

## Architecture des Réseaux (ARes) 1/5 : Introduction

Olivier Fourmaux  
(olivier.fourmaux@upmc.fr)

Version 7.0

## 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 LI310/3I014 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/v6 (multicast, DHCP, NAT, tunnels...)
- routage avancé (hiérarchie d'AS, OSPF, BGP...)
- support architectures (Ethernet, ADSL, FTTH...)

## Contenu du cours

Approche *Top down* :

Partie 1/5	Introduction
Partie 2/5	Application : Telnet, FTP, SMTP, HTTP, ... DNS, SNMP.
Partie 3/5	Transport : services, exemples UDP et TCP, ... contrôle de congestion.
Partie 4/5	Réseau : IPv4/v6, multicast, 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**

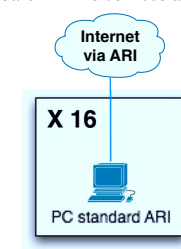
- en M1-S2 pour les étudiants de RES (U.E. fortement recommandées) ou pour les étudiants des autres spécialités (U.E. libre) :
  - mobilité, autonomie, sans-fil ➡ U.E. **MOB**
  - routage avancé ➡ U.E. **ROUT**
- en M2-S3 pour les étudiants de RES
  - réseaux de contenus ➡ U.E. **CONT**
  - ingénierie de trafic et qualité de service ➡ U.E. **ITQoS**
  - métrologie de l'Internet ➡ U.E. **METRO**
  - réseaux d'opérateurs et data centers ➡ U.E. **REOP**
  - sécurité des réseaux ➡ U.E. **SECRES**
  - systèmes mobile embarqués intelligents ➡ U.E. **SMS** ...

## Labs

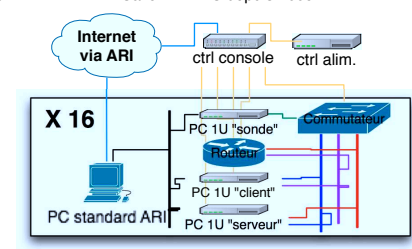
Intégration des *Travaux Dirigés (TD)* et *Travaux sur Machine Encadré (TME)* dans une même séance de 4h : les **Labs**

- 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	Fin des labs précédents	
5	Transport (1) : analyse des mécanismes	n°4
6	Transport (2) : contrôle de congestion (planetlab)	n°5
7	Fin des labs précédents, <i>révisions</i>	
8	Réseau (1) : début IP/ICMP	n°6
9	Réseau (2) : fin IP/ICMP	n°6
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)
  - O. Fourmaux, T. Friedman, S. Imadali, T. M. T. Nguyen, 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/2014/description.php?code\\_ue=4I001](http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/ue/2014/description.php?code_ue=4I001)
- site temporel de l'U.E. ARES (nouvelles brèves, planning, supports et autres documents...) :  
<http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/2014/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 aux bibliothèques Math/Info
    - ➡ préférez les versions originales...

## Bibliographie

- James F. Kurose, Keith W. Ross
  - Computer Networking : A Top-down Approach Featuring the Internet**, 6<sup>th</sup> edition (Pearson, 2012)
- Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall
  - Computer Networks**, 5<sup>th</sup> edition (Prentice Hall, 2011)
- Douglas Comer
  - Internetworking with TCP/IP Vol 1 : Principles, Protocols and Architectures**, 6<sup>th</sup> edition (Prentice Hall, 2013)
- Olivier Bonaventure
  - Computer Networking : Principles, Protocols and Practice**, <http://inl.info.ucl.ac.be/CNP3>

## Planning provisoire pour 2014-2015

dates	cours	labs	remarque
15-19/9	1	1	
22-26/9	2	2	
29/9-3/10	3	3	
6-10/10	4	4	
13-17/10	5	5	
20-24/10	6	6	
27-31/10	7	7	
3-7/11	—	—	Examen Réparti N°1
12-14+17-18/11	8	8	
24-28/11	9	9	
1-5/12	10	10	
5-9/1	—	—	Examen Réparti N°2
10-16/6	—	—	Examen Rattrapage

Attention : semaine des labs = semaine des cours

## 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		TME1 ARES (ITESCIA) 31-208	TME3 ARES 31-208	TME5 ARES 31-208	
09:15					
09:30					
09:45					
10:00					
10:15					
10:30					
10:45					
11:00					
11:15		TME1 ARES (ITESCIA) 31-208	TME3 ARES 31-208	TME5 ARES 31-208	Cours COMNET (english) 23-34-202
11:30	Cours ARES Amphi 45B				
11:45					
12:00					
12:15					
12:30					
12:45					
13:00					
13:15					
13:30					
13:45					
14:00					
14:15		TME2 ARES (AFTI) 31-208	TME4 ARES 31-208	TME6 ARES 31-208	TME1 COMNET (english) 31-208
14:30					
14:45					
15:00					
15:15					
15:30					
15:45					
16:00					
16:15					
16:30					
16:45		TME2 ARES (AFTI) 31-208	TME4 ARES 31-208	TME6 ARES 31-208	TME1 COMNET (english) 31-208
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



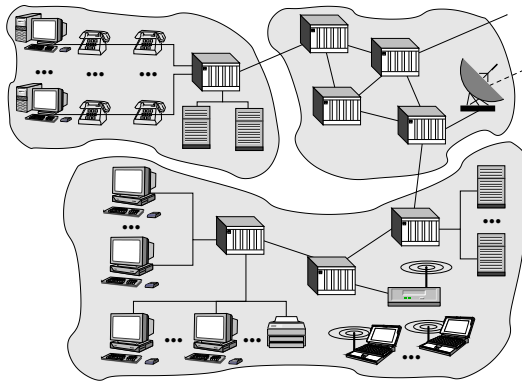
## Environnement support pour la suite

### Internet

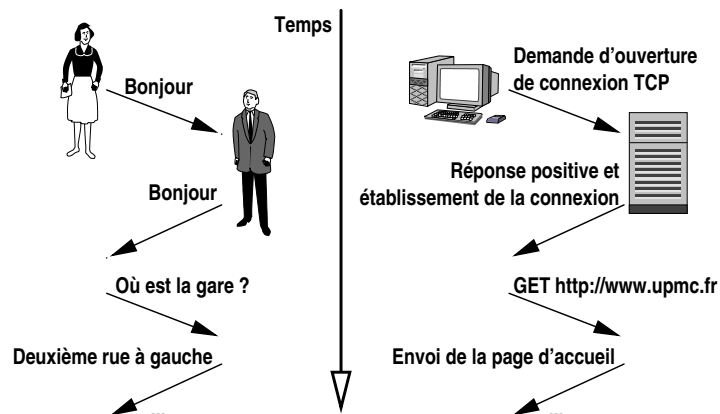
- omniprésent
- hétérogène
- évolutif
- complexe...

⇒ difficile à cerner !

Voyons un exemple :



## Protocoles : analogie



## 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 : 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** :

- *World Wide Web*
- courrier électronique
- partage de fichiers distribué
- jeux distribués
- flux audio et vidéo différés
- flux audio et vidéo temps réel ...



## 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. CONT / U.E. ITQoS (M2-S3)



## Services du réseau

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

sans connexion

analogie avec le service postal

orienté connexion

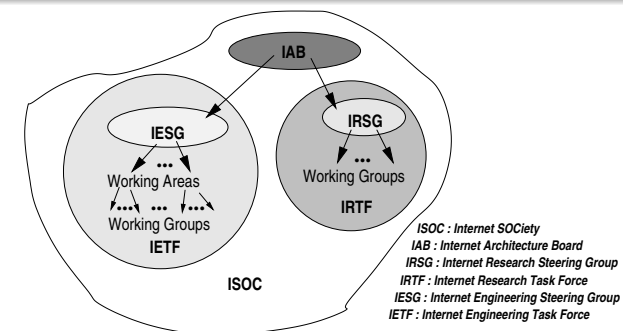
analogie avec le service téléphonique

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 7300 documents RFC (*Request For Comments*)
- **standards de facto** plutôt que **normes de jure**
  - IP, TCP, SMTP, SNMP, HTTP...
  - <http://www.rfc-editor.org/>



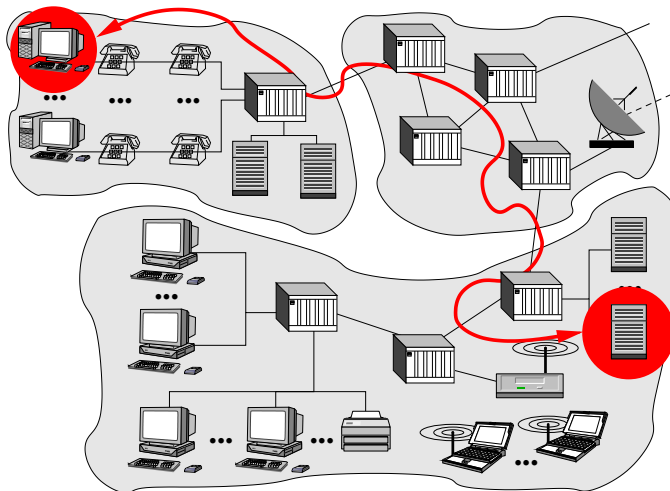
## Quelques sites web

- IETF (*Internet Engineering Task Force*),  
<http://www.ietf.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-mpa.lip6.fr/~fourmaux>

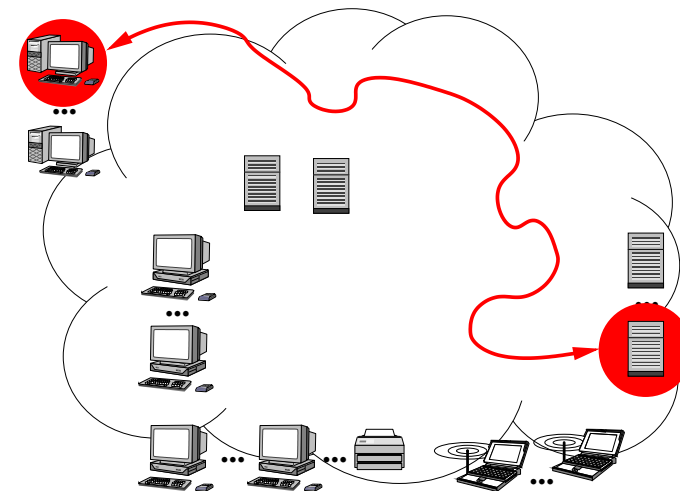
## ARes : plan du cours 1/5

- 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



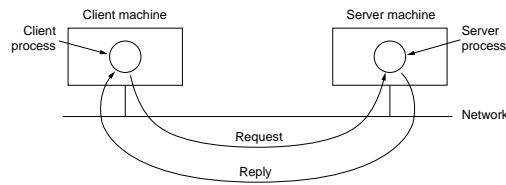
## Bordure du réseau (abstraction)





## 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

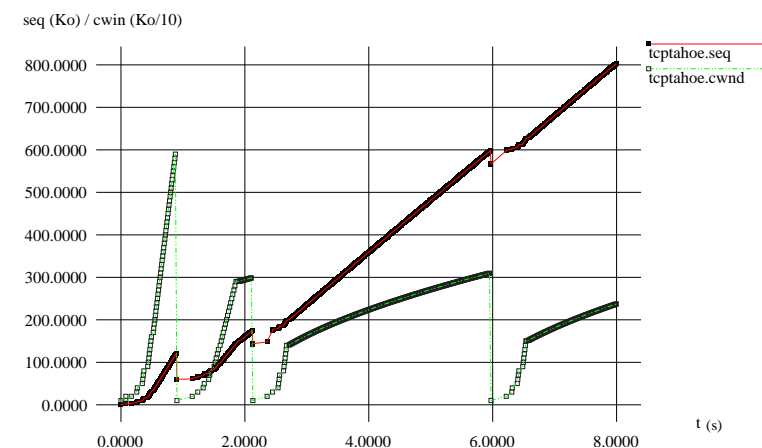
### Environnement hétérogène ➡ standardisation des échanges

- 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

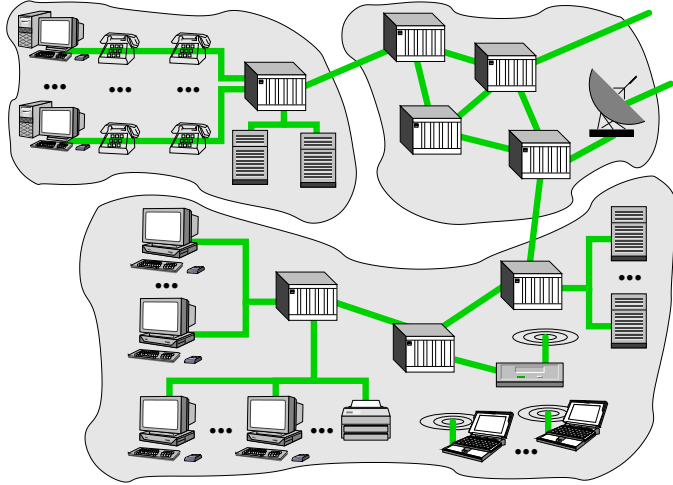
## Impact du contrôle de bout-en-bout

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...)

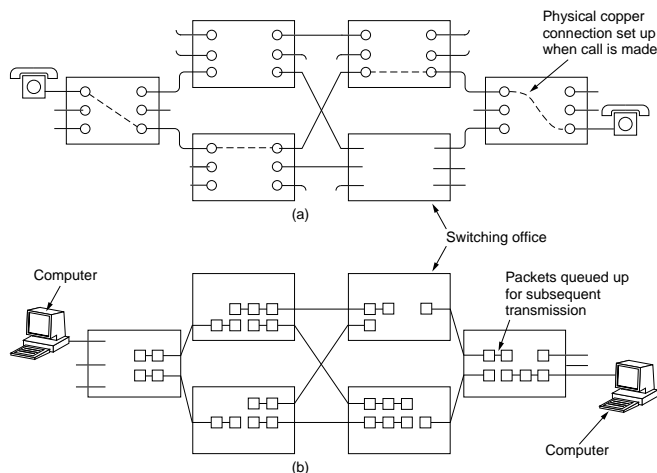
### Technologies d'accès

- médium partagé
- découpage en trames

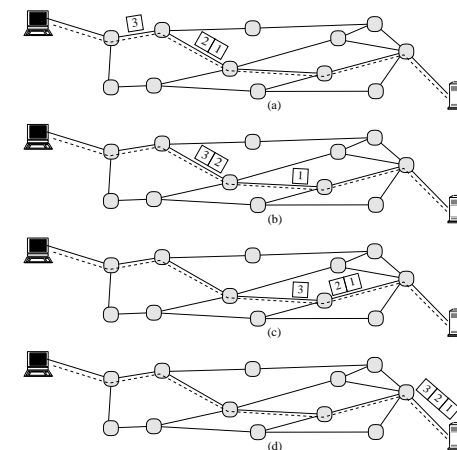
### Éléments intermédiaires...

## Relayer les données

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

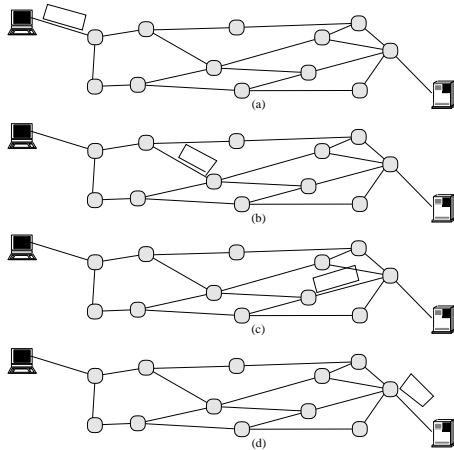


## Transmission par circuit virtuel



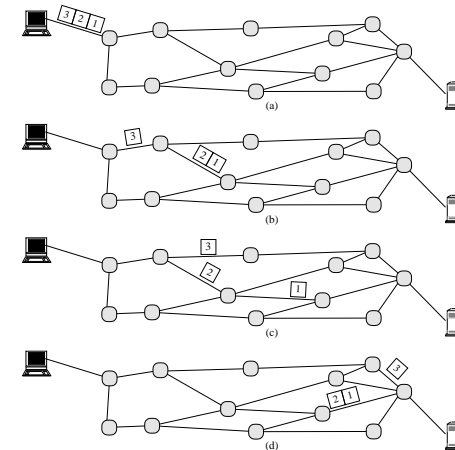
pictures from Stallings W. *High Speed Networks*

## Transmission par messages



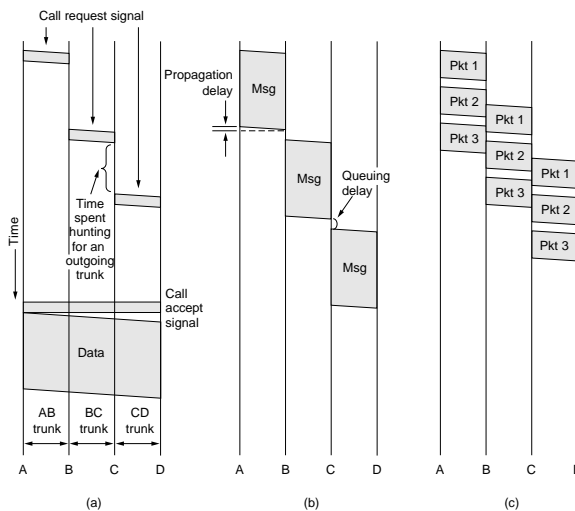
pictures from Stallings W. *High Speed Networks*

## 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*)
  - $v = 2.10^8 \text{ m/s}$  à  $3.10^8 \text{ m/s}$  ( $D_p = d/v$ )

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/v6

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

Nombreuses évolutions pour s'adapter au réseau actuel :

- adressage sans classes IPv4 (**CIDR**), multicast, **IPv6**
- translation d'adresses (**NAT**)
- autoconfiguration (**DHCP**)
- filtrage...

## Routing dans l'Internet

Réseau datagramme

- routage de **chaque paquet**

Découpage hiérarchique du réseau (**AS**)

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

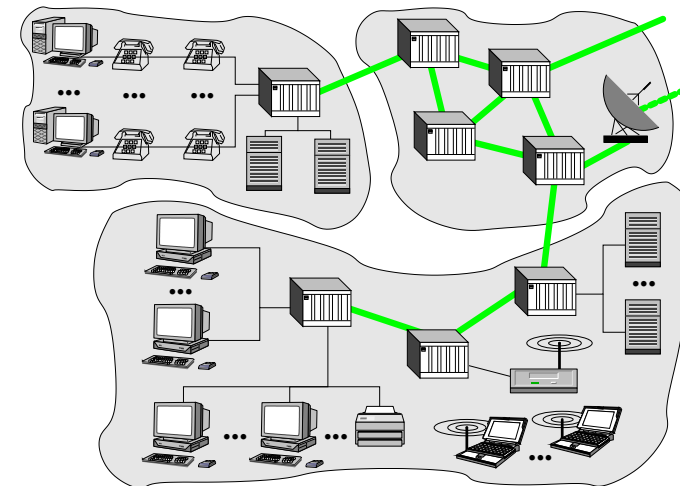
➡ **Partie 4/5 : Réseau**

## Mécanismes de routage

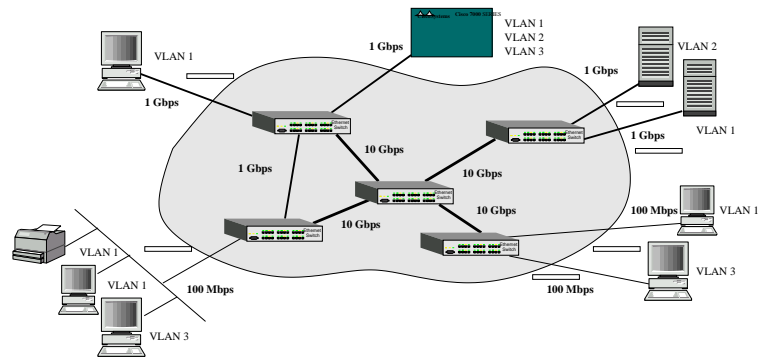
Quand et comment déterminer la **route** des données ?

- 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...

## Cœur du réseau



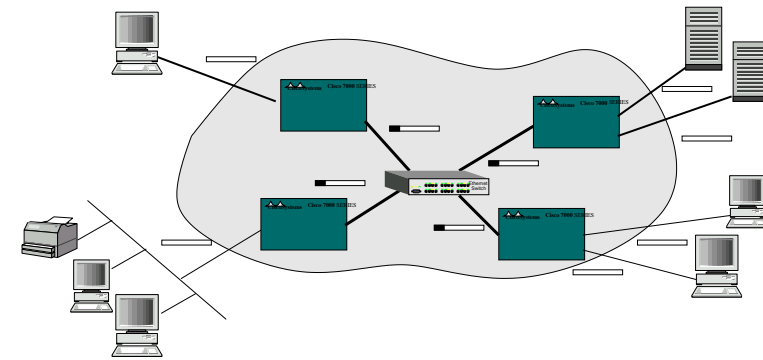
## Technologie Ethernet



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**

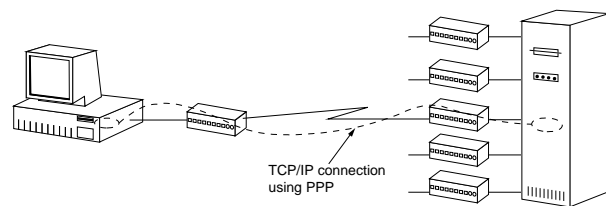
## Technologie MPLS



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

➡ **U.E. RTTEL (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

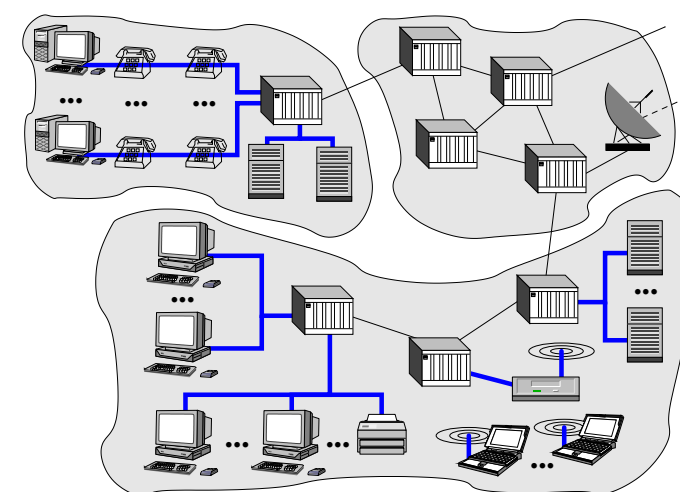


Figure 1.1 illustrates two network topologies. (a) Star topology: A central junction box connects a switching office and multiple houses. The switching office is connected to the junction box via a high-bandwidth fiber trunk. The junction box then connects to each house via a fiber link and a copper twisted pair. (b) Mesh topology: A mesh of switches connects a switching office and multiple houses. The switching office is connected to the mesh via a high-bandwidth fiber trunk. The mesh then connects to each house via a fiber link and a copper cable wire.

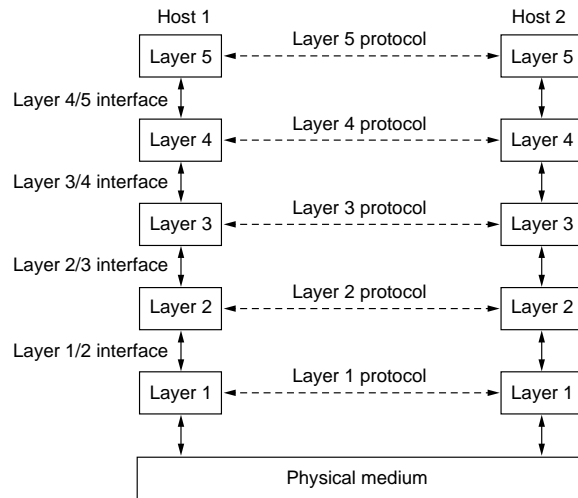
➡ **Partie 5/5 (3) : Boucle locale**

- 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

UPMC  
SORBONNE UNIVERSITÉ

- 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
  - **Hierarchie protocolaire**
  - Exemple avec TCP/IP

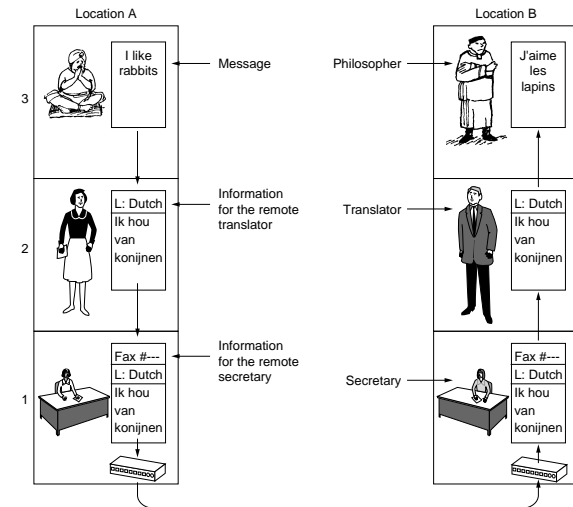
## Protocoles, couches et interfaces



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



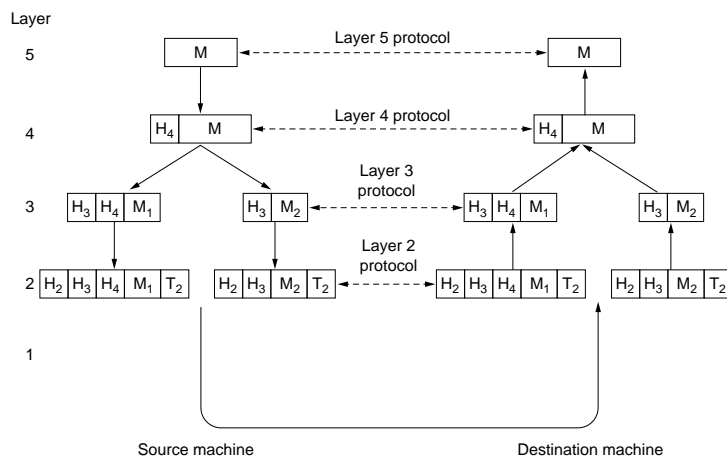
## Analogie anthropologique



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



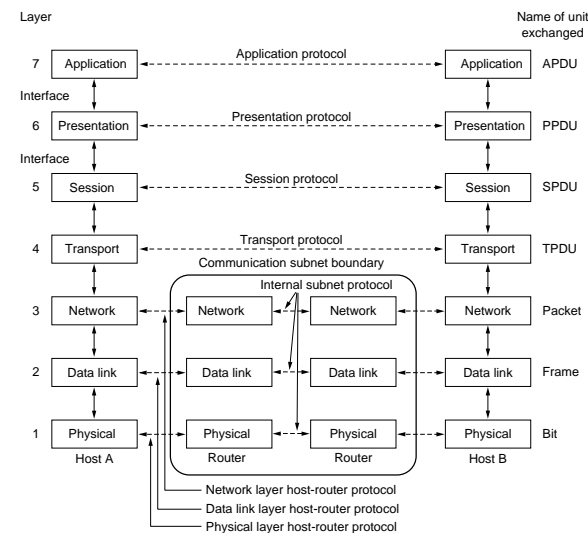
## Encapsulations successives



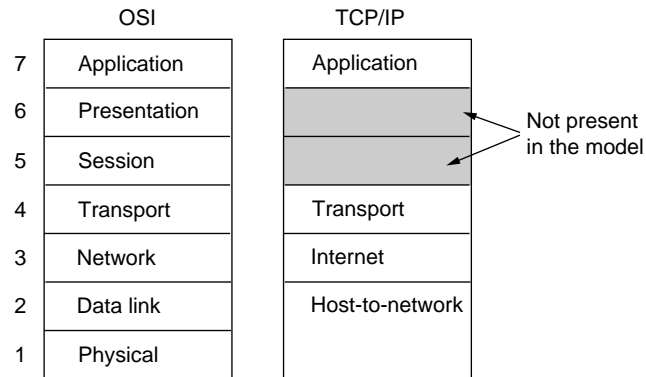
picture from Tanenbaum A. S. *Computer Networks 3rd edition*



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

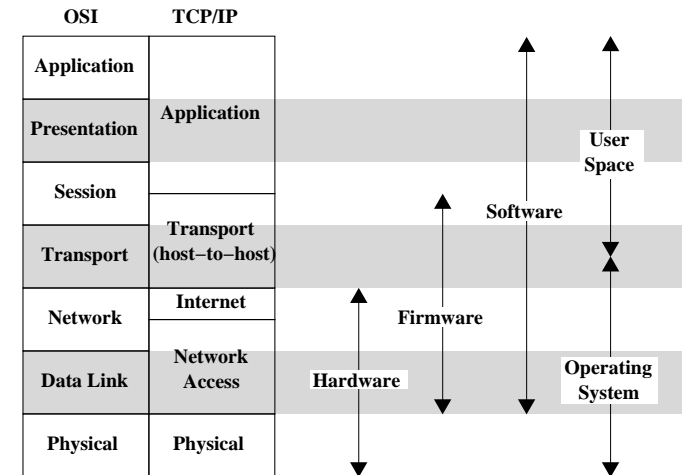


## Modèle de référence TCP/IP (1974)



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

## TCP/IP : Comparaison

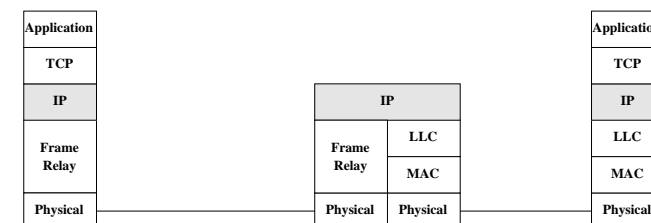
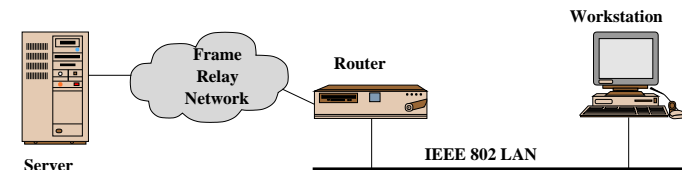


these pictures and to the end are from Stallings W. *High Speed Networks*

## ARes : plan du cours 1/5

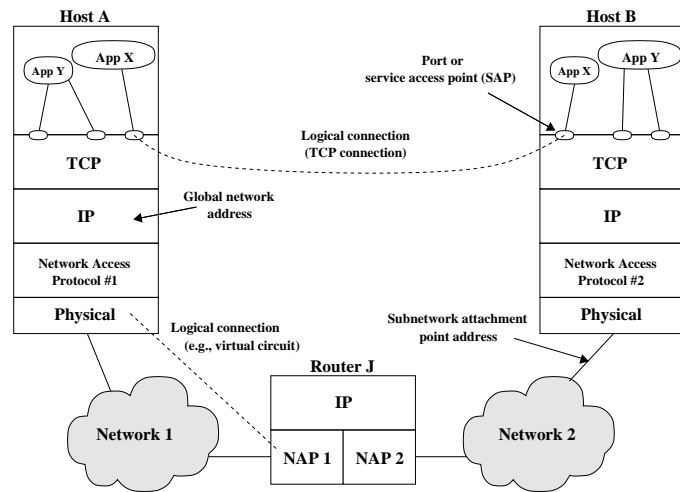
- 1 Présentation de l'U.E. ARES
  - Objectifs de l'U.E.
  - Démarche pédagogique
  - Moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
  - Planning
  - Evaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
  - Composants du réseau
  - Hiérarchie protocolaire
  - Exemple avec TCP/IP

## TCP/IP : Exemple

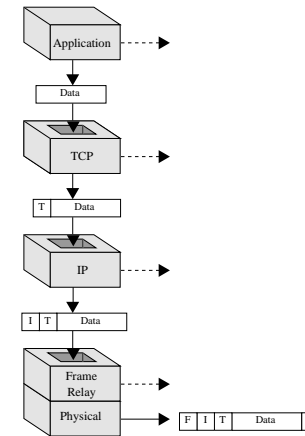




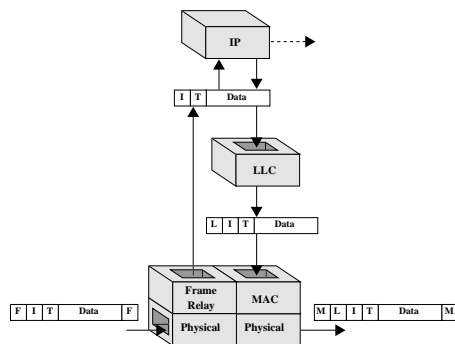
## TCP/IP : Concepts



## TCP/IP : Actions dans l'émetteur



## TCP/IP : Actions dans un routeur



## TCP/IP : Actions dans le récepteur

