

Architecture des Réseaux (ARES) 1/5 : Introduction

Olivier Fourmaux (olivier.fourmaux@upmc.fr)

Version 6.2



ARES : Plan du cours 1/5

- ① Présentation de l'U.E. ARES
 - Objectifs de l'U.E.
 - Démarche pédagogique
 - Moyens pédagogiques
- ② Questions administratives
 - Planning
 - Evaluation
- ③ Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - Composants du réseau
 - Hiérarchie protocolaire
 - Exemple avec TCP/IP



ARES : Plan du cours 1/5

- ① Présentation de l'U.E. ARES
 - Objectifs de l'U.E.
 - Démarche pédagogique
 - Moyens pédagogiques
- ② Questions administratives
 - Planning
 - Evaluation
- ③ Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - Composants du réseau
 - Hiérarchie protocolaire
 - Exemple avec TCP/IP



Renforcer ses connaissances en réseau

Approfondir et compléter un cours d'**introduction aux réseaux**

- exemple : cours LI310 de la Licence d'Informatique de l'UPMC
- prérequis techniques et théoriques (supposés acquis) :
 - vocabulaire spécifique
 - introduction au traitement du signal
 - mécanismes protocolaires de base
 - protocoles usuels (HDLC, X25, IP, routage, UDP, TCP)
 - modèle en couches OSI



Maîtriser les technologies de base

Etudier la principale architecture de réseau actuelle ainsi que son environnement ➡ **TCP/IP** et **Internet**

- applications normalisées (Web, DNS, messagerie...)
- mécanismes dynamiques (contrôle de la congestion...)
- adressage IPv4 (CIDR, DHCP, NAT, tunnels...)
- routage avancé (hiérarchie d'AS, OSPF, BGP...)
- support architectures (Ethernet, liaisons point-à-point...)
- boucle locale (CATV, ADSL, FTTH...)



Contenu du cours

Approche *Top down* :

| | |
|-------------------|---|
| Partie 1/5 | Introduction |
| Partie 2/5 | Application : Telnet, FTP, SMTP, HTTP, ... DNS, SNMP, peer-to-peer. |
| Partie 3/5 | Transport : services, exemples UDP et TCP, ... contrôle de congestion. |
| Partie 4/5 | Réseau : IPv4, adressage CIDR, translation... ... routage hiérarchique, OSPF et BGP. |
| Partie 5/5 | Technologies support : Ethernet commuté, ... point-à-point, boucle locale. |



Base pour les autres U.E. de la spécialité RES

U.E. pré-requis pour les **cours de réseaux avancées**

- en M1-S2 pour les étudiants de RES (U.E. obligatoires) ou pour les étudiants des autres spécialités (U.E. libre) :
 - IPv6, multicast, QoS, sécurité ➡ U.E. **ING**
 - mobilité, autonomie, sans-fil ➡ U.E. **MOB**
- en M2 pour les étudiants de RES (PRO/ALT ou RECH) :
 - applications multimédia ➡ U.E. **APMM**
 - transferts multimédia sur réseaux IP ➡ U.E. **MMIP**
 - multimédia et qualité de service ➡ U.E. **MMQoS**
 - routage et routeurs ➡ U.E. **ROUT**
 - sécurité des réseaux ➡ U.E. **SECUR**
 - services mobiles ➡ U.E. **SMOB**
 - supervision de réseaux ➡ U.E. **SUPERV**
 - trafic et contrôle des réseaux ➡ U.E. **TCONT** ...

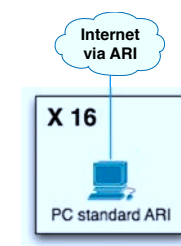


Labs

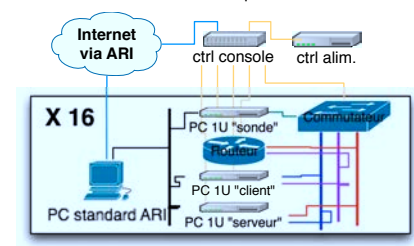
Intégration des *Travaux Dirigés (TD)* et *Travaux sur Machine Encadré (TME)* dans une même séance de 4h : **Labs**

- entrelacement des aspects théoriques et pratiques
- illustration par des exemples concrets sur une plateforme d'expérimentation avec du matériel réseau réel :

Salle M2-RES de 2003 à 2009



Salle M2-RES depuis 2009



Contenu des séances de lab (sous réserves)

| séance | contenu | support |
|--------|---|---------|
| 1 | Introduction à la plateforme des labs | n°1 |
| 2 | Applications (1) : analyse Telnet, FTP et Web | n°2 |
| 3 | Applications (2) : analyse SMTP, DNS, SNMP | n°3 |
| 4 | Transport (1) : analyse des mécanismes | n°4 |
| 5 | Transport (2) : contrôle de congestion | n°5 |
| 6 | Fin des labs précédents, <i>révisions</i> | |
| 7 | Réseau (1) : début IP/ICMP | n°6 |
| 8 | Réseau (2) : fin IP/ICMP | n°6 |
| 9 | Réseau (3) : routage | n°7 |
| 10 | Fin des labs précédents, <i>révisions</i> | |

Plateforme d'expérimentation pour les Labs



Plateforme matérielle d'expérimentation
(utilisation de la salle M2-RES 31 :208).

Chaque binôme a accès à :

- un poste ARI standard
- des équipements réseau dédiés pour réaliser les différentes configurations, captures et analyses :
 - 1 commutateur CISCO
 - 1 routeur CISCO
 - 3 VM sur un PC "rackables" 1U

Organisation de l'enseignement

13 semaines avec :

- 10 * 2h de cours
 - O. Fourmaux
- 10 * (4h de Labs)
 - T. Bourgeau, O. Fourmaux, T. Friedman, R. Hu et K. Thai

Quelques liens utiles...

- site permanent de l'U.E. ARES sur le site du Master :
<http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/ue/MI011>
- site temporel de l'U.E. ARES (nouvelles brèves, planning, supports et autres documents...) :
<http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/2012/ares>

Supports de cours/lab

- traces de trafic réseau (validation des acquis de l'U.E.)
 - réalisées sur la plateforme dans le cadre des labs
 - réalisées par les étudiants (sur la plateforme ou ailleurs...)
 - pré-enregistrées (en cas de panne ou pour travailler de l'extérieur) sur la page web :
<http://www-rp.lip6.fr/~fourmaux/Traces/labV6.html>
- autres supports disponibles sur le site de l'U.E. ARES et sur :
<http://www-rp.lip6.fr/~fourmaux/index-cours.html>
 - transparents de cours
 - sujets des labs (avec des contenus facultatifs)
 - annales
- bibliographie
 - titres disponibles à la bibliothèque Math/Info
➡ préférez les versions originales...

Bibliographie

- James F. Kurose, Keith W. Ross
 - Computer Networking : A Top-down Approach Featuring the Internet**, 6th edition (Pearson, 2013)
- Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall
 - Computer Networks**, 5th edition (Prentice Hall, 2011)
- Douglas Comer
 - Internetworking with TCP/IP** Vol 1 : Principles, Protocols and Architectures, 5th edition (Prentice Hall, 2006)
- Olivier Bonaventure
 - Computer Networking : Principles, Protocols and Practice**, <http://inl.info.ucl.ac.be/CNP3>

Planning provisoire pour 2012-2013

| dates | cours | labs | remarque |
|------------------|-------|------|--------------------|
| 19-25/9 | 1 | — | |
| 26/9-2/10 | 2 | 1 | |
| 3-9/10 | 3 | 2 | |
| 10-16/10 | 4 | 3 | |
| 17-23/10 | 5 | 4 | |
| 24-30/10 | 6 | 5 | |
| 5-9/11 | — | — | Examen Réparti N°1 |
| 31/10 + 12-16/11 | 7 | 6 | |
| 19-23/11 | 8 | 7 | |
| 26-30/11 | 9 | 8 | |
| 3-7/12 | 10 | 9 | |
| 10-14/12 | — | 10 | |
| 7-11/1 | — | — | Examen Réparti N°2 |
| 13-17/5 | — | — | Examen Rattrapage |

ARES : Plan du cours 1/5

- Présentation de l'U.E. ARES
 - Objectifs de l'U.E.
 - Démarche pédagogique
 - Moyens pédagogiques
- Questions administratives
 - Planning
 - Evaluation
- Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - Composants du réseau
 - Hierarchie protocolaire
 - Exemple avec TCP/IP

Emploi du temps

| | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
|-------|-------|-------|----------|-------|----------|
| 08:30 | | | | | |
| 08:45 | | | | | |
| 09:00 | | | | | |
| 09:15 | | | | | |
| 09:30 | | | | | |
| 09:45 | | | | | |
| 10:00 | | | | | |
| 10:15 | | | | | |
| 10:30 | | | | | |
| 10:45 | | | | | |
| 11:00 | | | | | |
| 11:15 | | | | | |
| 11:30 | | | | | |
| 11:45 | | | | | |
| 12:00 | | | | | |
| 12:15 | | | | | |
| 12:30 | | | | | |
| 12:45 | | | | | |
| 13:00 | | | | | |
| 13:15 | | | | | |
| 13:30 | | | | | |
| 13:45 | | | | | |
| 14:00 | | | | | |
| 14:15 | | | | | |
| 14:30 | | | | | |
| 14:45 | | | | | |
| 15:00 | | | | | |
| 15:15 | | | | | |
| 15:30 | | | | | |
| 15:45 | | | | | |
| 16:00 | | | | | |
| 16:15 | | | | | |
| 16:30 | | | | | |
| 16:45 | | | | | |
| 17:00 | | | | | |
| 17:15 | | | | | |
| 17:30 | | | | | |
| 17:45 | | | | | |
| 18:00 | | | | | |

Modalités d'examen

3 examens :

- **Réparti n°1** (application, transport)
- **Réparti n°2** (tout le programme de l'U.E.)
- **Rattrapage** (tout le programme de l'U.E.)

Lors de tous les examens de l'U.E. ARES :

- **équipements électroniques interdits** (mobile, calculatrices...)
- **documents interdits** excepté **une** feuille **A4** manuscrite

Définition

manuscrite : entièrement écrite à la main (pas de photocopies)



Validation de l'U.E. ARES

La semaine suivant l'examen réparti n°2 (**1ère session**) ou l'examen de rattrapage (**2ème session**) :

- affichage des notes **via DBUFR** (après harmonisation)
- consultation des copies
- jurys
 - jury de l'U.E. ARES (validation)
 - jury de spécialité (compensation)
 - jury du Master (final)



Calcul de la note finale de l'U.E. ARES

1ère session : examens répartis (*Reparti1* et *Reparti2*)

$$N_{ARES_1} = 40\%N_{Reparti1} + 60\%N_{Reparti2}$$

si l'U.E. a été validée ($N_{ARES_1} \geq 10$), **rattrapage non autorisé**

2ème session : rattrapage (U.E. non validée à la 1ère session)

- U.E. non validée mais compensée : $N_{ARES_1} < 10$ conservée
 - 2ème session **ssi** inscription **explicite** au secrétariat de RES (demander à repasser l'examen ou refus de la compensation)
- U.E. non validée et non compensée : vous **devez** impérativement passer la 2ème session (sinon $N_{ARES_2} = 0$)

$$N_{ARES_2} = N_{Rattrapage}$$



ARES : Plan du cours 1/5

- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - Objectifs de l'U.E.
 - Démarche pédagogique
 - Moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - Planning
 - Evaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - Composants du réseau
 - Hiérarchie protocolaire
 - Exemple avec TCP/IP



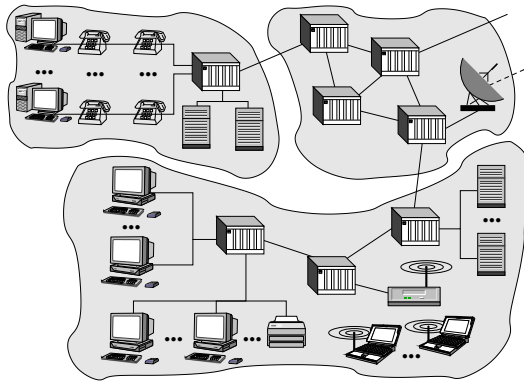
Environnement support pour la suite

Internet

- omniprésent
- hétérogène
- évolutif
- complexe...

⇒ difficile à cerner !

Voyons un exemple :

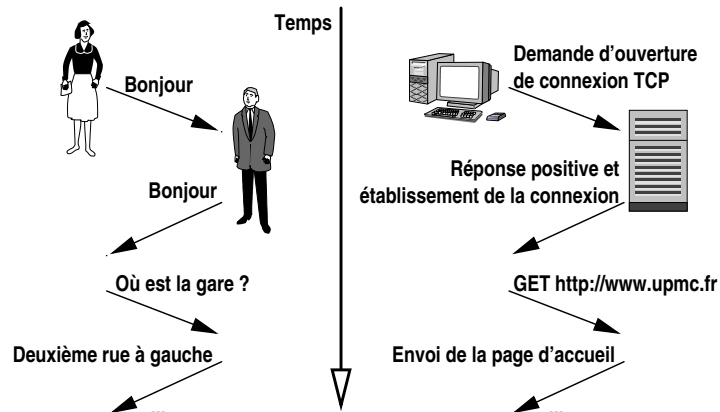


Composition de l'Internet

Quels sont les éléments de base de l'Internet ?

- liens de transmission de données (*communications links*)
- routeurs (retransmission des paquets)
- éléments terminaux (*hosts, end systems*) :
 - station Unix
 - PC traditionnel
 - téléphone mobile
 - *Internet toaster...*
- logiciels de réseau
 - protocoles de communication...

Protocoles : analogie



Protocoles : définition

Définition

Protocole : Description des actions et échanges de messages entre deux (ou plus) entités de communication. Le format, le codage et le séquençement des messages utilisés y sont spécifiés.

- Remarque
 - **toute activité entre plusieurs entités de l'Internet utilise des protocoles**
 - nous étudierons principalement des protocoles dans la suite
- Exemples
 - requête web
 - conversion du nom littéral d'une machine (annuaire)
 - calcul de la route
 - contrôle de congestion ...

Services applicatifs

Les usagers utilisent des **applications distribuées** :

- la toile (*World Wide Web*)
- courrier électronique (*electronic mail*)
- partage de fichiers distribué (*peer-to-peer file sharing*)
- jeux distribués (*distributed games*)
- flux audio et vidéo différés (*audio and video streaming*)
- flux audio et vidéo temps réel (*real-time audio and video*) ...

Qualité de service

Quel rapport avec la **Qualité de Service (QoS)**

- service au mieux (*Best Effort*)
 - pas de garantie, l'intérêt réside dans la connectivité !
 - combien de systèmes terminaux ?
 - une grande partie 1.510^9 de PC + 1.510^9 smartphones...
 - 2.510^9 utilisateurs actifs en 2012
 - trafic Internet >>> trafic téléphone
- des extensions sont à prévoir pour les applications multimédia...

➡ U.E. **ING** (M1-S2)

Services du réseau

Les applications reposent sur **deux** types de services...

sans connexion

analogie avec le service postal

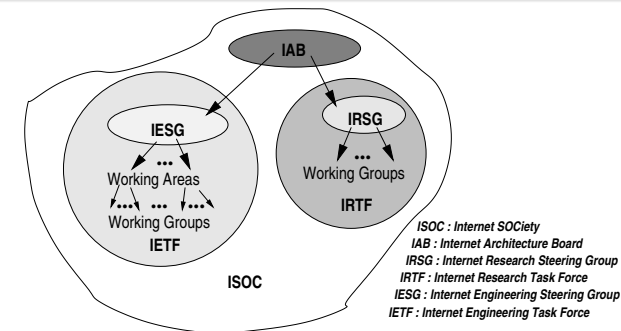
orienté connexion

analogie avec le service téléphonique

et peuvent en attendre différentes caractéristiques :

- fiabilité
- ordonnancement
- contrôle de flux
- contrôle de congestion ...

Standardisation de l'Internet



- groupes de travail IETF (*Internet Engineering Task Force*)
- plus de 6000 documents RFC (*Request For Comments*)
- **standards** *de facto* plutôt que **normes** *de jure*
 - IP, TCP, SMTP, SNMP, HTTP...
 - <http://www.rfc-editor.org/>

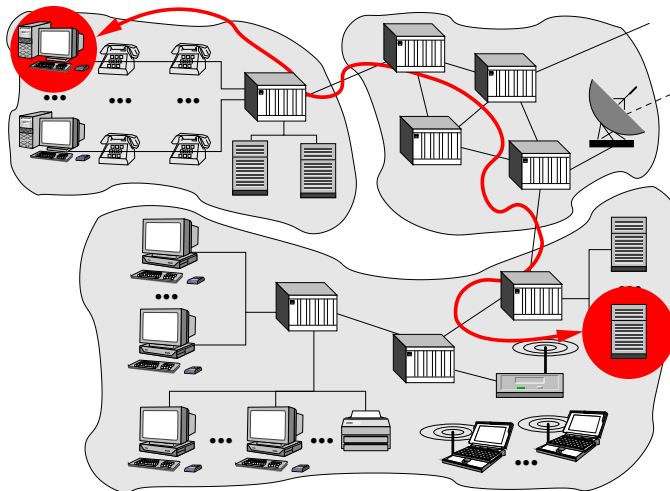
Quelques sites web

- ISOC (*Internet SOCIety*), <http://www.isoc.org/>
- IETF (*Internet Engineering Task Force*),
<http://www.ietf.org/>
- IAB (*Internet Architecture Board*), <http://www.iab.org/>
- W3C (*World Wide Web Consortium*), <http://www.w3.org/>
- ACM SIGCOMM (*Association for Computing Machinery – Special Interest Group in Data Communication*),
<http://www.sigcomm.org/>
- IEEE Communications Society, <http://www.comsoc.org/>
- IEEE Computer Society, <http://www.computer.org/>
- <http://www-npa.lip6.fr/~fourmaux>

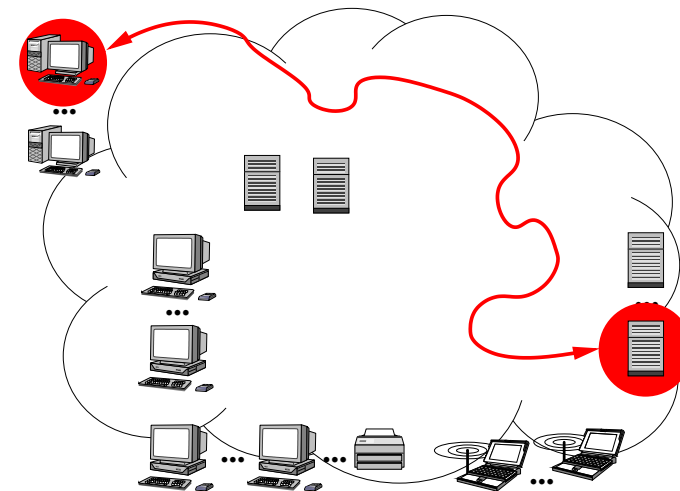
ARES : Plan du cours 1/5

- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - Objectifs de l'U.E.
 - Démarche pédagogique
 - Moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - Planning
 - Evaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - Composants du réseau
 - Hiérarchie protocolaire
 - Exemple avec TCP/IP

Bordure du réseau

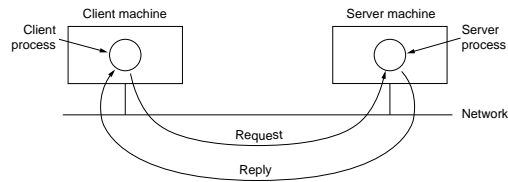


Bordure du réseau (abstraction)



Applications distribuées

Modèle client/serveur



- requêtes de la machine client
- services fournis par un serveur toujours allumé
 - web
 - e-mail
 - annuaire...

Modèle pair-à-pair (*peer-to-peer*)

- utilisation minimale de serveurs
- approche symétrique...

Service de bout-en-bout

Types de service fourni par le réseau entre hôtes :

- service **orienté connexion**
 - fiabilité
 - ordonnancement
 - contrôle de flux
 - contrôle de congestion...
 - TCP
- service **sans connexion**
 - simple
 - base pour d'autre protocole
 - UDP

Protocoles applicatifs

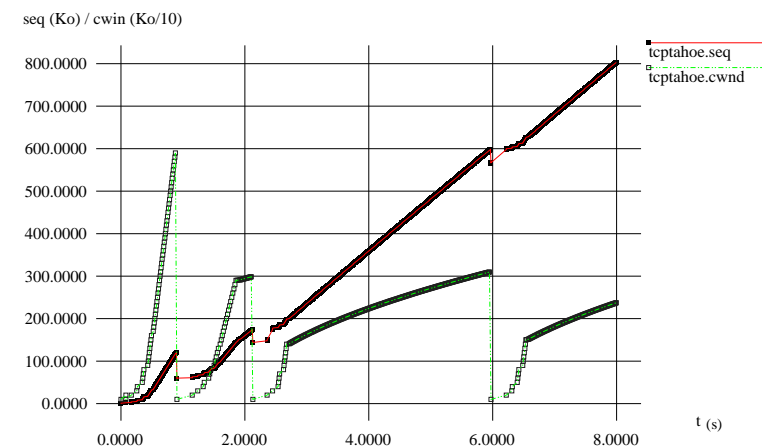
Environnement hétérogène ➡ standardisation des échanges

- web : **HTTP, HTML**
- e-mail : **SMTP, MIME, POP, IMAP**
- accès à distance : **Telnet, NVT**
- transfert de fichiers : **FTP**
- annuaire : **DNS**
- administration : **SNMP, MIB**

➡ Partie 2/5 : Applications

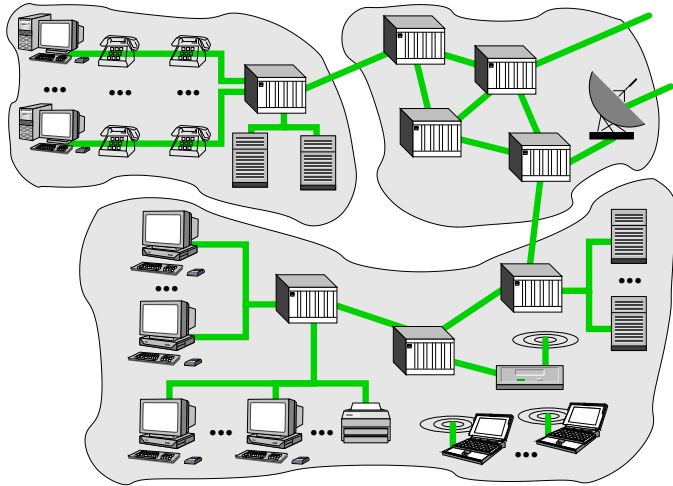
Impact du contrôle de bout-en-bout

Quelle est la forme du trafic généré par TCP ?



➡ Partie 3/5 : Transport

Intérieur du réseau



Liaisons de communication

Supports physiques

- médium avec guide d'ondes
 - paires torsadées (UTP5+, UTP6...)
 - câbles coaxiaux (bande de base, large bande...)
 - fibres optiques (multimode, monomode...)
- médium sans guide d'ondes
 - liaison satellite (geo-stationnaire, constellation...)
 - liaison terrestre (ondes radio, micro-ondes, infra-rouge, optique...)

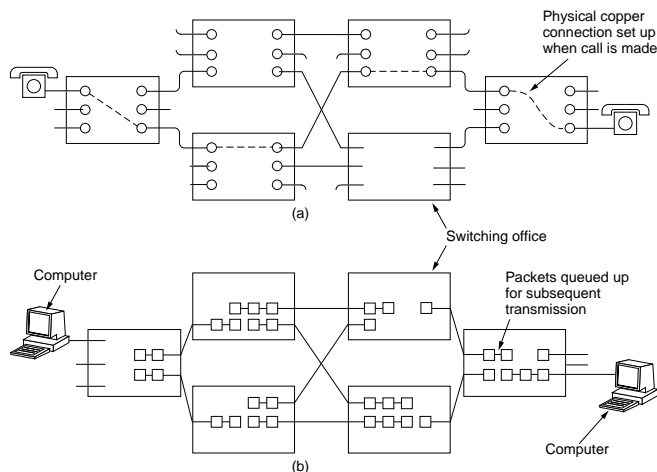
Technologies d'accès

- médium partagé
- découpage en trames

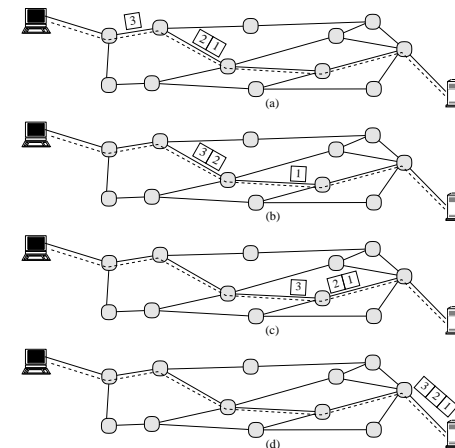
Éléments intermédiaires...

Relayer les données

Transmission par commutation de circuits ou relayage d'unités de données ?

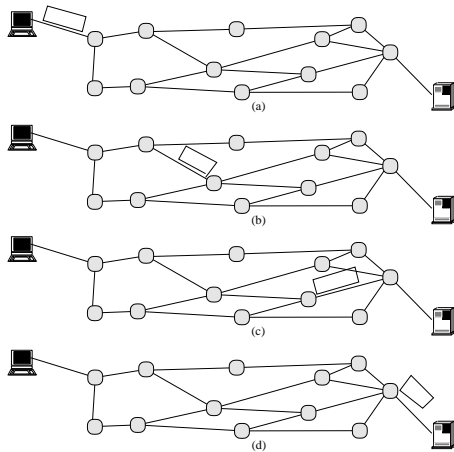


Transmission par circuit virtuel



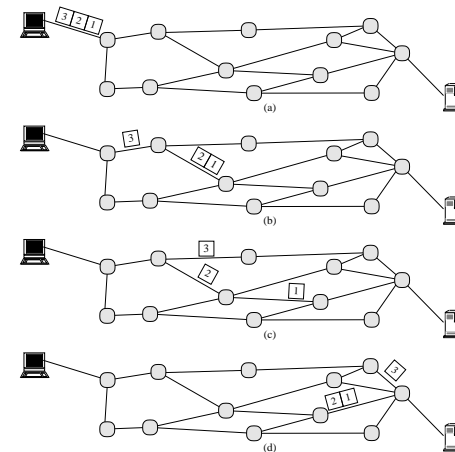
pictures from STALLINGS W. *High Speed Networks*

Transmission par messages



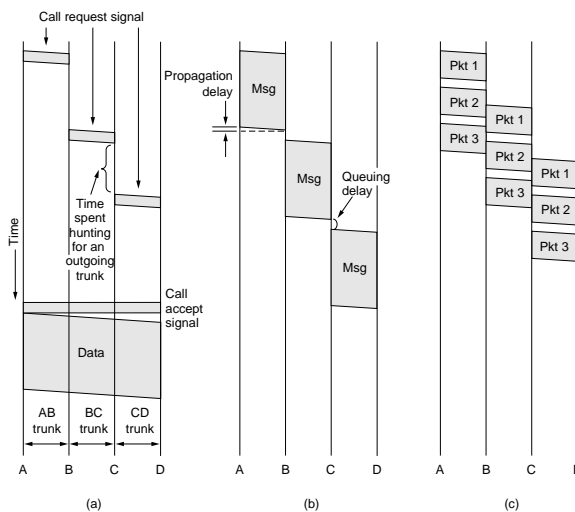
pictures from STALLINGS W. *High Speed Networks*

Transmission de paquets par datagramme



pictures from STALLINGS W. *High Speed Networks*

Comparaison des 3 types de transmissions



pictures from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Rappel sur les délais

Types de délais en commutation de paquets :

- traitement dans le nœud (*nodal processing delay*)
 - incompressible (D_n)
- file d'attente (*queuing delay*)
 - selon la congestion ($D_q = 0$ si pas de congestion)
- transmission (*transmission delay*)
 - dépend de la taille du paquet ($D_t = L/R$)
- propagation (*propagation delay*)
 - $v = 2.10^8 m/s$ à $3.10^8 m/s$ ($D_p = d/v$)

Calcul du **délai de bout-en-bout** ?

Adressage Internet

Acheminement des paquets de la source vers les destinataires en effectuant des sauts entre les nœuds intermédiaires (**routeurs**)

Protocole IPv4

- universel
- adressage virtuel
- **abstraction des technologies sous-jacentes**
 - encapsulation sur chaque technologie
 - fragmentation
 - conversion d'adresses

Nombreuses évolutions pour s'adapter au réseau actuel :

- adressage sans classes : **CIDR**
- translation d'adresses : **NAT**
- autoconfiguration : **DHCP**
- filtrage...



Mécanismes de routage

Quand et comment déterminer la **route** des données ?

- indication du chemin selon le type de réseau :
 - **initialement**
 - commutation de circuits
 - circuits virtuels
 - **pour chaque paquet**
 - datagramme
- calcul de l'information
 - **algorithmes** de routage
 - tables de routage
 - locales ou centralisées
 - statiques ou dynamiques
- échange de l'information
 - **protocoles** de routage...



Routage dans l'Internet

Réseau datagramme

- routage de **chaque paquet**

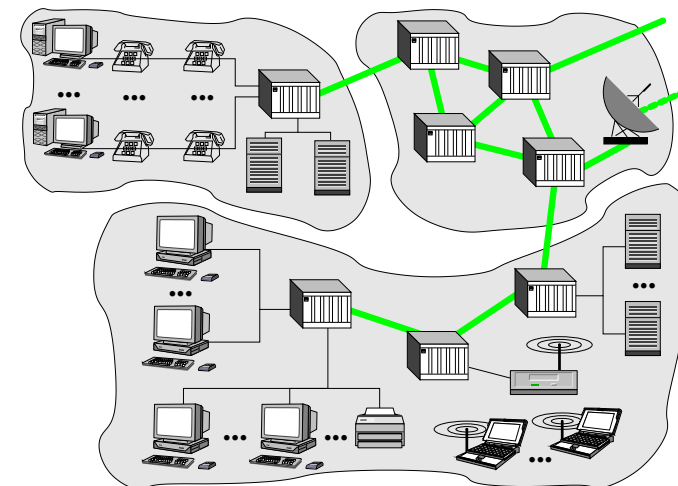
Découpage hiérarchique du réseau (**AS**)

- routage interne : **OSPF**
- routage externe : **BGP**

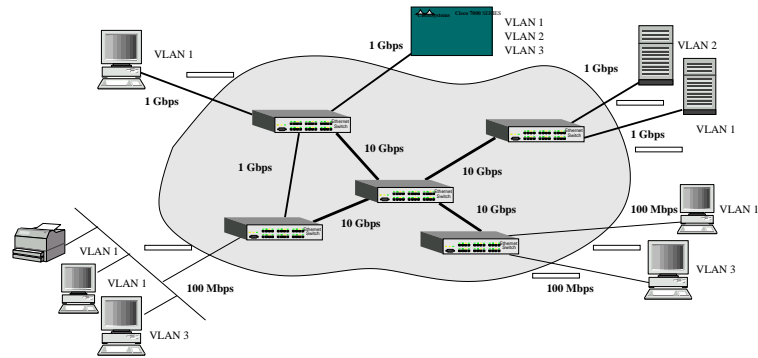
➡ **Partie 4/5 : Réseau**



Cœur du réseau



Technologie Ethernet



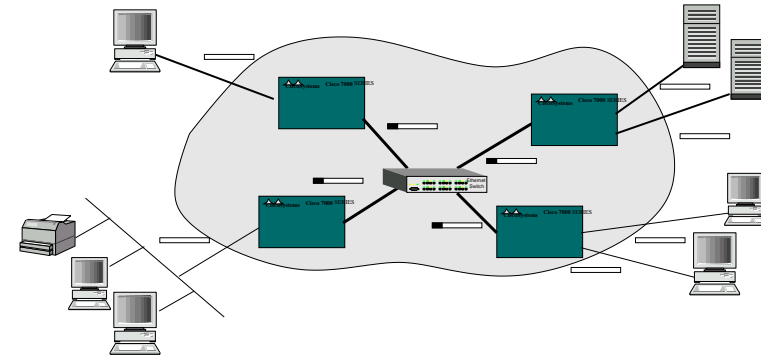
Evolution du LAN vers le WAN avec le **Fast Ethernet**, le **Gigabit Ethernet**, le **10Gigabit Ethernet** et le **100Gigabit Ethernet**.

Intégration de la **commutation** et structuration avec les **VLAN**...

➡ **Partie 5/5 (1) : Ethernet**



Technologie MPLS

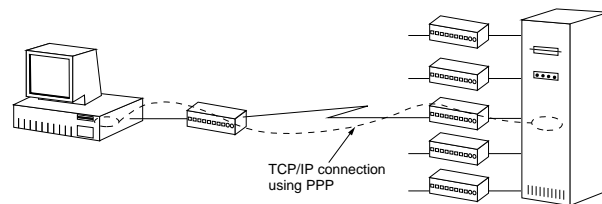


Intégration des mécanismes de **commutation** au niveau réseau (ATM, MPLS...).

➡ U.E. **RTEL (M1-S1)**



Technologies point-à-point



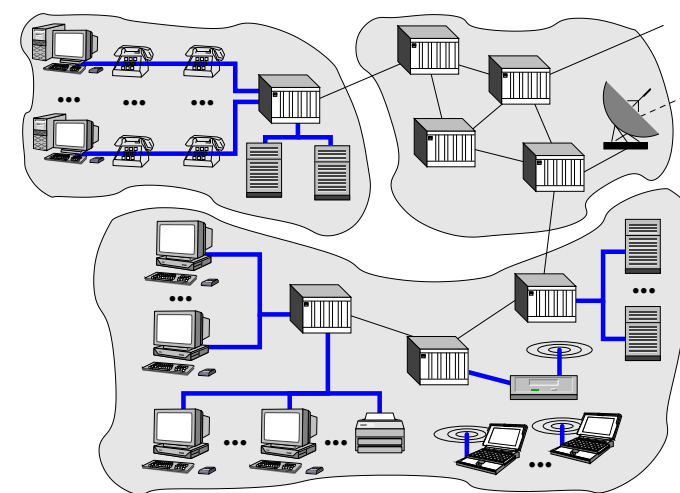
PPP seulement destiné aux anciennes liaisons séries ?

- PPP sur SONET : **POS**
- PPP sur Ethernet : **PPPoE**
- PPP sur ATM : **PPPoA**
- PPP sur IP : **L2TP ...**

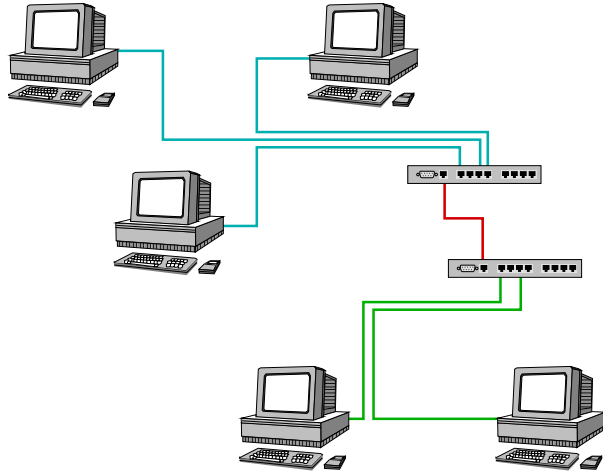
➡ **Partie 5/5 (2) : Point-à-point**



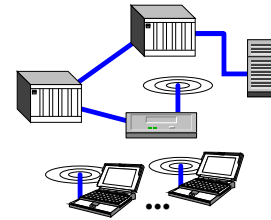
Réseaux d'accès



Réseaux d'entreprises



Sans fils

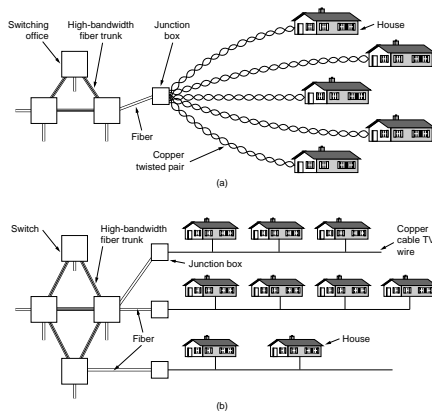


Selon la mobilité :

- micromobilité
 - Bluetooth/**WPAN** (IEEE 802.15)
- réseau local sans fil
 - Wifi/**WLAN** (IEEE 802.11)
- réseau local sans fil
 - BLR/**WMAN** (IEEE 802.16)
- téléphonie mobile
 - GSM, GPRS, i-mode...
 - UMTS

➡ U.E. **MOB** (M1-S2)

Avec fils



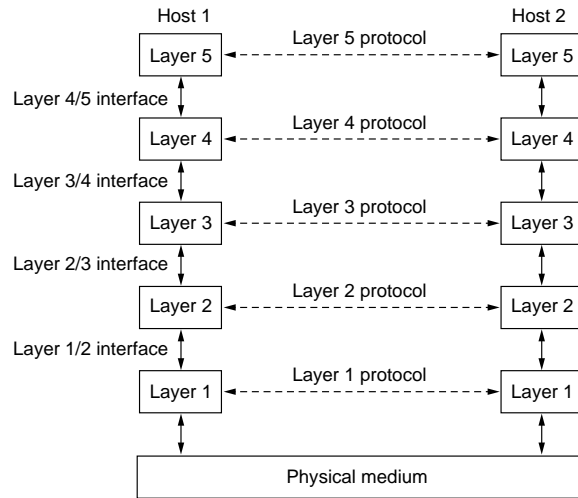
Résidentiels (RTC/ADSL, Câble, Fibre optique...)

➡ **Partie 5/5 (3) : Boucle locale**

ARES : Plan du cours 1/5

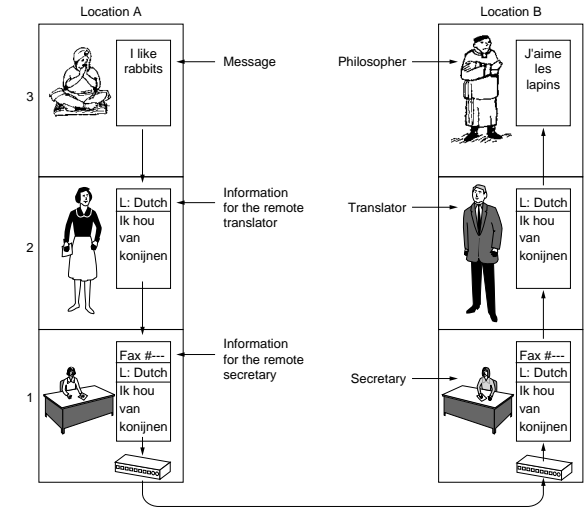
- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - Objectifs de l'U.E.
 - Démarche pédagogique
 - Moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - Planning
 - Evaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - Composants du réseau
 - Hiérarchie protocolaire
 - Exemple avec TCP/IP

Protocoles, couches et interfaces



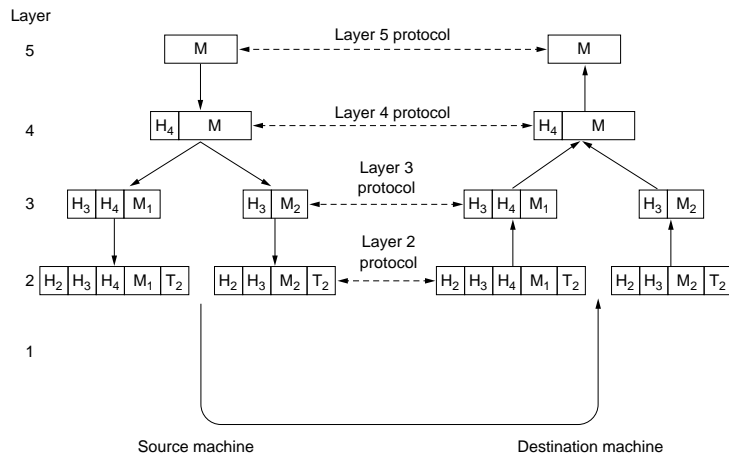
picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Analogie anthropologique



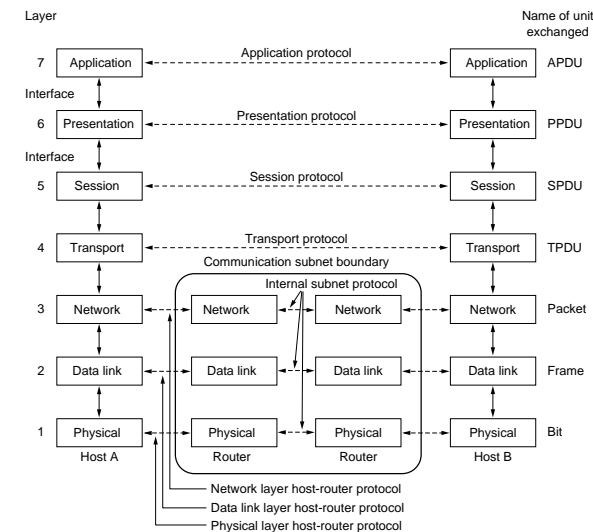
picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Encapsulations successives

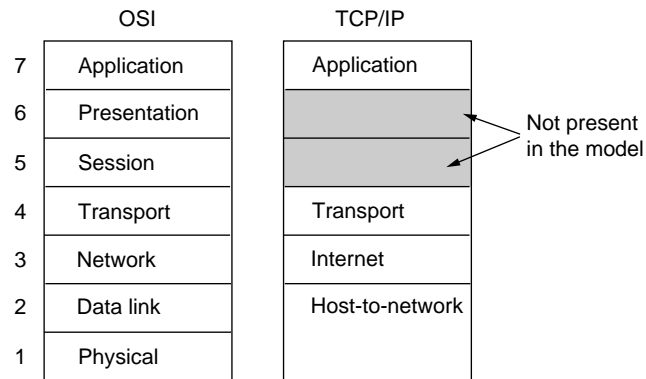


picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Modèle de référence OSI (Open Systems Intercon. – 1983)

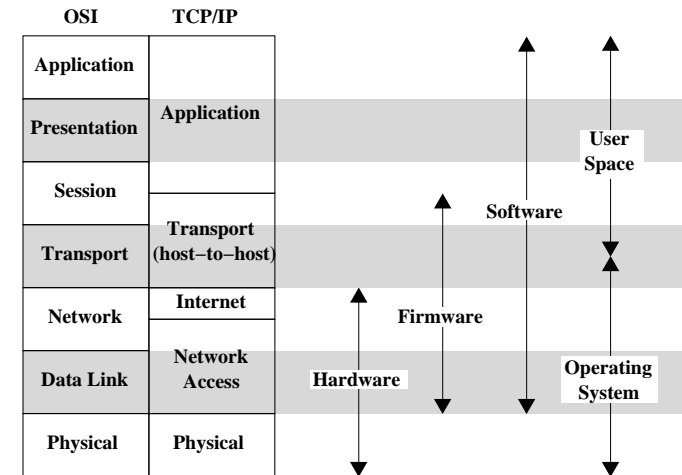


Modèle de référence TCP/IP (1974)



picture from TANENBAUM A. S. *Computer Networks 3rd edition*

TCP/IP : Comparaison

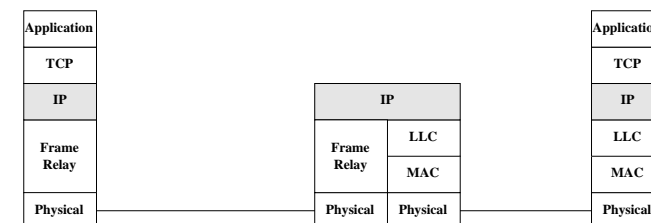
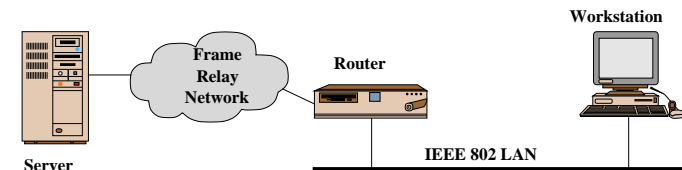


these pictures and to the end are from STALLINGS W. *High Speed Networks*

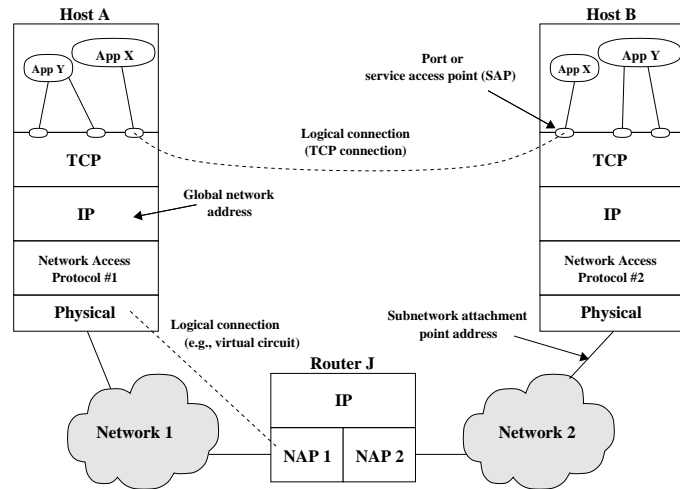
ARES : Plan du cours 1/5

- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - Objectifs de l'U.E.
 - Démarche pédagogique
 - Moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - Planning
 - Evaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - Composants du réseau
 - Hiérarchie protocolaire
 - Exemple avec TCP/IP

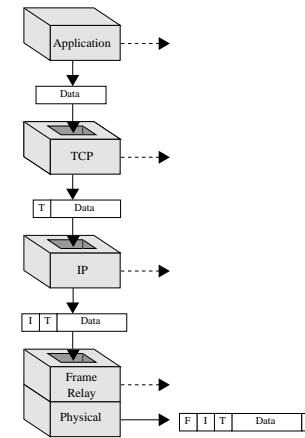
TCP/IP : Exemple



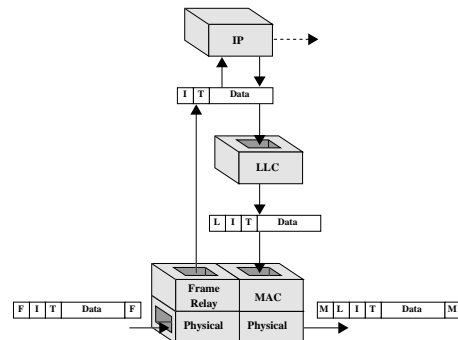
TCP/IP : Concepts



TCP/IP : Actions dans l'émetteur



TCP/IP : Actions dans un routeur



TCP/IP : Actions dans le récepteur

