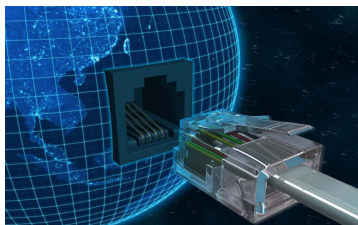


Enseignement Réseaux

• Pascal.Sicard@imag.fr
Laboratoire LIG, Bâtiment IMAG Bureau 419

- 10 * 1h30 heures de cours + 5 * 3 h de TPs
 - Connaissance de base sur les réseaux informatiques
 - Problématiques et architecture des réseaux : “ comment les ordinateurs arrivent à communiquer ?”
 - Du support physique à l’application



Supports Enseignement Réseaux

- Sur le Moodle de l’UFR IM2AG: <https://im2ag-moodle.univ-grenoble-alpes.fr/>
 - Supports des cours et TPs
 - Des exercices et des tests d’autoévaluation sous formes de QCMs à faire à volonté
 - Une documentation pour l’installation d’un simulateur de réseau pouvant vous permettre de finir vos TPs sur vos machine (Outils de simulation réseau GNS3 et VM)

Travaux pratiques

- Travail en TP en binôme ou trinôme
- Comptes rendus de TPs ou tests d’évaluations: note de contrôle continu (Note finale: 2/3 examen, 1/3 TPs)
- Salles particulières de travaux pratiques: 101/102 et 104/105 (voir ADE)
- Non accessibles en libre service mais possibilité d’ouverture à la demande

Bibliographie

- Analyse structurée des réseaux - 2ème édition- J. Kurose et K. Ross PearsonEducation- 2ème édition
- Les réseaux - G. Pujolle Eyrolles 2000
- Réseaux locaux et Internet- Des protocoles à l’interconnexion - 2ème Edition - L. Toutain- HERMES
- Réseaux, 5ème Edition A. Tanenbaum. InterEditions
- Sur le Net:
 - Wikipedia

Contenus et objectifs du cours

• Notions générales sur les réseaux

- Définitions, vocabulaire
- Architecture
- Vue d'ensemble des nombreuses problématiques "réseau"
- Etudes pratiques sur les principaux protocoles d'Internet (Ethernet, IP, TCP et UDP)

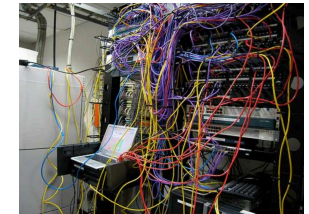
• Premières notions d'administration d'un réseau

- Montage physique
- Configuration système/réseau
- Observations et analyse



Contenus et objectifs du cours

- Vue d'ensemble permettant d'aborder un métier "réseaux" mais aussi indispensable aux programmeurs d'applications distribuées
- Etudes des protocoles d'Internet sur lesquels toutes les applications réparties/distribuées sont élaborées
- **Enseignement délicat par la diversité des problématiques :**
"Il est difficile de communiquer, même pour des machines"



Bref historique

• Avant l'informatique:

- Télégraphe 1838 (Samuel Morse)
- Téléphone (1870) (En France commercialisation en 1880)

• Exemple : 1980

- Université de Grenoble : 1 seul ordinateur (Système Multics)
- Grande pièce avec baie vitrée
- Consoles (Réseau local)

• Partage du temps et des ressources

- Temps CPU limité /mois

• Inconvénient :

- Peu pratique pour faire les TPs
- Distance limitée
- Pannes
- Pas de TP réseaux

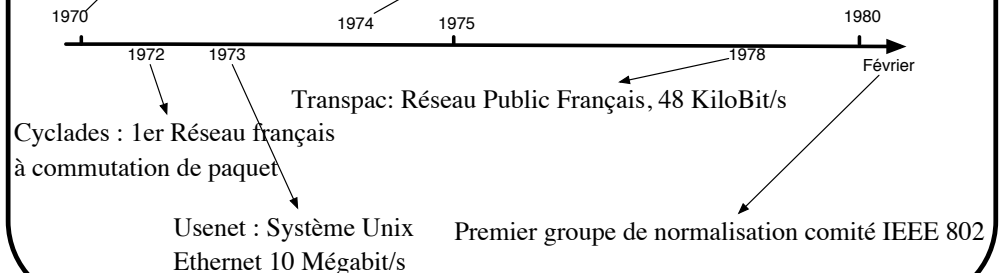


1970-1980 Echanger des fichiers

Naissance de l'idée de réseau informatique

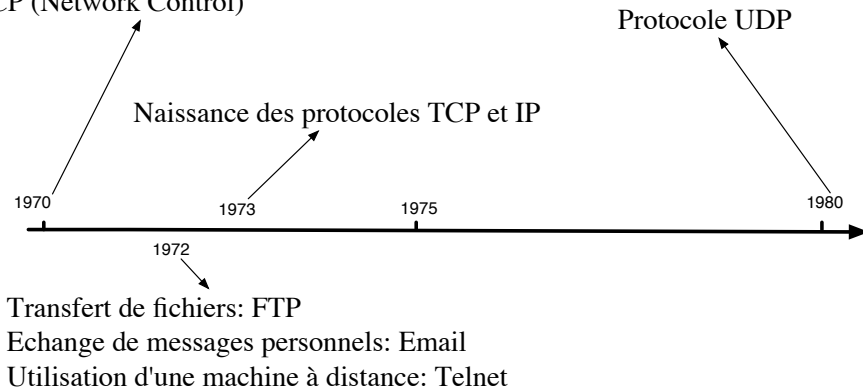
Arpanet: Projet Défense Militaire USA,
4 Universités, sur ligne téléphone, 50kBit/s

SNA: 1974, IBM, base de la standardisation OSI



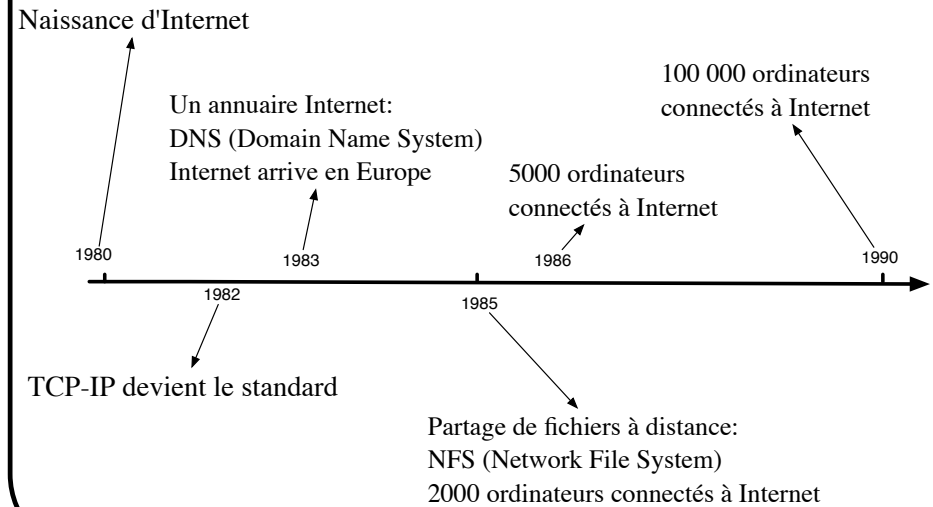
Premières applications

Premier protocole d'ARPANET:
NCP (Network Control)



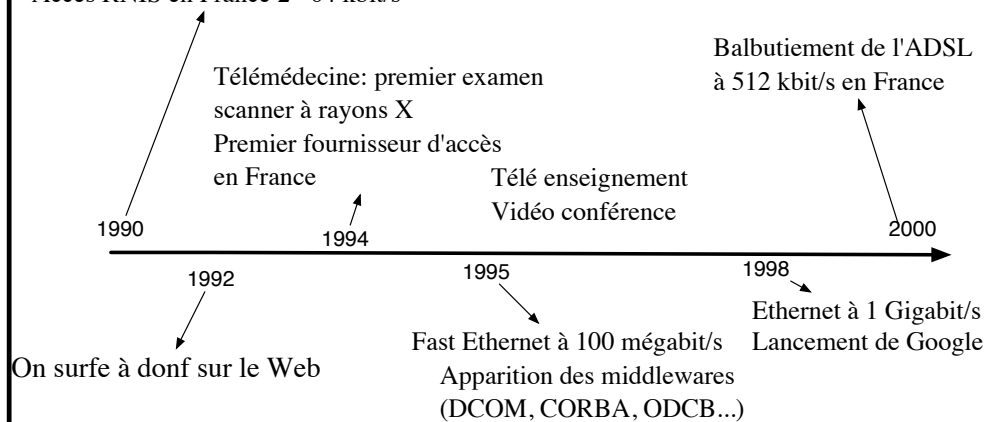
Les protocoles réseaux doivent garantir qu'il n'y ait pas de perte d'information

1980-1990 L'essor d'Internet



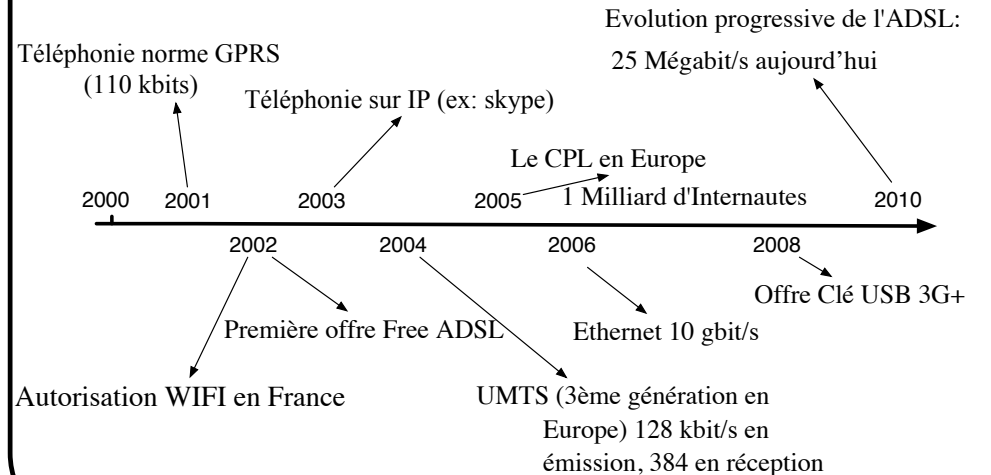
1990-2000: Du Mégabit au Gigabit

Naissance de la toile : le WEB
Accès RNIS en France 2* 64 kbit/s

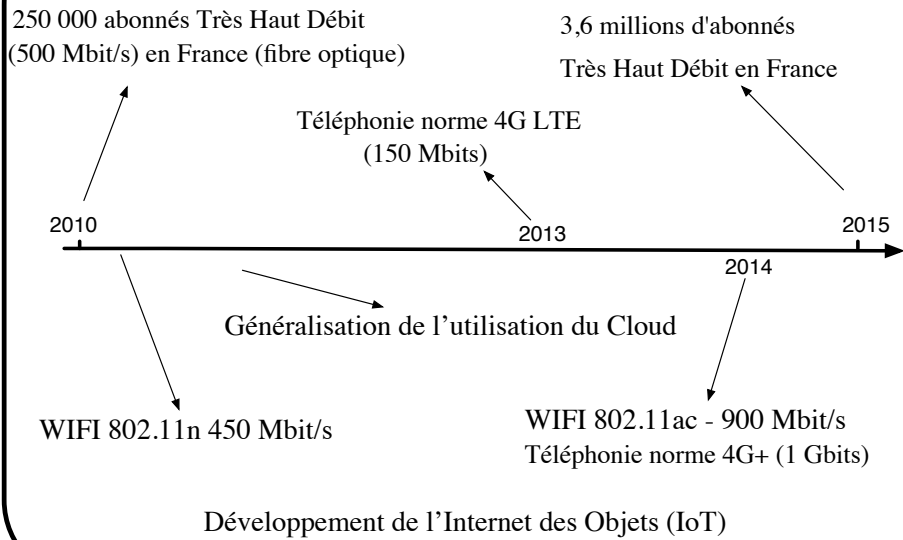


**Nouvelles qualités de service nécessaires pour les applications temps réel
débit minimal, latence maximale, variation du débit**

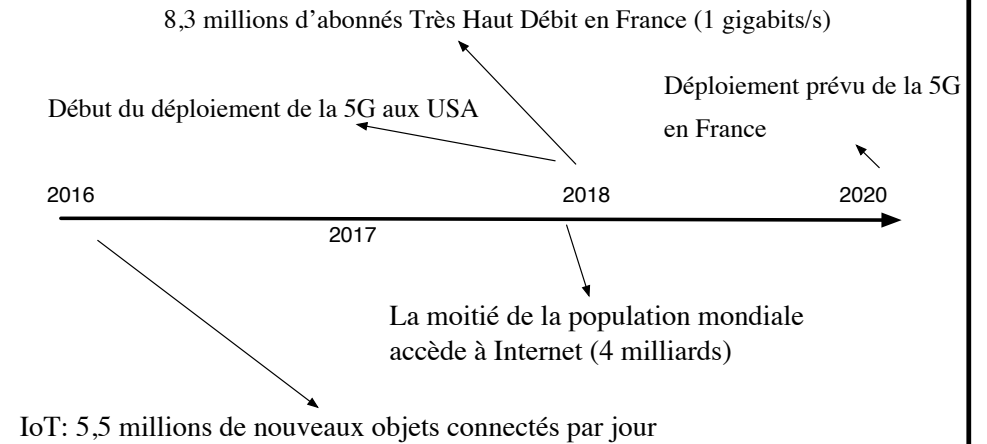
2000-2010 Jonction de la téléphonie et de l'informatique



2010-2015



2015-2020



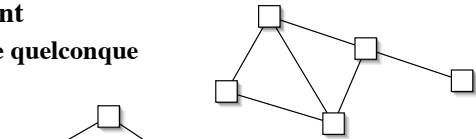
Définition

- **Réseau: Système (matériel + logiciel) qui permet à un ensemble d'ordinateurs autonomes de communiquer**
 - Nombreux sens: réseau physique, protocole réseau, logiciel réseau ...
 - Les ordinateurs : ordinateur personnel, téléphone, assistant personnel (Personnel Digital Assistant: PDA), capteurs divers ...
- **Classification suivant différents critères**
 - Topologie physique
 - Etendue géographique (classification non stricte)

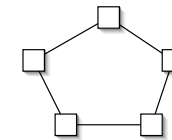
Topologie physique

- **Liaison point à point**

- Topologie maillée quelconque

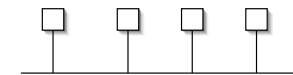


- En anneau

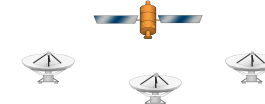


- **Liaison à diffusion**

- Bus



- Radio



Classification des réseaux suivant leur taille

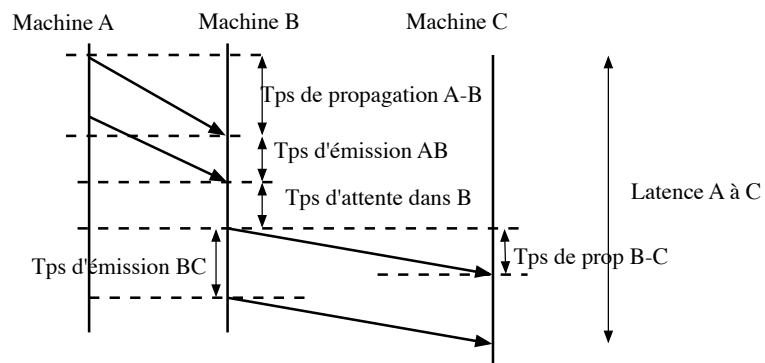
- **Réseaux locaux (Local Area Network, LAN)**
 - Distance < 1 km: 1 immeuble
 - Débit élevé, taux d'erreur faible
 - Topologie diverses: Bus, anneau
 - » Exemples : Ethernet, WIFI
- **Réseaux étendus (Wide Area Network, WAN)**
 - Distance importante: Pays, Planète
 - » Exemple: fibre optique trans continentale, Satellites
- **Réseaux métropolitains (Metropolitan Area Network, MAN)**
 - Distance intermédiaire : quelques dizaine de km, ville
- **Internet : INTERconnection NETwork**
 - Réseaux locaux interconnectés par des MAN ou WAN

Performances des communications

- **Débit:**
 - Quantité d'information émise par unité de temps
 - Kilo, Méga, Giga **bits/s**
 - Dépend de la bande passante du support (Hertz)
- **Temps d'émission**
 - Quantité d'information / débit
- **Vitesse de l'onde physique sur le support**
- **Temps de propagation**
 - Temps écoulé entre l'émission et la réception d'une information
 - Longueur du support / vitesse de l'onde
- **Temps d'attente**
 - C'est le temps perdu par le système de communication
 - Exemple stockage et réexpédition dans les noeuds d'un système maillé
- **Latence : Temps d'émission + Temps d'attente + Temps de propagation**

Temps d'émission / Temps de propagation

Latence ou temps de transfert



Temps d'aller retour ou RTT (Round Trip Time) =
2 * latence (avec un temps d'émission négligeable: petit paquet)

Exemples de latences

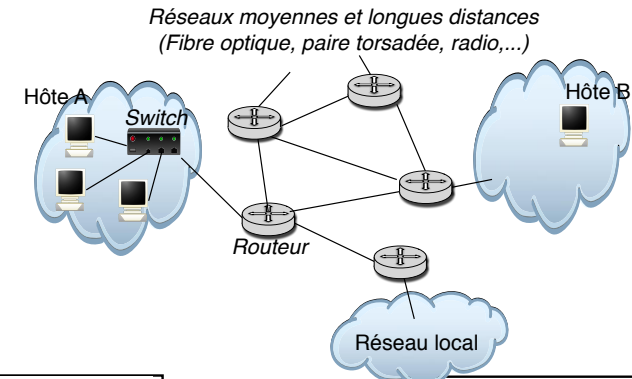
- **Temps d'émission et temps de propagation sont indépendants et ont un impact variable suivant les applications**
- **Exemple 1:**
 - Echange de messages courts (1 kbit) à travers un réseau à temps de propagation grand
 - » Fibre optique. Distance 5 000 km. Vitesse de l'onde : $2 \cdot 10^8$ m/s
 - » Temps de propagation: 25 ms
 - » Débit= 10Mbit/s : Temps d'émission: 0,1ms
 - » Débits= 100 Mbit/s : Temps d'émission: 0,01ms
 - Temps d'émission négligeable
- **Exemple 2:**
 - Echange de messages volumineux (1 Gigabit)
 - » Débit= 10 Mbit/s : Temps d'émission: 100 s
 - » Débits= 100 Mbit/s : Temps d'émission: 10 s
 - Temps de propagation négligeable

Qualité de service

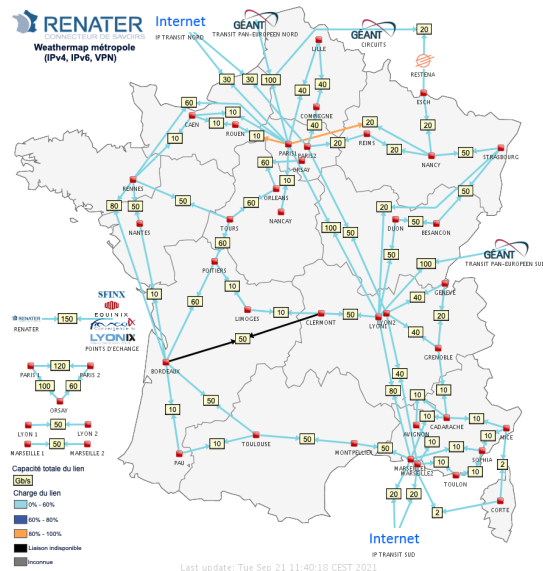
- **Quality of Service (QoS): Indique les facteurs de qualité de communication nécessaires à une application**
- **Ces facteurs dépendent de la nature de l'application**
- **Exemples:**
 - Faible taux de perte (probabilité pour qu'un message soit perdu ou modifié): par exemple nul pour le transfert de fichier
 - Gigue faible (variation de la latence): nécessaire pour les applications temps réel (téléphonie, vidéo conférence..)
 - Latence maximale autorisé : téléphonie (inférieur à 0,25s)
 - Débit minimal nécessaire : téléphonie (64 kbit/s)
- **Garantie des QoS par le réseau:**
 - Problème difficile
 - Non prévu dans les protocoles initiaux d'Internet (Seulement taux d'erreur nul)

Structure physique d'Internet

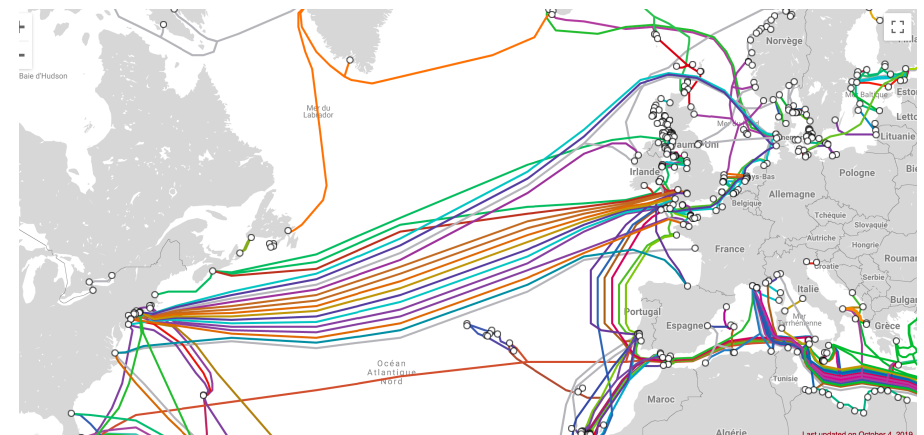
- Des machines utilisateurs (**hosts / hôtes**)
- Des réseaux locaux reliant les hôtes
- Des machines spécialisées appelées **routeurs** (router/gateway) reliant des réseaux locaux et des réseaux étendus



Un exemple de réseau : RENATER



Les câbles sous marins



Source: carte interactive de <https://www.submarinecablemap.com/>

Fonctionnement du réseau Analogie réseau routier



- **Passagers:** Information à échanger
- **Voitures:** ondes (électriques, optique, radio...) se propageant sur les supports
- **Domiciles:** machines utilisateurs
- **Routes:** Différents supports (câbles, fibre optique, ondes radio...)
 - Différents débits possibles (nombre de passagers à l'heure)
 - Différentes vitesses possibles (vitesse des voitures)
- **Carrefours: routeurs:**
 - Mémorisation de l'information dans des files d'attente
 - Fonctionnement comme un carrefour à feux ou stop : la voiture s'arrête avant de repartir (avec une vitesse pouvant être différente)

Exemple d'utilisation

- **Application de transfert de fichier: ftp**
- **Utilisateur : ftp ufrima.imag.fr puis get fichier**
- **Désignation universelle des machines: adresse Internet**
 - IPV4 : 4 octets donnés en décimal- Exemple: 192.0.0.1
 - IPV6 : 16 octets donnés en hexadécimal- Exemple: 2001:660:5301:8000:0:0:0:1aed
- **Annuaire: nom / adresse Internet**
 - Où se trouve l'annuaire ?
 - Annuaire réparti : Application DNS (Domain Name System)
 - Organisation hiérarchique : machine *ufrima* dans la zone *imag* qui elle même se trouve dans la zone *fr*

Problèmes à résoudre

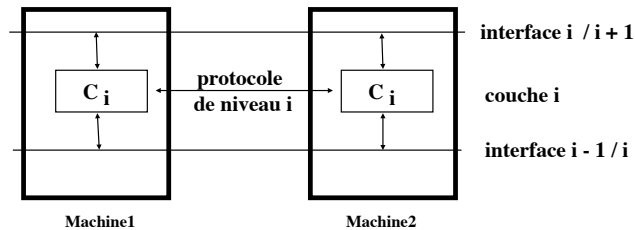
- Avant d'envoyer le fichier :
 - Vérifier que la machine distante est présente et accepte de recevoir/envoyer des données
 - On parle d'établissement de "*connexion*"
- Trouver la route à suivre pour arriver à destination : *routage*
- Remédier à la perte/détérioration des information lors du transport : *contrôle d'erreur*
- En cas de saturation dans le réseau, limiter le débit d'émission pour désengorger l'embouteillage : *contrôle de congestion*
- Si le récepteur ne suit pas la cadence, adapter le débit d'émission à celui du récepteur: *contrôle de flux*
- Suivant les contraintes du réseau physique il faut découper les données en morceaux de taille convenable: *segmentation/ré-assemblage*
- ...

Diviser pour régner

- **Nombreux problèmes de diverses natures**
- **Les solutions dépendent de différents paramètres : réseau physique, qualité de service demandée ...**
 - On veut pouvoir fournir des solutions diverses et les combiner à volonté
 - Exemple:
 - » un service sans connexion préalable avec un taux d'erreur quelconque
 - » un service avec connexion et un taux d'erreur nul
- **Structuration hiérarchique des fonctionnalités nécessaires**
 - Simplification du problème par division en sous-problèmes indépendants
- **Différentes couches indépendantes s'occupant d'une partie spécifique des problèmes à résoudre**

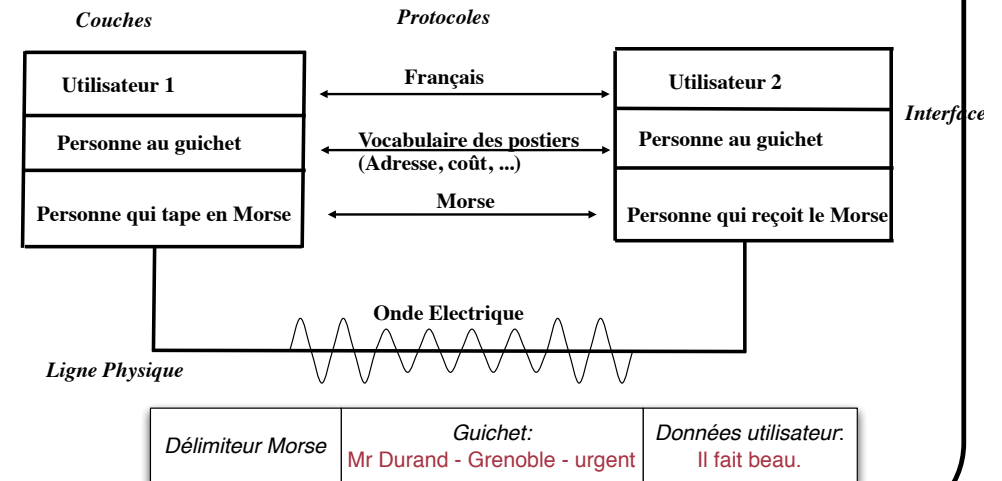
Architecture en couches

- La couche i fournit des services à la couche $i+1$ en s'appuyant sur les services de la couche $i-1$
- Deux couches de même niveau (sur deux entités) utilisent un ensemble de règles pour communiquer appelé **protocole**



EXEMPLE D'ARCHITECTURE EN COUCHE

- **Le télégraphe:**



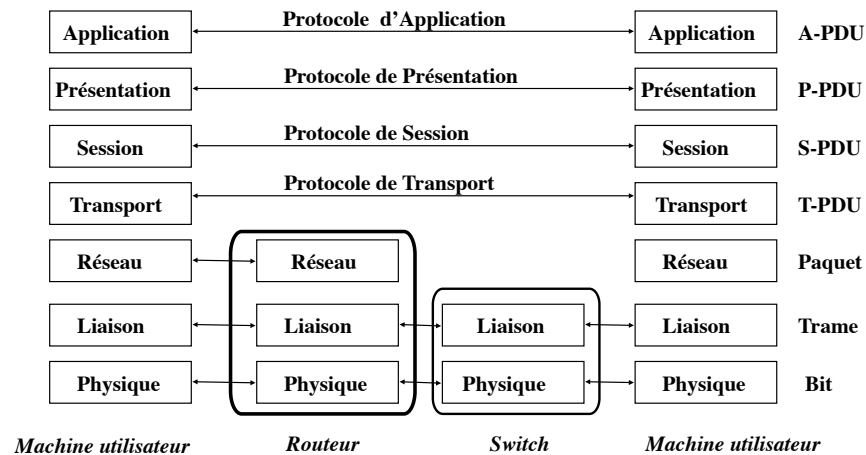
Architecture des réseaux : Définitions

- **Service:** Ensemble des fonctions offertes par une ressource
 - **Exemple:** couche «personne au guichet»: Envoi d'un télégramme
 - Une couche i utilise les services de la couche $i-1$ afin de réaliser les services pour la couche $i+1$
- **Interface:** Ensemble des règles et des moyens physiques nécessaires pour accéder à un service
 - **Exemple:** interface utilisateur/personne au guichet: guichet, papier portant le texte écrit du télégramme, le nom et l'adresse du destinataire
 - Interface entre deux couches sur une même entité pour accéder à un service
- **Protocole:** Ensemble de conventions réglant les échanges entre des entités qui coopèrent pour rendre un service
 - **Exemples:** le morse pour la couche Morse. Dire au téléphone "allo", attendre un "allo" puis parler est un protocole souvent utilisé
 - Protocole entre deux couches de même niveau sur des entités distinctes

Architecture du réseau

- Norme OSI (Open System Interconnection) composée de 7 couches pour que les protocoles soient universels
- Gros travail qui n'est quasiment pas utilisé mais qui sert de référence (nomenclature et idées)
- D'autres protocoles développés en parallèle se sont imposés par leur utilisation (protocoles actuels utilisés dans Internet)
- Différentes solutions existent pour toutes les couches sauf celle où est défini l'adressage universel
- Grâce à l'indépendance des couches, on peut combiner ces différentes solutions à volonté
- Des incohérences peuvent apparaître : par exemple la détection d'erreur peut être effectuée par plusieurs couches, ce qui est inutile

Le modèle OSI (Open System Interconnection): l'architecture en couches



Les couches du modèle OSI

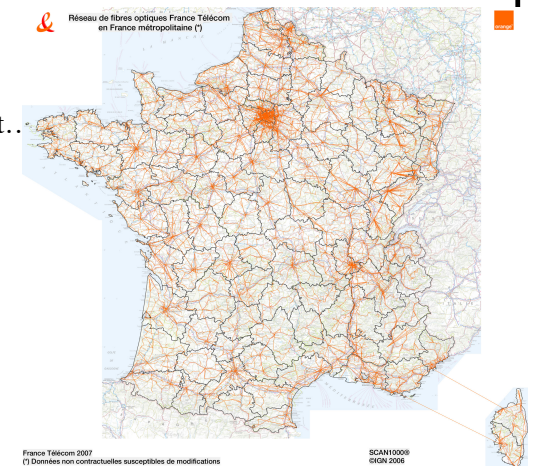
- **Application**
 - C'est le programme qui gère l'application proprement dite
 - Exemple: *ftp* : prendre le fichier sur le disque local et le passer au "réseau"...
- **Présentation**
 - Mise en forme et représentation des informations
 - Cryptage, représentation des entiers ...
- **Session**
 - Gestion du dialogue
 - Par exemple synchronisation d'un dialogue (à qui est ce le tour de parler?)
- **Ces trois couches sont réunies la plupart du temps en une seule couche: application**
- **Couches "Réseau" proprement dit (acheminement des informations): transport, réseau, liaison de donnée et physique**

La couche Transport

- Etablissement et rupture des connexions multiples
- Multiplexage vers les applications
- Dialogue de bout en bout (on ne s'occupe pas des noeuds intermédiaires)
- Découpage des trames : segmentation/réassemblage
- Récupération des pertes de paquets
- Contrôle de flux visant à asservir le débit de l'émetteur à celui du récepteur
- Contrôle de congestion : étonnant non ?
- Deux protocoles: TCP (Transfert Control Protocol) et UDP (User Datagram Protocol)

La couche Réseau

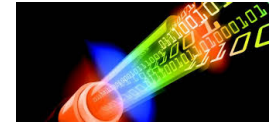
- Routage des paquets à travers le réseau
- Segmentation/réassemblage
- Contrôle de congestion
- Garantie de qualité de service: débit, taux d'erreur, temps de transfert...
- Protocole IP (Internet Protocol)



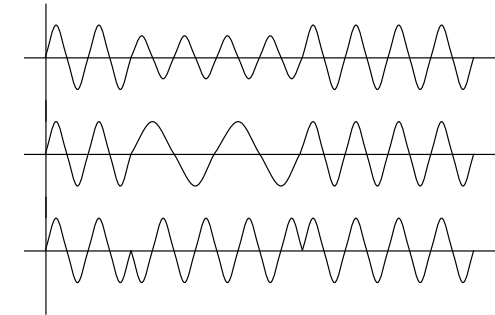
La couche Liaison de donnée

- La mise en paquet de l'information
- La détection et la correction des erreurs
- Le contrôle de flux visant à asservir le débit de l'émetteur à celui du récepteur
- Nombreux protocoles dépendant du support : Ethernet, WIFI, PPP...
- **Sous couche liaison de donnée: le partage des voies physiques à diffusion**
 - * Partage des voies à diffusion (très utilisé dans les réseaux locaux)
 - MAC : Medium Access Control
 - * Exemples: Le WIFI, le protocole Ethernet

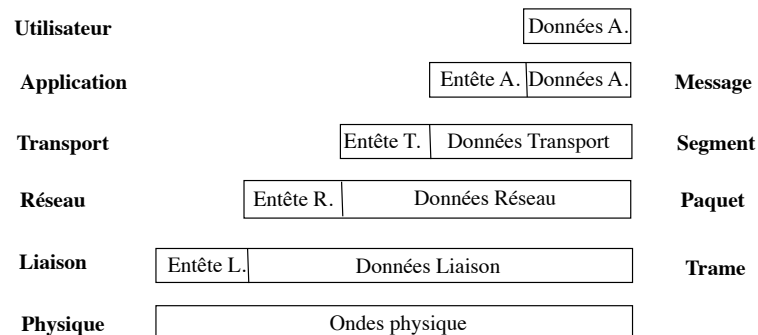
La couche Physique



- Principales caractéristiques des voies physiques
- Passage de l'information binaire aux ondes électriques, ondes lumineuses, ondes radio...
- Traitement du signal



Principe de l'encapsulation

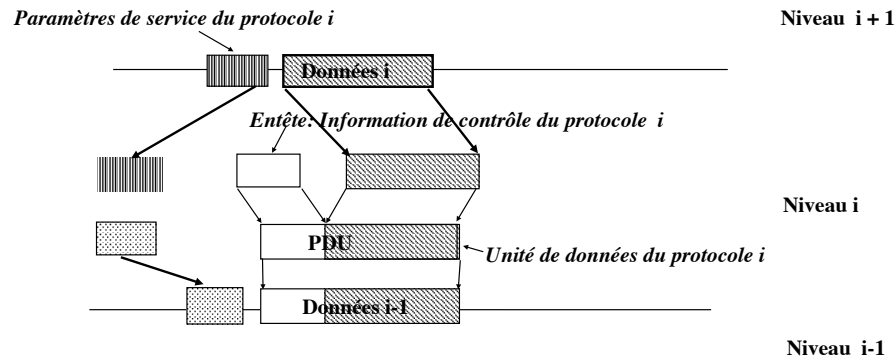


- Indépendance des couches: on doit par exemple pouvoir changer la couche transport sans modifier les couches inférieures
- Une couche i ne s'intéresse pas au contenu des données, elle doit n'utiliser que les informations de son entête pour fournir son service

Capture d'une trame

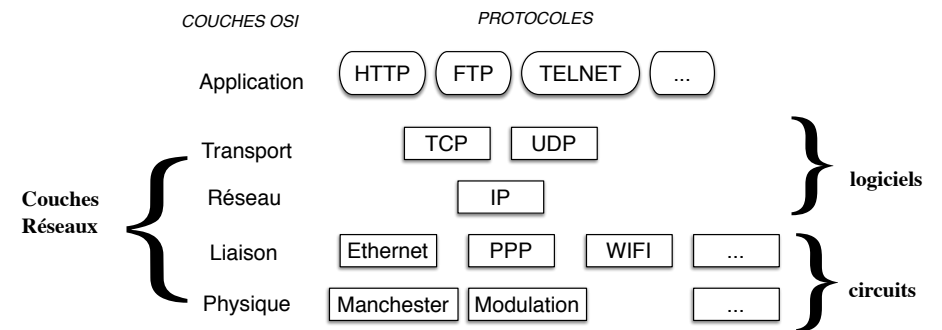
- **Frame 7: 1514 bytes on wire (12112 bits), 1514 bytes captured (12112 bits)**
- **Ethernet II,**
 - Destination: SmcNetwo_5c:9e:fc (00:04:e2:5c:9e:fc)
 - Source: Dell_0f:41:19 (00:19:b9:0f:41:19)
 - Type: IP (0x0800)
- **Internet Protocol,**
 - Version: 4
 - Header length: 20 bytes
 - Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00)
 - Total Length: 1500
 - ...
 - Source: 194.0.0.129
 - Destination: 194.0.0.2
- **Transmission Control Protocol,**
 - Source port: 59000
 - Destination port: 61589
 - Sequence number: 2897 (relative sequence number)
 - Acknowledgement number: 1 (relative ack number)
 - ...
- **Data (1448 bytes)**

Services : mise en oeuvre



- PDU: Protocol Data Unit
- Principe de l'encapsulation: PDU de niveau i: PDU niveau i+1 + entête de niveau i
- Principe inverse à la réception: chaque couche enlève son entête avant de passer les données à la couche supérieure

Les protocoles de l'Internet

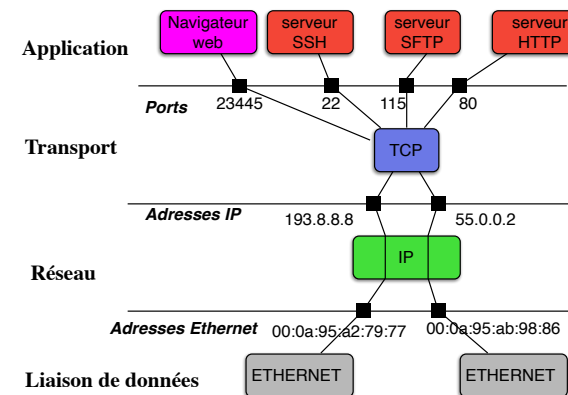


- TCP : Transmission Control Protocol
- UDP : User DataGram Protocol
- IP : Internet Protocol
- PPP : Point to Point Protocol
- WIFI: Wireless Fidelity ?
- Protocoles décrits dans les RFC (Request For Comments) disponible sur le web

Points d'accès et adresses

- Point d'accès au service ou I-SAP
- Les services fournis par le niveau i sont accessibles aux entités de niveau i+1 en des points appelés I-SAP (Service Access Points du niveau i).
- **Chaque couche protocolaire possède son type d'adresse:**
 - Application: adresse liée à une application.
 - » Exemple: adresse électronique pour le mail
 - Transport: **numéro de port** (2 octets)
 - Réseau: **adresse Internet** (4 octets, 16 octets IPv6)
 - Liaison de donnée: **adresse "physique"**. Exemple: adresse Ethernet (6 octets)

Adressage



- Numéro de port particulier attribué aux applications "standards" (/etc/services)
- Adresse IP attribuée de façon unique à une "interface réseau" sur une machine
- Adresse physique attribuée de façon unique aux "cartes réseaux"

La normalisation dans Internet

- **IETF: Internet Engineering Task Force**
 - Groupe informel international ouvert à tout individu qui participe à l'élaboration des Standards d'Internet
 - Centaines de groupes de travail
- **Elaboration des RFCs (Request For Comments)**
 - Proposition puis éventuellement Standards (norme)
 - ~4000 RFCs aujourd'hui
- **Exemple de RFCs devenu des standards**
 - UDP: RFC 768
 - IP: RFC 791
 - ARP : RFC 826
- **Accessibles sur différents site :**
 - <http://graphcomp.com/info/rfc/>
 - <http://www.ietf.org/rfc.html>

Liste des acronymes courants

- TCP: Transmission Control Protocol
- IP: Internet Protocol
- UDP: User Datagram Protocol
- FTP: File Transfer Protocol
- NFS: Network File System
- DNS: Domain Name System
- MAC: Medium Acces control
- WIFI: Wireless Fidelity
- OSI: Open Systems Interconnection
- CPL: Courants Porteurs en Ligne
- PPP: Point to Point Protocol
- QoS: Quality of Service
- PDU: Protocol Data Unit
- WWW: World Wide Web