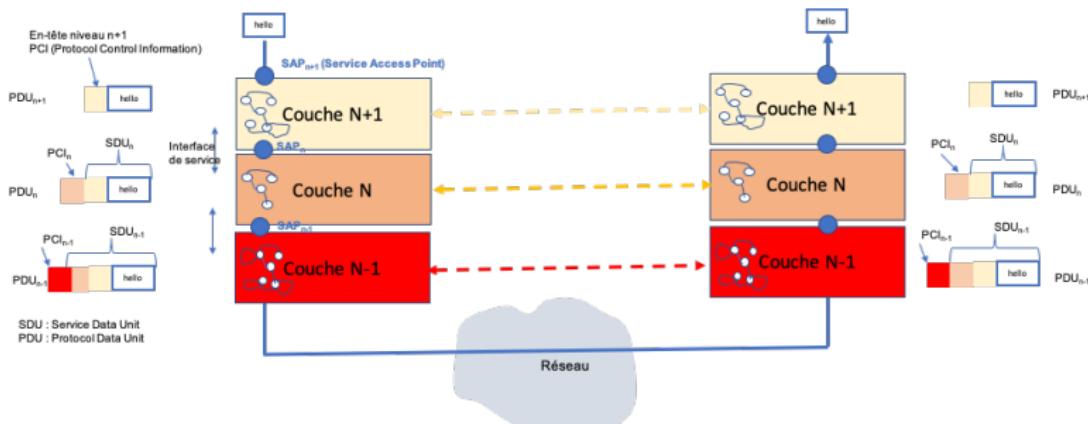
- Approche des réseaux
  - Qu'est-ce que l'Internet ?
  - Extrémité du réseau
  - Réseaux d'accès
  - Cœur du réseau
  - Notions de performance

### ● Architecture des réseaux

- Couches
  - Protocoles
  - Modèles
- Normalisation

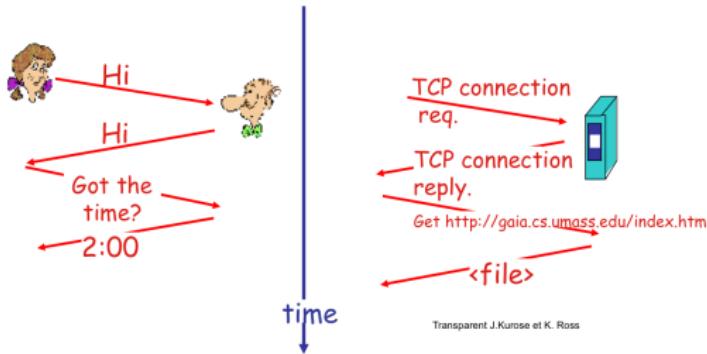
## Le concept de couche (layer)

- Abstraction, modularité et individualisation des fonctionnalités
- Une couche protocolaire : un même protocole au dessus d'un même service
- Découpage des messages en PDU (Protocol Data Unit)
- Interface de service via un SAP (Service Access Point)
- Interface de bout en bout avec entité distante homologue (même couche protocolaire)



## Le concept de protocole de communication

- Ensemble de règles définies par des documents de référence (standard)
- Représentation par des automates à états finis
- Deux catégories de protocoles :
  - Les protocoles orientés connexion
    - établissement de connexion
    - transfert de données
    - fermeture de connexion
  - Les protocoles non connectés
    - chaque message est auto-suffisant (sans état)



## 2 Introduction et architecture

- Approche des réseaux

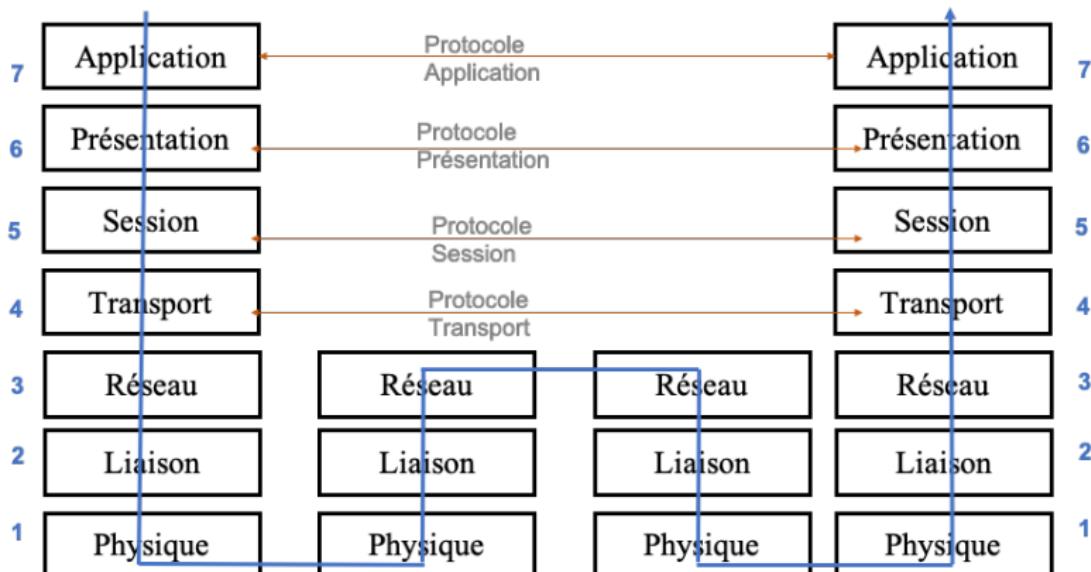
- Qu'est-ce que l'Internet ?
  - Extrémité du réseau
  - Réseaux d'accès
  - Cœur du réseau
  - Notions de performance

- Architecture des réseaux

- Couches
  - Protocoles
  - Modèles

- Normalisation

# Le modèle OSI (Open Systems Interconnection) de l'ISO (International Standard Organization)



## Les couches du modèle OSI

### La couche Application

- Exemple : transfert de fichier, terminal virtuel, exécution à distance...
- Couche OSI la plus proche de l'utilisateur
- Fournit des services aux applications

### La couche Présentation

- S'intéresse à la syntaxe et à la sémantique des infos transmises (little endian/big endian)
- Négocie la syntaxe de transfert pour la couche application
- Format des données compréhensible par les 2 systèmes

## Les couches du modèle OSI

### La couche Session

- Gère le dialogue avec gestion du jeton
- Gère la synchronisation (pannes...)
- Etablit, gère et termine des sessions

### La couche Transport

- Contrôle de bout en bout de l'émetteur vers le récepteur
- Multiplexage de plusieurs flux d'infos
- Contrôle de flux d'information et de congestion
- Fiabilité du transport des données
- Segmentation des données à l'émission : unité d'échange le segment (TCP)

## Les couches du modèle OSI

### La couche Réseau

- Gère la façon dont les paquets sont acheminés de la source vers la destination (routage) en utilisant des informations d'adressage (adressage logique)
- Tables de routage statiques ou dynamiques
- Fragmentation / ré-assemblage pour s'adapter au support physique
- Assure contrôle de congestion, qualité de service
- L'unité d'échange à ce niveau est le paquet.

## Les couches du modèle OSI

### La couche Liaison

- Détection et éventuellement correction des erreurs
- Peut s'occuper de gérer les trames d'acquittement renvoyées par le récepteur.
- Peut réguler le trafic par un mécanisme de contrôle de flux.
- Les réseaux à diffusion ont un problème spécifique à régler au niveau de la couche liaison de données : celui de l'accès multiple à un canal partagé. C'est une sous-couche spéciale, la sous-couche d'accès au support qui traite ce problème
- L'unité d'échange à ce niveau est la trame
- Adresse physique (Adresse MAC ou Ethernet)

## Les couches du modèle OSI

### La couche Physique

- Elle s'occupe de la transmission de bits sur un canal de communication.
- Nombre de volts à atteindre pour représenter un bit à 1 et à 0, la durée de la transmission en micro-secondes, la possibilité de transmission dans les deux directions simultanément.
- La couche physique décrit les caractéristiques électriques, logiques et physiques de la connexion de la station sur le réseau.
- Traitement du signal
- L'unité d'échange à ce niveau est le bit.

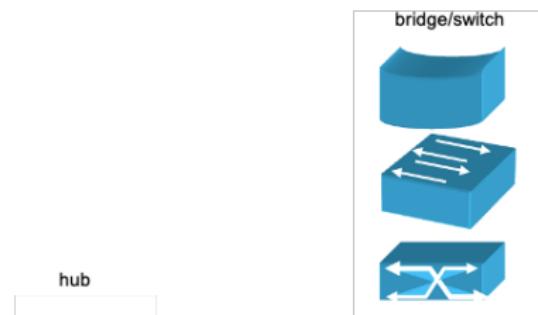
## Eléments d'interconnexion

### Couche 1

- Répéteur
  - Régénère et amplifie les signaux
- Concentrateur/hub
  - Concentre les connexions

### Couche 2

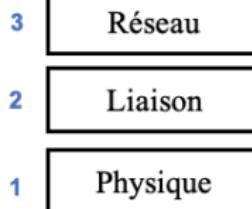
- Pont/bridge
  - Mécanisme reliant deux réseaux de même nature entre eux : ponts transparents
  - Avec fonctions de passerelles : ponts dits à translation
- Commutateur/switch
  - Pont transparent multi-ports



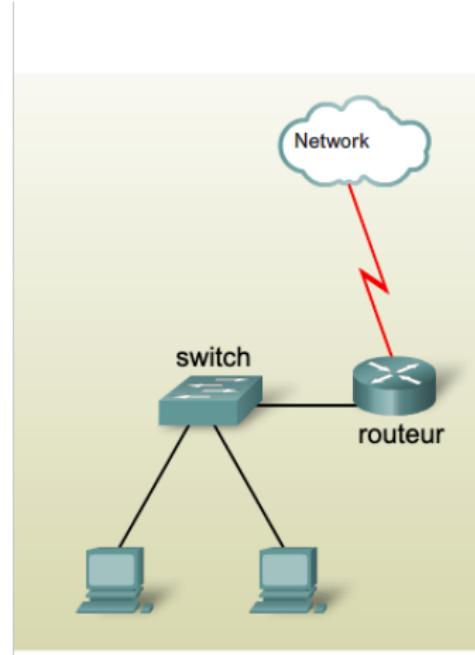
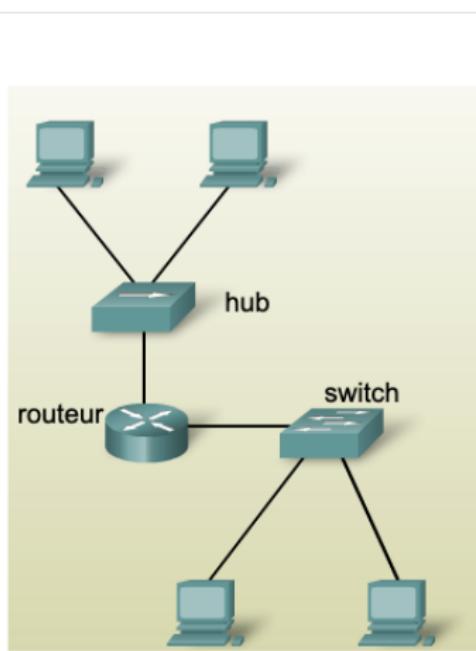
## Eléments d'interconnexion

### Couche 3

- Passerelle/gateway
  - Mécanisme reliant deux réseaux n'étant pas forcément de même nature ni de même protocole
  - Assimilé aux routeurs
- Routeur
  - A pour fonction de relier deux réseaux et d'utiliser des tables de routage



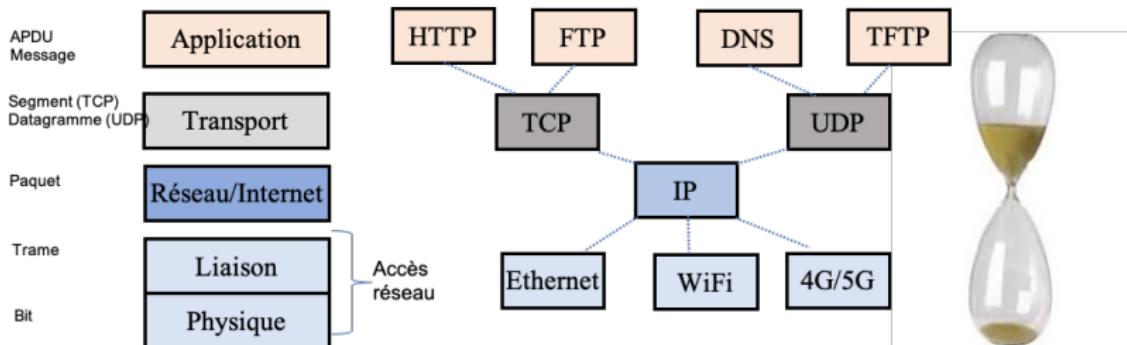
## Eléments d'interconnexion



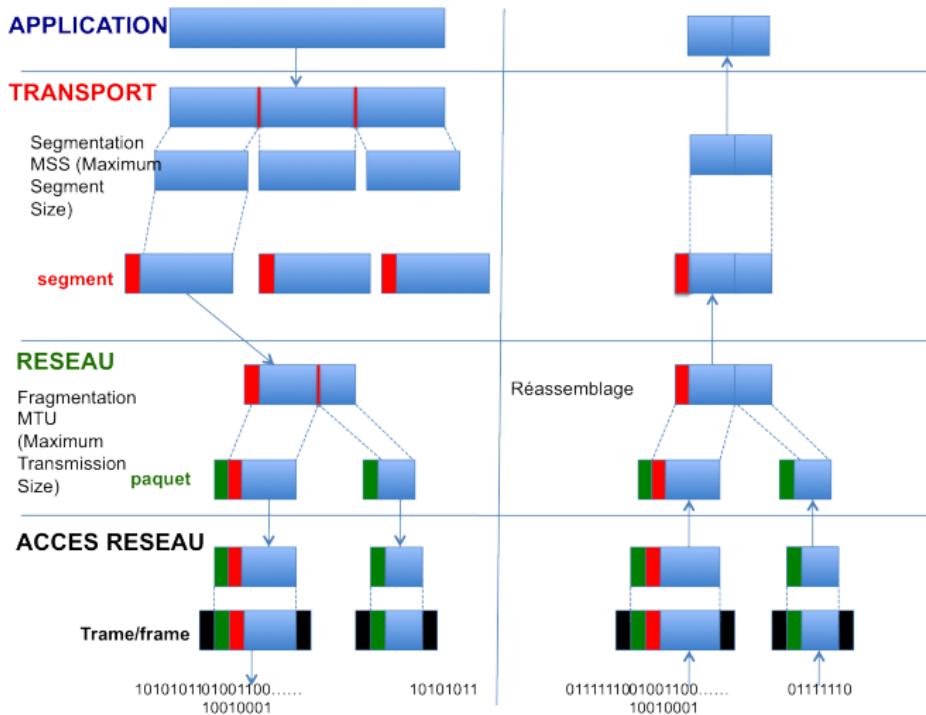
## Le modèle Internet

### I E T F (Internet Engineering Task Force)

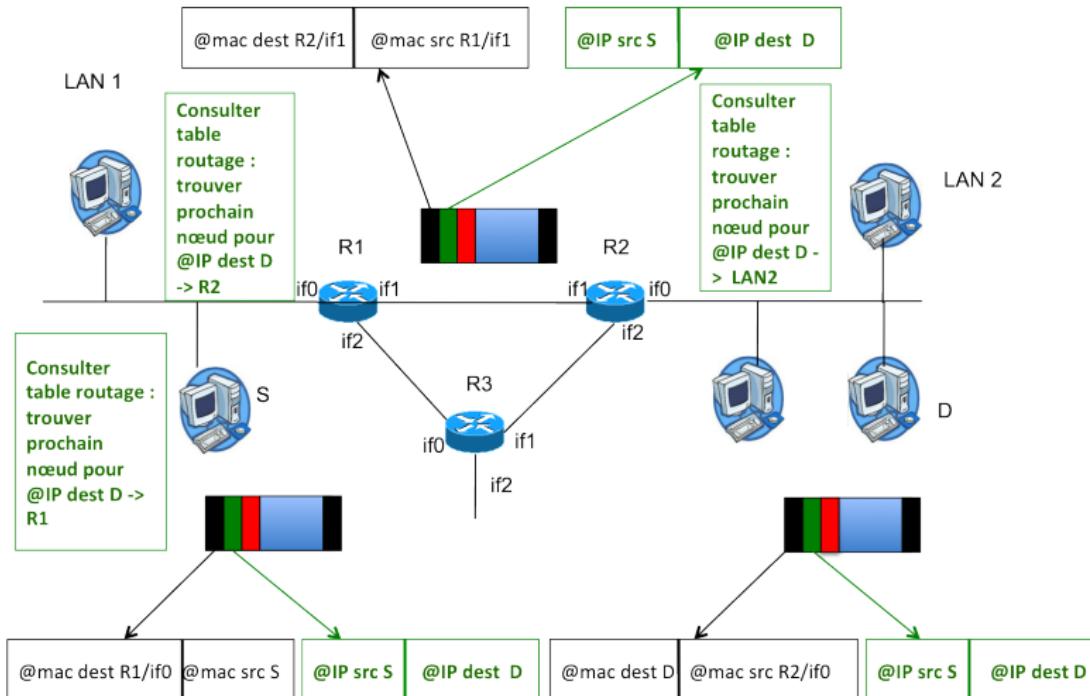
- Application et Protocoles d'application (FTP/HTTP)
- Caractéristiques
  - n'implique pas forcément un strict découpage en couche
  - conception et implantation rapide



## Encapsulation



# Encapsulation



## 2 Introduction et architecture

- Approche des réseaux
  - Qu'est-ce que l'Internet ?
  - Extrémité du réseau
  - Réseaux d'accès
  - Cœur du réseau
  - Notions de performance
- Architecture des réseaux
  - Couches
  - Protocoles
  - Modèles
- Normalisation

## Monde des télécommunications

### Organismes de normalisation

- ITU-T (Union Internationale des Télécommunications )
  - Opérateurs privés (AT&T, British Telecom,...)
  - Administrations, organisations plus régionales (ETSI)
  - Fournisseurs de service, banques...

### Standards internationaux

- ISO (Organisation Internationale de Normalisation) : ANSI, BSI, AFNOR, DIN (organisations nationales)
  - CD (Committed Draft), DIS (Draft International Standard), IS (International Standard)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

## Monde de l'Internet

### Organismes de normalisation

- IRTF (Internet Research Task Force) : Vision à plus ou moins long terme
- IETF (Internet Engineering Task Force) : Vision à court terme
  - forum où sont définis les standards de l'Internet [www.ietf.org](http://www.ietf.org)
  - Composé de groupes de travail supervisés par des directeurs : IESG (Steering Group)
  - Durée d'un groupe de travail : 6 mois à 2 ans
  - Décision de création d'un groupe à la suite d'un BoF

## Monde de l'Internet (suite)

### Rapport techniques et standards

- Draft
- RFC (Request for Comments)
- Internet Society : 1992

### RFC

- Tous les RFCs ne sont pas des standards :
  - Experimental, Information, 1er Avril
- Standard Track (RFC2026)
  - Proposed Standard : 6 à 24 mois + implémentation
  - Draft Standard : Solide spécification : on y croit
  - Internet Standard : Déploiement à grande échelle

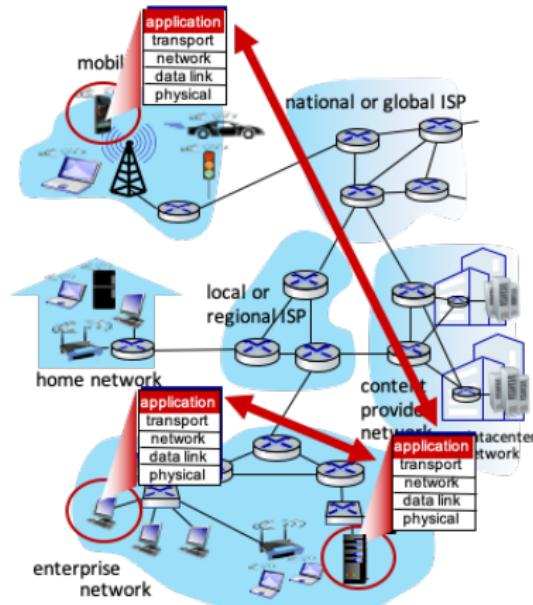
- ① Introduction et architecture
- ② Les applications
- ③ Le transport des données (TCP/UDP)
- ④ Le protocole IP et le routage
- ⑤ Sécurité et réseaux

### 3 Applications

- Web et HTTP
- Messagerie
- Session à distance
- Transfert de fichiers
- DNS

## La couche Application

- Couche protocolaire la plus proche de l'utilisateur
- Fournit des services aux applications
- Au niveau des systèmes terminaux



Transparents J. Kurose et K. Ross

# Application Web

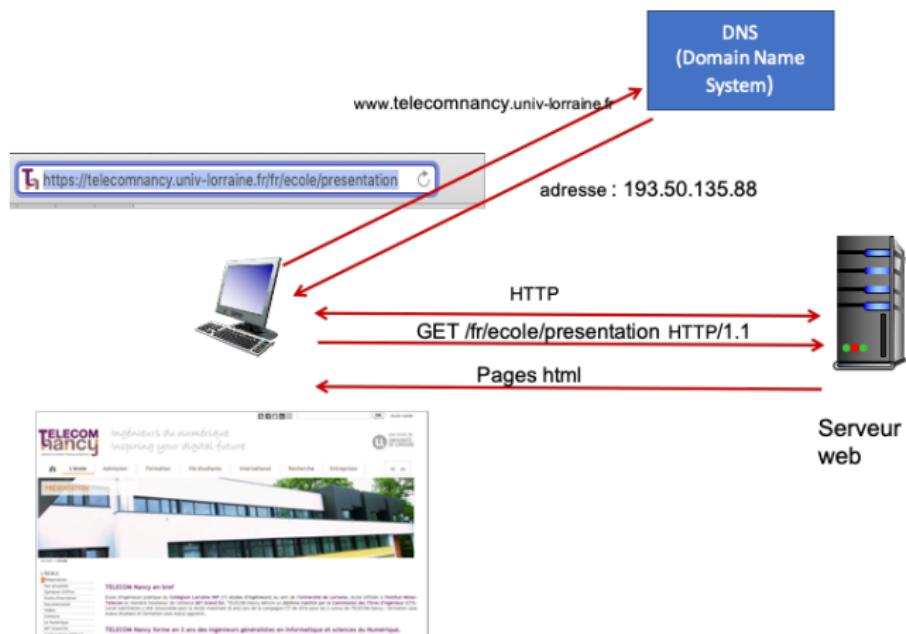
## www : World Wide Web

- Projet initié en 1989 au CERN par Tim Berners-Lie
- Architecture client-serveur :
  - Le client web : navigateur ou browser (Chrome, Safari, Firefox,...)
  - Le serveur web : attend les requêtes et envoie les réponses (Apache,...)
- Architecture fédératrice : permet l'accès à des documents liés dispersés sur des milliers de machines à travers l'Internet



Transparent J. Kurose et K. Ross

# Protocole HTTP (HyperText Transfer Protocol)



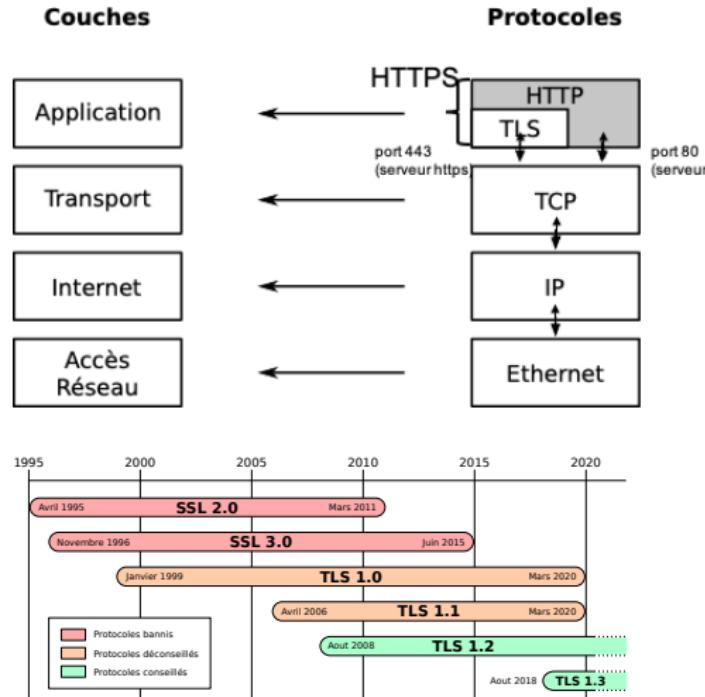
## Questions : URL (Uniform Resource Locator)

- Extension de la notion de nom de fichier sur un réseau
- Permet de localiser et d'adresser tout objet sur le réseau
- Syntaxe simplifiée : méthode ://adresse/[fichier]\*
  - Méthode : http, ftp, news, mailto, wais
  - Adresse : Spécifique à la méthode (adresse IP du serveur)
  - Fichier : nom du fichier à récupérer

## Réponses

- Documents de format HTML
- Incluent du texte, des graphiques, des pointeurs à d'autres pages, des types MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) :  
Son, Texte, Postscript, Image (GIF, JPEG, MPEG)  
Content-Type : image/jpeg

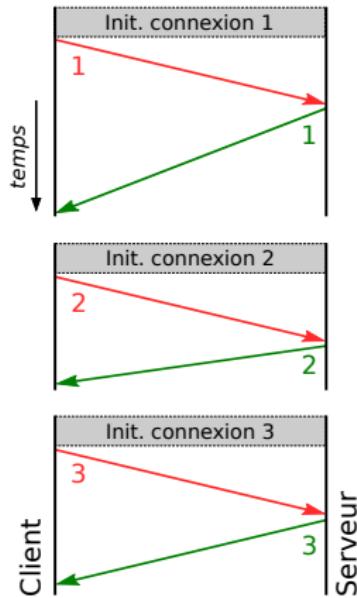
- HTTP est un protocole sans état
- HTTP utilise les services fournis par le protocole de transport TCP
- HTTPS est défini comme la combinaison des protocoles HTTP et TLS
- TLS : Transport Layer Security
  - Successeur de SSL (Secure Socket Layer)
  - Chiffrement et intégrité des données
  - Authentification des entités terminales



## Connexions HTTP

### Connexions non persistantes

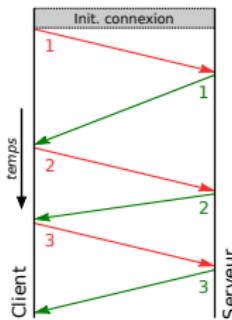
- La connexion TCP est fermée par le serveur après l'envoi d'une réponse
- Au plus un objet est envoyé via une connexion TCP
- Utilisées par HTTP/1.0



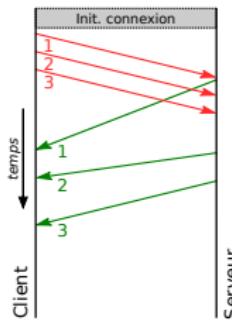
# Connexions HTTP

## Connexions persistantes

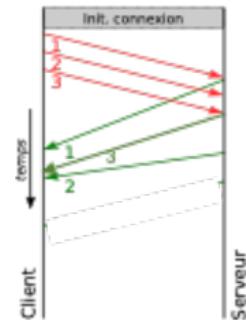
- Plusieurs objets peuvent être envoyés au dessus d'une connexion TCP
- Par défaut depuis la version HTTP/1.1
- Le serveur TCP ferme la connexion quand elle n'est plus utilisée pendant un certain temps
- Série, Pipeline, Multiplexing



HTTP/1.1 série



HTTP/1.1 + Pipelining



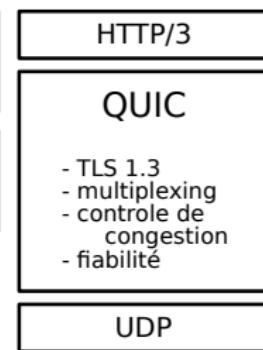
HTTP/2 Multiplexing

## Evolution vers HTTP/3

Applicatif

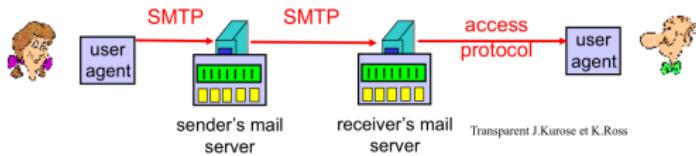


Transport

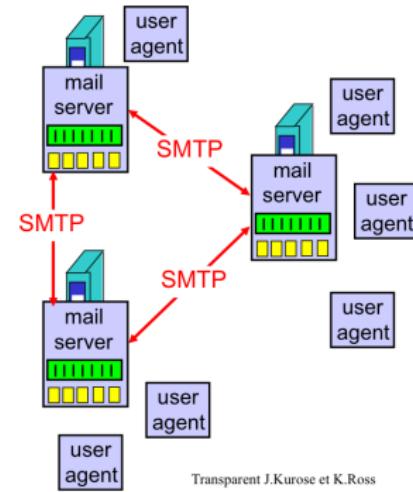
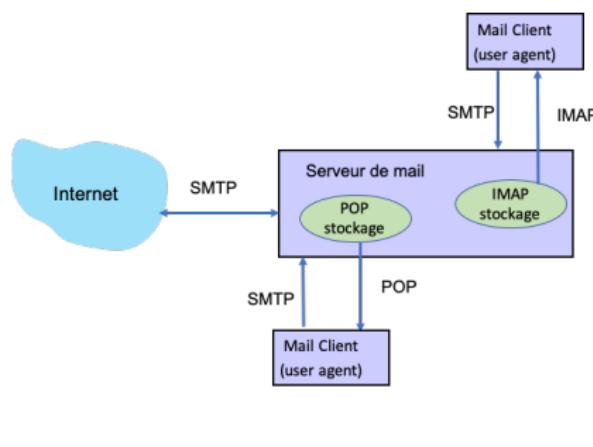


## Messagerie

- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) : rfc821
  - Transfère les messages du serveur de mail d'un émetteur vers le serveur de mail du récepteur
- Protocoles d'accès au mail
  - POP (Post Office Protocol) : rfc1939
    - Permet de récupérer ses mails à distance
  - IMAP (Internet Message Access Protocol) : rfc1730
    - Comme POP mais maintient un répertoire central qui peut être accédé à partir de plusieurs machines
  - via HTTP (webmail)
- User Agent
  - Client Messagerie : Thunderbird, Mail, Outlook,...



## Messagerie



Transparent J.Kurose et K.Ross

## Application Telnet

`telnet hostName [port]`

`telnet neptune.telecommancy.univ-lorraine.fr`

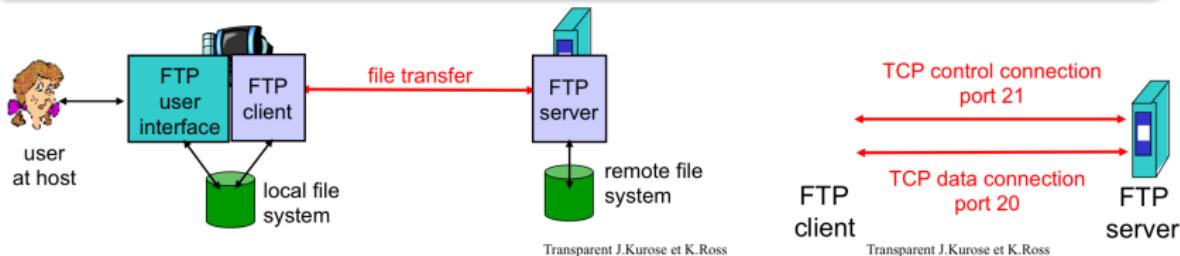
`telnet telecommancy.univ-lorraine.fr 80`

- Connexion sur la machine distante avec une séquence d'authentification (mot de passe) indépendante du système d'exploitation
- Suppose un serveur/daemon telnet à l'écoute sur la machine distante
- Par défaut le port est 23, sinon telnet communique en tcp à travers le port spécifié

Préférer ssh à telnet pour ouvrir une session distance car sécurisée.

## Applications de transfert de fichiers

- ftp [options] hostname/IP adresse
  - File transfer protocol au dessus de TCP/IP, port 20/21
  - Get/put/cd/ !cd/binary/ascii
- tftp hostname/IP adresse
  - Trivial transfer protocol au dessus de UDP/IP
- rpc [options] [user@]hostname :file [user@]hostname :file
  - Suppose une équivalence de host
- scp [options] [user@]hostname :file [user@]hostname :file
  - Transfert de fichiers sécurisé.



## DNS (Domain Name System)

Permet de résoudre l'équivalence nom de machine et adresses IP dans l'Internet

- 193.50.135.38 correspond à l'adresse IP de www.univ-lorraine.fr
- Les noms sont de longueurs variables, mnémoniques
- Les adresses sont de longueurs fixes, liées au routage et faciles à calculer pour les machines hôtes.

## Gestion décentralisée

- L'administrateur gère uniquement les ressources locales
- Mais toutes les ressources sont accessibles

## Système de cache

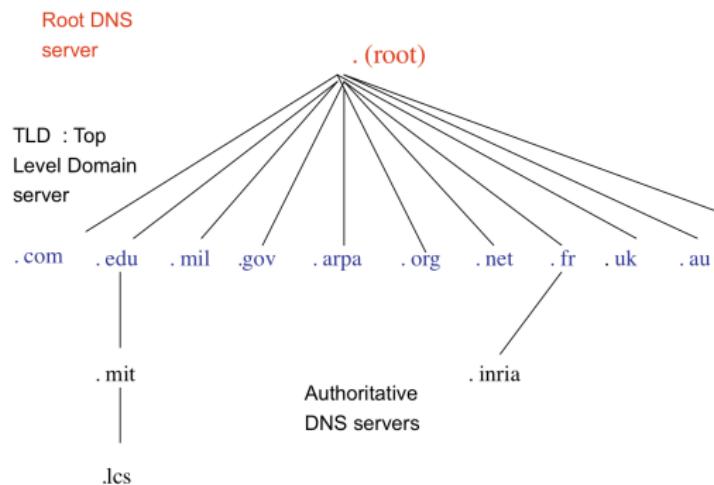
- Gain de temps
- Mais mise à jour lente...

## Structure du DNS

### Espace de nommage du DNS

Niveaux de domaine regroupés dans une structure d'arbre

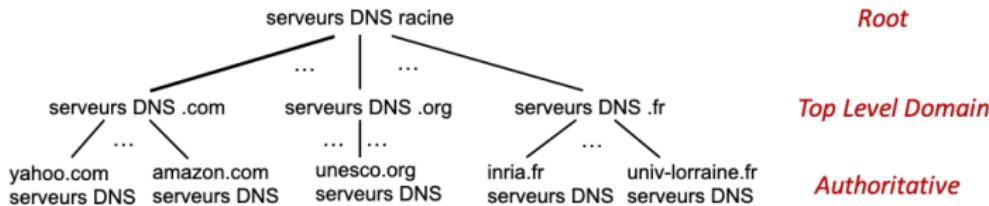
- root
- top-level domain (TLD) : com, mil, net, edu, fr, uk, ...
- Secondary level domains : inria.fr univ-lorraine.fr



## Structure du DNS

### Base de données hiérarchique et distribuée

- A chaque niveau de la hiérarchie est associé un type de serveur :
  - Serveur racine : root DNS server (contact officiel)
  - Serveur de 1er niveau : TLD server
  - Serveur faisant autorité : authoritative server
- Des serveurs locaux ou résolveurs sollicitent la résolution d'une information (nom, adresse) auprès d'un serveur de nom
- Serveurs DNS distribués

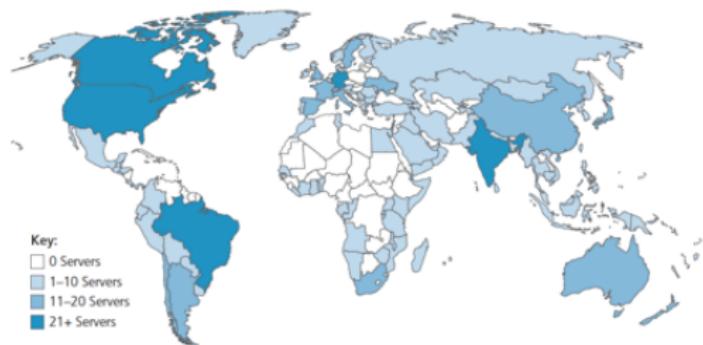


## Zone DNS

- La hiérarchie du DNS est partagée en zone : une zone est une autorité administrative responsable de la portion de la hiérarchie
- Une zone correspond à l'unité d'implantation du DNS : le serveur de nom
- L'information contenue dans une zone est implantée dans au moins deux serveurs de nom :
  - DNS Serveur Primaire
    - Le serveur primaire est mis à jour par l'administrateur système/réseaux
    - Il est gestionnaire d'une zone et ne fait apparaître que des informations locales et des liens aux autres serveurs
  - DNS Serveur Secondaire
    - S'explique pour des raisons de fiabilité
    - Les serveurs secondaires recopient périodiquement leurs informations d'un serveur primaire
    - Recommandation : serveur primaire et secondaire sur des machines/réseaux/sites différents

## Serveurs DNS racine

- 13 serveurs logiques [a-m].root-servers.net gérés par 13 organisations (Verisign, ICANN,...)
- Plus de 400 serveurs répartis dans le monde
- Donner les adresses IP des serveurs TLD



## Client DNS

Doit connaître l'adresse IP du résolveur DNS

- Automatisation avec DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
- Panneau de configuration réseau
- /etc/resolv.conf sous UNIX ou macOS

Commandes pour interroger les serveurs DNS

- nslookup
- dig
- host (Linux et macOS)

```

soyotte ichris 51 % more /etc/resolv.conf
# Fichier resolv.conf de base pour najax (28/5/96)
# domain          loria.fr
nameserver      152.81.1.25    # premy (solaris)
nameserver      152.81.1.17    # lorraine (solaris)
nameserver      152.81.1.18    # hennebique
soyotte ichris 52 %

```

```

MacBook-Pro-de-Isabelle-2:fig isabellechrismst$ nslookup neptune.telecommunity.univ-lorraine.fr
Server:    193.51.196.179
Address:   193.51.196.179#53

Non-authoritative answer:
Name:  neptune.telecommunity.univ-lorraine.fr
Address: 193.50.40.24

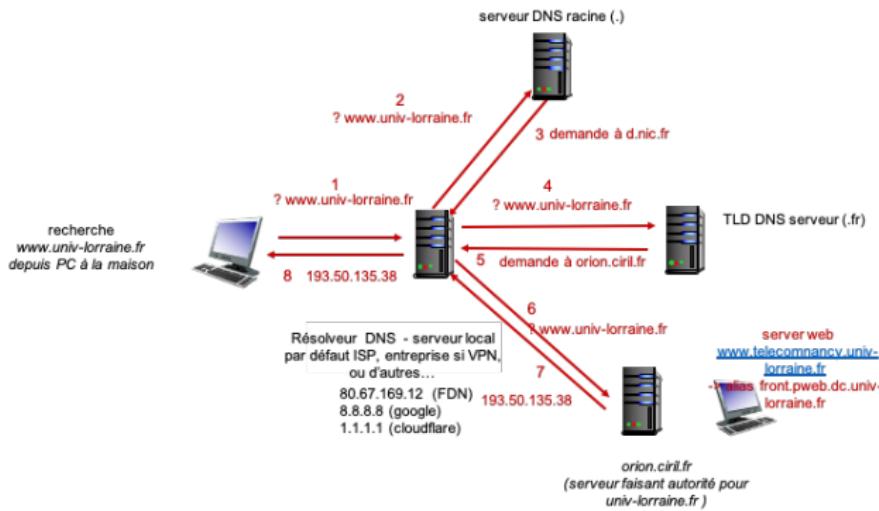
MacBook-Pro-de-Isabelle-2:fig isabellechrismst$ host neptune.telecommunity.univ-lorraine.fr
neptune.telecommunity.univ-lorraine.fr has address 193.50.40.24
MacBook-Pro-de-Isabelle-2:fig isabellechrismst$ 

```

# Résolution de noms DNS

## Approche itérative

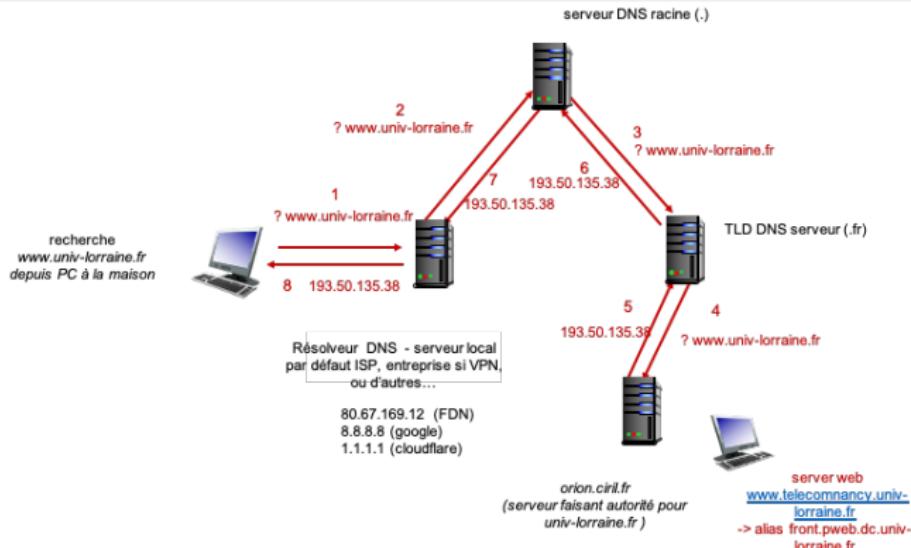
- Le résolveur ensuite interroge de manière itérative d'abord le serveur racine, puis le serveur du top-level, puis celui de deuxième niveau... jusqu'à trouver le serveur faisant autorité pour le nom de domaine recherché



## Résolution de noms DNS

### Approche récursive

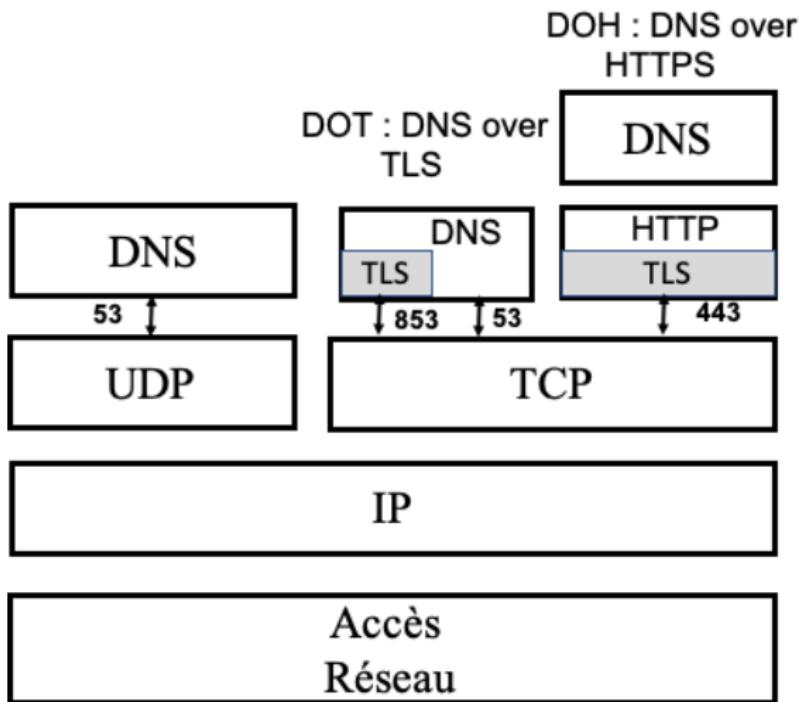
- Le résolveur interroge le serveur racine qui interroge le serveur du top-level qui interroge celui et deuxième niveau ...jusqu'à trouver le serveur faisant autorité pour le nom de domaine recherché



## Enregistrements DNS

- DNS : base de données distribuée stockant des Resource Records (RR)
- RR contient : name, value, type, ttl
- Type=A
  - name : hostname
  - value : adresse IP
- Type=NS
  - name : domaine
  - value : adresse IP d'un serveur de nom "authoritative" pour ce domaine
- Type=CNAME
  - name alias pour un nom "canonical" (réel) www.bar.com est réellement server.backup.bar.com
  - value : nom "canonical"
- Type=MX
  - value : nom du serveur de mail of associated with name (alias)

## DNS, DOT, DOH



- ➊ Introduction et architecture
- ➋ Les applications
- ➌ Le transport des données (TCP/UDP)
- ➍ Le protocole IP et le routage

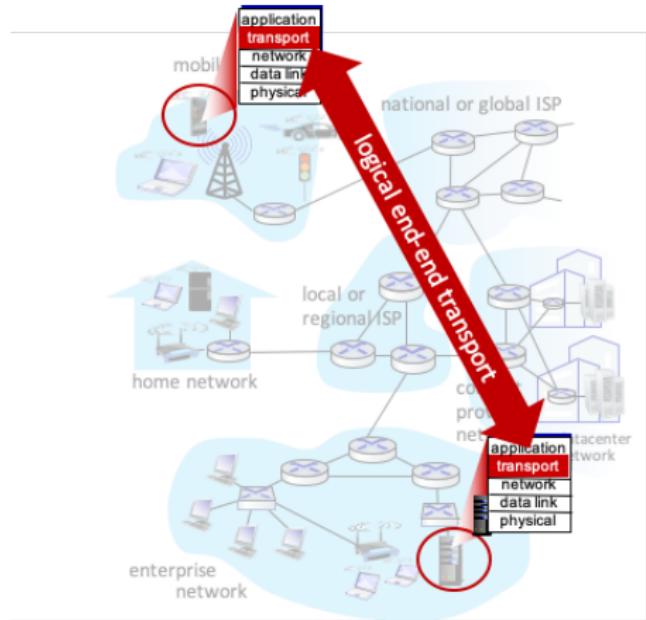
## 4 Transport TCP/UDP

- La couche Transport
- Contrôle d'erreurs et de flux
- Concept de fenêtres
- Acquittements
- Retransmission
- La couche Transport et Internet
- Le protocole UDP
- Le protocole TCP

## La couche Transport

### Services de bout en bout

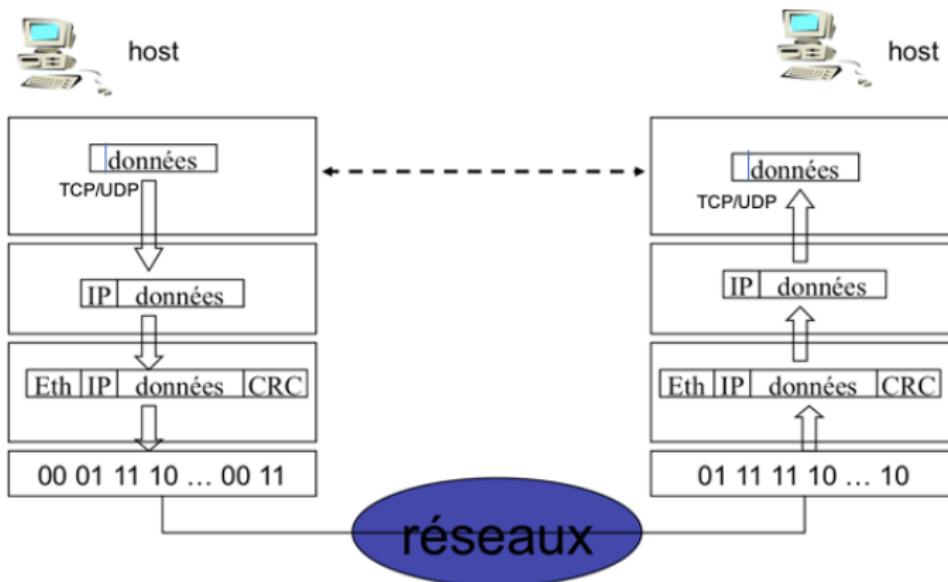
- Peut assurer le contrôle d'erreur
- Peut autoriser le contrôle de flux entre émetteur et récepteur
- Supporte arbitrairement des messages larges
- Supporte plusieurs applications sur la même machine hôte



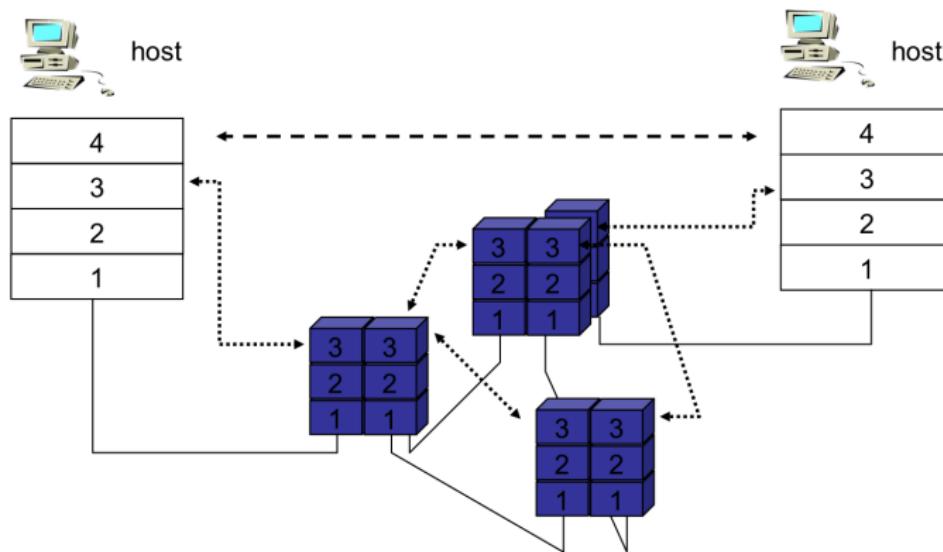
Transport Layer: 3-4

Transparents J. Kurose et K. Ross

## Couche de bout en bout



## Indépendant de la route



## 4 Transport TCP/UDP

- La couche Transport
- **Contrôle d'erreurs et de flux**
- Concept de fenêtres
- Acquittements
- Retransmission
- La couche Transport et Internet
- Le protocole UDP
- Le protocole TCP

## Contrôle d'erreurs

### Mise en place de mécanismes, de protocoles

- Pour garantir la remise des messages et les délivrer dans l'ordre
- Pour délivrer au plus une copie de chaque message
- Pour permettre la fiabilité de la transmission

### Comment ?

- Par la gestion des temporiseurs
- Par la gestion des acquittements
- Par la numérotation des segments

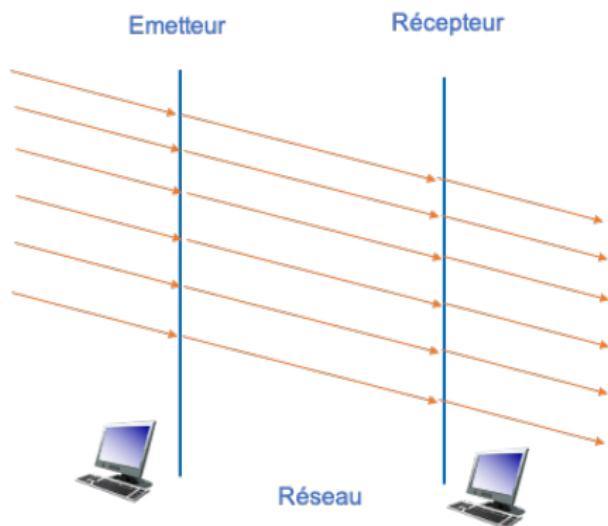
⇒ Analyse de différents protocoles

## Protocole 1

- Hypothèses :

- Le canal est parfait et les données ne circulent que dans un sens
- Les capacités de l'émetteur et du récepteur sont infinies (capacités de stockage)

- Protocole simple et irréaliste

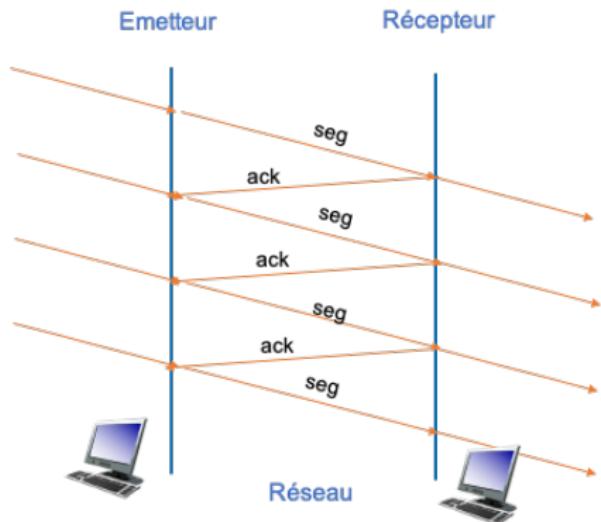


## Protocole 2

- Hypothèses :

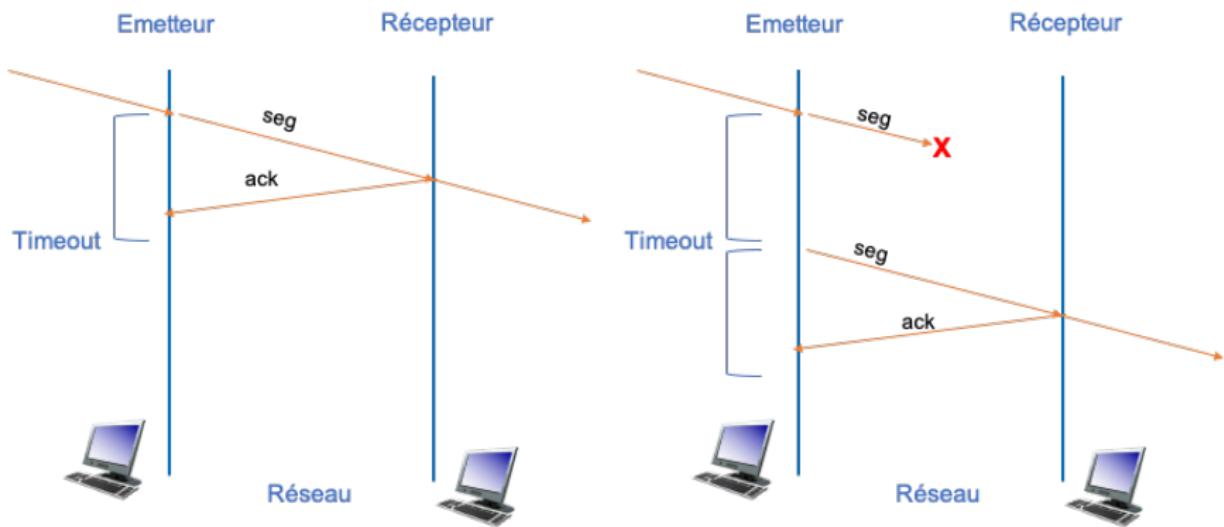
- Le canal est parfait et les données ne circulent que dans un sens
- Les capacités du récepteur ne sont pas infinies (capacités de stockage)

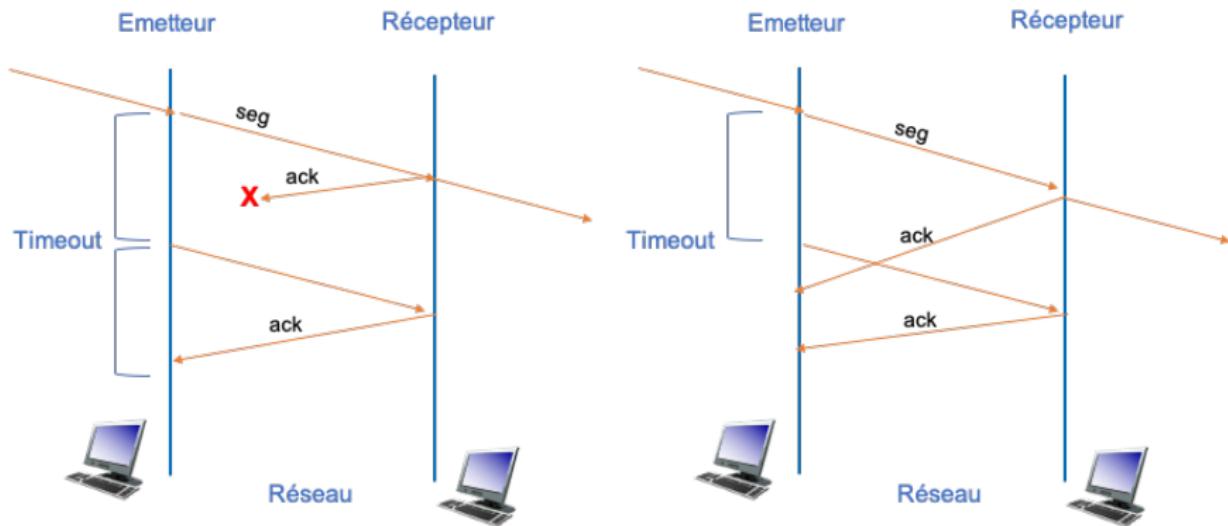
- Contrôler le flux des données entre émetteur et récepteur
- Protocole Envoyer et Attendre : "Stop and Wait"



## Protocole 3

- Hypothèses plus réalistes :
  - Le canal de communication n'est pas parfait
  - Données erronées ou perdues
- Que faut-il modifier dans le protocole précédent ?
  - Ajouter temporisateur
  - Ajouter numérotation de segments



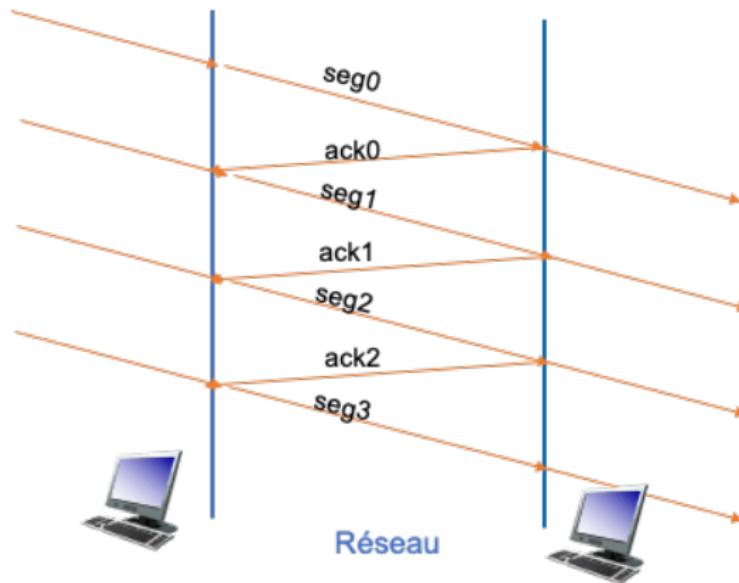


Comment le récepteur détecte que le segment de données est déjà arrivé ?

Comment l'émetteur associe le bon ACK à la donnée envoyée ?

Emetteur

Récepteur

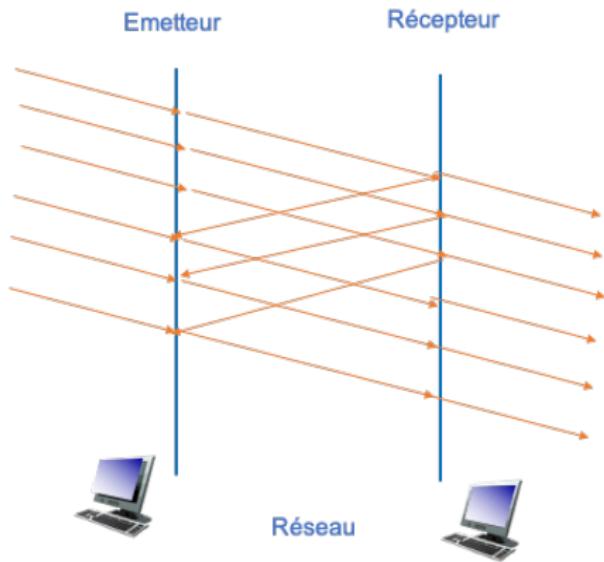


## 4 Transport TCP/UDP

- La couche Transport
- Contrôle d'erreurs et de flux
- **Concept de fenêtres**
- Acquittements
- Retransmission
- La couche Transport et Internet
- Le protocole UDP
- Le protocole TCP

## Protocoles à fenêtre glissantes (sliding window)

- But :
  - Augmenter le taux d'utilisation de la bande passante
  - Autoriser l'émetteur à transmettre plusieurs segments avant de recevoir un acquittement
- Il y a une limite supérieure sur le nombre de segments en attente (envoyés mais non acquittés)

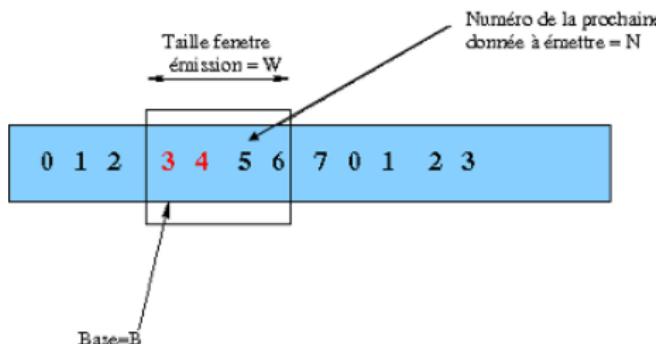


## Concept de fenêtres

- Fenêtre d'émission
- Fenêtre de réception
- La taille des fenêtres peut être fixe ou variable

## Fenêtre d'émission

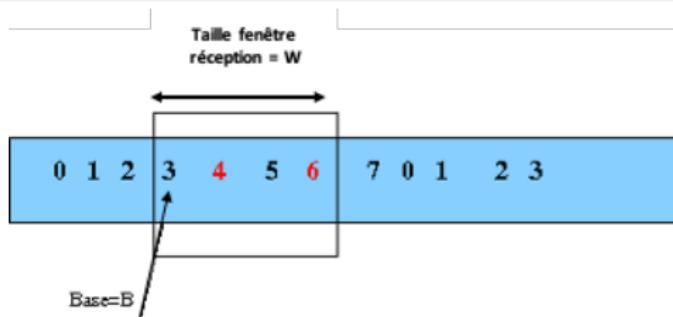
- La liste des numéros de séquence dont l'émission est autorisée
- Taille maximale de la fenêtre d'émission : nombre maximum de segments pouvant être envoyés sans être acquittés
- Les segments non acquittés doivent être stockés par l'émetteur pour pouvoir être retransmis



- $W$  : taille maximale de la fenêtre d'émission
- $[0, B - 1]$  : segments émis et acquittés
- $[B, N - 1]$  : segments émis et non acquittés
- $[N, B + W - 1]$  : segments pouvant encore être émis

## Fenêtre de réception

- La liste des numéros de séquence des segments que l'on attend en réception
- Les segments en dehors de la fenêtre de réception sont rejetés
- Taille = 1
  - Refus de tous les segments sauf celui qui pourra être remis à la couche supérieure
- Si taille > 1 et que des segments intermédiaires se perdent ou sont erronés
  - Le récepteur peut accepter les autres segments et les stocker
  - Un segment ne sera transmis à la couche supérieure que si tous les segments avec un numéro inférieur ont été reçus



## 4 Transport TCP/UDP

- La couche Transport
- Contrôle d'erreurs et de flux
- Concept de fenêtres
- **Acquittements**
- Retransmission
- La couche Transport et Internet
- Le protocole UDP
- Le protocole TCP

## Type d'acquittements

- Acquittements ACK x
  - on précise que le segment x a été reçu
- Acquittements cumulatifs (cumulative ACKnowledgment) ACK x
  - x = numéro du dernier segment reçu en séquence
  - x = numéro du prochain segment à recevoir
- Acquittements négatifs (Negative ACKnowledgment) NACK x
  - on précise explicitement que le segment x n'a pas été reçu
- Acquittements sélectifs (Selective ACKnowledgment) SACK
  - on précise un ensemble d'intervalles dans lesquels les segments ont été reçus

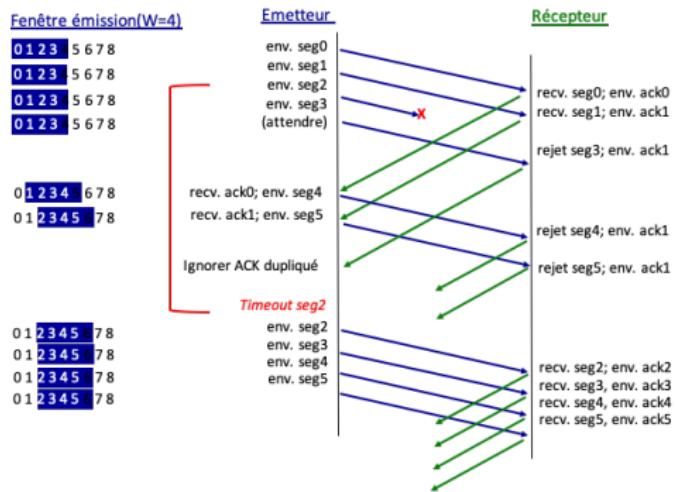
## 4 Transport TCP/UDP

- La couche Transport
- Contrôle d'erreurs et de flux
- Concept de fenêtres
- Acquittements
- **Retransmission**
- La couche Transport et Internet
- Le protocole UDP
- Le protocole TCP

## Type de retransmission

### Protocole Go-Back-N

- Si timeout pour segment  $k$ , alors renvoyer  $k, k+1, \dots$
- Simple à implanter
- Pas de ressources spécifiques au niveau du récepteur

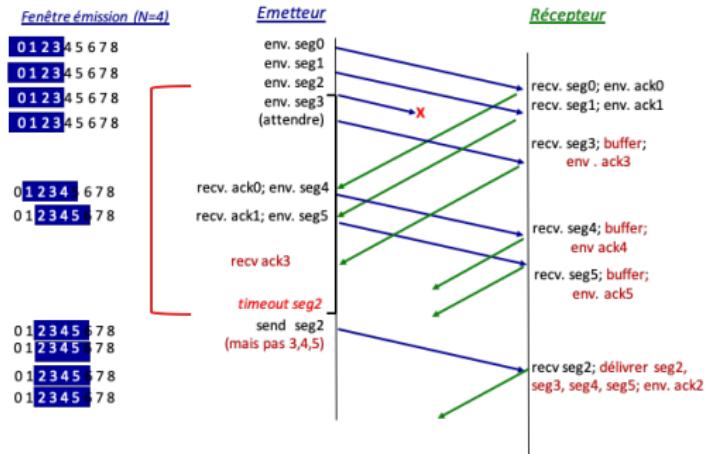


Transparent J. Kurose et K. Ross

# Type de retransmission

## Protocole Selective Repeat

- Si timeout pour segment k, alors renvoyer uniquement k
- Plus difficile à implanter
- Le récepteur doit mettre en œuvre le rejet sélectif
- Plus efficace si plus d'erreurs de transmission



Transparent J. Kurose et K. Ross

## 4 Transport TCP/UDP

- La couche Transport
- Contrôle d'erreurs et de flux
- Concept de fenêtres
- Acquittements
- Retransmission
- **La couche Transport et Internet**
- Le protocole UDP
- Le protocole TCP

## La couche Transport et Internet

Un service réseau : protocole + numéro de port

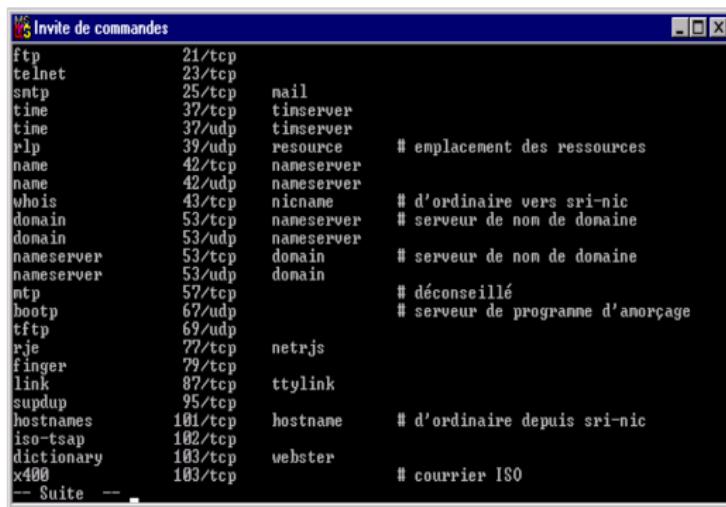
- FTP : TCP/21 ou 20
- HTTP : TCP/80

Deux protocoles de transport au dessus de IP

- TCP (Transmission Control Protocol) : protocole orienté connexion
- UDP (User Datagram Protocol) : protocole sans connexion

## Détermination des ports

- Faits par ICANN
- Sur Unix : /etc/services
- Sur NT : C :\Winnt\System32 \drivers \etc \services



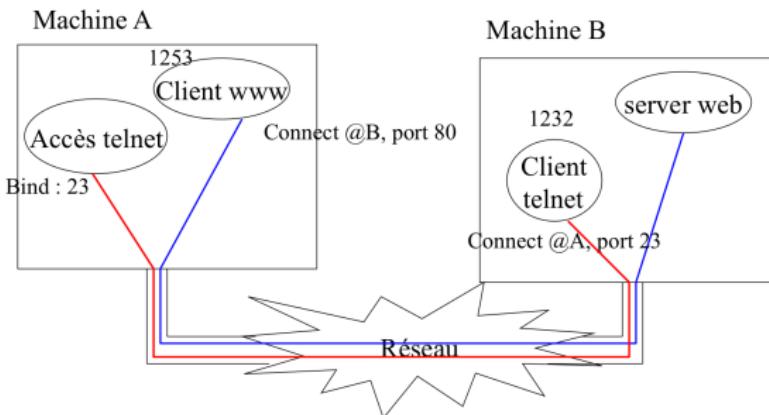
```
Invite de commandes

ftp          21/tcp
telnet       23/tcp
sntp          25/tcp      mail
time          37/tcp      timserver
time          37/udp     timserver
rlp           39/udp     resource  # emplacement des ressources
name          42/tcp      nameserver
name          42/udp     nameserver
whois         43/tcp      nickname  # d'ordinaire vers sri-nic
domain        53/tcp      nameserver # serveur de nom de domaine
domain        53/udp     nameserver
nameserver    53/tcp      domain    # serveur de nom de domaine
nameserver    53/udp     domain
ntp           57/tcp      # déconseillé
bootp         67/udp     # serveur de programme d'amorçage
tftp          69/udp
rje           77/tcp      netrjs
finger        79/tcp
link          87/tcp      ttylink
supdup        95/tcp
hostnames    101/tcp     hostname   # d'ordinaire depuis sri-nic
iso-tsap     102/tcp
dictionary   103/tcp     webster
x400          103/tcp     # courrier ISO
-- Suite --
```

## Numéro des ports

### Service réseau

- Une adresse IP + Numéro de port
- URL (Unified Ressource Location) ⇒ protocole ://@IP :#port / lieu
  - http ://www.univ-lorraine.fr :80/index.html
  - ftp ://ftp.ripe.net :21

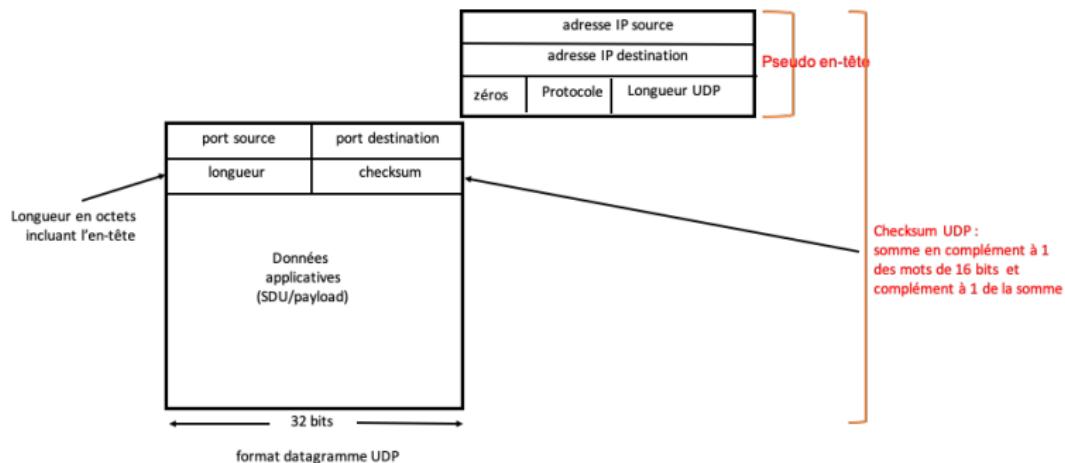


## 4 Transport TCP/UDP

- La couche Transport
- Contrôle d'erreurs et de flux
- Concept de fenêtres
- Acquittements
- Retransmission
- La couche Transport et Internet
- **Le protocole UDP**
- Le protocole TCP

## UDP (User Datagram Protocol) RFC 768

- Service datagramme non fiable et non ordonné
- Ajoute multiplexage/démultiplexage
  - Pour délivrer les paquets à la bonne application
- Pas de contrôle de flux
- Checksum optionnel



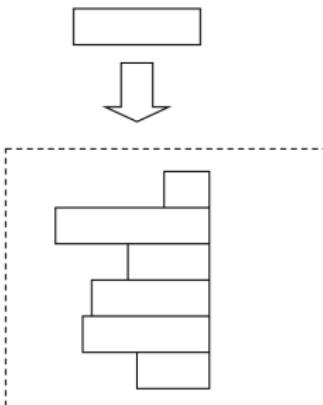
## 4 Transport TCP/UDP

- La couche Transport
- Contrôle d'erreurs et de flux
- Concept de fenêtres
- Acquittements
- Retransmission
- La couche Transport et Internet
- Le protocole UDP
- **Le protocole TCP**

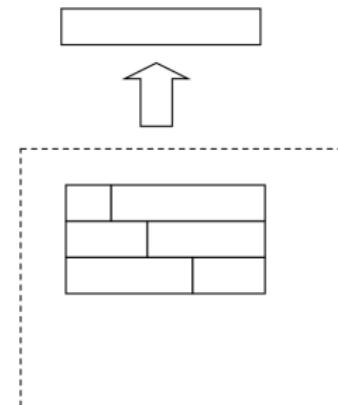
## TCP (Transmission Control Protocol) RFC 793

- Orienté connexion
- Byte-stream : TCP découpe les données en segments d'octets et les envoie via IP
- Full duplex
- Contrôle de flux
- Contrôle de congestion
- Contrôle d'erreurs et de pertes

## Application



## Application



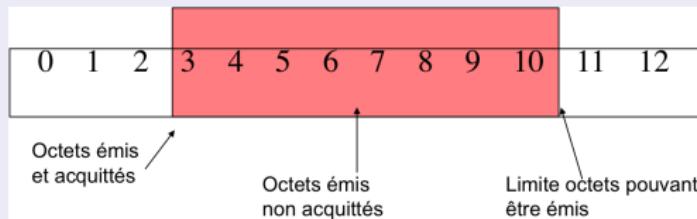
Buffers  
E/S



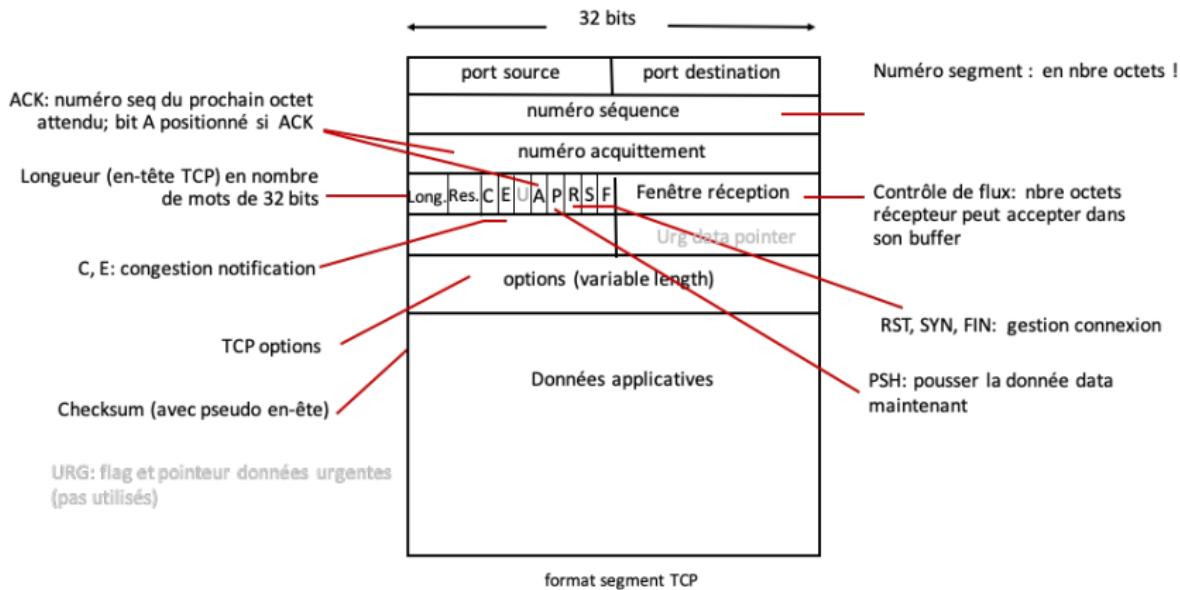
## Protocole TCP

### Utilise un mécanisme de sliding window

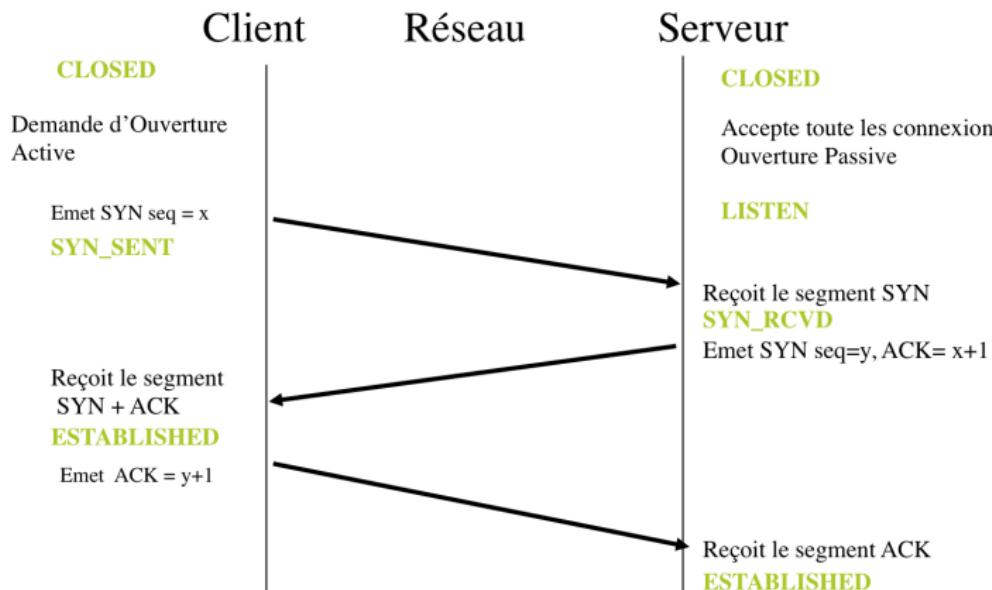
- Au niveau de l'octet
- Numérotation séquentielle des octets
- L'émetteur utilise 3 pointeurs



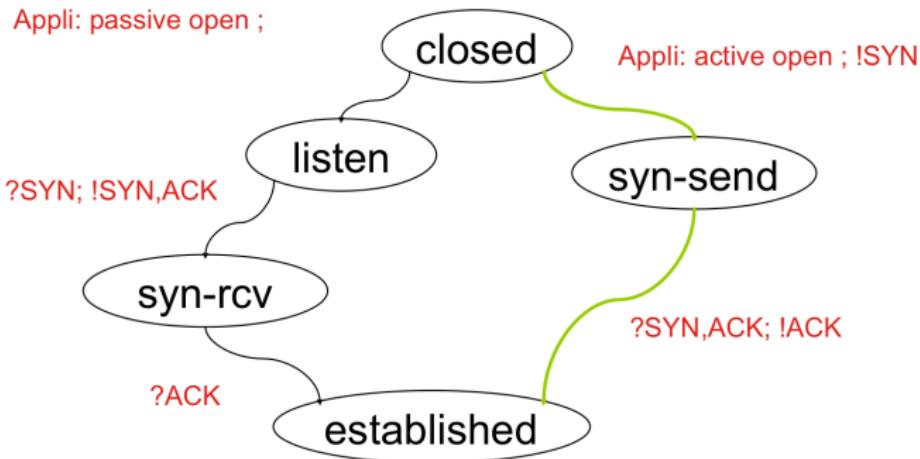
## En-tête TCP



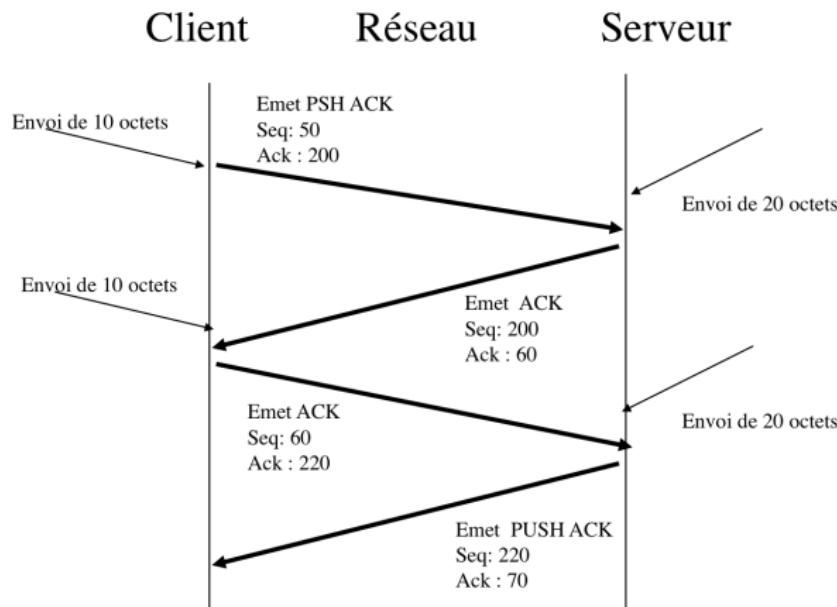
## TCP Etablissement d'une connexion



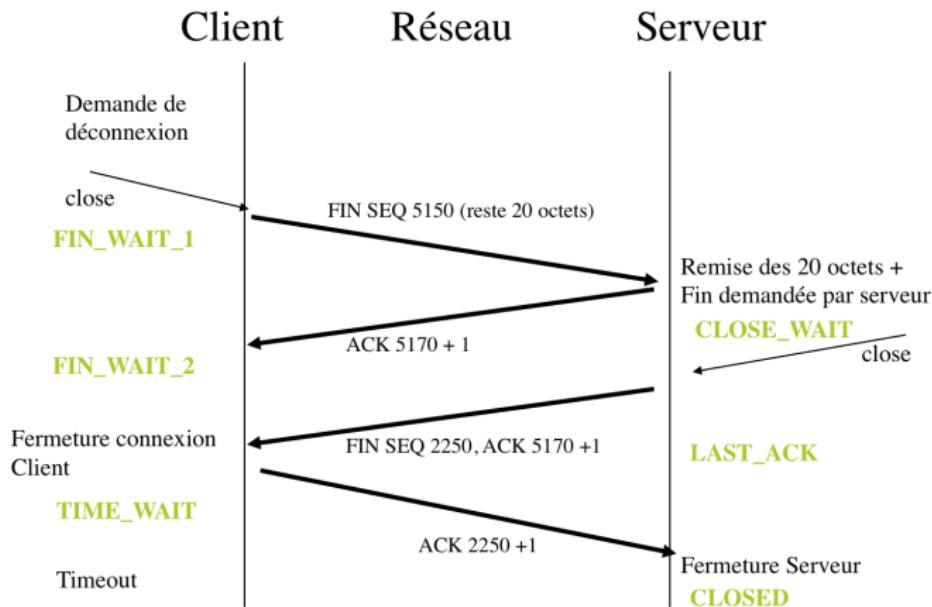
## Automate TCP



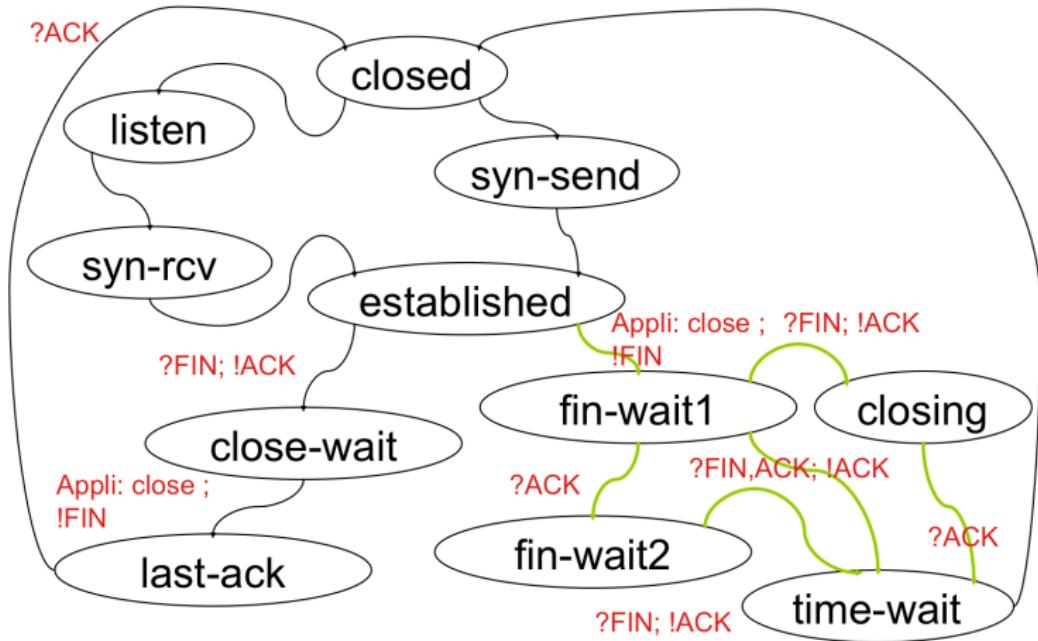
## TCP Transfert de données



## TCP fermeture connexion



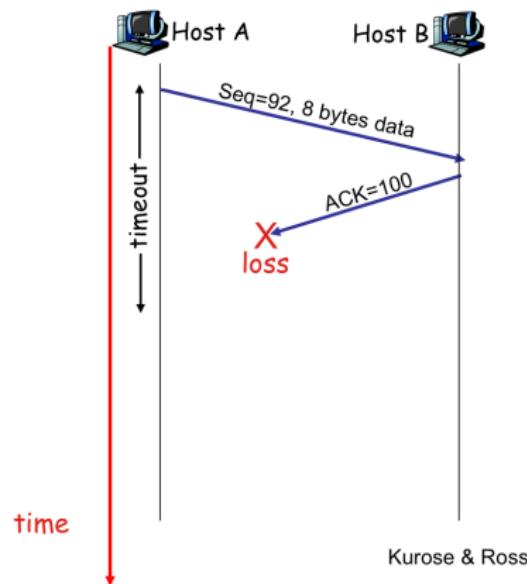
## Automate TCP



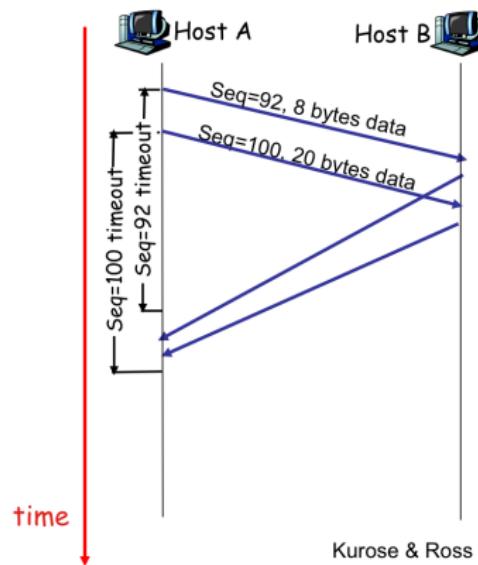
Fermeture passive

Fermeture active

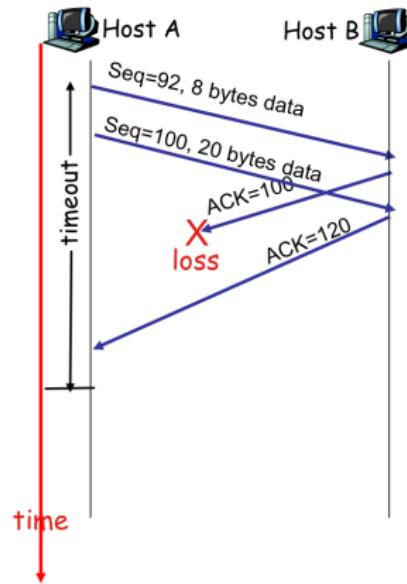
## TCP : scénario de retransmission



## TCP : scénario de retransmission



## TCP : scénario de retransmission



- ➊ Introduction et architecture
- ➋ Les applications
- ➌ Le transport des données (TCP/UDP)
- ➍ Le protocole IP et le routage

## 9 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- Services offerts
- Adressage IP
- Le routage statique et IP
- Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
- Format d'un paquet IP
- ICMP : Le compagnon de IP
- Routage dynamique et IP (introduction)
- Architecture d'un routeur CISCO

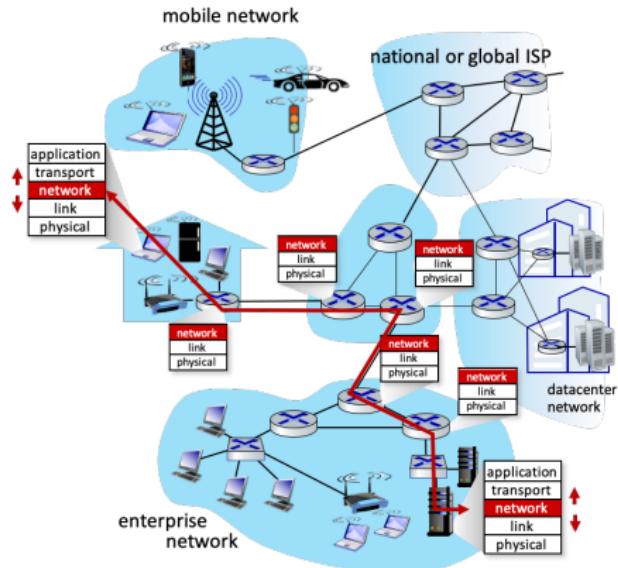
## La couche Réseau

### Adressage et Routage

- Adresse : suite d'octets qui identifie un noeud normalement unique
- Routage : déterminer comment "forwarder" des messages vers le nœud destination en se basant sur son adresse
- Type d'adresses :
  - unicast : spécifique au nœud
  - broadcast : tous les nœuds du réseau
  - multicast : un sous-ensemble des nœuds du réseau

## La couche Réseau

- Chaque station/routeur est identifié(e) par une adresse réseau indépendante du type de liaison de données
- Le routeur achemine les paquets depuis une source vers une destination en traversant des routeurs intermédiaires (WAN)
- Le routeur permet de séparer des domaines de broadcast (LAN)



## Le Routage

### Commutation et routage

- Commutation : sélectionner un port de sortie en fonction de l'adresse destination et de la table de routage
- Routage : processus par lequel la table de routage est construite et maintenue (statique/dynamique)

### Le Réseau est vu comme un graphe

Problèmes :

- Déterminer les chemins disponibles
- Sélectionner le "meilleur" (le plus optimal)
- Ajuster les formats des paquets pour s'adapter à la technologie sous-jacente (MTU = Maximum Transmission Unit)

## 5 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- **Services offerts**
- Adressage IP
- Le routage statique et IP
- Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
- Format d'un paquet IP
- ICMP : Le compagnon de IP
- Routage dynamique et IP (introduction)
- Architecture d'un routeur CISCO

## Services offerts par la couche réseau

### Service orienté connexion et fiable

- Approche des opérateurs de télécoms = circuits virtuels
- La complexité est dans le réseau
  - Établissement explicite de la phase de connexion (et de la terminaison)
  - Les paquets suivent le même circuit (appel téléphonique)
  - Appelé le modèle orienté connexion
  - Chaque commutateur maintient un circuit virtuel
  - Exemple de réseau : X25 (circuit virtuel commuté et permanent) date des années 70s

## Services offerts par la couche réseau

### Service sans connexion et non fiable

- Approche choisie par l'Internet = datagramme
- Réduire la complexité dans le réseau
- Protocole Internet : IP (rfc791)
- Chaque paquet est émis de manière indépendante (la poste)
- Les paquets peuvent :
  - se perdre, arriver en désordre et être dupliqués
  - les erreurs sont gérées par les couches supérieures
  - chaque commutateur maintient une table de routage

# Internet

## Historique

- Recherches du DARPA(Defense Advanced Research Agency)
- ARPANET : ancêtre de l'Internet
- Un des premiers réseaux à commutation de paquets dans les années 70
- En 1980 mise en place de TCP/IP

## IP : Internet Protocol

- Transporte des datagrammes de bout en bout
- Un datagramme contient l'adresse IP de l'émetteur et l'adresse IP du destinataire
- Mode sans connexion et sans aucune garantie IP = Best Effort
- Assure le routage : comment envoyer les paquets
- Assure la fragmentation si nécessaire

## 5 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- Services offerts
- **Adressage IP**
  - Le routage statique et IP
  - Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
  - Format d'un paquet IP
  - ICMP : Le compagnon de IP
  - Routage dynamique et IP (introduction)
  - Architecture d'un routeur CISCO

## Propriétés

- 4 octets (32 bits)
- adresse unique
- hiérarchique : réseau + hôte
  - Adresses IP (réseau id) sont assignées par une autorité centrale
  - La partie hôte id est assignée par le gestionnaire du réseau local
- Configurable par logiciel :
  - ifconfig (UNIX)
  - ipconfig (NT) ou panneau de configuration
- Associée à chaque interface réseau

## Affectation de l'adresse IP

- Une machine hôte obtient son adresse du bloc IP de son organisation
- Une organisation obtient un bloc d'adresse IP à partir du bloc d'adresse de son ISP
- Un ISP obtient son bloc d'adresse de son propre provider ou de l'un des cinq RIRs (Regional Internet Registries) :
  - ARIN :American Registry for Internet Numbers
  - RIPE : Réseaux IP Européens
  - APNIC : Asia Pacific Network Information Center
  - LACNIC : Latin America and Caribbean Network Information Center
  - AFRINIC : African Network Information Center
- Les adresses IP sont gérées sous l'autorité de l'ICANN (Internet Cooperation for Assigned Names and Numbers)

## Format

Bits de poids Fort	Format	Classe
0	7 réseau + 24 hôte	A
10	14 réseau + 16 hôte	B
110	21 réseau + 8 hôte	C
1110	28 numéros multipoint	D
1111	expérimental	

- Ancien concept de classe
- "Dot notation" : 138.96.24.89, 255.255.255.255

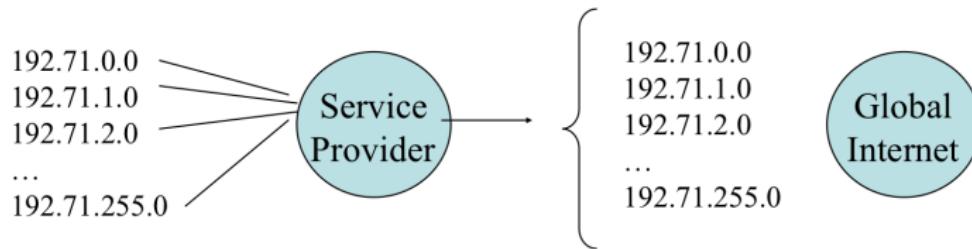
## CIDR (Classless InterDomain Routing)

Introduit en 1995 qui a permis de résoudre :

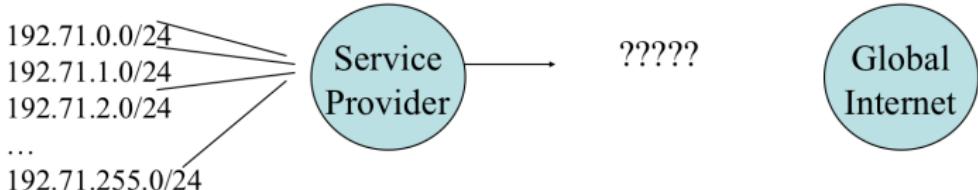
- Épuisement classe B
    - Allocation de plusieurs réseaux de classe C
  - Explosion des tables de routage
    - Numéros contigus
    - Coordination de l'allocation des adresses
      - Par continent
      - Par fournisseur
- Multirégionales 192.0.0.0  
193.255.255.255
  - Europe 194.0.0.0 195.255.255.255
  - Amérique du Nord 198.0.0.0  
199.255.255.255
  - Amérique du Sud/Centrale 200.0.0.0  
201.255.255.255

## Schéma d'adressage - CIDR Agrégation

Sans CIDR



Avec CIDR



## Adresses Spéciales : RFC 3330

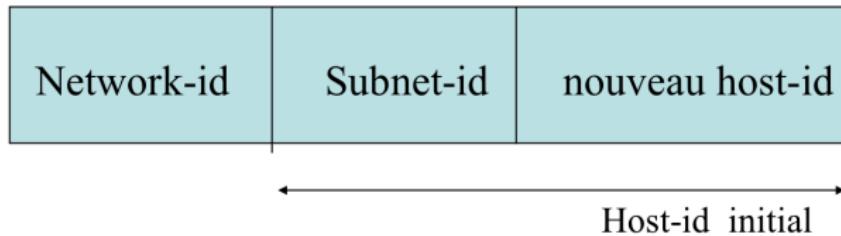
- 0.0.0.0 : un hôte inconnu sur ce réseau ci (source)
- 255.255.255.255 : tous les hôtes (destination)
- 129.34.0.0 : un hôte inconnu du réseau 129.34.0.0 (source) ; réfère au réseau lui-même
- 129.34.255.255 : tous les hôtes du réseau 129.34.0.0 (destination)
- 0.0.0.3 : l'hôte numéro 3 de ce réseau (source)
- 127.0.0.1 : cet hôte (boucle locale)

## Adresses Privées IP (RFC 1918/BCP 0005)

- Pour chaque classe d'adresses des numéros IP privés : non attribués officiellement et ne traversant pas l'Internet
- Bloc de 24 bits : 10.0.0.0/8 de 10.0.0.0. à 10.255.255.255
- Bloc de 20 bits : 172.16.0.0/12 de 172.16.0.0. à 172.31.255.255
- Bloc de 16 bits : 192.168.0.0/16 de 192.168.0.0. à 192.168.255.255

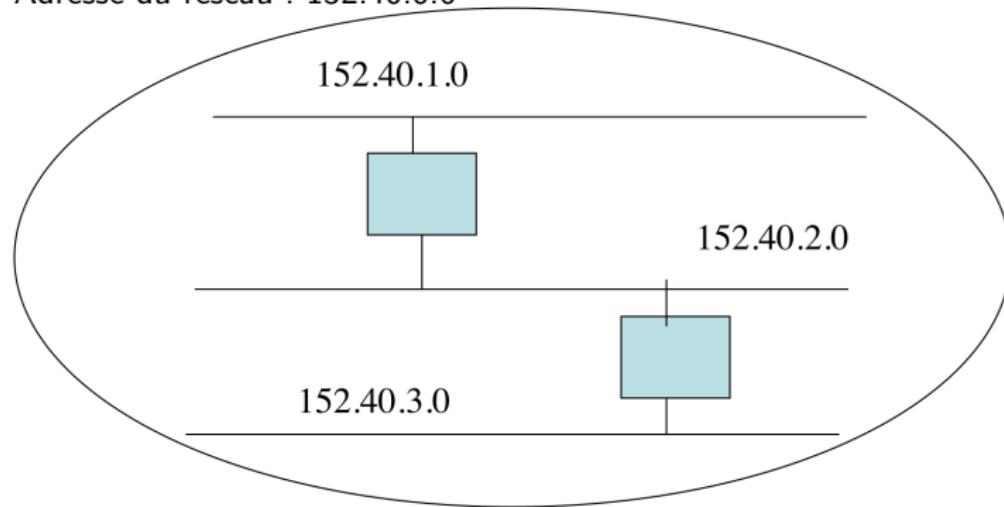
## Sous-réseaux IP

- Découpage d'un réseau en entités plus petites
- Meilleure structuration du site à l'initiative de l'administrateur
- Domaine de broadcast



## Sous-réseaux IP

- Adresse du réseau : 152.40.0.0



## Masque de réseau/sous-réseau

- Appelé aussi Netmask
- Permet de déterminer à quel réseau/sous-réseau appartient l'adresse
- Utilisé dans les tables de routage
- A la même taille qu'une adresse IP (32bits)
  - Les bits à 1 : partie réseau/sous-réseau
  - Les bits 0 : partie machine

## Masque de réseau/sous-réseau

- Est appliqué de la manière suivante :
  - Adresse IP : 129.130.79.85
  - Masque : 255.255.248.0
  - Identificateur sous-réseau : 129.130.72.0
  - Identificateur hôte : 0.0.7.85
- Un réseau de classe B peut être découpé en :
  - 256 sous-réseaux avec 254 hôtes
  - 128 sous-réseaux avec 510 hôtes
  - 64 sous-réseaux avec 1022 hôtes

## Masque de sous-réseaux et CIDR

- L'adressage CIDR est complémentaire de la notion de netmask
- Exemple :
  - 192.44.77.0/24 masque 255.255.255.0
  - 192.44.77.64/26 masque 255.255.255.192
  - 192.44.77.79/26 masque 255.255.255.192
    - Réseau de classe C 192.44.77.0
    - Identificateur sous-réseau 192.44.77.64/26
    - Identificateur machine 0.0.0.15
  - 129.130.79.85 et Masque : 255.255.248.0
    - 129.130.79.85/ ??
    - ???

## Masque de sous-réseaux et VLSM

- VLSM = Variable Length Subnet Mask
- Permet d'avoir plusieurs sous-réseaux de tailles différentes
- Exemple : 192.168.197.0/24 peut se décomposer en :
  - 8 sous-réseaux /28 :
    - 192.168.197.0/28 192.168.197.16/28
    - 192.168.197.32/28 192.168.197.48/28
    - 192.168.197.64/28 192.168.197.80/28
    - 192.168.197.96/28 192.168.197.112/28
  - 2 sous-réseaux /27 :
    - 192.168.197.128/27 192.168.197.160/27
  - 1 sous-réseau /26 :
    - 192.168.197.192/26

## 5 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- Services offerts
- Adressage IP
- **Le routage statique et IP**
- Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
- Format d'un paquet IP
- ICMP : Le compagnon de IP
- Routage dynamique et IP (introduction)
- Architecture d'un routeur CISCO

## Le Routage dans IP

### Direct Delivery

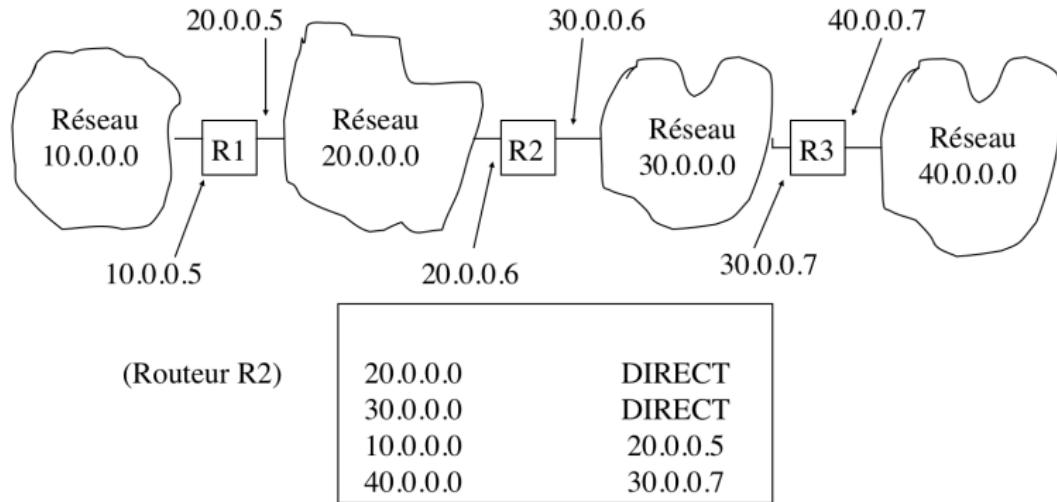
- L'émetteur identifie la destination comme un nœud de son réseau local
- Fait correspondre l'adresse IP avec l'adresse physique et envoie

## Le Routage dans IP

### Indirect Delivery

- L'émetteur identifie la destination comme un nœud d'un autre réseau (ou sous-réseau)
- Lit la table de routage pour trouver le routeur le plus proche (IP adresse)
- Fait correspondre l'adresse IP avec l'adresse physique du routeur
- Envoie le paquet avec l'adresse IP destination dans l'entête

## Tables de routage



## Tables de routage

### Consultation

- Netstat -nr (UNIX/WINDOWS)

Destination	Passerelle	Masque réseau	Interface de sortie

```
MS-DOS Invite de commandes

=====
Liste d'Interfaces
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x2 ...00 50 04 8c f8 d9 ..... 3Com 3C575 Ethernet Adapter
0x3 ...00 00 00 00 00 00 ..... NdisWan Adapter
0x4 ...00 00 00 00 00 00 ..... NdisWan Adapter
=====

Itinéraires actifs :
Destination réseau   Masque réseau   Adr. passerelle   Adr. interface Métrique
          0.0.0.0       0.0.0.0        152.81.1.1     130.79.48.10      1
          127.0.0.0     255.0.0.0        127.0.0.1      127.0.0.1      1
          130.79.48.0    255.255.255.0    130.79.48.10    130.79.48.10      1
          130.79.48.10   255.255.255.255     127.0.0.1      127.0.0.1      1
          152.81.0.0     255.255.240.0    152.81.11.41    130.79.48.10      1
          152.81.11.41   255.255.255.255     127.0.0.1      127.0.0.1      1
          152.81.255.255 255.255.255.255    152.81.11.41    130.79.48.10      1
          224.0.0.0       224.0.0.0        152.81.11.41    130.79.48.10      1
          255.255.255.255 255.255.255.255    152.81.11.41    130.79.48.10      1
=====

Table d'itinéraires

Connexions actives
-- Suite --
```

```
MS-DOS Invite de commandes
127.0.0.0      255.0.0.0      127.0.0.1      127.0.0.1      1
 130.79.48.0    255.255.255.0   130.79.48.10    130.79.48.10    1
 130.79.48.10   255.255.255.255 127.0.0.1      127.0.0.1      1
 152.81.0.0      255.255.240.0   152.81.11.41    130.79.48.10    1
 152.81.11.41   255.255.255.255 127.0.0.1      127.0.0.1      1
 152.81.255.255 255.255.255.255 152.81.11.41    130.79.48.10    1
 224.0.0.0      224.0.0.0      152.81.11.41    130.79.48.10    1
255.255.255.255 255.255.255.255 152.81.11.41    130.79.48.10    1
=====
Table d'itinéraires
Connexions actives
Proto  Adresse locale        Adresse extérieure       Etat
TCP    127.0.0.1:1026        127.0.0.1:1052        ETABLIE
TCP    127.0.0.1:1052        127.0.0.1:1026        ETABLIE
TCP    152.81.11.41:1025      152.81.11.13:139      ETABLIE
TCP    152.81.11.41:1028      152.81.11.11:139      ETABLIE
TCP    152.81.11.41:1101      152.81.1.15:139       ETABLIE
TCP    152.81.11.41:1107      152.81.1.16:80        ATTENTE_FERMER
TCP    152.81.11.41:1117      152.81.4.114:23       ETABLIE
Z:\>
```

Telnet - xrousse

Connacter Edition Terminal ?

gustedt	tty3	-	9:01am	7:56m	3.00s	2.71s	xemacs	
ichris	pts/5	hambach	6:02pm	0.00s	0.11s	0.03s	w	
koubaa	pts/3	otain	3:55pm	3:58	25.31s	0.24s	-tcsh	
koubaa	pts/6	otain	3:40pm	2:16m	1:21	1:21	top	
essaidi	pts/1	mogenmoutier	3:33pm	2:26m	0.13s	0.01s	man MPI_Comm_sp	

-----

**IMPORTANT:** pour eviter les piratages, changer TOUT DE SUITE votre mot de passe en utilisant la commande passwd.  
Choisissez un mot de passe IMPOSSIBLE A DEVINER.  
A proscrire absolument: votre nom, votre prenom, le nom de votre equipe, le numero de votre voiture etc.  
Merci...

-----

xrousse ichris 51 % netstat -nr  
Kernel IP routing table

Destination	Gateway	Genmask	Flags	MSS	Window	irtt	Iface
152.81.112.45	0.0.0.0	255.255.255.255	UH	0	0	0	eth1
172.16.226.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	vnnet1
152.81.0.0	0.0.0.0	255.255.240.0	U	0	0	0	eth0
152.81.112.0	0.0.0.0	255.255.240.0	U	0	0	0	eth1
127.0.0.0	0.0.0.0	255.0.0.0	U	0	0	0	lo
0.0.0.0	152.81.1.1	0.0.0.0	UG	0	0	0	eth0

xrousse ichris 52 %

```
Telnet - soyotte
Conneter Édition Terminal ?
soyotte ichris 63 % netstat -nr
Routing Table:
Destination     Gateway         Flags  Ref  Use   Interface
-----          -----         -----
152.81.0.0      152.81.4.114    U      3    5990  1e0
224.0.0.0       152.81.4.114    U      3      0  1e0
default         152.81.1.1      UG     0    182
127.0.0.1       127.0.0.1      UH     0   1612  100
soyotte ichris 64 % ifconfig -a
lo0: flags=849<UP,LOOPBACK,RUNNING,MULTICAST> mtu 8232
      inet 127.0.0.1 netmask ff000000
le0: flags=863<UP,BROADCAST,NOTRAILERS,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
      inet 152.81.4.114 netmask ffffff00 broadcast 152.81.15.255
soyotte ichris 65 %
```

## 5 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- Services offerts
- Adressage IP
- Le routage statique et IP
- Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
- Format d'un paquet IP
- ICMP : Le compagnon de IP
- Routage dynamique et IP (introduction)
- Architecture d'un routeur CISCO

## Correspondances Adresses

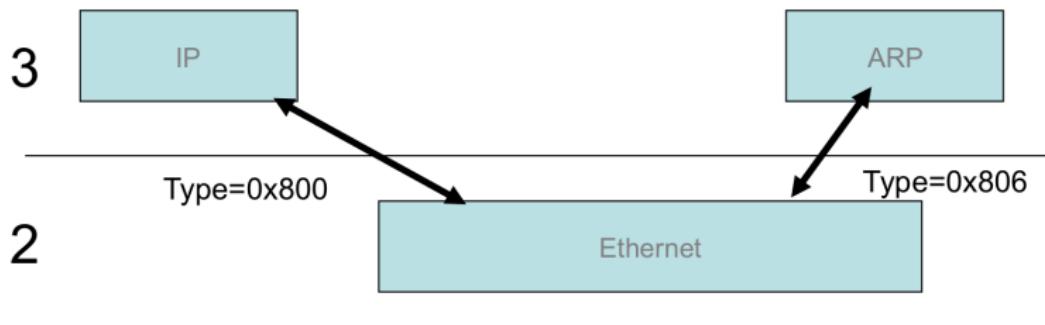
- Pour dialoguer avec une autre machine, il faut connaître :
  - sa propre adresse de liaison (adresse Ethernet), sa propre adresse IP
  - l'adresse IP et l'adresse liaison (Ethernet) de la machine cible

Eth. @	Eth. @	IP @	IP @	
--------	--------	------	------	--

- L'adresse de liaison du destinataire est obtenue par le protocole de résolution d'adresse ARP ( $\Rightarrow$ broadcast)
- L'adresse IP : utilisateur, répertoire adresse (/etc/hosts), service annuaire (NIS,DNS)

## ARP (Address Resolution Protocol) : RFC 826

- Le protocole ARP permet à une machine de trouver l'adresse physique (MAC) d'une machine localisée sur le même réseau physique, étant donnée l'adresse IP



## ARP (Address Resolution Protocol) : RFC 826

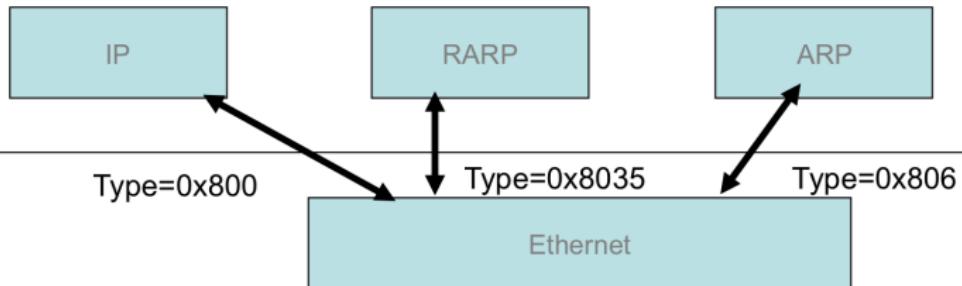
- A envoie une trame incluant l'adresse physique de diffusion, son adresse physique (A), l'adresse de destination IP (C) et l'adresse source IP (A)
- C envoie à A une trame contenant son adresse physique (C) en utilisant l'adresse physique de A
- A et C mémorisent les couples (PA, IPA) et (PC, IPC) dans leur cache (arp -a )

## ARP (Address Resolution Protocol) : RFC 826

- Quand IP passe un datagramme à la couche en dessous, ARP consulte son cache pour voir si la correspondance existe. Dans le cas contraire, ARP remplace le datagramme par un message ARP
- Quand le destinataire n'appartient pas au réseau local :
  - soit le routeur répond à la demande ARP (PROXY ARP)
  - soit personne ne répond, la station A considère que le destinataire appartient à un réseau par défaut
  - utilisation des tables de routage

## RARP (RFC 903)

- Le protocole RARP (Reverse Address Resolution Protocol) permet à une machine de trouver son adresse IP, étant donnée son adresse physique : cas du démarrage d'une station de travail sans disque dur
  - ① La station demande : Voici mon adresse Ethernet. Quelqu'un connaît-il mon adresse IP ?
  - ② Le serveur RARP capte cette demande, consulte les adresses physiques dans ses fichiers de configuration et renvoie l'adresse IP correspondante



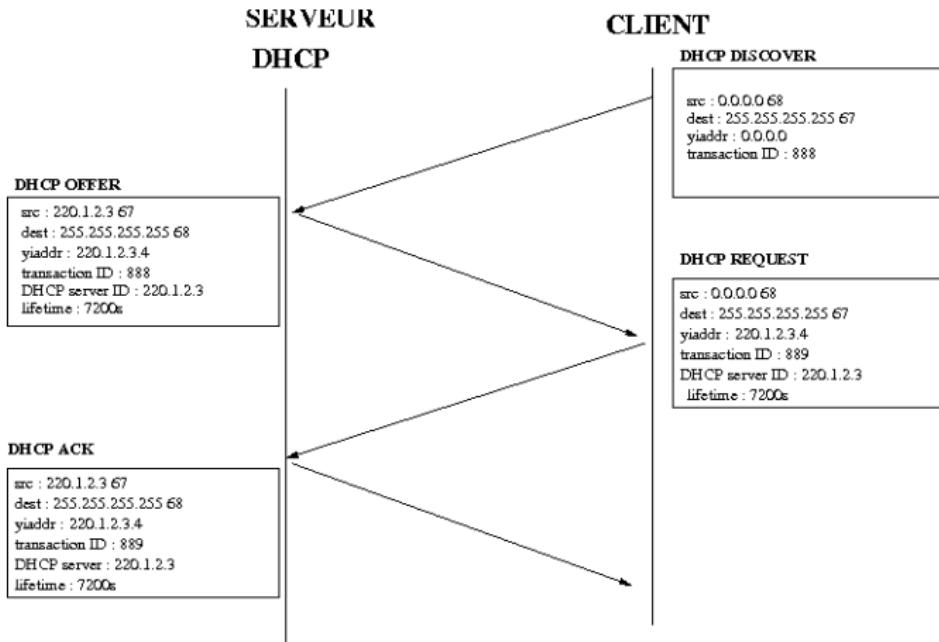
## Le protocole BOOTP (rfc 951, 1048 et 1084)

- Utilise des messages UDP qui peuvent traverser des routeurs.
- Dans la phase de démarrage, seules l'adresse IP de diffusion (255.255.255.255) et l'adresse par défaut (0.0.0.0) sont utilisées
- Permet à une machine sans disque de découvrir son adresse IP, l'adresse d'un serveur et le nom d'un fichier à charger en mémoire
- L'opération de *bootstrap* est composée de 2 phases :
  - ① Détermination de l'adresse IP et sélection du fichier de boot
  - ② Transfert du fichier : protocole TFTP (Trivial FTP)

## Le protocole DHCP

- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) est basé sur BOOTP
- BOOTP pré-configurera les adresses IP dans la base de données du serveur
- DHCP permet l'allocation dynamique des adresses réseaux et des configurations des nouveaux nœuds
- DHCP permet la réalllocation des adresses IP par un mécanisme de *leasing*

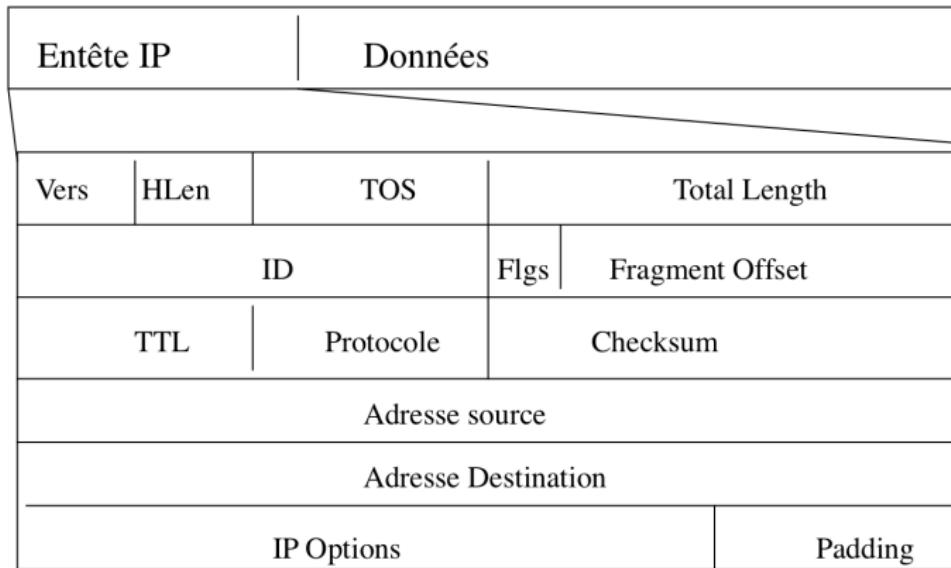
## Le protocole DHCP



## 5 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- Services offerts
- Adressage IP
- Le routage statique et IP
- Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
- **Format d'un paquet IP**
- ICMP : Le compagnon de IP
- Routage dynamique et IP (introduction)
- Architecture d'un routeur CISCO

## Datagramme IP



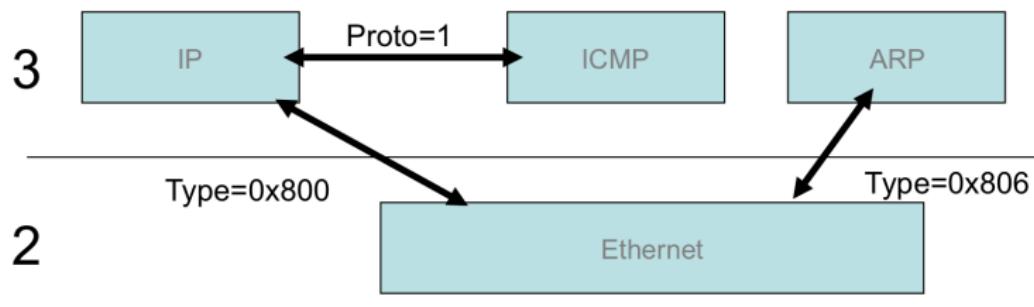
## 5 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- Services offerts
- Adressage IP
- Le routage statique et IP
- Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
- Format d'un paquet IP
- **ICMP : Le compagnon de IP**
- Routage dynamique et IP (introduction)
- Architecture d'un routeur CISCO

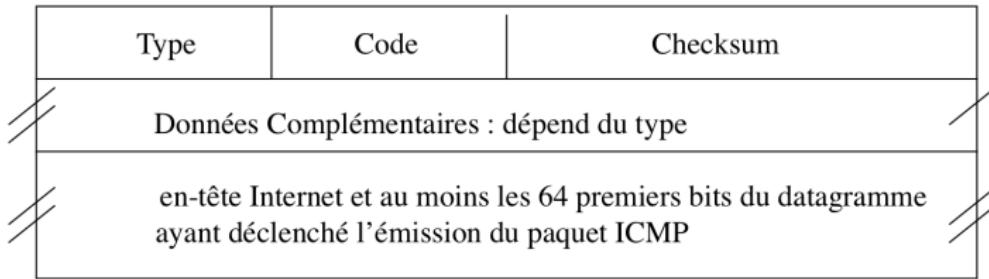
## ICMP (rfc792)

- Internet Control Message Protocol
  - Messages d'indication d'erreur
  - Messages de demandes
- Implanté sur tous les équipements IP
- Message envoyé par l'équipement destinataire ou un routeur intermédiaire
  - Problème dans un datagramme
  - Problème de routage
- Utilisé par ping

## ICMP (rfc792)



## Format d'un paquet ICMP



- Type = 0 : réponse à une demande d'écho (ping)
- Type = 3 : destination non accessible
- Type = 5 : redirection
- Type = 8 : demande d'echo (ping)
- Type = 11 : durée de vie atteint 0

## Traceroute

- Le programme envoie un datagramme IP avec le champ TTL à 1 vers la machine destination
  - Requête UDP
  - Requête ICMP Echo Request
- Le premier routeur envoie un message ICMP "time exceeded"
- Traceroute envoie un datagramme avec un TTL de 2 et ainsi de suite

## Traceroute

Comment déterminer quand la destination est atteinte ?

- En réponse à une requête UDP
  - Traceroute envoie des datagrammes UDP avec un numéro de port improbable
  - Le module UDP de la machine destination envoie un message d'erreur ICMP "port inaccessible"
  - Traceroute doit alors différencier les types de messages ICMP reçus
- En réponse à une requête Echo Request
  - La machine destination envoie un message Echo Reply

## 5 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- Services offerts
- Adressage IP
- Le routage statique et IP
- Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
- Format d'un paquet IP
- ICMP : Le compagnon de IP
- **Routage dynamique et IP (introduction)**
- Architecture d'un routeur CISCO

# Algorithmes de routage dynamique

## Deux algorithmes

- Vecteur de distance
  - Un nœud dit à ses voisins sa distance par rapport à tous les autres nœuds du réseau
- État de liaison
  - Un nœud dit à tous les autres nœuds du réseau sa distance par rapport à ses voisins

## Protocoles de routages

### Protocoles intérieurs

- RIP (Routing Information Protocol) est un protocole à vecteur de distance
- OSPF (Open Shortest Path First Protocol) : protocole à état de liaison recommandé pour remplacer RIP :
  - Load-balancing
  - Authentification
  - Hiérarchie : les domaines sont partitionnés en area

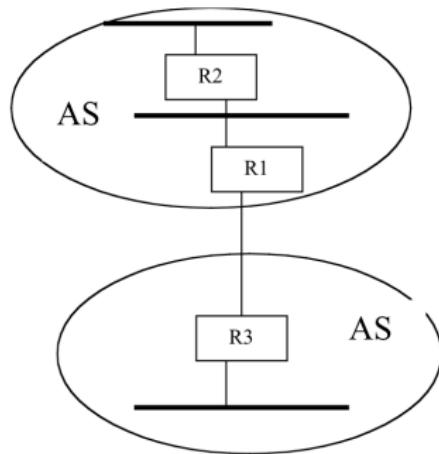
# Protocoles de routages

## Protocoles extérieurs

- EGP (Exterior Gateway Protocol) est un protocole à vecteur de distance
- BGP-4 (Border Gateway Protocol version 4) est un protocole à vecteur de chemin où les vecteurs de distance sont annotés. BGP utilise TCP pour communiquer

## Structuration en système autonomes

- L'Internet est découpé en systèmes autonomes (AS) comprenant chacun un ensemble de routeurs sous une administration unique
- Ces systèmes sont connectés par des routeurs appelés Gateways Externes
- La table de routage est proportionnelle au nombre de routeurs dans l'AS



## 5 Le protocole IP et le routage

- La couche réseau
- Services offerts
- Adressage IP
- Le routage statique et IP
- Correspondance Adressage IP et Adressage MAC
- Format d'un paquet IP
- ICMP : Le compagnon de IP
- Routage dynamique et IP (introduction)
- Architecture d'un routeur CISCO

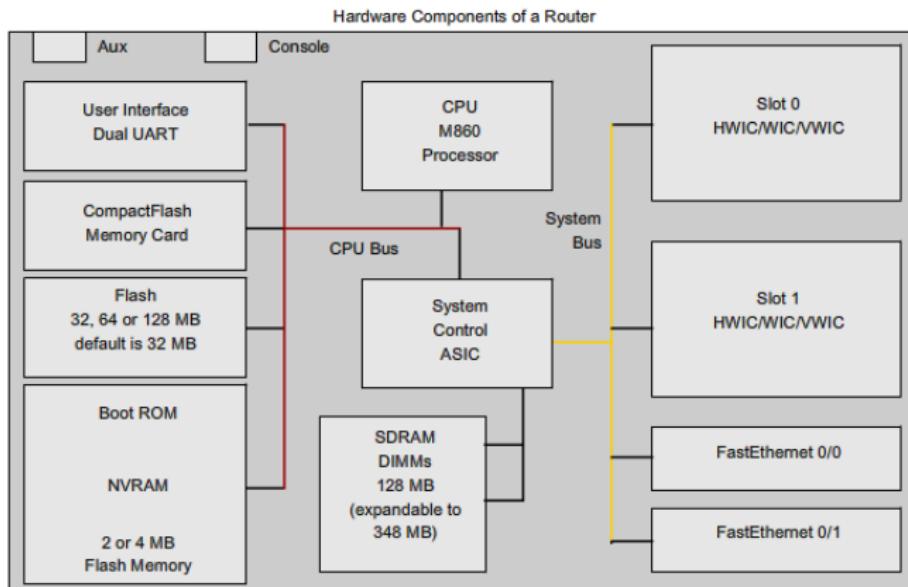
## Vue extérieure d'un routeur



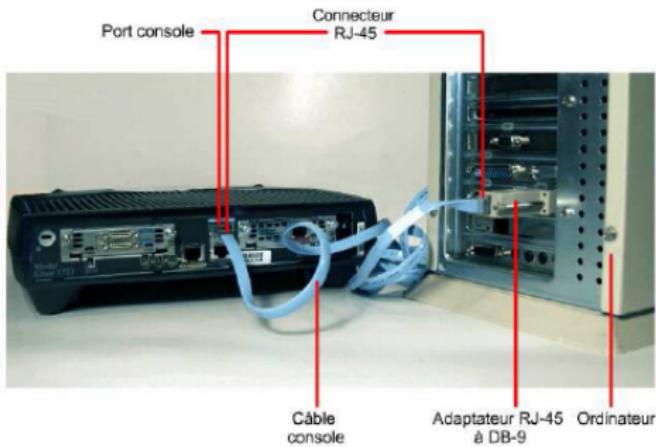
## Vue interne d'un routeur



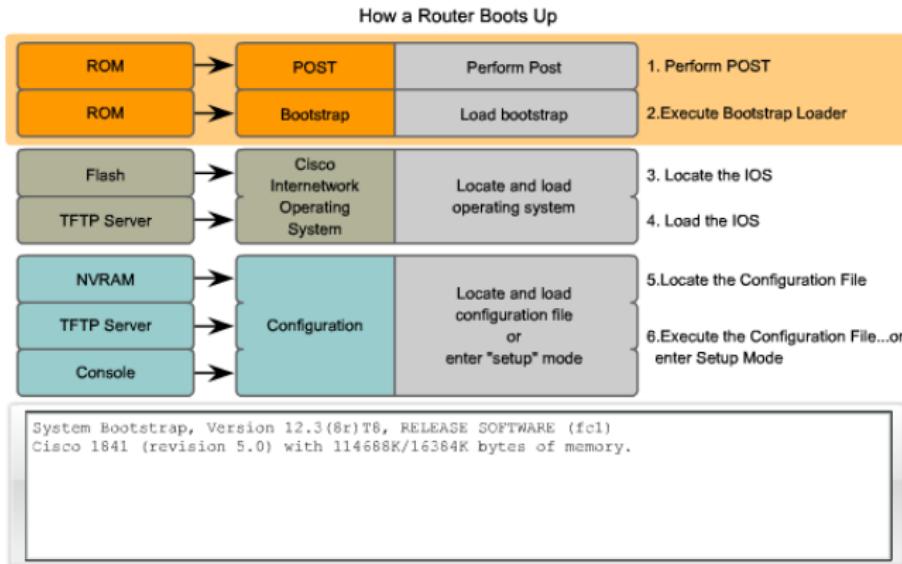
## Lien entre les composants



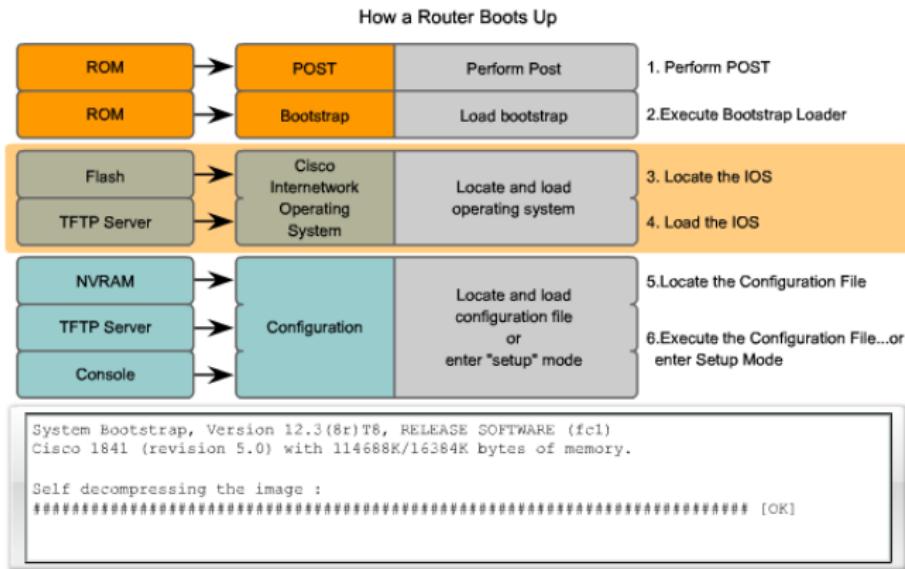
## Accéder au routeur via l'interface console



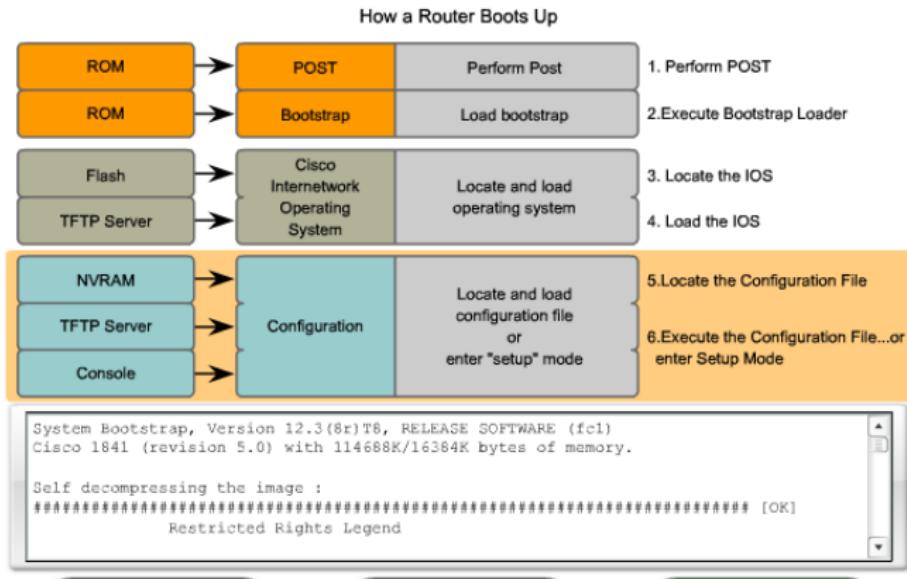
## Phase 1 de démarrage du routeur



## Phase 2 de démarrage du routeur



## Phase 3 de démarrage du routeur



# FIn du démarrage

## How a Router Boots Up

```

Router#show version
Cisco Internetwork Operating System Software
IOS (tm) C2600 Software (C2600-I-M), Version 12.2(28), RELEASE SOFTWARE (fc5)
Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport
Copyright (c) 1986-2005 by cisco Systems, Inc.
Compiled Wed 27-Apr-04 19:01 by miwang
Image text-base: 0x8000808C, data-base: 0x80A1F0CC
ROM: System Bootstrap, Version 12.1(3r)T2, RELEASE SOFTWARE (fc1)

CDATA[Copyright (c) 2000 by cisco Systems, Inc.
ROM: C2600 Software (C2600-I-M), Version 12.2(28), RELEASE SOFTWARE (fc5)
System returned to ROM by reload
System image file is "flash:c2600-i-mz.122-28.bin"
cisco 2621 (MPC860) processor (revision 0x200) with 60416K/5120K bytes of memory.

Processor board ID JAD05190MHz (4292891495)
M860 processor: part number 0, mask 49
Bridging software.
X.25 software, Version 3.0.0.

2 FastEthernet/IEEE 802.3 interface(s)
2 Low-speed serial(sync/async) network interface(s)

32K bytes of non-volatile configuration memory.
16384K bytes of processor board System flash (Read/Write)

Configuration register is 0x2102
Router#

```

IOS version ←

Bootstrap version ←

Model and CPU ←

Amount of RAM ←

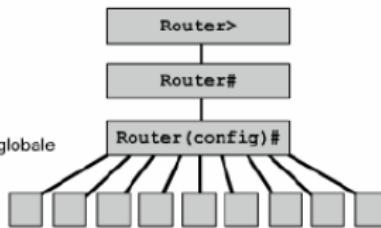
Number and type of interfaces ←

Amount of NVRAM ←

Amount of Flash ←

## Modes de configuration

- Mode utilisateur
- Mode privilégié
- Mode de configuration globale
- Modes de configuration spécifiques



Mode de configuration	Invite
Interface	Router(config-if)#
Sous-interface	Router(config-subif)#
Ligne	Router(config-line)#
Routeur	Router(config-router)#