



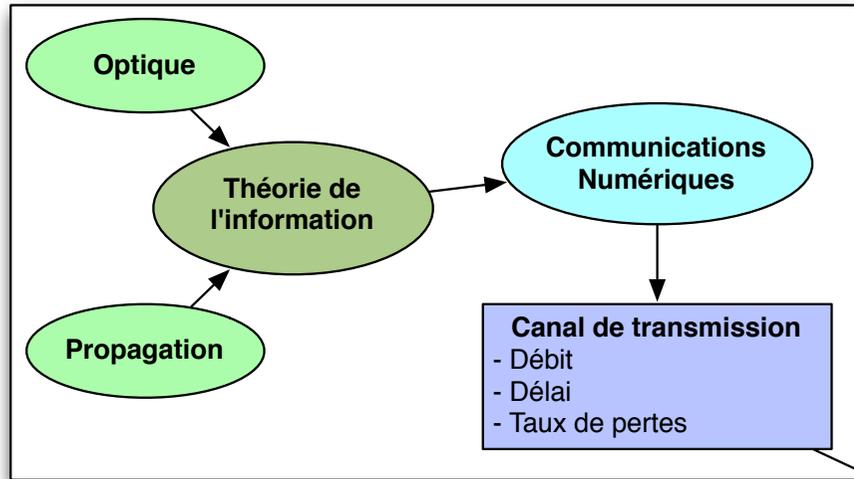
Institut
Mines-Télécom

Réseaux — Introduction

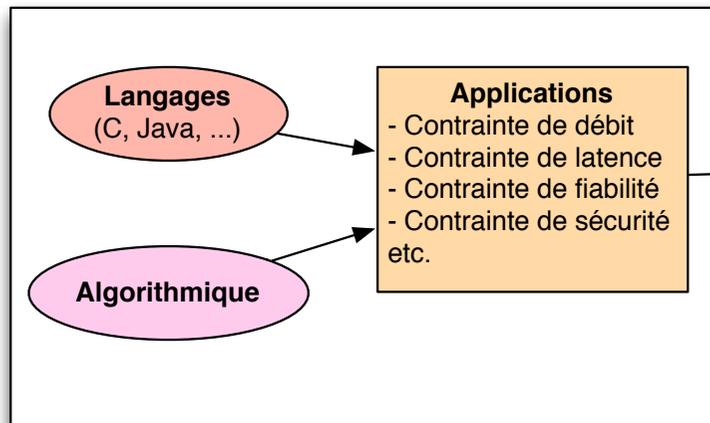
Claude Chaudet



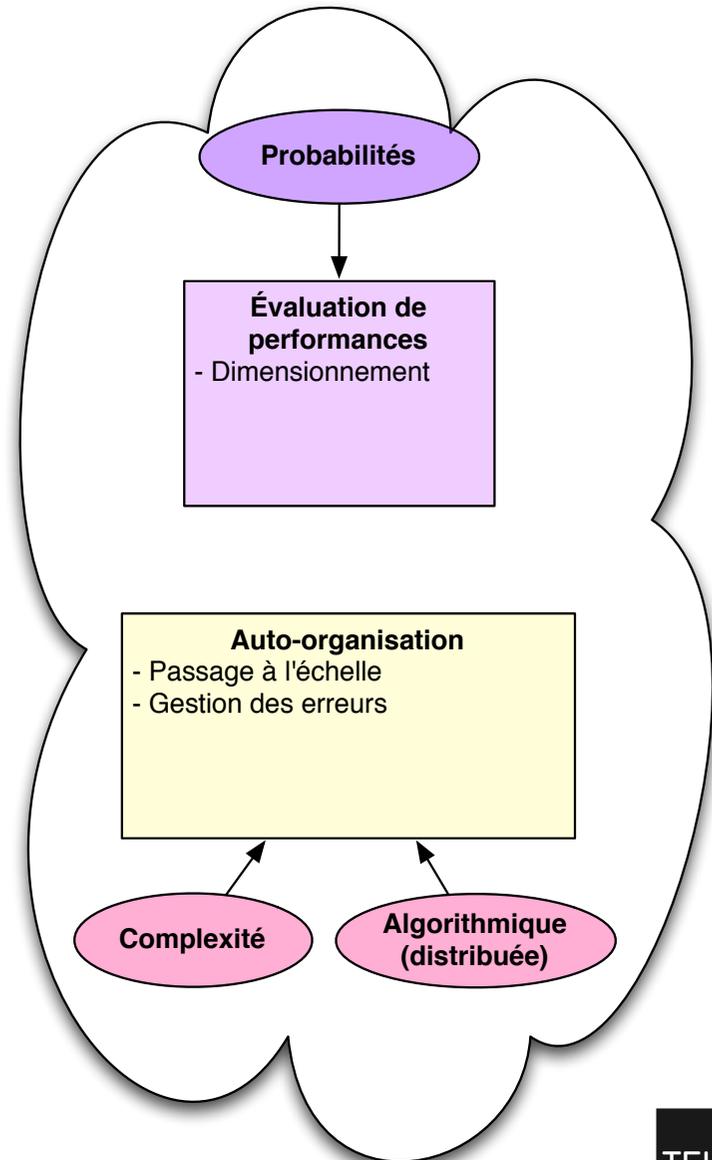
Vous êtes ici



Réseau :
successions
de liens de
communication



Réseau :
support
d'exécution
d'applications



Définition d'un réseau

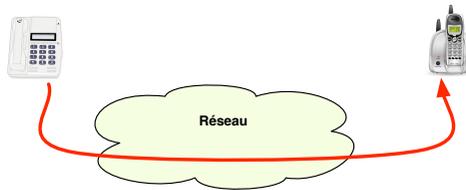
- Liens de communication
- Équipements d'interconnexion

- Identification des correspondants
- Protocoles de communication

Un réseau est **l'infrastructure** et l'ensemble des **mécanismes** permettant à plusieurs entités réparties de communiquer avec **la meilleure performance possible** :

- Qualité (rapidité, stabilité, ...)
- Fiabilité (disponibilité, perte d'information, ...)
- Sécurité (confidentialité, ...)
- Efficacité (ne pas gâcher les ressources du réseau)
- etc.

Exemples de Réseaux

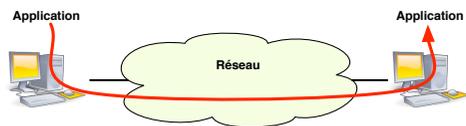


■ Réseau Téléphonique Commuté (RTC)

- Conception pour un service unique
- Évolutions du réseau : modems ; RNIS ; xDSL

■ Réseaux cellulaires (GSM)

- Conception pour un service unique
- Interconnexion au réseau téléphonique classique
- Évolutions du réseau : GPRS, EDGE, UMTS (3G)



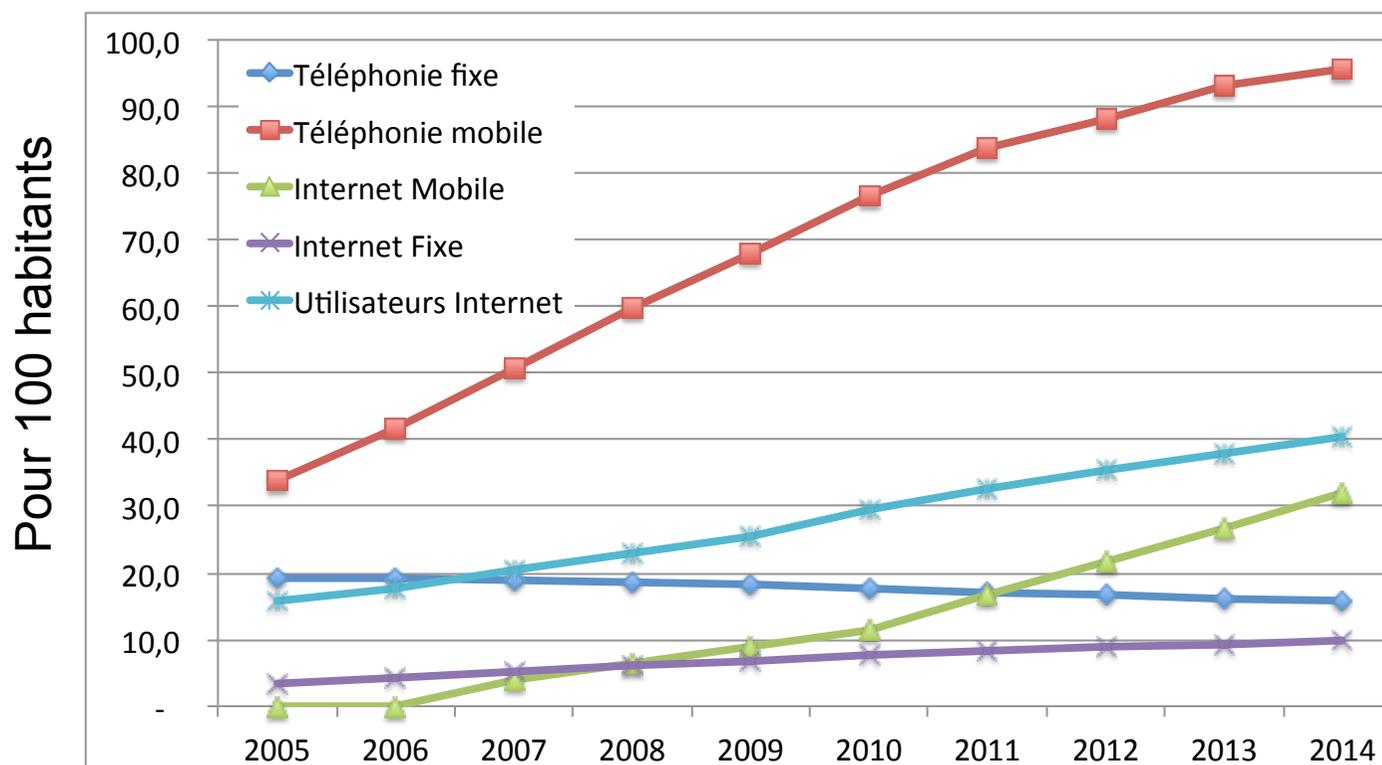
■ Réseaux locaux (LAN)

- Taille typique : quelques dizaines de terminaux
- Interconnexion pour former un réseau de réseaux (Internet)
- Dédié au transfert de données du mieux possible
- Technologies typiques : Ethernet, Wi-Fi
- Évolution des applications : ToIP, streaming, ...

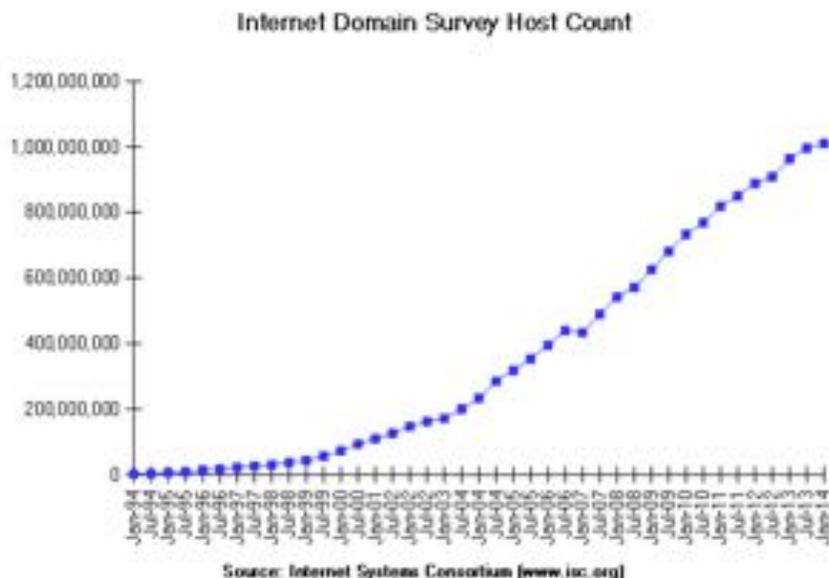
Les réseaux aujourd'hui

■ Source : Union Internationale des Télécommunications (ITU)

- <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>



Internet : ordre de grandeur



Evolution du nombre de **terminaux** sur Internet
(estimation)

Source : *Internet Systems Consortium*

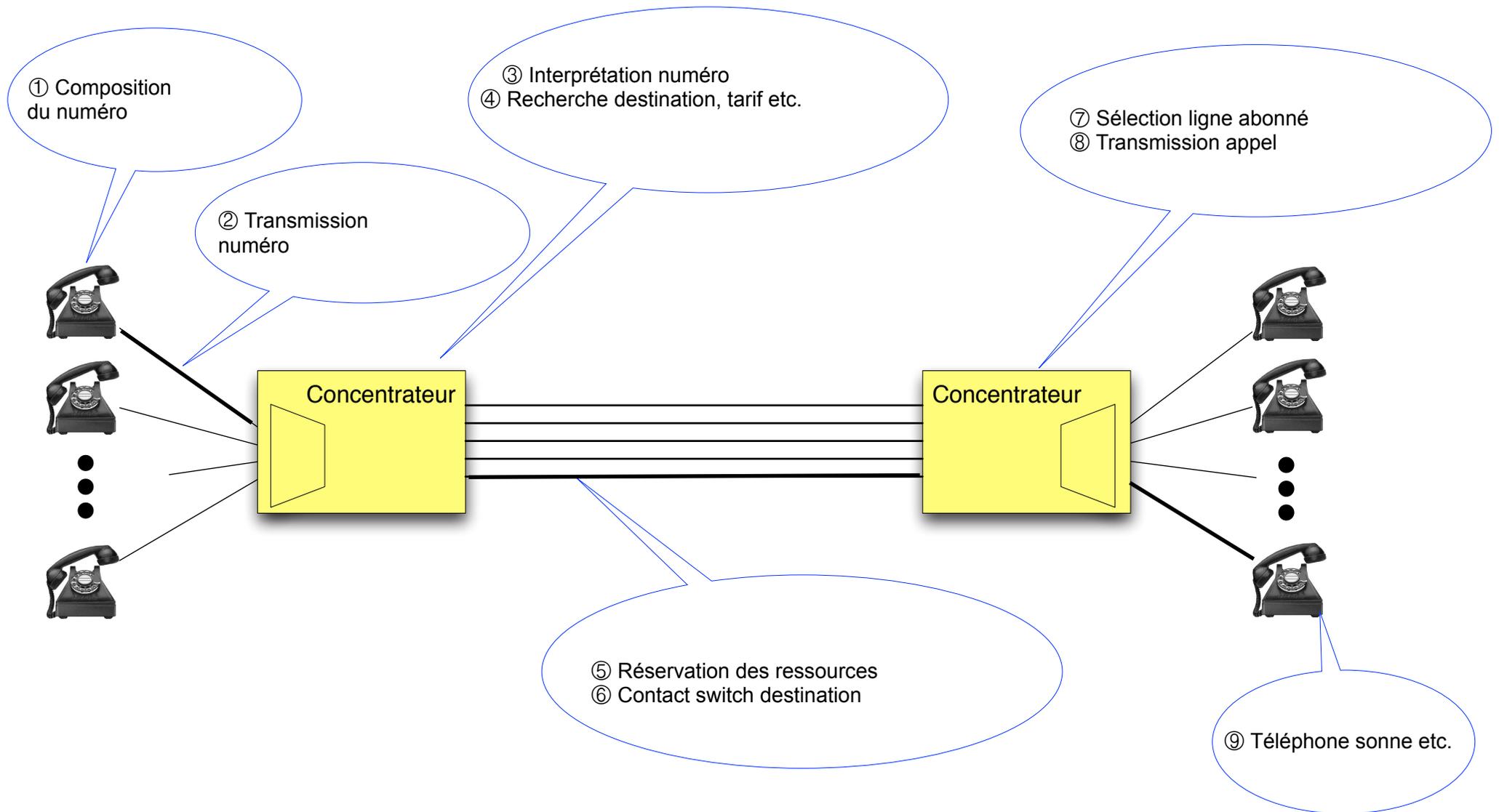
■ Problématique principale : le passage à l'échelle

- Comment identifier les terminaux et serveurs ?
- Comment localiser les terminaux et acheminer les données vers eux ?
- Comment réagir aux modifications et pannes d'équipements / de réseaux ?

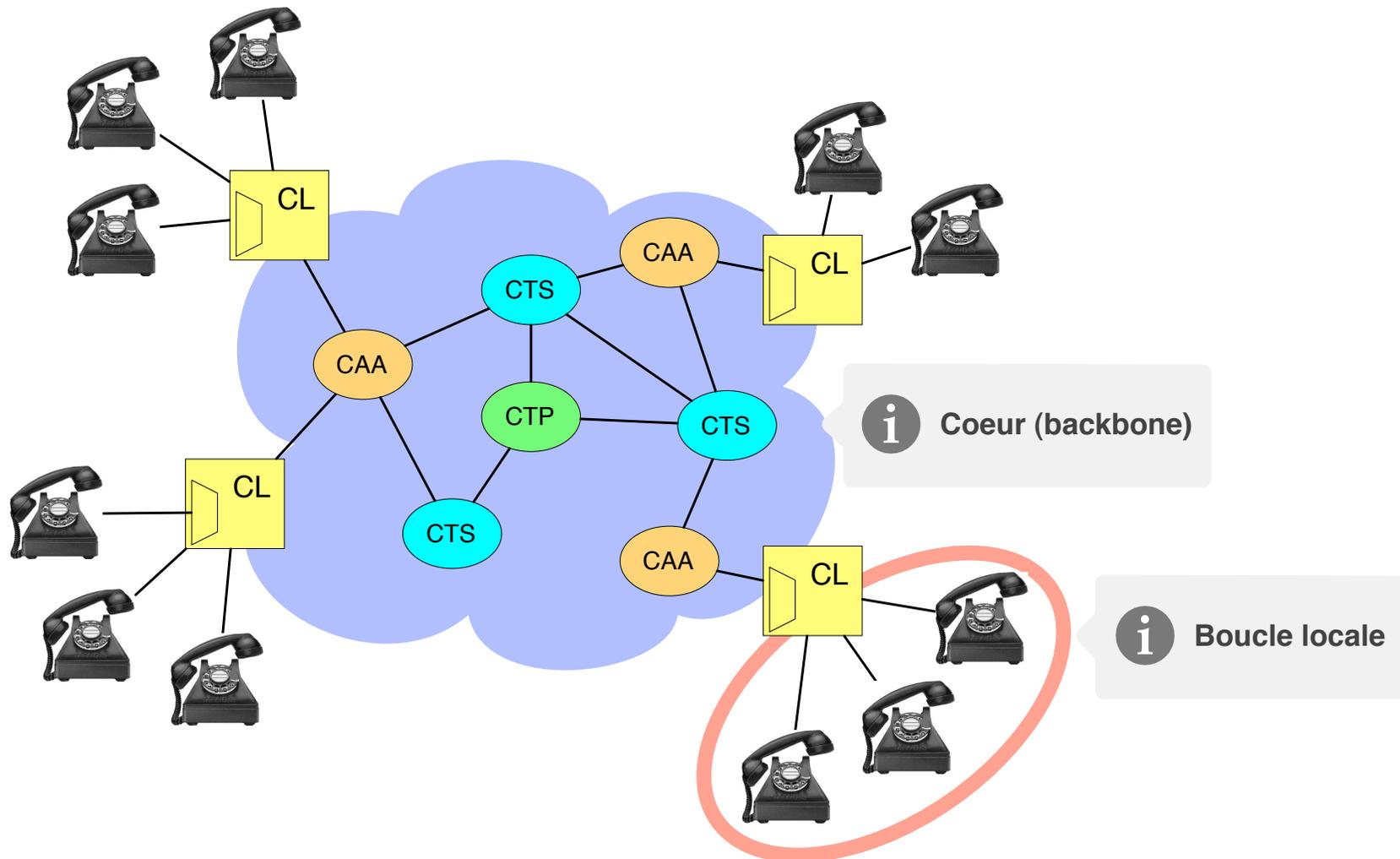
La téléphonie fixe



Service téléphonie (RTC)

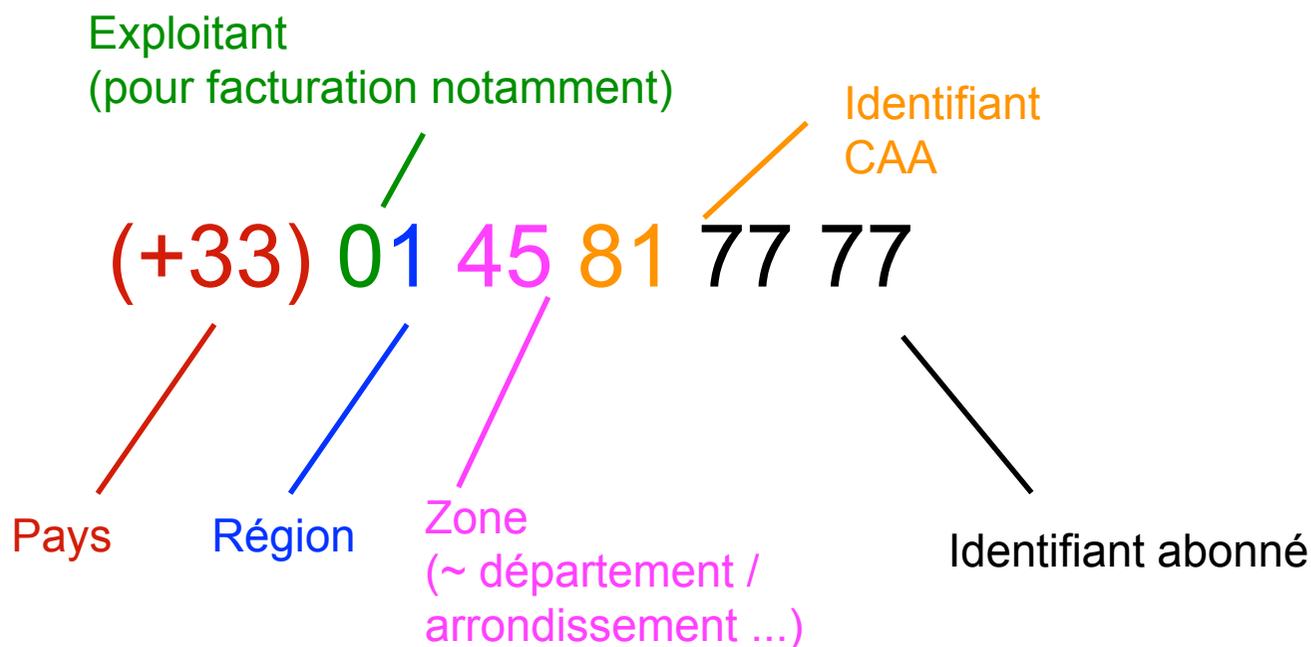


Réseau téléphonique — architecture



Identification de l'appelé & routage

- La sélection des différentes lignes (prochain commutateur, ligne de l'abonné, etc.) s'effectue sur la base du numéro de téléphone
- Il existe un plan de numérotation qui identifie les chemins au moyen d'annuaires (bases de données)
 - En France il est défini par l'ARCEP (<http://www.arcep.fr/>)



Utilisation du réseau pour transférer des données : du modem à l'ADSL

- **Le RTC fournit un canal de communication bruité entre correspondants**
 - On peut y faire passer n'importe quel type de données
 - Exemple : dicter un texte à taper
- **Améliorations successives du dernier lien (entre l'abonné et le réseau)**
 - Modems analogiques
 - Modulation et démodulation : conversion analogique (audio) ↔ numérique
 - Débit typique : 56 kbit/s (recommandation V.92)
 - RNIS (ISDN)
 - Plusieurs lignes téléphoniques dont certaines dédiées aux données
 - Débit jusqu'à 2 Mb/s
 - xDSL (ADSL, SDSL, VDSL, ADSL2+, ...)
 - Utilisation d'une plage de fréquences inutilisée sur les lignes classiques (technique de modulation avancée)
 - Débits jusqu'à 100Mb/s (VDSL2)
 - Aucune garantie sur la qualité de la transmission

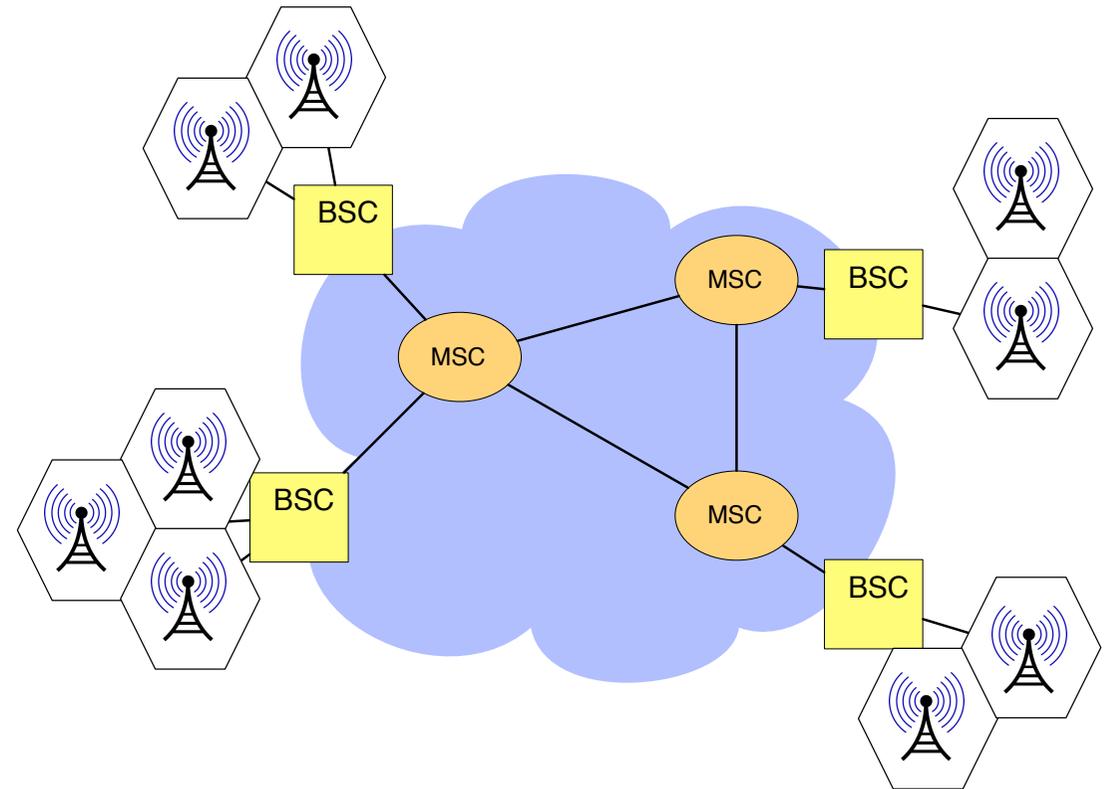
La téléphonie cellulaire



Téléphonie Mobile (GSM)

■ Simplification (logique) de l'architecture du cœur de réseau par rapport au RTC :

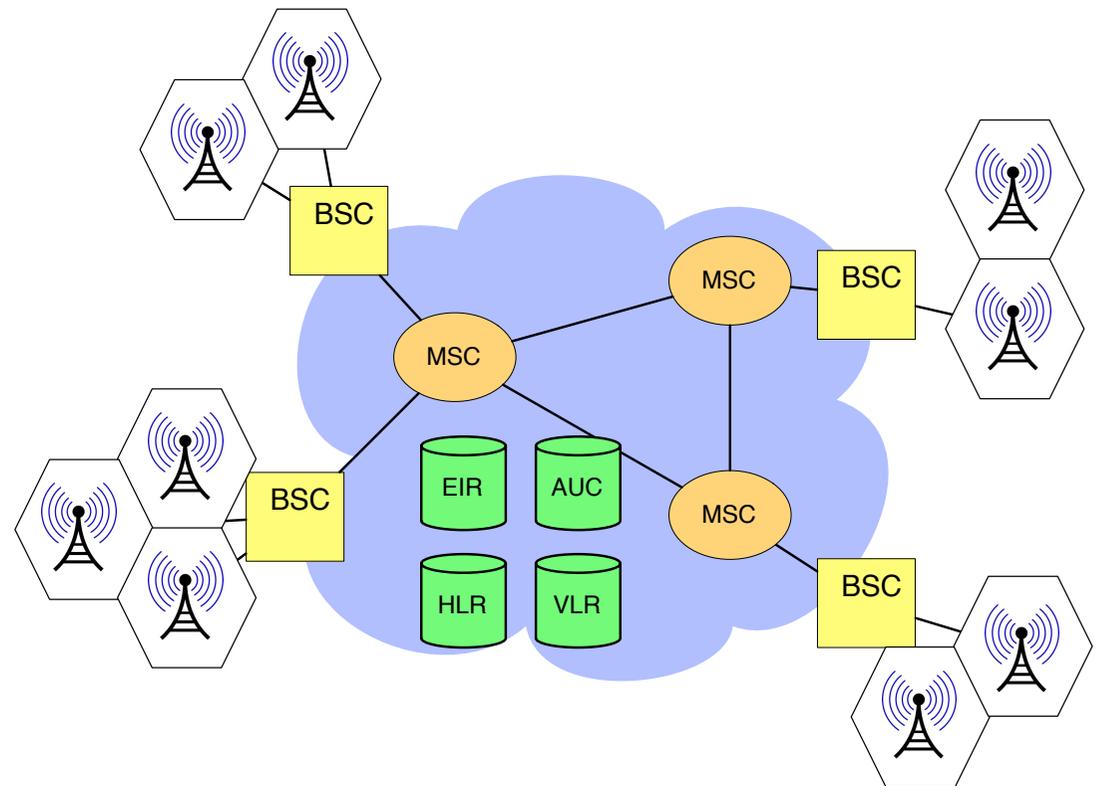
- BSC (contrôleur de stations de base)
 - Gestion du spectre (allocation de canaux)
 - Gestion locale de la mobilité (handovers)
- MSC (centre de commutation mobile)



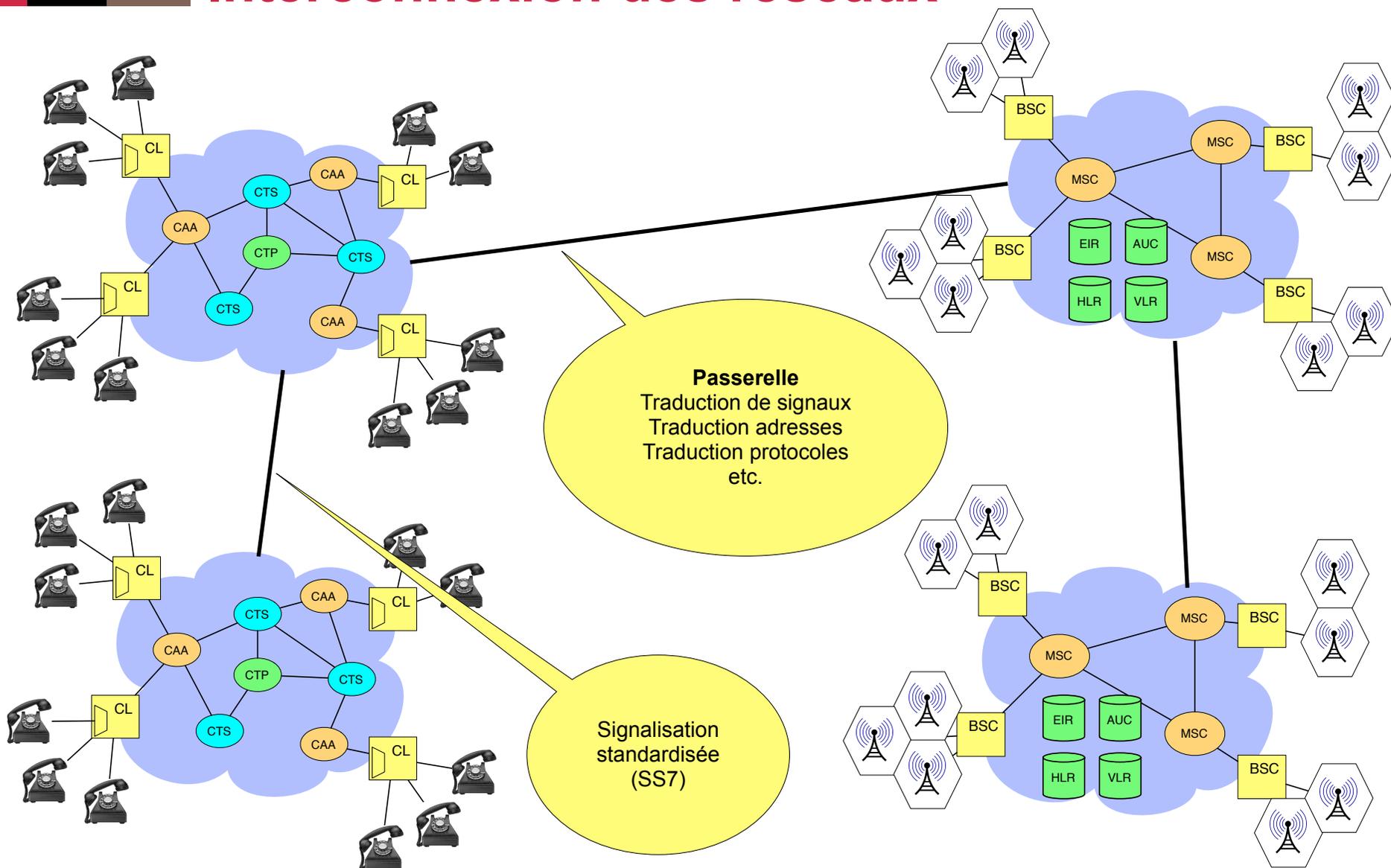
Téléphonie Mobile (GSM)

■ Bases de données pour

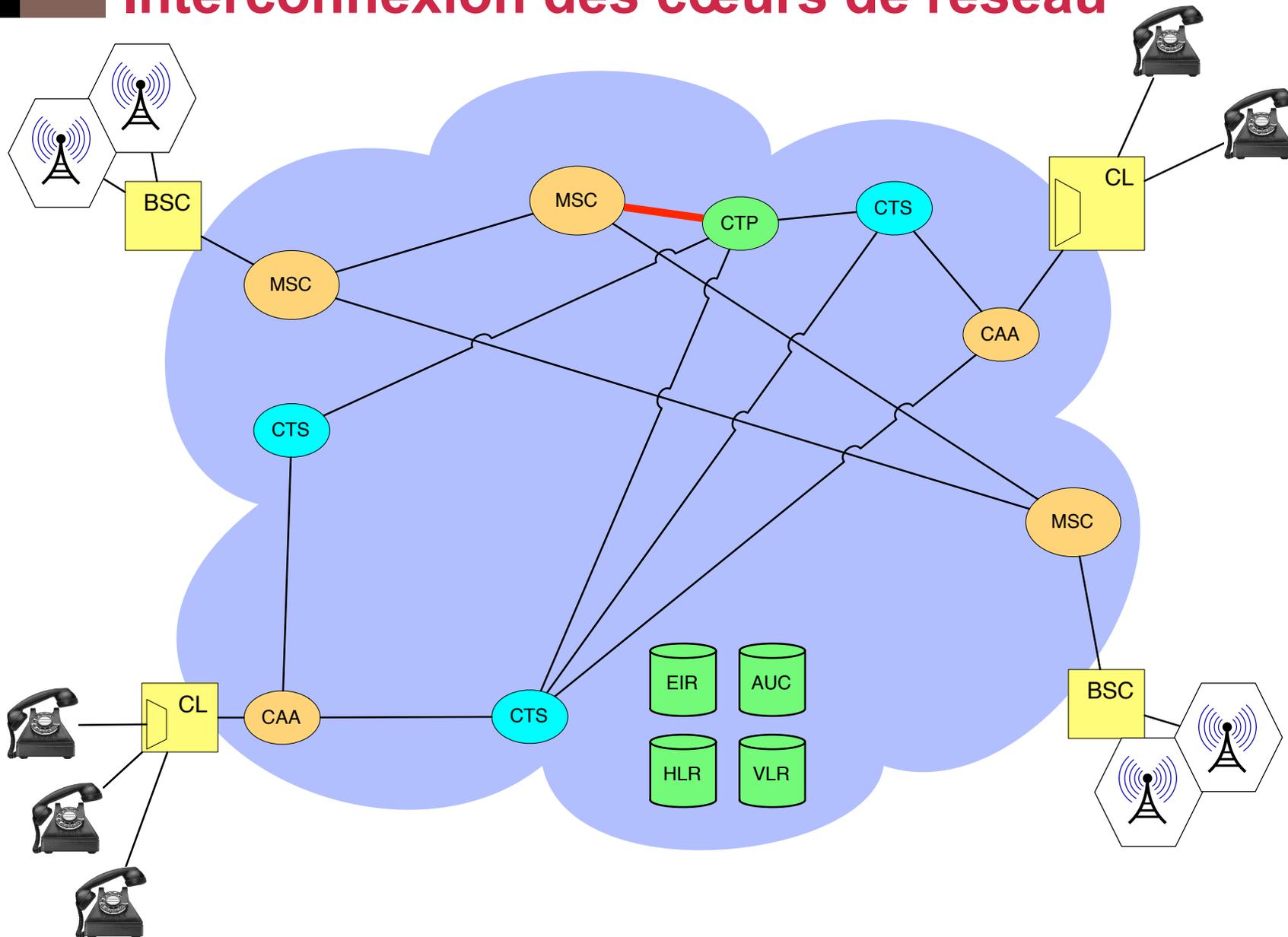
- Facturation
- Localiser les utilisateurs (HLR)
- Gestion des visiteurs (VLR)
- Gestion des terminaux (EIR)



Interconnexion des réseaux



Interconnexion des cœurs de réseau



Transferts de données

■ GSM (2G)

- Débit utile : 9,6 kb/s

■ GPRS (2,5G)

- Ajout d'un mode "données" (commutation de paquets) au GSM
- Débit maximal ~ 50kbit/s

■ EDGE (2,75G ; GPRS amélioré)

- Evolution des techniques de modulation et de codage
- Débit max. 384 kbit/s

■ UMTS (3G)

- Changement de bande de fréquence ;
- Débit jusqu'à 2Mbit/s (fixe) ou 384 Mb/s (en mouvement)

■ HSDPA (3,5G ; 3G+)

- Correction d'erreurs très efficace
- Débit de l'ordre de 7 Mb/s en voie descendante

■ LTE, LTE advanced (4G)

- Débit théorique de l'ordre de 300Mb/s

Améliorations successives sur plusieurs fronts :

la bande de fréquence

le codage, la modulation

la compression, la correction d'erreurs

Réseaux dédiés données

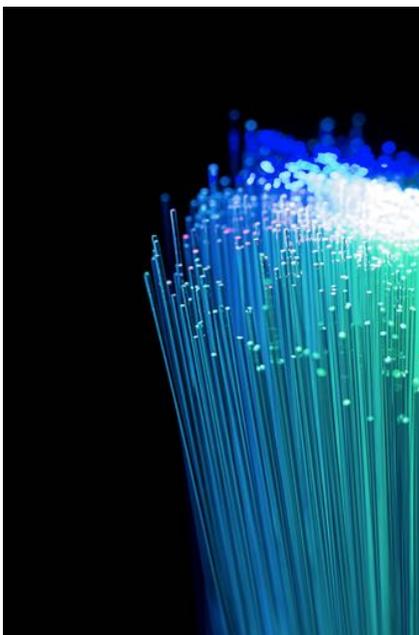


Illustration : Ben Felten



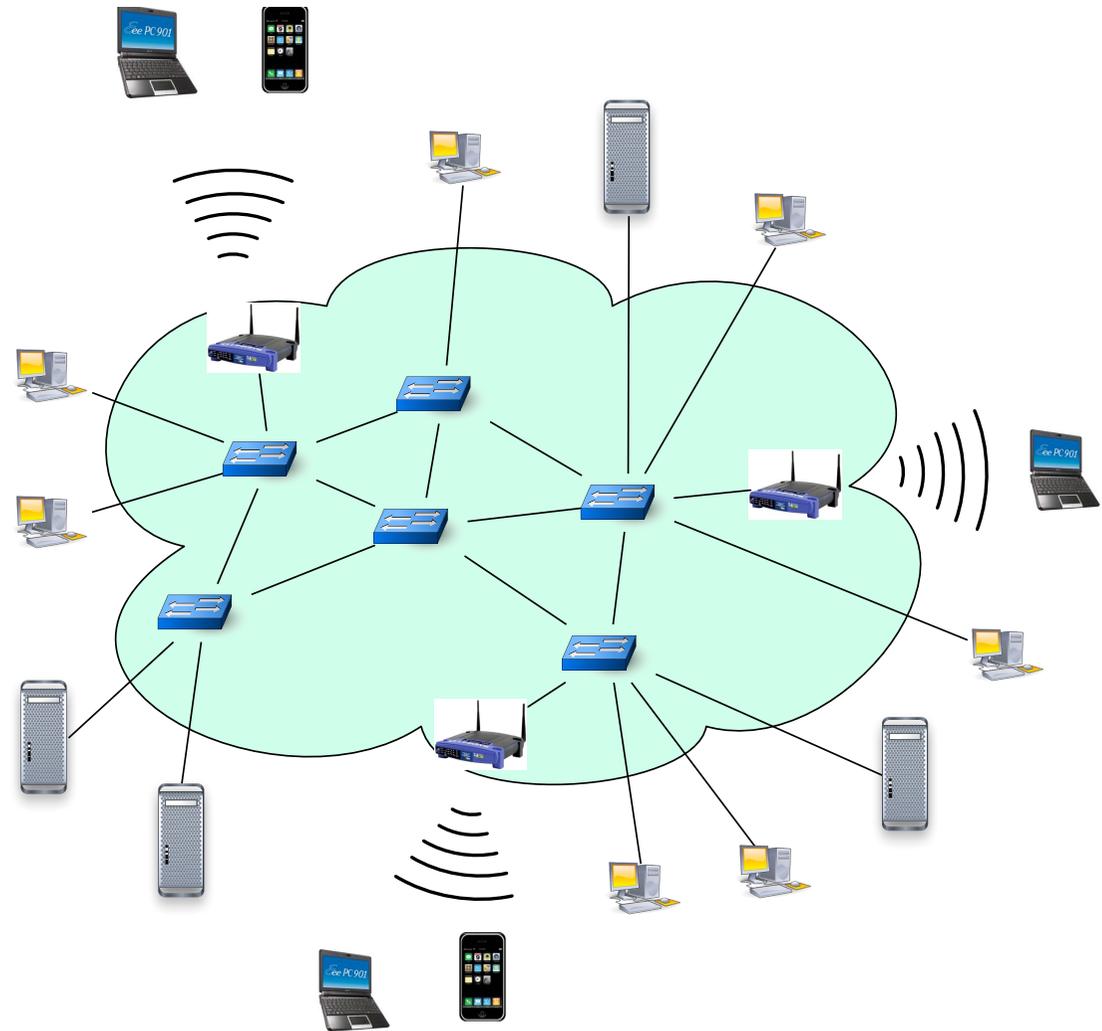
Réseau local (LAN)

■ Infrastructure formée de

- Commutateurs (Ethernet)
- Points d'accès (Wi-Fi)

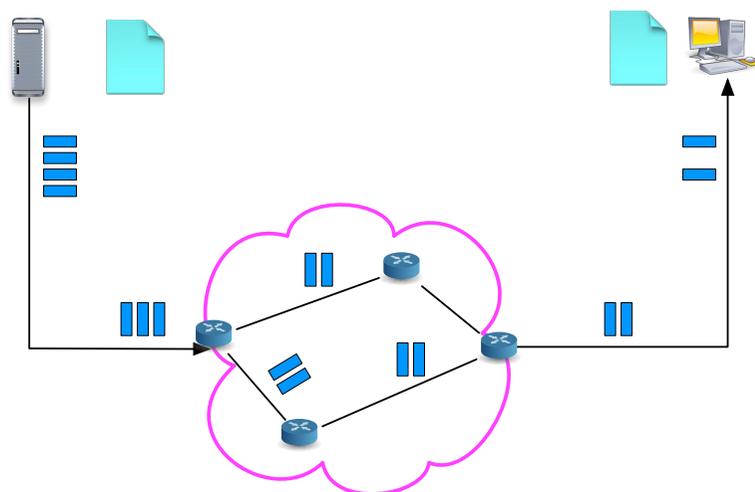
■ Principe de fonctionnement :

- Pas de réservation de chemin pour une communication
- Acheminement de petites unités d'information (trame)



Commutation de paquets

- **Le principe : diviser l'information en petites unités (datagrammes, paquets, ...) acheminés indépendamment**
 - Meilleure réactivité aux erreurs et pertes dans le réseau
 - Meilleur partage à l'utilisation des liens de communication (trafic irrégulier)



- **Concept fondateur et distinctif de l'Internet d'aujourd'hui**
 - Projet Cyclades (Louis Pouzin, 1971)
 - TCP/IP (Vint Cerf, Bob Kahn, 1974)

Identification des correspondants : adressage MAC

- **Acheminement trame par trame, de proche en proche sur la base de l'adresse MAC du destinataire**
 - Propre à chaque carte réseau
 - Une carte Wi-Fi et une carte Ethernet dans le même ordinateur ont deux adresses différentes
 - Affectée à la construction de la carte

20:c9:d0:42:cf:47

Identification constructeur

Identifiant carte réseau (numéro de série)

- **De facto, pas de plan de numérotation**
 - L'adresse ne contient aucune information sur le chemin dans le réseau
- **Pas d'annuaire central : les commutateurs apprennent la localisation des abonnés à la volée**
 - Base de données locale et propre à chaque commutateur

Internet



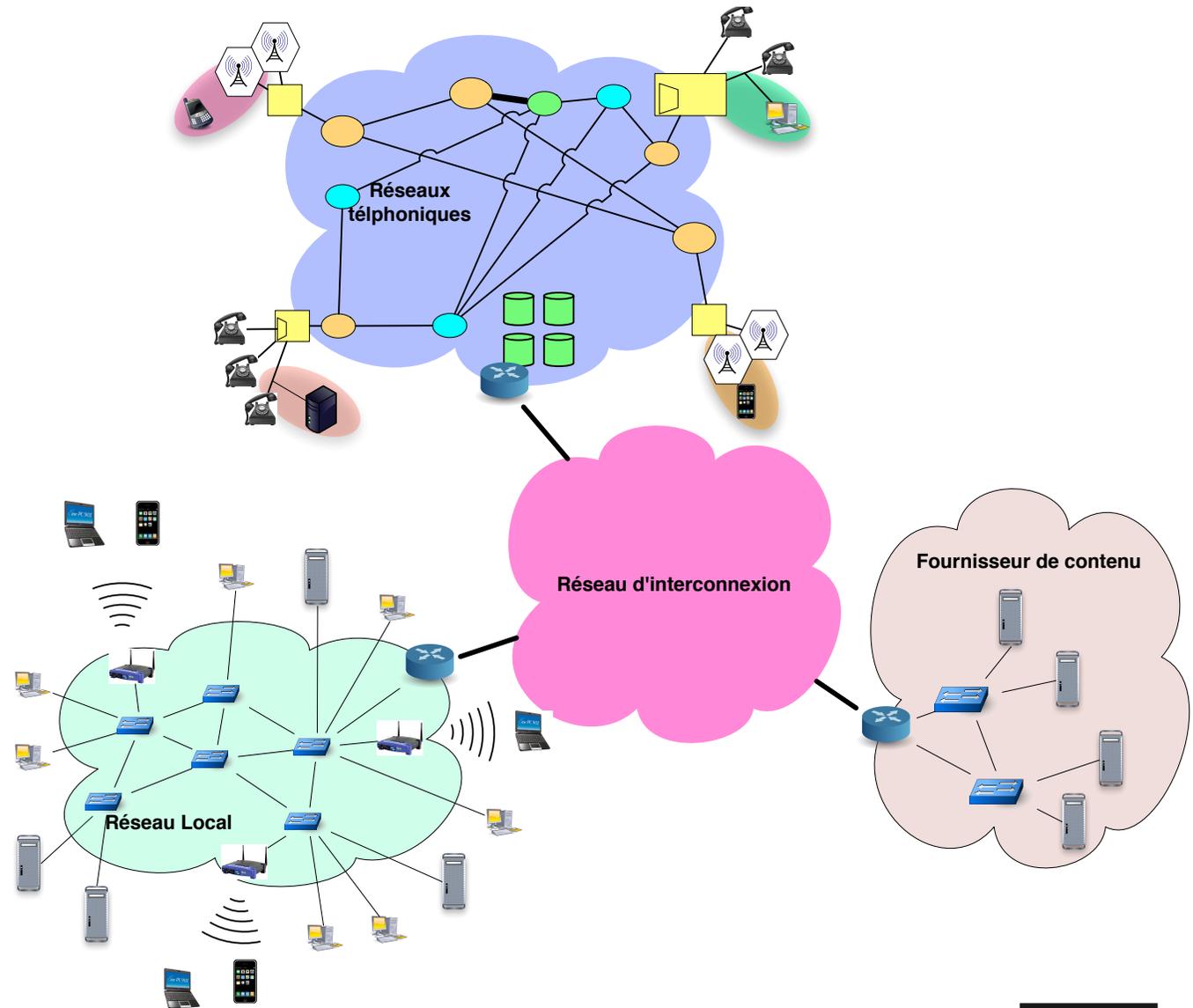
Internet comme l'interconnexion des services de données

■ Les réseaux précédents sont des réseaux d'accès

- Utilisateurs
- Fournisseurs de contenus & applications

■ Internet ajoute un réseau de coeur

- dédié à l'interconnexion
- pas de source ou de destination de trafic
- Opérateurs multiples et souvent différents des opérateurs d'accès



Standards pour l'interconnexion

- **Chaque réseau a son fonctionnement interne propre mais l'interface vers le réseau d'interconnexion répond à certains standards**
- **Commutation de paquets**
 - Problème des services nécessitant une commutation de circuit : Internet ne fournit aucune garantie => apparition tardive de la ToIP (téléphonie sur IP)
- **Adressage unifié : adressage IP**
 - Formats d'adressage individuels disparates
 - Pas toujours une information de localisation dans l'adresse (ex: adresse MAC)
 - Aucune garantie sur l'unicité des adresses

Identification des correspondants : adressage IP (Internet Protocol)

- **Adresse IPv4 : sur 32 bits (4 nombres entre 0 et 255)**
- **Composée de deux parties :**
 - Préfixe : Un identifiant réseau attribué par un organisme central (IANA)
 - Identifiant d'interface : propre à chaque machine
 - Allocation laissée à la discrétion du gestionnaire du réseau

Préfixe

(identifiant réseau)



- **Format souple**
 - la longueur du préfixe est variable (dépend de la taille du réseau)
 - Longueur du préfixe définie au bit près
- **Adressage dynamique**
 - On peut changer d'adresse à chaque connexion
 - **L'adresse IP indique donc, en soi, une localisation et pas une identité**

Architecture d'Internet



Organisation d'Internet

■ Internet est de facto plus complexe qu'une simple interconnexion de réseaux locaux

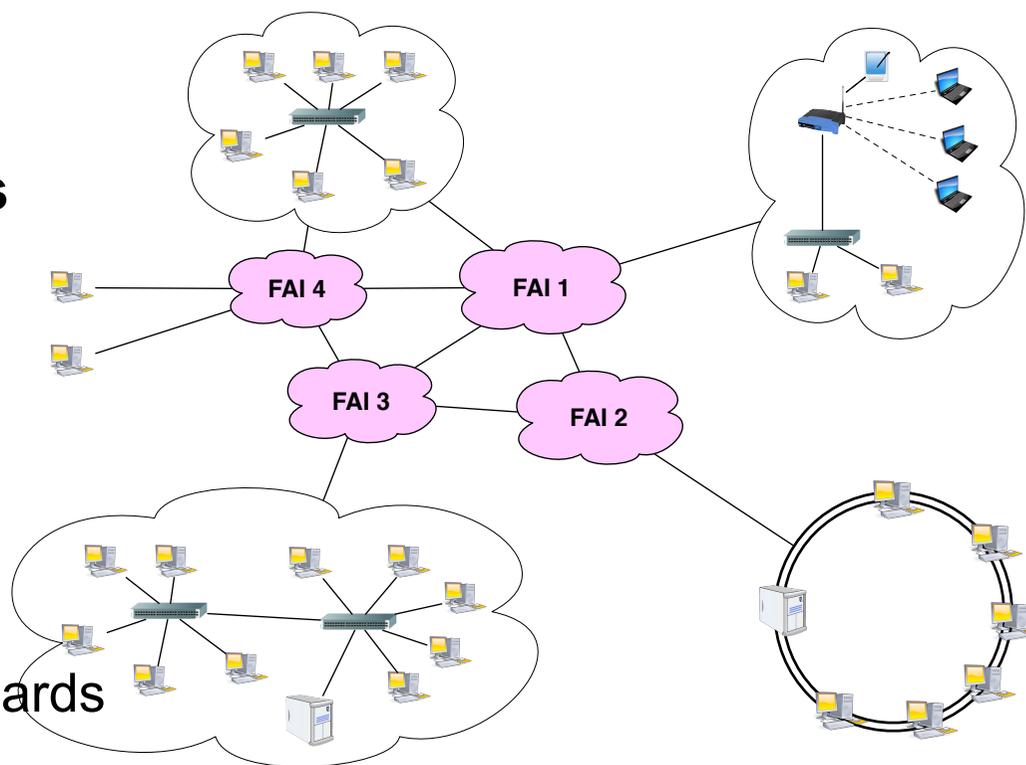
- Il ne suffit pas de vouloir s'interconnecter pour le réaliser
- Nécessité d'organisations / entreprises fournissant cette connexion

■ Ces organismes se nomment opérateurs de communications électroniques ou fournisseurs d'accès à Internet (FAI)

- ISP (Internet Service Provider) en anglais

■ Chaque FAI est autonome

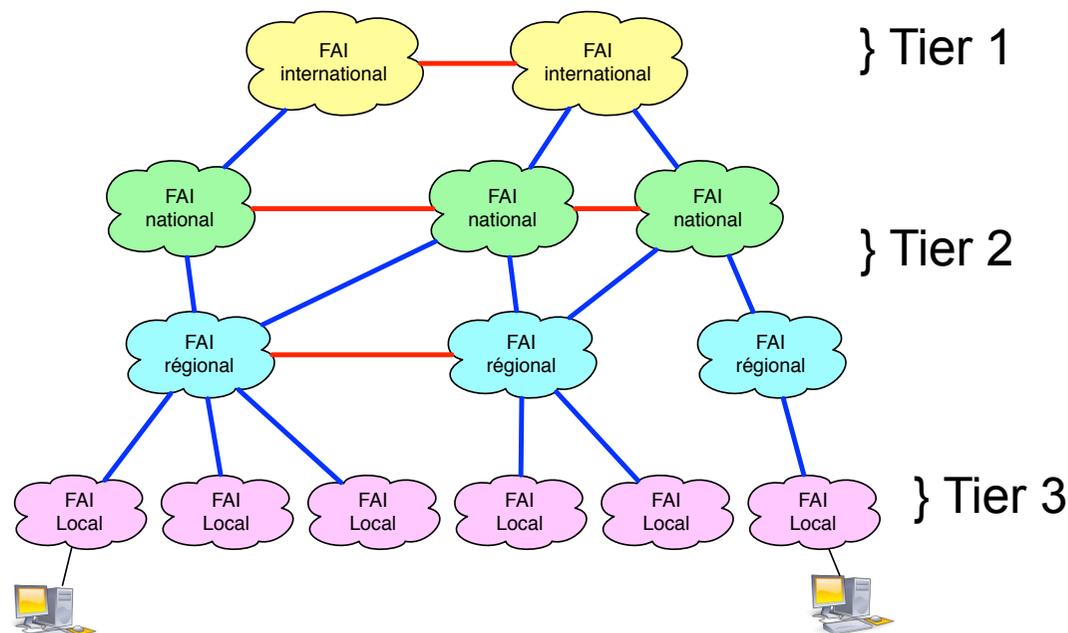
- Les interfaces seules sont standards



Accords entre FAI et hiérarchie

■ Il existe différents niveaux de FAI

- Certains connectent des clients d'autres uniquement des FAI
- Souvent liés à l'étendue géographique
- Appelés Tier {1,2,3} (définition floue)



■ Accords (contrats) entre FAI

- Spécifient le volume de données autorisé dans chaque direction
- Accords de transit (—) entre FAI de niveaux différents
 - Généralement payant, un réseau offrant du transit n'est souvent ni source ni destination
- Accords de *peering* (appairage) (—) entre FAI du même niveau
 - Souvent réciproques et gratuits

Modèle économique de l'Internet

■ Opérateurs de communications électroniques

- Les FAI locaux facturent leurs usagers
 - Abonnements forfaitaires “Best Effort”
 - Liaisons louées avec garanties
- Les FAI facturent le transit mais le peering est gratuit
 - Peering avec des fournisseurs de contenu pour alléger les liaisons de transit
- Investissement dans le réseau : nouvelles technologies, liens d'interconnexion plus importants, licences radio, etc.

■ Fournisseurs de contenu

- Sites marchands (e-commerce)
- Publicité et activités annexes (profilage des usagers pour publicité ciblée)
 - Peu d'acteurs réellement importants



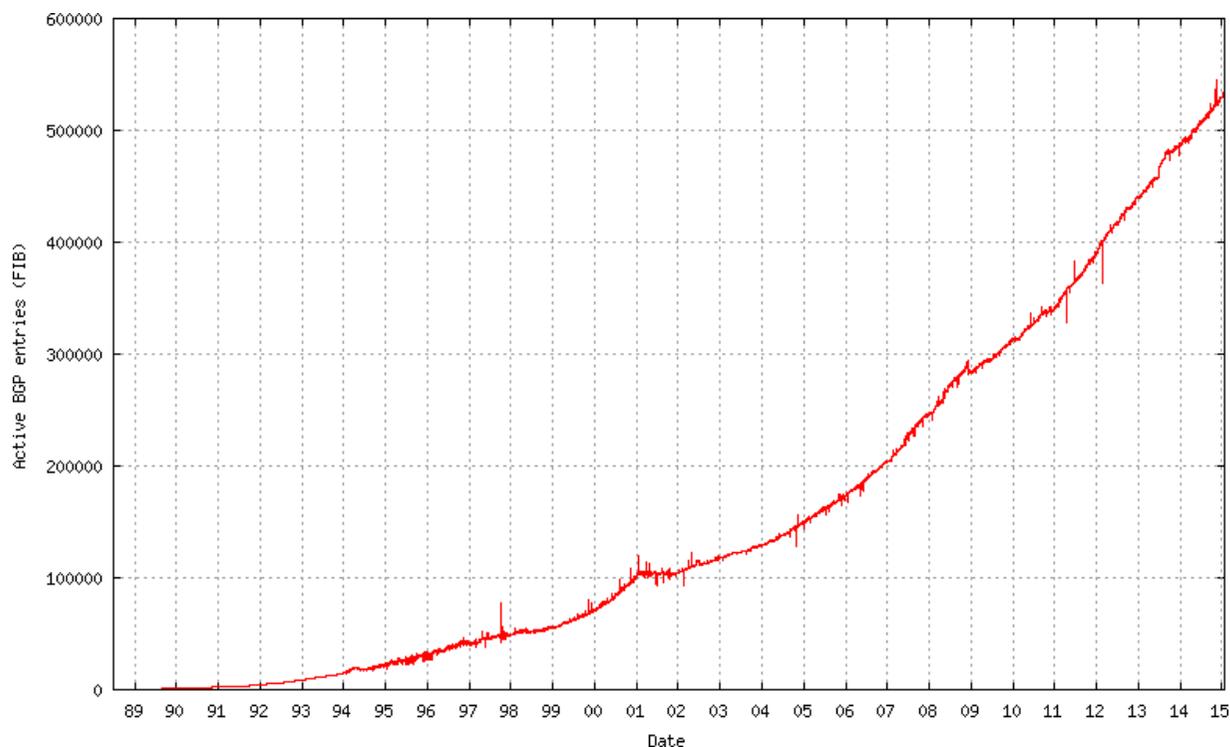
Neutralité du réseau

- **Question centrale : les FAI doivent-ils pouvoir contrôler le passage sur leur réseau des flux de données ?**
 - Blocage, ralentissement, etc.
- **Point de vue opérateur**
 - Croissance constante des volumes échangés (vidéo, téléchargements, etc.)
 - Investissements massifs sur l'accès : Fibre (FTTx), 4G (LTE)
 - Aucun partage des revenus des fournisseurs de contenu (peering gratuit)
- **Point de vue fournisseur de contenu**
 - Situation actuelle satisfaisante : paient déjà leur accès au réseau
 - Financement potentiel trop faible pour financer nouveaux réseaux d'accès
 - Perte du contrôle sur quels contenus sont mis en avant
- **Point de vue utilisateur**
 - Qualité dégradée pour des services en croissance
 - Fin des forfaits "Internet illimité"
 - Dégradation en fonction de critères commerciaux (partenariats)
 - Spectre de la censure (contrôle des pouvoirs publics sur les opérateurs)

Internet - interconnexion de réseaux

■ Aujourd'hui, Internet est composé d'environ 50000 Systèmes Autonomes

- Fournisseurs d'accès, de contenus
- Réseaux d'opérateurs, d'entreprises
- etc.

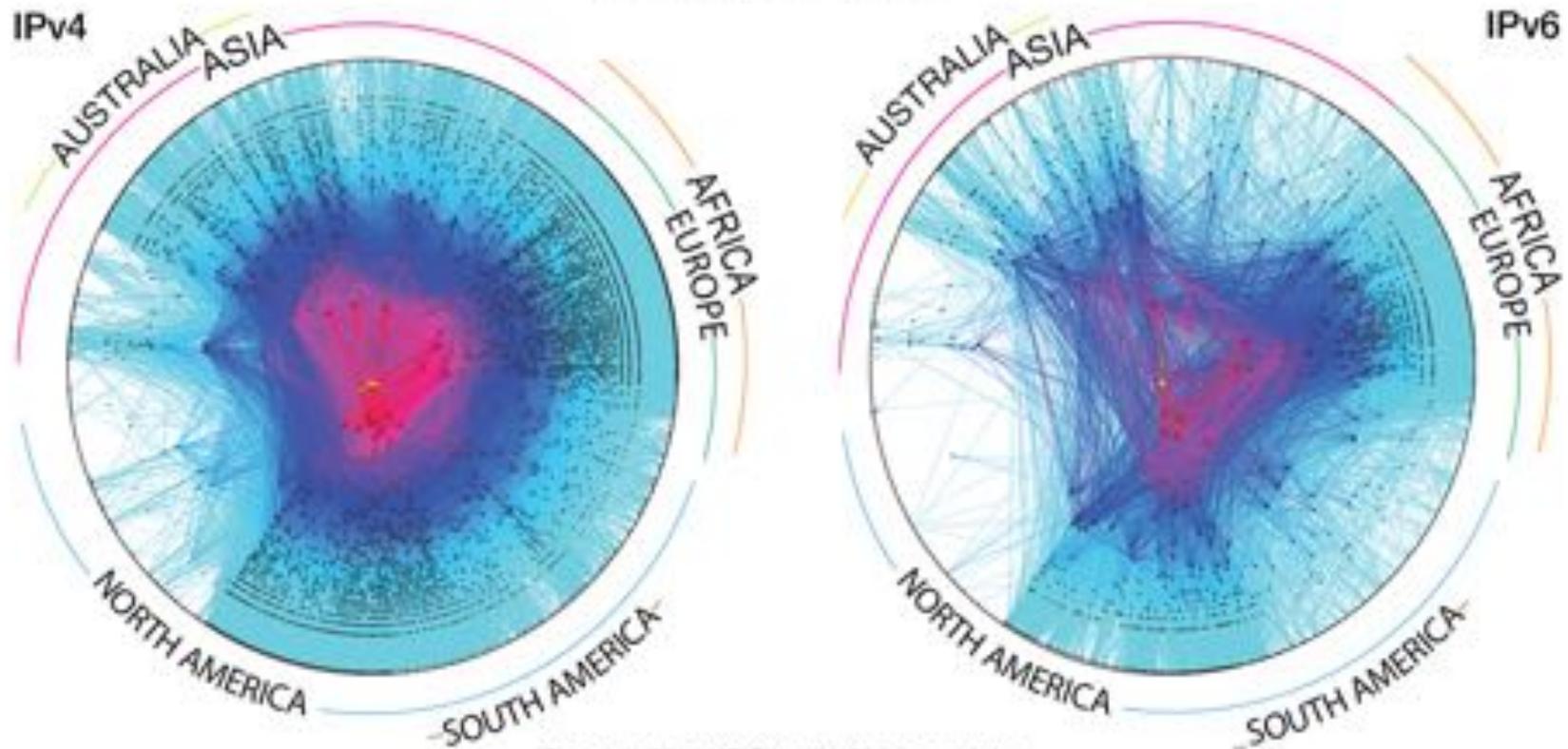


Évolution du nombre d'AS dans l'Internet

Source : <http://bgp.potaroo.net/as1221/bgp-active.html>

Graphiquement

CAIDA's IPv4 & IPv6 AS Core
AS-level INTERNET Graph
Archipelago January 2014



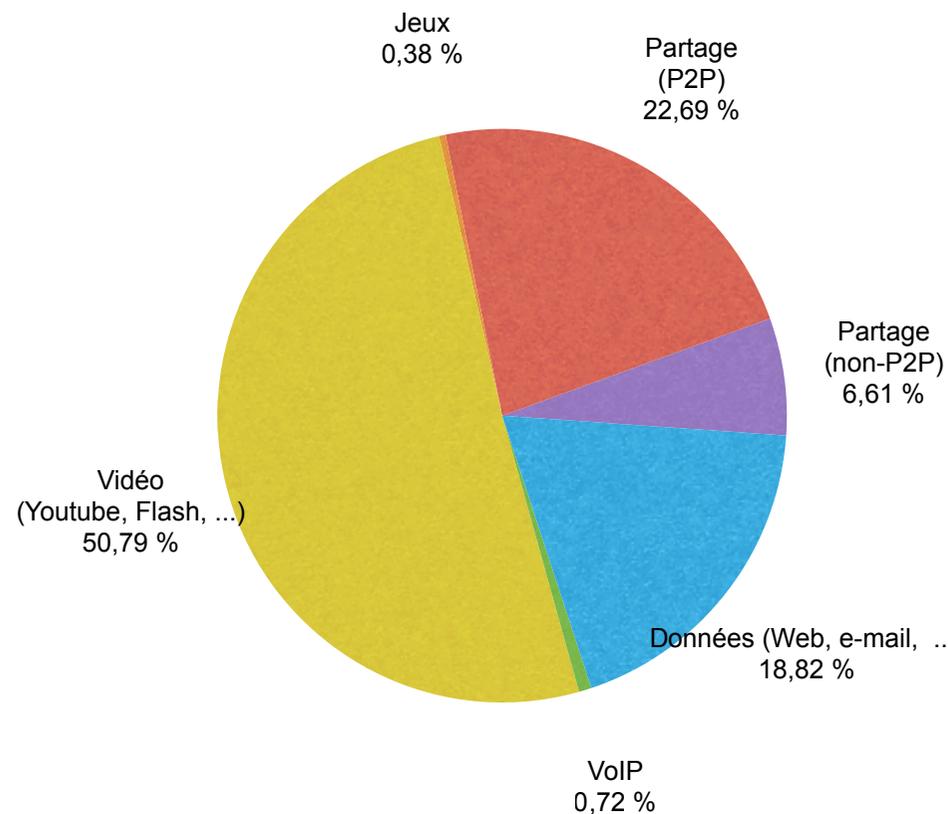
Copyright 2014 UC Regents. All rights reserved.

Applications



Des réseaux multiservices

- **Internet, contrairement au réseau téléphonique initial, n'est pas un réseau dédié**
 - Web (Google, Yahoo, Facebook, Wikipedia)
 - Téléchargement (FTP, P2P, serveurs de stockage, ...)
 - Messageries (instantanée, e-mail, twitter, ...)
 - Vidéo (Streaming (youtube), broadcast (télévision), VoD, ...)
 - Téléphonie (ToIP, Skype, ...)
 - Jeux en ligne
 - "Cloud Computing" (Google Docs, iCloud, Salesforce, Amazon, ...)
 - etc.

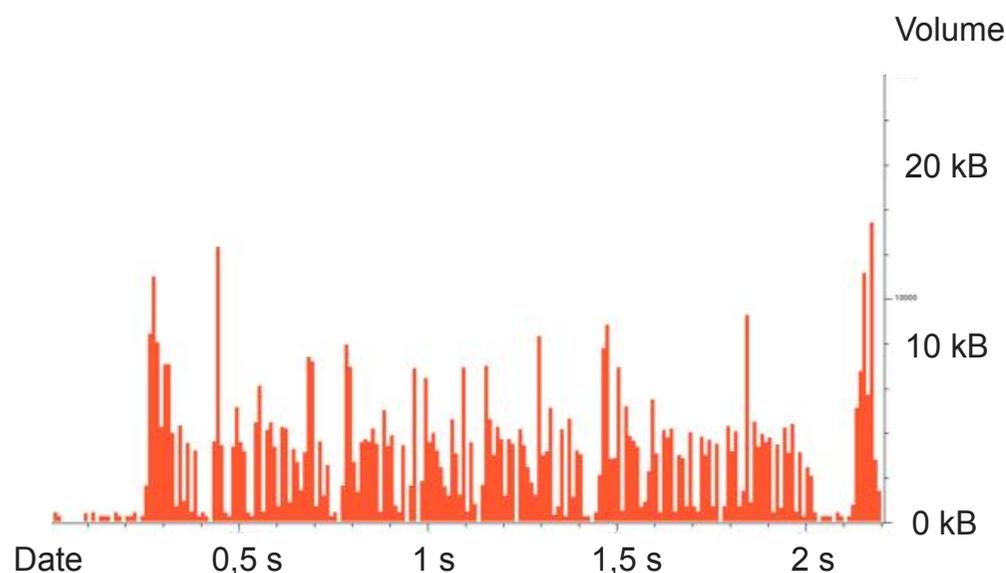


Répartition des sources de trafic sur les accès haut-débit

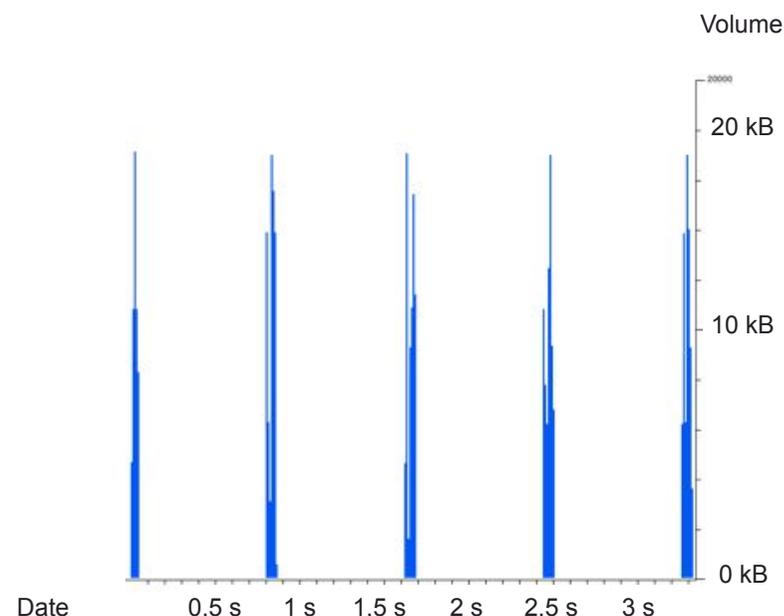
Source : Cisco Visual Networking Index, 2012

Applications et performance du réseau

- En insérant une sonde (logicielle ou matérielle) au niveau du récepteur d'un flux, il est possible de mesurer les caractéristiques d'un flux de données :



<http://www.fi.enst.fr/df/cgi-bin/trombino.cgi>

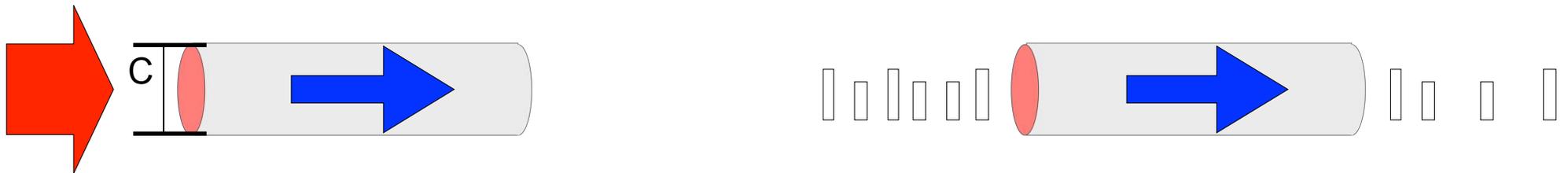


<http://www.youtube.fr>

- **Vidéo** : en moyenne 270 secondes (en 2011) à un débit (bitrate) de 300 kb/s
 - <http://www.websiteoptimization.com/bw/1108/>
- **Page Web** : en moyenne 1931 ko (jan 2015)
 - <http://www.httparchive.org/interesting.php>

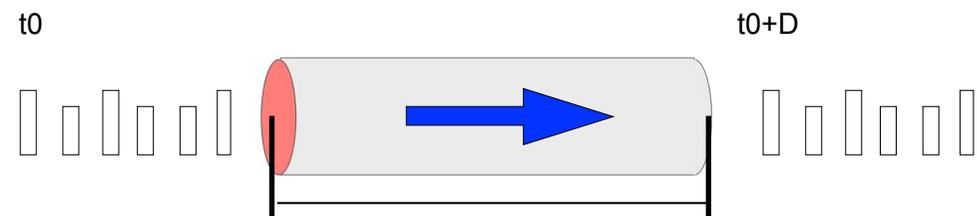
Débit de données vs. capacité du réseau

- **Le débit d'un flux est le volume de données émis par unité de temps**
 - À noter : notion statistique, sensible à la durée de l'intervalle d'observation
- **La capacité d'un réseau est la quantité d'informations qu'il peut acheminer par unité de temps**
 - Facteurs : bande passante (Hz) du médium ; codage utilisé ; bruit sur le canal ; ...
- **Influence de la capacité sur le débit d'un flux :**
 - Ralentissement (génération de X bit en T_1 s ; transmission en T_2 s.)
 - Perte d'informations (hors retransmissions explicites, $k\%$ des données sont effectivement reçues)



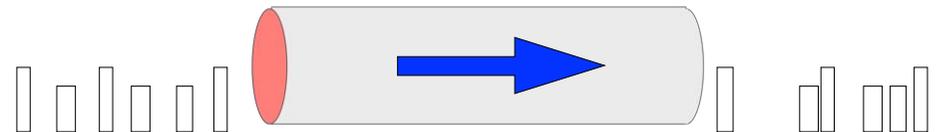
Durée d'acheminement

- **La latence est le temps de propagation d'une unité de données (un symbole, un bit) entre un émetteur et un récepteur**
 - Le délai de transmission est l'équivalent pour une trame
 - Facteurs : distance à parcourir, vitesse de propagation, charge des équipements intermédiaires, ...
- **Influence sur les flux :**
 - décalage de l'échelle de temps (l'origine des données subit un décalage temporel)



Gigue

- **La gigue est définie comme la variation du délai de transmission**
 - Facteurs : charge du médium, des équipements intermédiaires
- **Influence sur les flux :**
 - arythmie
- **La parade usuelle consiste, lorsque c'est possible, à mettre en place des tampons (buffers) à la réception**
 - délai de connexion allongé du temps nécessaire à l'évaluation de la bonne taille de tampon



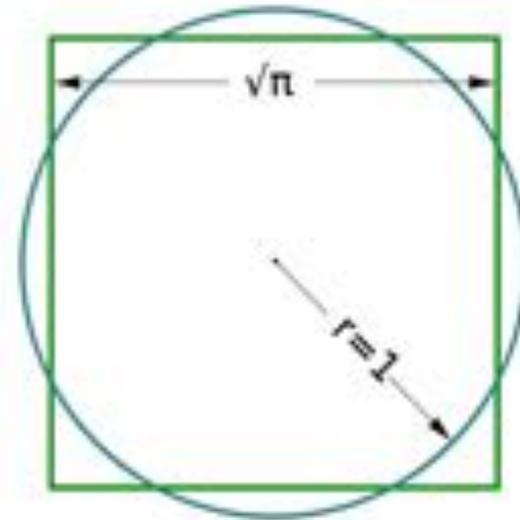
Classification des applications

- **Certaines applications sont peu sensibles aux conditions de transmission quelles qu'elles soient**
 - Exemples : téléchargement de fichiers, consultation de pages Web, e-mail
 - Il est nécessaire d'avoir une performance minimale tout de même
- **Certaines applications sont sensibles au délai**
 - Exemples : téléphonie, vidéoconférence, jeux en ligne
 - Au delà d'une certaine limite, une conversation temps-réel n'est plus possible
- **Certaines sont sensibles à la gigue**
 - Exemples : vidéo à la demande ou diffusée
 - Un mauvais dimensionnement du tampon provoque des interruptions lors de la lecture du flux
- **Certaines sont sensibles au débit**
 - Exemple : vidéo à la demande ou diffusée
 - En deçà d'un certain débit, le réseau ne peut acheminer suffisamment de données

Importance des performances

	Débit typique	Pertes de paquets	Délai	Gigue
Téléchargement données	Aussi rapide que possible	Aussi faible que possible	n/a	n/a
Conversation (voix) - ToIP	6,4 kb/s — 64 kb/s	0,1% (compression forte) à 15%	150 ms à 300 ms bouche à oreille	0 à 50 ms
Conversation (vidéo)	128 kbit/s (mobile) à 768 kbit/s	Fonction du codec	150 ms à 300 ms	0 à 50 ms
Diffusion (voix)	128 kb/s — 900 kb/s	15% acceptable (sans compression)	qq sec.	faible
Diffusion (vidéo H.264)	64 kbit/s (Mobile) à 20 Mbit/s (HDTV)	Fonction du codec	qq sec.	faible
Interactif (Web, ...)	n/a	aussi faible que possible	600 ms	n/a
Asynchrone (e-mail, ...)	n/a	n/a	n/a	n/a

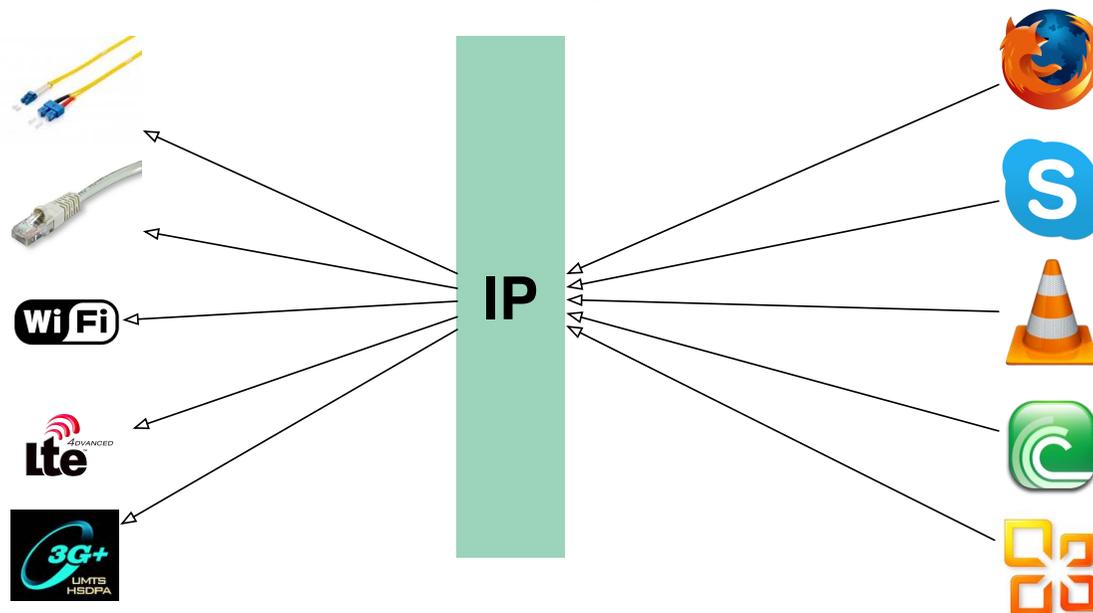
Des applications multiples sur un réseau mondial hétérogène



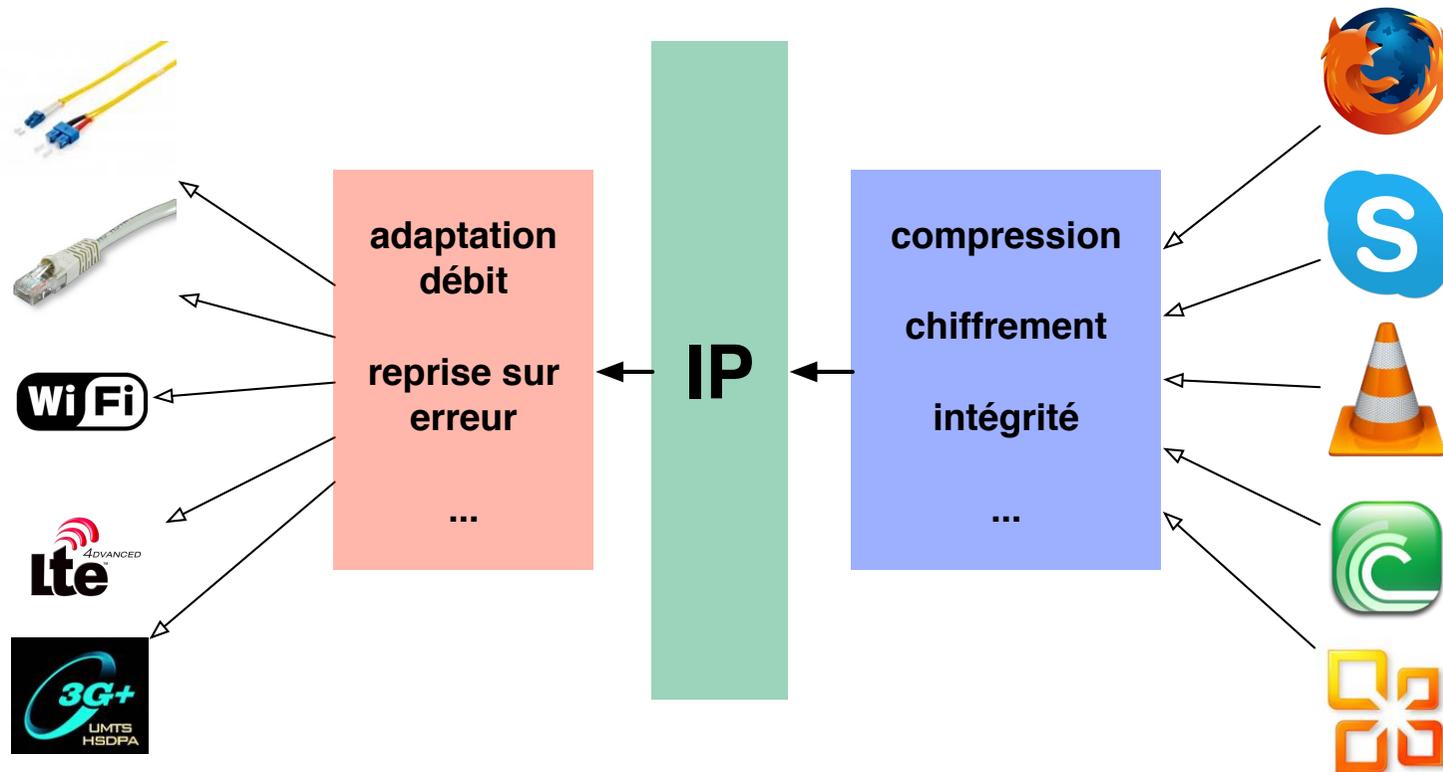
Comment gérer des services multiples ?

■ Indépendance du réseau et des applications

- Le réseau ne doit pas savoir ce qu'il transporte
 - Il sait seulement qu'il s'agit de données
- Les applications ne doivent pas se préoccuper de l'aspect du réseau
 - IP abstrait le réseau : fonctionnement identique sur Ethernet, Wi-Fi, ADSL, 3G, ...
 - Mode commutation de paquets
 - Seules les performances peuvent changer



Factorisation des tâches communes





Qui fait quoi ?

■ Pour transmettre un flux de données (fichier, conversation, ...)

- Les applications ou les systèmes d'exploitation (source et destination)
 - Découpent le fichier en paquets et le ré-assemblent
- Le réseau (i.e. l'ensemble des FAI)
 - Détermine un chemin (une suite de FAI, d'équipements réseau, ...) efficace de la source à la destination
- Chaque élément ou lien de communication
 - Assure la transmission jusqu'au prochain équipement

Modèle OSI (Open Systems Interconnection)

■ Représentation générique des tâches d'un réseau :

- Conceptions : fin années 1970

■ Objectifs :

- Faciliter l'indépendance du réseau et des applications
- Permettre l'interconnexion de réseaux hétérogènes
- Éviter les opérations redondantes et inutiles
- Pousser l'intelligence (i.e. les traitements les plus complexes) vers les extrémités du réseau où le trafic est le plus faible

IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. COM-28, NO. 4, APRIL 1980 425
OSI Reference Model—The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection

HUBERT ZIMMERMANN
(Invited Paper)

Abstract—Considering the urgency of the need for standards which would allow construction of heterogeneous computer networks, ISO created a new subcommittee for “Open Systems Interconnection” (OSI) TC97/SC16 in 1977. The first priority of subcommittee 16 was to develop an architecture for open systems interconnection which could serve as a framework for the definition of standard protocols. As a result of 18 months of studies and discussions, SC16 adopted a layered architecture comprising seven layers (Physical, Data Link, Network, Transport, Session, Presentation, and Application). In July 1979 the specifications of this architecture, established by SC16, were passed under the name of “OSI Reference Model” to Technical Committee 97 “Data Processing” along with recommendations to start officially, on this basis, a set of protocols standardization projects to cover the most urgent needs. These recommendations were adopted by TC97 at the end of 1979 as the basis for the following development of standards for Open Systems Interconnection within ISO. The OSI Reference Model was also recognized by CCITT Rapporteur’s Group on “Layered Model for Public Data Network Services.”

This paper presents the model of architecture for Open Systems Interconnection developed by SC16. Some indications are also given on the initial set of protocols which will likely be developed in this OSI Reference Model.

I. INTRODUCTION

IN 1977, the International Organization for Standardization (ISO) recognized the special and urgent need for standards for heterogeneous informatic networks and decided to create a new subcommittee (SC16) for “Open Systems Interconnection.”

The initial development of computer networks had been fostered by experimental networks such as ARPANET [1] or CYCLADES [2], immediately followed by computer manufacturers [3], [4]. While experimental networks were conceived as heterogeneous from the very beginning, each manufacturer developed his own set of conventions for interconnecting his own equipments, referring to these as his “network architecture.”

The universal need for interconnecting systems from different manufacturers rapidly became apparent [5], leading ISO to decide for the creation of SC16 with the objective to come up with standards required for “Open Systems Interconnection.” The term “open” was chosen to emphasize the fact that by conforming to those international standards, a system will be open to all other systems obeying the same standards throughout the world.

The first meeting of SC16 was held in March 1978, and

Manuscript received August 5, 1979; revised January 31, 1980.
The author is with BRIA/Laboratoire, Rocquencourt, France.

initial discussions revealed [6] that a consensus which would satisfy most requirements of Open Systems Interconnection with the capacity of being expanded later to meet new requirements. SC16 decided to give the highest priority to the development of a standard Model of Architecture which would constitute the framework for the development of standard protocols. After less than 18 months of discussions, this task was completed, and the ISO Model of Architecture called the Reference Model of Open Systems Interconnection [7] was transmitted by SC16 to its parent Technical Committee on “Data Processing” (TC97) along with recommendations to officially start a number of projects for developing on this basis an initial set of standard protocols for Open Systems Interconnection. These recommendations were adopted by TC97 at the end of 1979 as the basis for following development of standards for Open Systems Interconnection within ISO. The OSI Reference Model was also recognized by CCITT Rapporteur’s Group on Public Data Network Services.

The present paper describes the OSI Architecture Model as it has been transmitted to TC97. Sections II-V introduce concepts of a layered architecture, along with the associated vocabulary defined by SC16. Specific use of those concepts in the OSI seven layers architecture are then presented in Section VI. Finally, some indications on the likely development of OSI standard protocols are given in Section VII.

Note on an “Interconnection Architecture”

The basic objective of SC16 is to standardize the rules of interaction between interconnected systems. Thus, only the external behavior of Open Systems must conform to OSI Architecture, while the internal organization and functioning of each individual Open System is out of the scope of OSI standards since these are not visible from other systems with which it is interconnected [8].

It should be noted that the same principle of restricted visibility is used in any manufacturer’s network architecture in order to permit interconnection of systems with different structures within the same network.

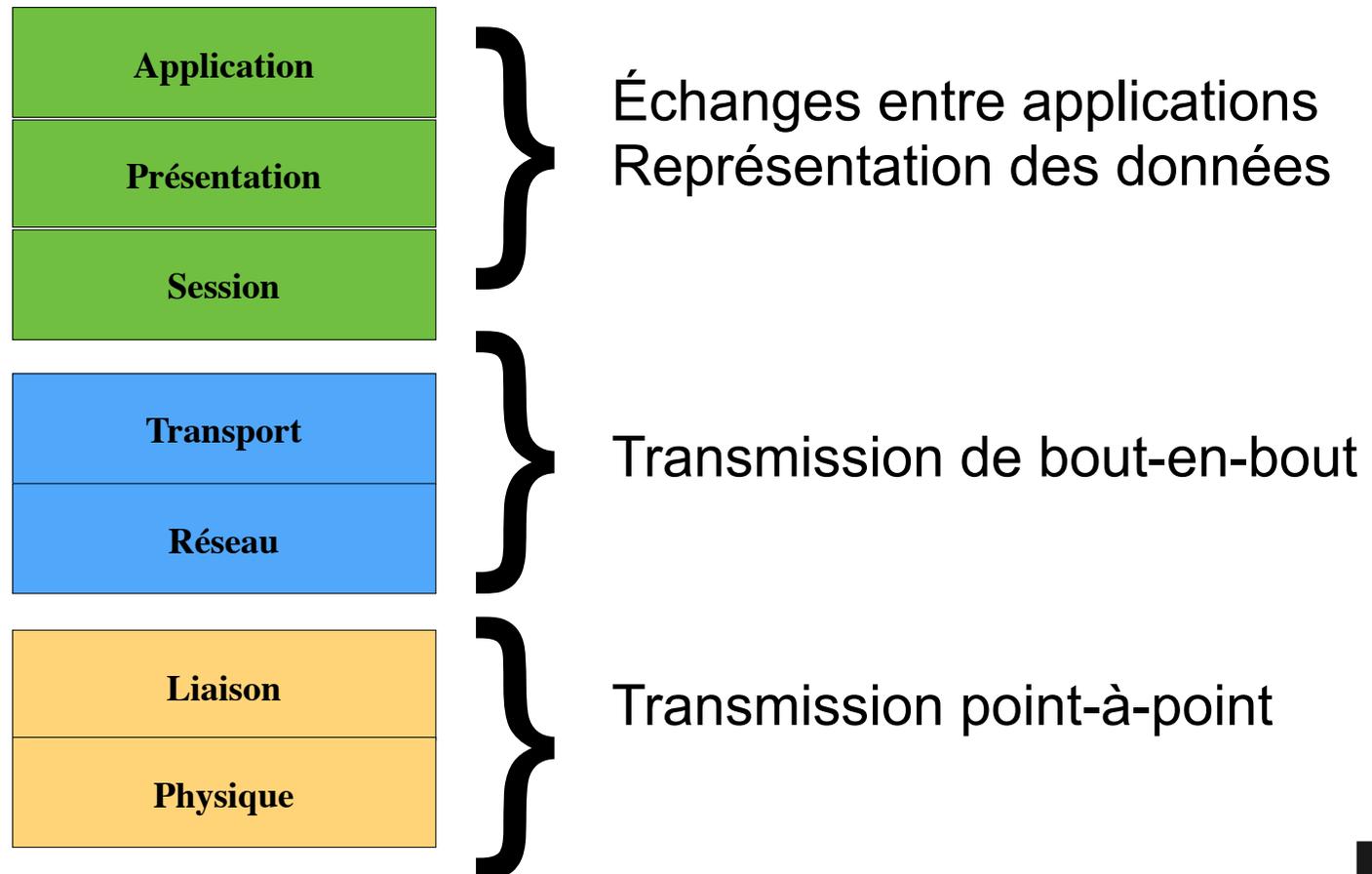
These considerations lead SC16 to prefer the term of “Open Systems Interconnection Architecture” (OSIA) to the term of “Open Systems Architecture” which had been used previously and was felt to be possibly misleading. However, for unclear reasons, SC16 finally selected the title “Reference Model of Open Systems Interconnection” to refer to this Interconnection Architecture.

0090-6778/80/0400-0425\$00.75 © 1980 IEEE

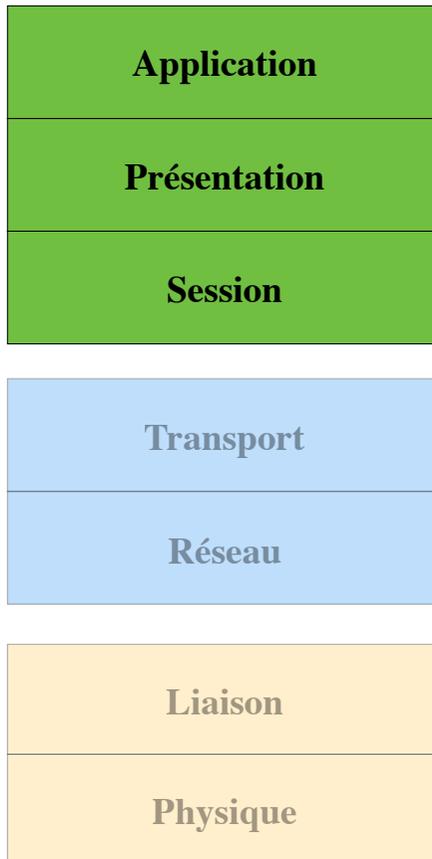
Hubert Zimmermann
OSI Reference Model — The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection
IEEE Transactions on Communications
vol COM-28 n° 4
Avril 1980

Séparation en couches

- Le modèle décompose le processus de communication de données en 7 couches successives
 - Une couche n'utilise que les services fournis par la couche directement inférieure



Couches "Applicatives"



■ Couche Application

- Langage (protocole) entre deux applications
- Exemples : demande de page Web, contenu MPEG, flux audio, ...

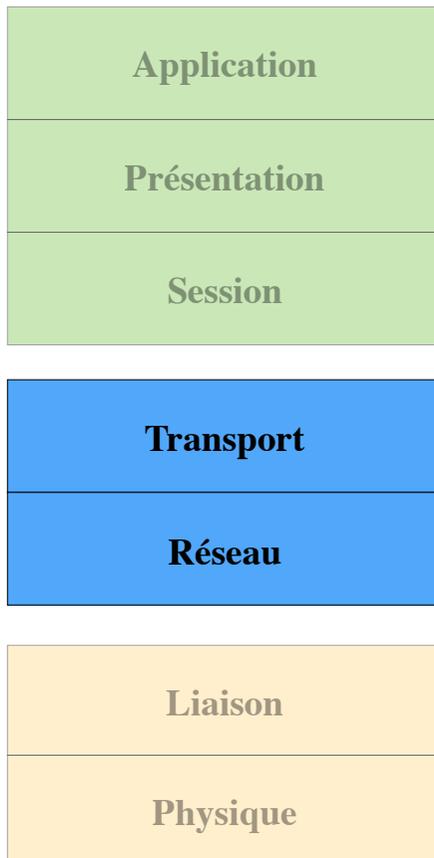
■ Couche présentation

- Structuration des données
- Chiffrement, compression des données, ...

■ Couche session

- Synchronisation entre applications
- Mémoire d'un état global
- Reprise sur erreurs

Couches "de bout-en-bout"



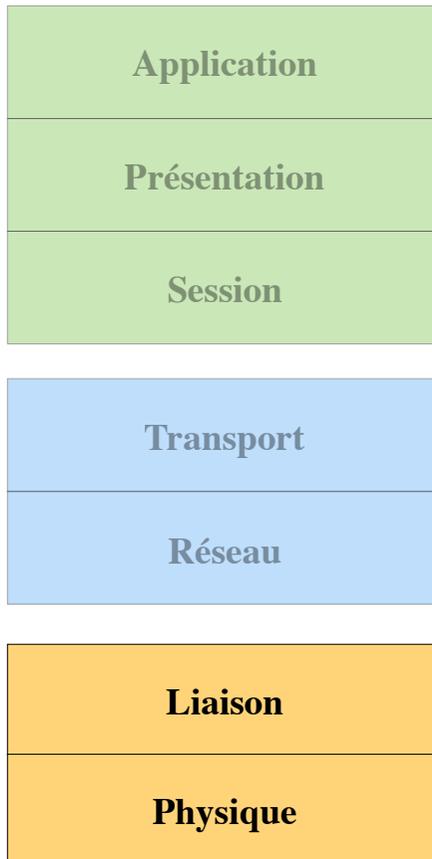
■ Couche transport

- Fiabilité de bout-en-bout
- Contrôle de débit de bout-en-bout
- Multiplexage / démultiplexage entre applications

■ Couche réseau

- Routage (trouver les meilleurs chemins dans le réseau)
- Adressage global (comment les adresses sont-elles définies et organisées)

Couches "de proche en proche"



■ Couche Liaison

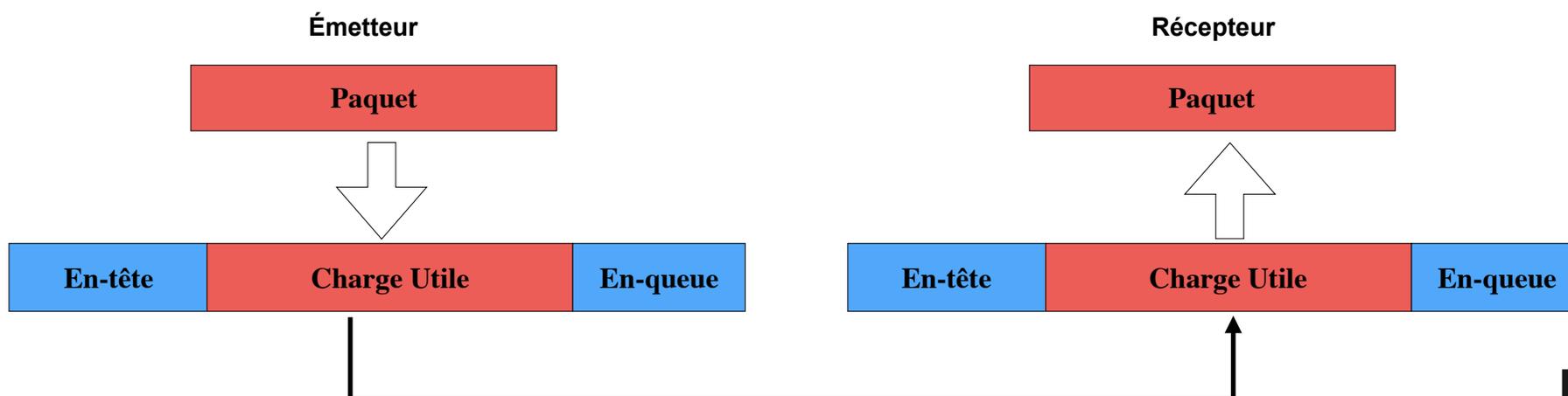
- Gestion des accès multiples à un lien
- Délimitation des trames
- Détection, correction d'erreurs et gestion des retransmissions

■ Couche physique

- Transmission de bits
- Codage en signaux

En pratique : encapsulation

- Un message est émis par une application qui le passe à la couche présentation.
- La couche présentation ne s'occupe pas du contenu du message.
- Elle ajoute des informations (en-têtes) avant de le transmettre à la couche session, etc.
 - Pour la couche n , on appelle charge utile (*payload*) la partie contenant les données effectives
 - La charge utile, du point de vue de la couche n correspond à la charge utile du point de vue de la couche $n + 1$ plus les en-têtes de la couche $n + 1$



Exemple : le protocole HTTP

■ RFC 2616 définit les échanges entre un navigateur et un serveur Web

- Exemple : obtention de la page principale de <http://www.telecom-paristech.fr>
- 1) Le Client (navigateur) envoie :

```
GET / HTTP/1.1
Host:www.telecom-paristech.fr
```

Commande

Version protocole

Paramètres

- 2) Le serveur reçoit cette requête, l'interprète et renvoie :

```
HTTP/1.1 200 OK
Date: Mon, 23 Jan 2012 14:54:13 GMT
Server: Apache
X-Powered-By: PHP/5.3.3-7+squeeze3
Set-Cookie: fe_typo_user=cd1c6aa97a8a65b1ee671c8871463075; path=/
Vary: Accept-Encoding
Transfer-Encoding: chunked
Content-Type: text/html; charset=utf-8

131b8
<!DOCTYPE html
  PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.1//EN"
  "http://www.w3.org/TR/xhtml11/DTD/xhtml11.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" xml:lang="fr">
<head>
...
```

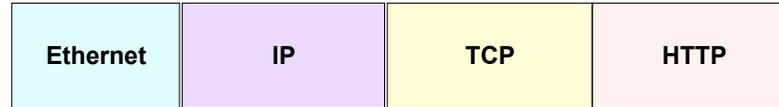
Code retour
200 = OK

Identification
serveur

Caractéristiques
Contenu

Code HTML
page accueil

Transmission sur le réseau : l'encapsulation en pratique



```

|00|04|80|84|56|00|00|1f|f3|8b|7b|45|08|00|45|00|03|ae|39|a0|40|00|40|06|11|14|89|c2|a5|09
|89|c2|34|08|e5|01|00|50|74|96|94|35|44|0c|c4|2e|80|18|20|2b|88|62|00|00|01|01|08|0a|32|ee
|75|26|70|36|59|19|47|45|54|20|2f|20|48|54|54|50|2f|31|2e|31|0d|0a|48|6f|73|74|3a|20|77|77
|77|2e|74|65|6c|65|63|6f|6d|2d|70|61|72|69|73|74|65|63|68|2e|66|72|0d|0a|43|6f|6e|6e|65|63
|74|69|6f|6e|3a|20|6b|65|65|70|2d|61|6c|69|76|65|0d|0a|43|61|63|68|65|2d|43|6f|6e|74|72|6f
|6c|3a|20|6d|61|78|2d|61|67|65|3d|30|0d|0a|41|63|63|65|70|74|3a|20|74|65|78|74|2f|68|74|6d
|6c|2c|61|70|70|6c|69|63|61|74|69|6f|6e|2f|78|68|74|6d|6c|2b|78|6d|6c|2c|61|70|70|6c|69|63
|61|74|69|6f|6e|2f|78|6d|6c|3b|71|3d|30|2e|39|2c|2a|2f|2a|3b|71|3d|30|2e|38|0d|0a|55|73|65
|72|2d|41|67|65|6e|74|3a|20|4d|6f|7a|69|6c|6c|61|2f|35|2e|30|20|28|4d|61|63|69|6e|74|6f|73
|68|3b|20|49|6e|74|65|6c|20|4d|61|63|20|4f|53|20|58|20|31|30|5f|38|5f|32|29|20|41|70|70|6c
|65|57|65|62|4b|69|74|2f|35|33|37|2e|31|37|20|28|4b|48|54|4d|4c|2c|20|6c|69|6b|65|20|47|65
|63|6b|6f|29|20|43|68|72|6f|6d|65|2f|32|34|2e|30|2e|31|33|31|32|2e|35|36|20|53|61|66|61|72
|69|2f|35|33|37|2e|31|37|0d|0a|44|4e|54|3a|20|31|0d|0a|41|63|63|65|70|74|2d|45|6e|63|6f|64
|69|6e|67|3a|20|67|7a|69|70|2c|64|65|66|6c|61|74|65|2c|73|64|63|68|0d|0a|41|63|63|65|70|74
|2d|4c|61|6e|67|75|61|67|65|3a|20|65|6e|2d|55|53|2c|65|6e|3b|71|3d|30|2e|38|0d|0a|41|63|63
|65|70|74|2d|43|68|61|72|73|65|74|3a|20|49|53|4f|2d|38|38|35|39|2d|31|2c|75|74|66|2d|38|3b
|71|3d|30|2e|37|2c|2a|3b|71|3d|30|2e|33|0d|0a|43|6f|6f|6b|69|65|3a|20|5f|72|65|64|69|72|65
|63|74|5f|75|73|65|72|5f|69|64|70|3d|68|74|74|70|73|25|33|41|25|32|46|25|32|46|69|64|70|2e
|74|65|6c|65|63|6f|6d|2d|70|61|72|69|73|74|65|63|68|2e|66|72|25|32|46|69|64|70|25|32|46|73
|68|69|62|62|6f|6c|65|74|68|3b|20|5f|73|61|6d|6c|5f|69|64|70|3d|61|48|52|30|63|48|4d|36|4c
|79|39|70|5a|48|41|75|64|47|56|73|5a|57|4e|76|62|53|31|77|59|58|4a|70|63|33|52|6c|59|32|67
|75|5a|6e|49|76|61|57|52|77|4c|33|4e|6f|61|57|4a|69|62|32|78|6c|64|47|67|25|33|44|3b|20|5f
|73|61|6d|6c|5f|73|70|3d|61|48|52|30|63|48|4d|36|4c|79|39|6c|62|32|78|6c|4c|6e|52|6c|62|47
|56|6a|62|32|30|74|63|47|46|79|61|58|4e|30|5a|57|4e|6f|4c|6d|5a|79|3b|20|66|65|5f|74|79|70
|6f|5f|75|73|65|72|3d|32|62|62|35|31|34|36|35|39|39|64|63|38|36|39|63|61|34|66|37|61|61|62
|63|31|39|65|61|64|63|34|65|3b|20|5f|5f|75|74|6d|61|3d|32|35|39|30|35|32|34|33|31|2e|32|31
|35|31|32|31|34|34|2e|31|33|35|34|31|38|34|34|32|36|2e|31|33|35|34|31|38|34|34|32|36|2e|31
|33|35|39|33|37|36|36|39|35|2e|32|3b|20|5f|5f|75|74|6d|62|3d|32|35|39|30|35|32|34|33|31|2e
|31|2e|31|30|2e|31|33|35|39|33|37|36|36|39|35|3b|20|5f|5f|75|74|6d|63|3d|32|35|39|30|35|32
|34|33|31|3b|20|5f|5f|75|74|6d|7a|3d|32|35|39|30|35|32|34|33|31|2e|31|33|35|34|31|38|34|34
|32|36|2e|31|2e|31|2e|75|74|6d|63|73|72|3d|28|64|69|72|65|63|74|29|7c|75|74|6d|63|63|6e|3d
|28|64|69|72|65|63|74|29|7c|75|74|6d|63|6d|64|3d|28|6e|6f|6e|65|29|0d|0a|0d|0a|
    
```

Transmission sur le réseau (décodage)

Ethernet: 00 04 80 84 56 00 00 1f f3 8b 7b 45 08 00 45 00

Ethernet II

Destination: 00:04:80:84:56:00
Source: 00:1f:f3:8b:7b:45
Type: IP (0x0800)

Internet Protocol Version 4

Version: 4
Header length: 20 bytes
Differentiated Services Field: 0x00)
Total Length: 942
Identification: 0x39a0 (14752)
Flags: 0x02 (Don't Fragment)
Fragment offset: 0
Time to live: 64
Protocol: TCP (6)
Header checksum: 0x1114 [correct]
Source: 137.194.165.9
Destination: 137.194.52.8

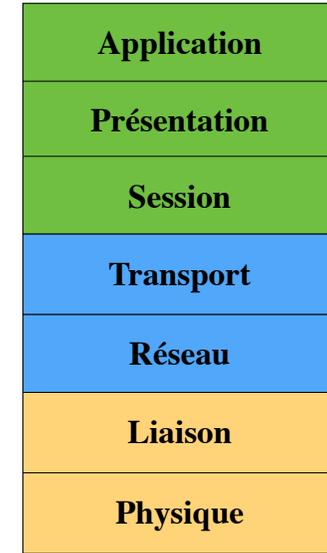
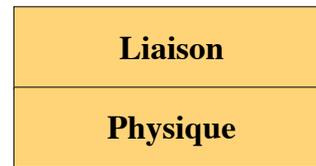
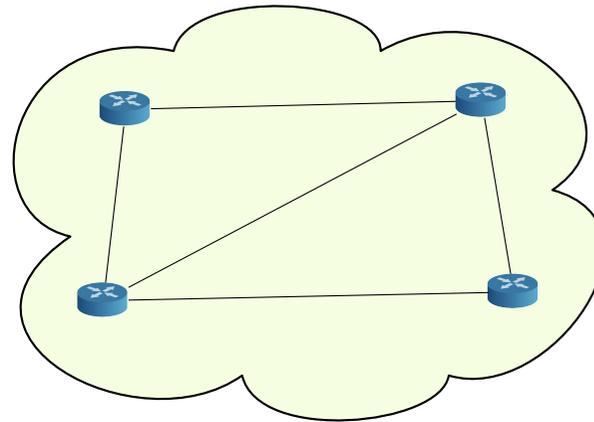
Transmission Control Protocol

Source port: 58625
Destination port: http (80)
Sequence number: 1
[Next sequence number: 891]
Acknowledgment number: 1
Header length: 32 bytes
Flags: 0x018 (PSH, ACK)
Window size value: 8235
Checksum: 0x8862

Hypertext Transfer Protocol

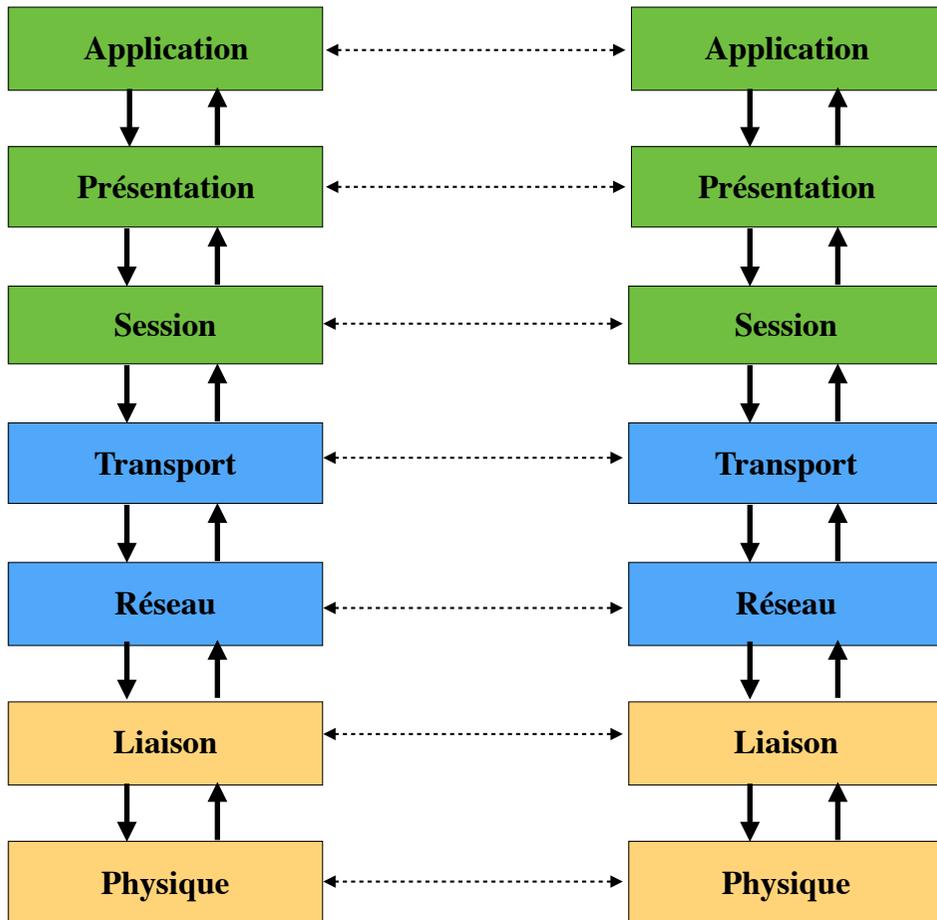
GET / HTTP/1.1\r\n
Host: www.telecom-paristech.fr\r\n
Connection: keep-alive\r\n
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_8_2) AppleWebKit/537.17 (KHTML, like Gecko) Chrome/24.0.1312.56 Safari/537.17\r\n
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch\r\n
Accept-Language: en-US, en; q=0.8\r\n
Accept-Charset: ISO-8859-1, utf-8; q=0.7, *; q=0.3\r\n

Réduction des tâches redondantes



- Au long du chemin, les équipements ne mettent en œuvre que les fonctions nécessaires à la tâche qu'ils doivent réaliser
- **L'intelligence (i.e. les traitements complexes) est poussée vers la bordure du réseau, là où le trafic est le plus faible**

Définitions : Primitives & Protocoles



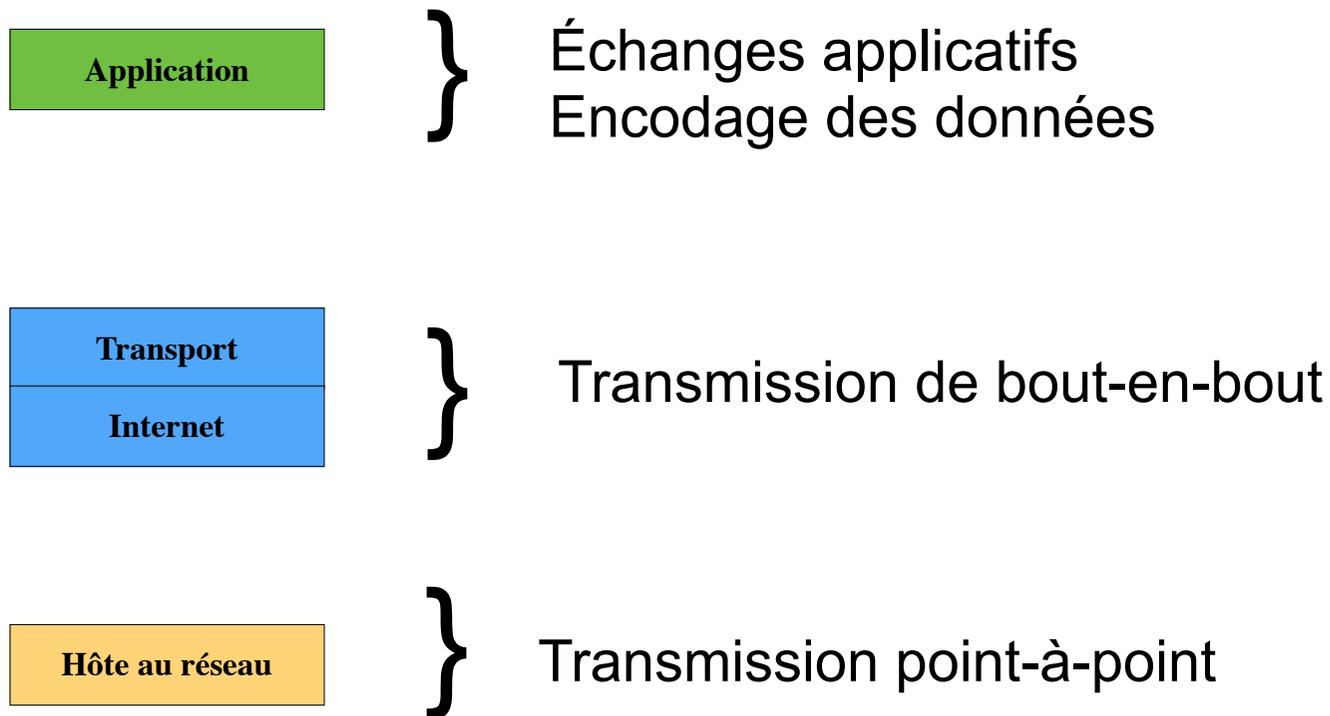
■ Une couche communique avec

- La couche supérieure et la couche inférieure (Primitives)
- La couche de même niveau d'un correspondant (Protocole)

Modèle TCP/IP

■ Modèle en 4 couches

- Couches session et présentation à la charge de l'application
- Couches physique et liaison confondues





Normes et standards

Normes et standards

- **Une norme est une spécification technique complète et utilisable, sous licence. Elle est agréée par un organisme national ou international et génère des royalties :**
 - ISO
 - UIT (ITU)
 - AFNOR
 - IEEE Standards Association
 - ...

- **En parallèle, il existe des organismes publiant des documents qui sont adoptés par une vaste communauté, généralement sans restriction de mise en œuvre : des standards**
 - IETF (RFC)
 - W3C
 - Éditeurs de logiciels (.doc ; PDF ; ...)

Importance des normes & standards

- **Dans le domaine des télécommunications, une grande majorité de protocoles sont définis dans un tel document**
 - Télécommunications (téléphonie, téléphonie mobile) : UIT-T
 - Protocoles régissant Internet : IETF — RFC
 - Technologies de transmission (LAN, MAN) : IEEE 802
- **De nombreux documents de référence sont disponibles en ligne :**
 - RFC : <http://www.ietf.org/rfc>
 - IEEE 802 : <http://standards.ieee.org/getieee802/>
 - Mises à disposition gratuitement 12 mois après leur publication

À retenir

- **Différents types de réseaux (téléphone, données, ...)**
 - Pouvoir différencier les réseaux (RTC, LAN, ...) et leur mode de fonctionnement
 - Pouvoir donner des ordres de grandeur (taille, débit, ...)
- **Modes de commutation (circuits vs. paquets)**
 - Comprendre la différence entre les deux modes de commutation
- **Architecture de l'Internet**
 - Savoir différencier les acteurs et comprendre la notion de système autonome
 - Pouvoir définir et différencier liens de peering et de transit
 - Comprendre le rôle central d'IP
- **Applications**
 - Savoir définir les critères de performance
 - Pouvoir classer les types d'applications
- **Modèles (OSI, TCP/IP)**
 - Savoir délimiter chaque couche
 - Comprendre l'encapsulation

Quelques liens avec d'autres enseignements

- **INF101 (SDA) : Algorithmique de graphes et complexité au coeur du réseau (plus court chemins, etc.)**
- **MDI101 (Probas) : extrêmement utilisés pour l'évaluation des performances (théorie des files d'attente etc.)**
- **COM101 (Optique) : couche physique des réseaux haut débit**
- **COM203 (Propagation) : règles régissant la couche physique (particulièrement en radio)**
- **ELEC102 (PAN) : comprendre les limites des équipements dédiés réseaux (puissance processeur, mémoire, etc.)**
- **INF104 (Systèmes) : techniques d'ordonnancement ; les réseaux TCP/IP peuvent être vus comme une extension des communication inter-processus**

Organisation pratique

■ Le cours s'appuie sur les TP considérés obligatoires

- Certains concepts seront simplement évoqués en cours et détaillés en TP
- TP non notés
 - Objectif d'apprentissage et non d'évaluation
 - Trop de compte-rendus identiques

■ Matériel pédagogique fourni

- Copie des transparents ==> Il faut prendre des notes
- Sujets des TP
 - Éléments de corrections dans le sujet lorsque c'est nécessaire

■ Support par e-mail (chaudet@enst.fr), ou sur rendez-vous (bureau I451 ; ave. d'Italie)

- N'attendez pas la semaine avant l'examen



Ressources

- **Livre gratuit en ligne (en anglais) :**
 - <http://inl.info.ucl.ac.be/CNP3>
- **A. Tannenbaum - Réseaux**
 - Pearson Education, ISBN : 978-2744070013
- **J. Kurose, K. Ross - Analyse structurée des réseaux**
 - Pearson Education, ISBN : 978-2744070006