

Communication et fonctionnement bas niveau - R2.04

Architecture des réseaux

Cours

Michel Salomon

IUT Nord Franche-Comté
Département d'informatique

basé sur un cours de Frédéric Suter

Ouvrage de référence

Computer Networking : A Top-Down Approach
Jim Kurose and Keith Ross. Addison-Wesley.

Plan des savoirs réseaux étudiés en R2.04

- **Introduction et notion de pile protocolaire**

Qu'est-ce qu'Internet ? ; Structure ; Modèle ; Histoire

- Étude des différentes couches de la pile

- Couches hautes $\Rightarrow$ *vues en Intro. aux services réseaux - R2.05*

- Couche Application

- Principe des applications ; *World Wide Web* ; etc.

- Couche Transport

- Protocoles TCP et UDP

- Couches basses

- Couche Réseau $\Rightarrow$ *à cheval sur les R2.04 et R2.05*

- Routage $\rightarrow$ Internet Protocol v4 (IPv4) et v6 (IPv6)

- Couches Liaison de Données et Physique $\Rightarrow$ *vues en TD*

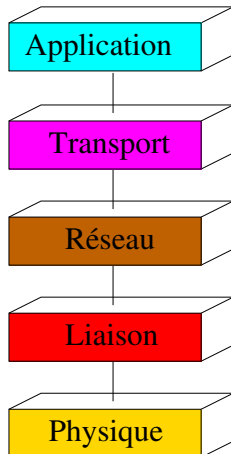
- Transmission $\rightarrow$ Ethernet ; Supports et codage des bits

Pile (hybride) des protocoles Internet - Première analyse

Hybride entre les modèles OSI (7 couches) et TCP/IP (4 couches)

Description du rôle de chaque couche

- Utiliser des applications
- Communiquer des données structurées
- Connecter deux réseaux
- Connecter deux ordinateurs d'un même réseau
- Envoyer des signaux

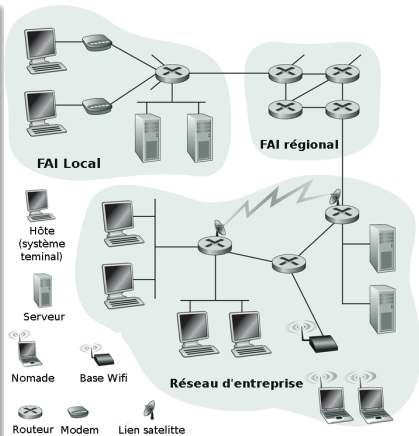


Introduction

- Qu'est-ce qu'Internet ?
- Structure d'un réseau et d'Internet
- Performances dans les réseaux à commutation de paquets
- Modèle(s) de communication en couches
- Historique

Vue globale d'Internet

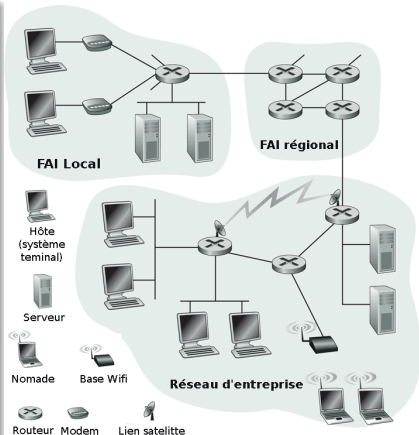
- Connexion de milliards d'appareils
 - **Hôtes** ou **systèmes terminaux** ;
 - exécutant des **appli. réseau**
- via des **canaux de transmission**
 - Ondes électromagnétiques
 - **Débit** ou **taux de transfert**
(par abus bande passante)
exprimé en bit/s, b/s ou bps
- interconnectés par des **routeurs**
 - Acheminent les informations ;
 - découpées en **paquets**



Réseau = un ensemble de nœuds reliés par un ensemble de chemins

Vue globale d'Internet

- Communications contrôlées par des **protocoles**
 - Émissions et réceptions
 - HTTP, FTP, TCP, IP, etc.
- **Internet : réseau des réseaux**
 - Faiblement hiérarchique
 - Public (extranet)
versus
privé (intranet)
- Standards Internet
 - Non prolifération des protocoles
 - *Internet Engineering Task Force*



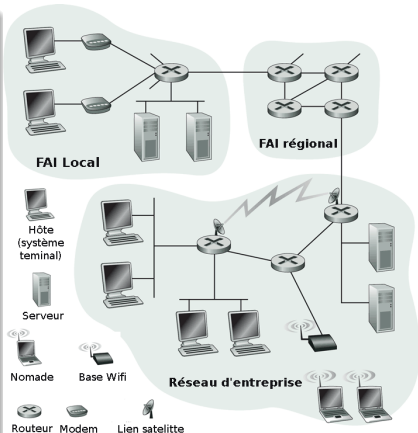
Internet : une infrastructure fournissant des services

- Des **applications distribuées**

- *World Wide Web*
- Courrier électronique
- Messagerie instantanée
- Transfert de fichiers
- Partage de fichiers, ressources
- Jeux en réseaux

- utilisant deux types de **services de communication**

- 1 Non-connecté, non-fiable
- 2 Connecté, fiable
 - *Handshake* → poignée de main



Qu'est-ce qu'un protocole réseau

Protocoles humains

- Quelle heure est-il ?
- Poser une question
- Conversation téléphonique
- ⇒ Envoi de messages spécifiques
- ⇒ Actions spécifiques en réponse
 - à des messages reçus ;
 - à des évènements

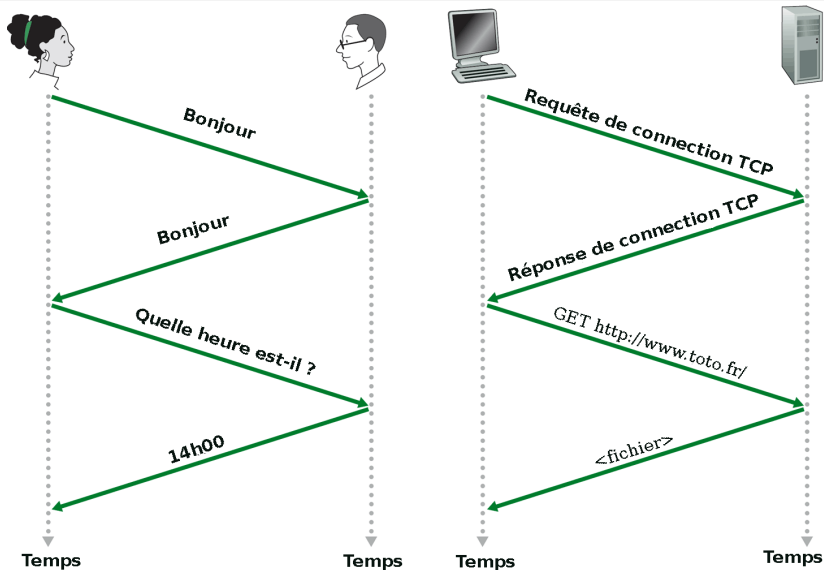
Conversation téléphonique

- 1 L'appelant décroche
- 2 Attend la tonalité et numérote
- 3 Tonalité libre ; signal d'écho
- 4 Le téléphone de l'appelé sonne
- 5 L'appelé décroche
- 6 Protocole social

Deux matériels communicants doivent suivre les mêmes protocoles

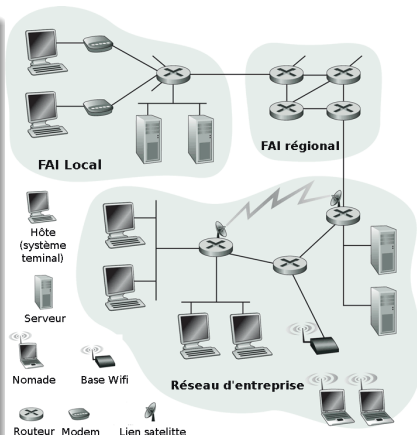
- Avoir les **mêmes règles d'échange**
 - ordre des envois/réceptions et actions associées
- et de **format de messages**

Illustration de la notion de protocole



Structure du réseau

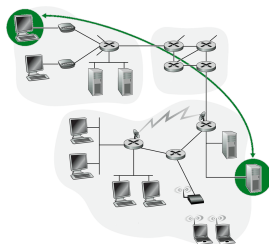
- Bords du réseau (**extrémités**)
 - Applications et hôtes
 - Ordinateurs, imprimantes, etc.
- Réseau d'accès (**lien**)
 - Relie les hôtes à un réseau d'interconnexion
 - xDSL, Ethernet, WiFi, 3G (UMTS), 4G, 5G, etc.
- Réseau d'interconnexion (**cœur**)
 - Routeurs
 - ATM, Internet, etc.



Les bords du réseau

Les hôtes (systèmes terminaux)

- exécutent des applications ;
- Web, courrier électronique, etc. ;
- aux extrémités du réseau



- Modèle **Client/Serveur**
 - Les hôtes **clients** émettent des **requêtes vers des serveurs** ;
exemple : navigateur Internet (Firefox, Edge, Opera, Safari, etc.),
 - Les hôtes **serveurs** (toujours actifs) **fournissent des services** ;
exemple : serveur Web (www.umlp.fr, etc.)
- Modèle **Pair-à-Pair**
 - Peu ou pas d'hôtes serveurs
 - Exemple : Gnutella, BitTorrent, etc.

Service avec connexion - *Transmission Control Protocol*

Transfert fiable de données entre hôtes

- Contrôle de l'état des hôtes qui communiquent
Si le destinataire est actif, l'acheminement est garanti
- Fonctionnement
 - ① Établissement d'une connexion
 - ② Transfert des données
 - ③ Rupture de la connexion
- Établissement et rupture de connexion
Utilisation de poignées de main (*handshakes*)

Applications basées sur TCP

- Web ; Courrier électronique ;
- Transfert de fichiers ; Connexion à distance

Service sans connexion - *User Datagram Protocol*

Transfert non fiable de données entre hôtes

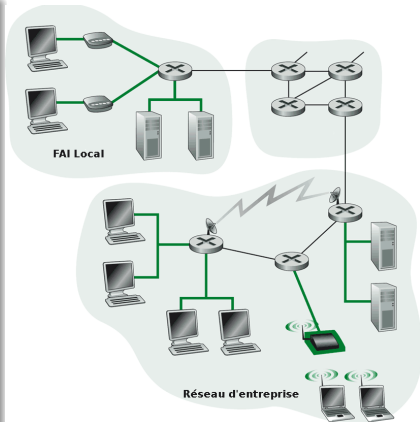
- Pas de contrôle de l'état des hôtes qui communiquent
L'acheminement des données n'est pas garanti
- Quel est son intérêt ?
 - Transmettre rapidement des données ;
 - la perte éventuelle d'une partie ayant un impact négligeable

Applications basées sur UDP

- Flux multimédia (*streaming*)
- Jeux en réseau
- Téléphonie sur Internet (*VoIP*)
- Vidéo à la demande (*VoD*)

Réseau d'accès

- Connecte les hôtes aux routeurs d'accès au réseau d'interconnexion
 - Accès domestiques
 - Accès en institutions
 - Entreprise ;
 - bibliothèque ;
 - école, université ;
 - etc.
 - Accès nomades
- Caractéristiques
 - Débit ?
 - Partagé ou dédié ?



Accès domestiques - Technologies "cuivre"

Accès par modem téléphonique

- Accès direct au routeur jusqu'à 56 kbps (généralement moins)
- Accéder à Internet et téléphoner en même temps est impossible

Accès par modem / box *Asymmetric Digital Subscriber Line*

- Débit descendant (usager $\leftarrow$ réseau) ADSL2+ : plus de 20 Mbps
- Débit montant (usager $\rightarrow$ réseau) ADSL2+ : plus de 1 Mbps
- Utilisation de différentes plages de fréquences
 - Débit descendant $\rightarrow$ 140 kHz-2,2 MHz
 - Débit montant $\rightarrow$ 4 kHz-140 kHz
 - Téléphone $\rightarrow$ 0 kHz-4 kHz

Accès par modem / box *Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line*

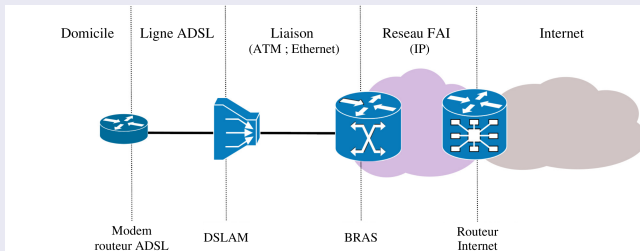
- Débit descendant VDSL / VDSL2 : 55 Mbps / 100 Mbps
- Débit montant VDSL / VDSL2 : 10 à 15 Mbps / 100 Mbps

Accès domestiques - Technologies "cuivre"

Accès par modem / box *Asymmetric Digital Subscriber Line*

- Modem relié à un **Digital Subscriber Line Access Multiplexer**
- Diminution du débit maximum avec la longueur de la ligne
 - 25 Mbps à ≈ 300 m ; 22 Mbps à $\approx 1,2$ km
 - 16 Mbps à $\approx 2,1$ km ; 8 Mbps à ≈ 3 km
 - 1,5 Mbps à $\approx 4,5$ km

Rôle du DSLAM



Accès domestiques - Technologies fibre optique

Plusieurs technologies sont disponibles - *Fiber To The x*

Lien entre abonné et *Nœud de Raccordement Optique* différent

Accès par connexion *Fiber To The Home - FTTH*

- “**Fibre jusqu’au domicile**”
- Deux variantes possibles
 - **Dédiée** → FTTH-P2P (Point à Point)
 - **Partagée** → FTTH-GPON (Gigabit Passive Optical Network)

Accès par connexion *Fiber To The Last Amplifier - FTTLA*

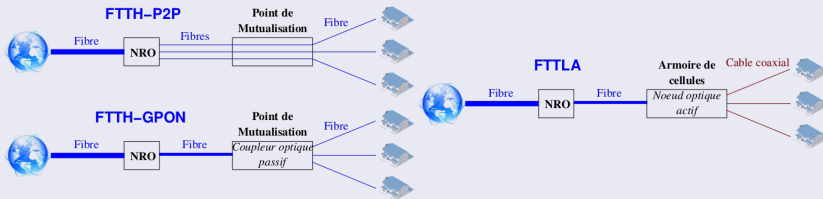
- “**Fibre jusqu’au dernier amplificateur**”
- Fibre partagée jusqu’à un nœud optique, puis câble coaxial

Accès par connexion *Fiber To The Building - FTTB*

- “**Fibre jusqu’au palier**” (pied de l’immeuble)
- Fibre partagée, puis techno. non optique (Ethernet ou VDSL)

Accès domestiques - Technologies fibre optique

Accès par connexion fibre optique

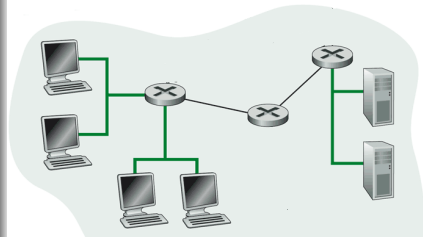


Différences entre FTTH et FTTLA (câble)

- Écarts de débits important ; débits sym. possibles en FTTH
 - FTTH → 10 Gbps, 8 Gbps, 1 Gbps au maximum
 - FTTLA → 1 Gbps / 100 Mbps au maximum
- Séparation du flux TV et de la connexion Internet en FTTLA
 - “Meilleure” qualité de la TV
- Augmentation des débits théoriques en FTTLA
 - Standard DOCSIS 3.1 - 4.0 → 10 Gbps / 1-2 Gbps - 6 Gbps

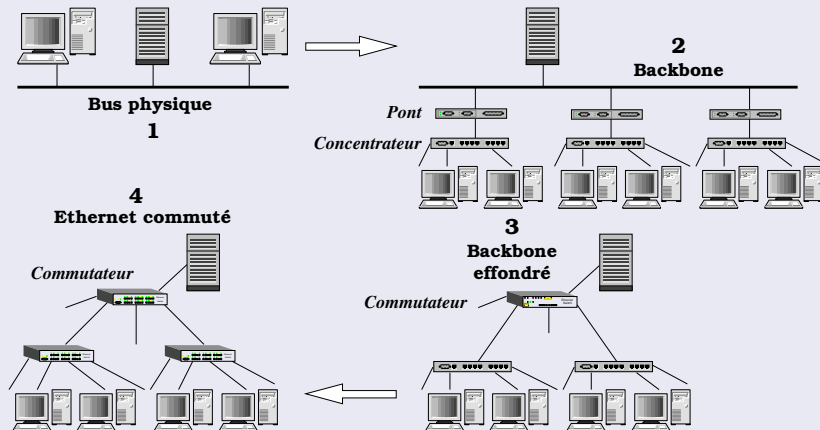
Accès institutionnel - Réseaux locaux (LAN)

- Un **Local Area Network**
 - Connecte les différents hôtes d'une institution à un routeur
 - Limitation géographique : interconnecte un(e) ou plusieurs salle(s) / bâtiment(s)
- Réseau Ethernet
 - Connexion hôte / routeur dédiée ou partagée
 - Débit de 10 Mbps, 100 Mbps et jusqu'à 10 Gbps (Gigabit), ...



Accès institutionnel - Réseaux locaux (LAN)

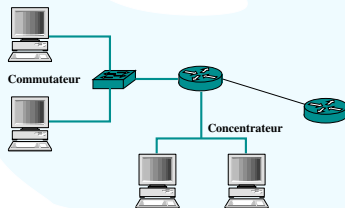
Évolution des LAN de type Ethernet



Accès institutionnel - Réseaux locaux (LAN)

Équipements d'interconnexion

- Concentrateur (*hub*)
 - Relie plusieurs hôtes
 - **Virtuellement : un câble**
- Commutateur (*switch*)
 - Relie plusieurs hôtes
 - **Virtuellement : un aiguillage**



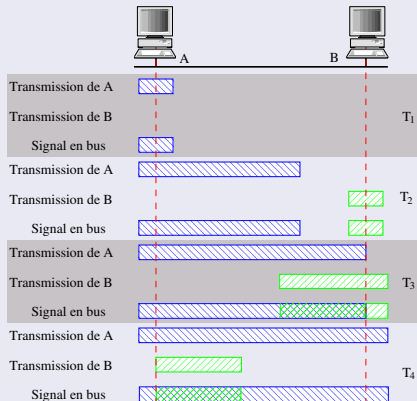
- Un message envoyé par un hôte est dans le cas du
 - **concentrateur** → **envoyé à tous** les autres hôtes ;
 - **commutateur** → **envoyé uniquement au destinataire**
- Un commutateur fournit un meilleur débit par utilisateur
- Le concentrateur est un équipement obsolète

Accès institutionnel - Réseaux locaux (LAN)

Utilisation du canal de communication

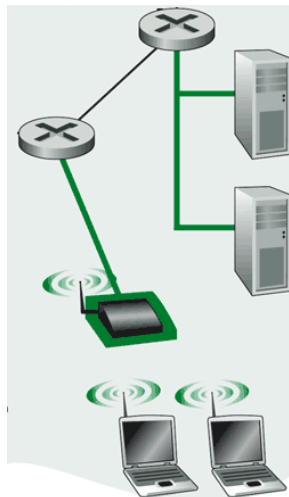
- Concentrateur → unidirect. à l'alternance (*half-duplex*)
- Commutateur → bidirectionnelle (*full-duplex*)

Collision possible avec un concentrateur

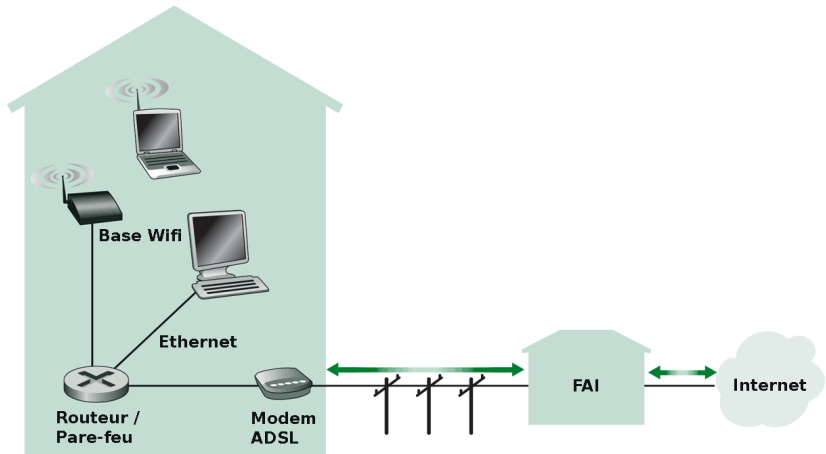


Accès nomade - Réseaux sans fil (WLAN)

- Un réseau LAN sans fil partagé
 - Connecte les différents hôtes d'une institution via une base appelée point d'accès
 - Limite géograph. : portée de la base
- Réseau **Wireless Fidelity**
 - Bande des 2,4 GHz et / ou 5 GHz, 6 GHz
 - 802.11b → débit max. = 11 Mbps
 - 802.11a/g → débit max. = 54 Mbps
 - 802.11n - 4 → débit max. = 600 Mbps
 - 802.11ac - 5 → débit max. ≈ 5 Gbps
 - 802.11ax - 6(e) → max. ≈ 10 Gbps
 - 802.11be - 7 → max. ≈ 46,1 Gbps
 - 802.11bn - 8 → max. ≈ 100 Gbps
- À plus grande échelle
 - Via des opérateurs de téléphonie
 - WAP ; GPRS ; 3G ; 4G ; 5G

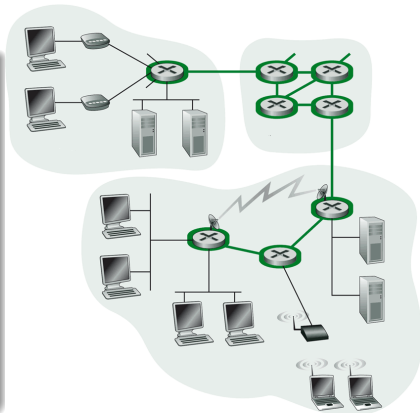


Accès à distance à la maison



Réseau d'interconnexion

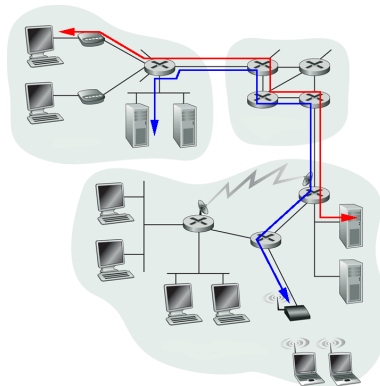
- Liaisons entre routeurs
- Comment les données sont-elles acheminées sur le réseau ?
 - Commutation de circuits
 - Circuit dédié par transfert
 - Analogie : le téléphone
 - Commutation de paquets
 - Données découpées et envoyées en morceaux
 - Analogie : courrier postal



Commutation = liaison temporaire de deux nœuds “voisins”

Commutation de circuits

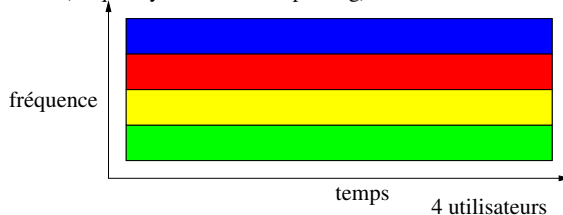
- Ressources réservées pour un transfert / “appel”
- Pas de partage
- Performances garanties
- Fonctionnement
 - ❶ Connexion → réservation
 - ❷ Transfert
 - ❸ Libération → restitution



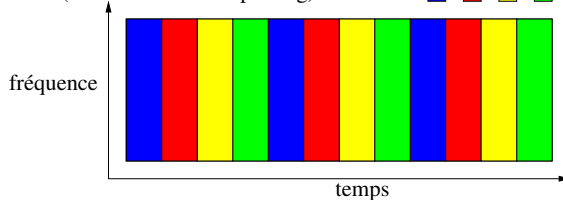
- Ressources réseau découpées en morceaux
 - Ressource inactive si inutilisée (pas de partage)
- Découpage en fréquence (bandes) ou en temps (intervalles)

Commutation de circuits - Découpage des ressources

FDM (frequency division multiplexing)



TDM (time division multiplexing)



Commutation de paquets

Données à acheminer découpées en paquets

- Partage des ressources
- Totalité du débit disponible
- Utilisation des ressources si besoin

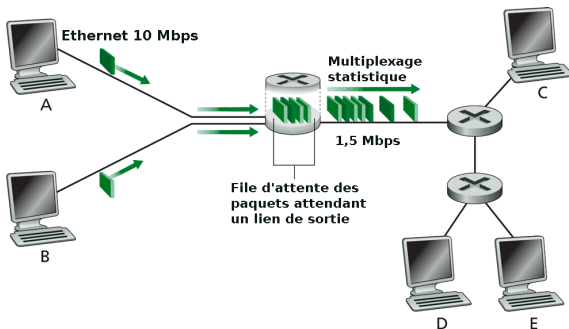
- Pas de découpage des ressources
- Pas de réservation de ressources

Dispute des ressources

- Lorsque besoins $>$ ressources disponibles
- **Congestion** : file d'attente de paquets
- **Acheminement** : déplacement lien par lien
 - Ré-émission d'un paquet après réception complète

Commutation de paquets - Congestion dans un réseau

- Congestion = **trop de paquets**
- Flux en entrée $>$ flux en sortie $\rightarrow$ **ralentissement du trafic**
- Analogie : saturation du réseau routier



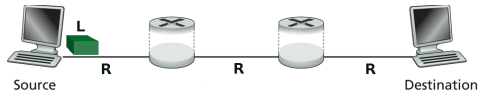
Commutation de paquets - Acheminement d'un paquet

- Acheminement de routeur en routeur
- Chaque routeur choisit la prochaine étape du chemin
- Réassemblage des données à l'arrivée sur l'hôte destinataire
 - Paquets "numérotés" (position des données d'un paquet le flux)

Illustration de l'intérêt de la fragmentation par un exemple

- Envoi d'un bloc de données L de 937,5 ko sans fragmentation
- Chemin comportant :
 - 3 liens ayant un débit de $R = 1,5$ Mbps
 - 2 routeurs dont on néglige le coût

$$\text{Délai d'acheminement} = 3 \times \frac{937,5 \times 10^3 \times 8}{1,5 \times 10^6} = 15 \text{ secondes}$$



Commutation de paquets - Intérêt

Intérêt de la fragmentation

- Plus d'utilisateurs
- **Pipeline**
 - Transmission en parallèle sur chaque lien
 - Recouvrement des communications
- Temps d'acheminement compétitif

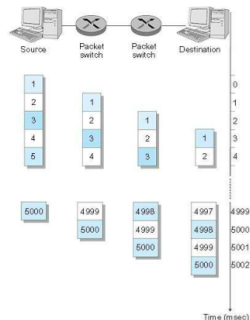
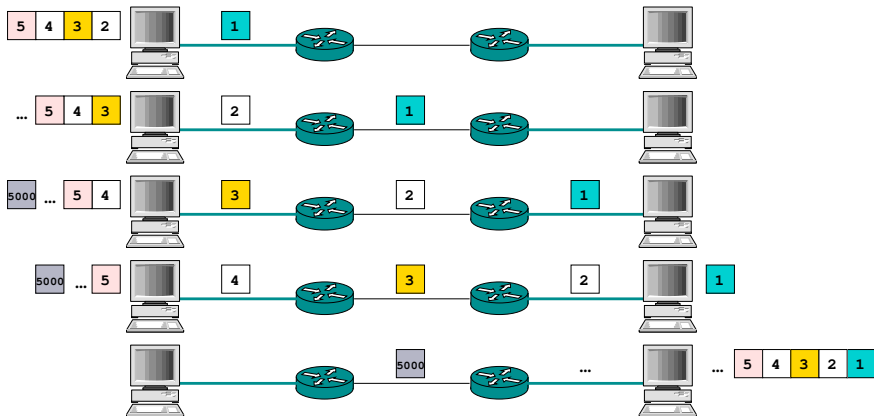


Illustration de l'intérêt de la fragmentation par un exemple

- Fragmentation de L en 5000 paquets de 1500 bits
- Délai mis par le paquet 1 pour parcourir le chemin, plus
- le délai de parcours d'un lien par paquet supplémentaire

$$\text{Délai d'acheminement} = (3 + 4999) \times \frac{1500}{1,5 \times 10^6} \approx 5 \text{ secondes}$$

Commutation de paquets - Intérêt



Commutation de paquets - Routage

- Méthode d'acheminement de paquets
 - d'un hôte **source** à un hôte **destinataire**
 - en passant par l'intermédiaire de routeurs
- Système d'adressage pour repérer les hôtes et routeurs
 - Adresses IP dans les paquets circulant dans Internet

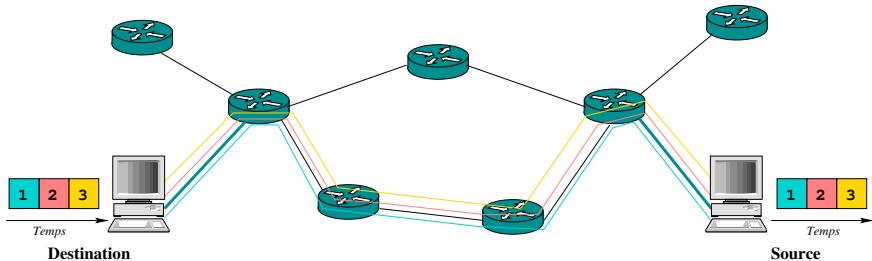
Aucun routeur ne connaît de chemin complet

- Un routeur effectue une **décision de routage**
 - Choix de la prochaine étape du chemin
 - Basée sur une **table de routage**
 - Liste de routes, chacune indiquant comment atteindre une destination
 - Table statique ou dynamique, m à j par un algorithme de routage
- Pour avoir un réseau performant, il faut un routage efficace

Commutation de paquets - Mode connecté

Analogie avec le téléphone - Réseau à circuit virtuel

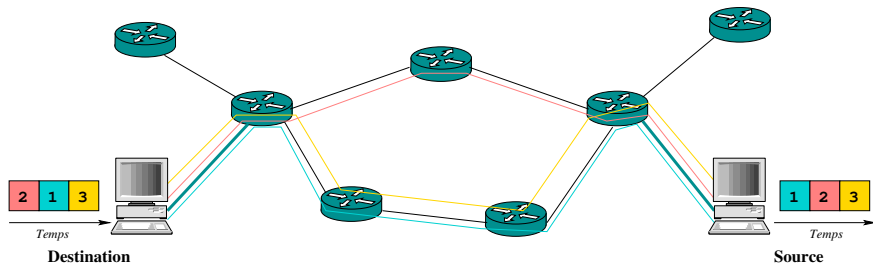
- Principe similaire à la commutation de circuits
- Fonctionnement
 - 1 Connexion → création d'un circuit virtuel
 - 2 Transfert des paquets → même chemin
 - 3 Libération → fermeture du circuit virtuel



Commutation de paquets - Mode non connecté

Analogie avec le courrier postal - Réseau datagramme

- Paquets (appelés datagrammes) indépendants
 - Suivent éventuellement des chemins différents
 - Peuvent arriver dans le désordre
- Transmis sans contrôle de l'accessibilité de la destination

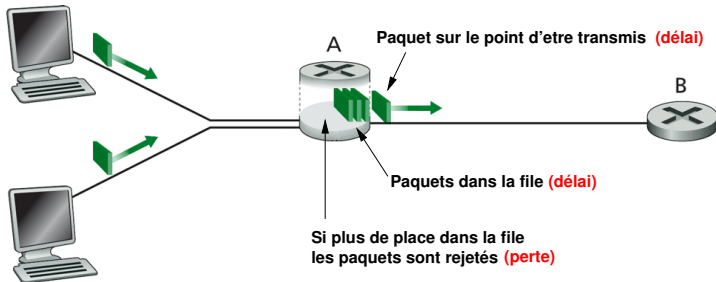


Commutation de paquets - Perte de paquets

Perte de paquets due à un routeur

- Saturation de la file d'attente
- Flux en entrée $>$ flux de sortie

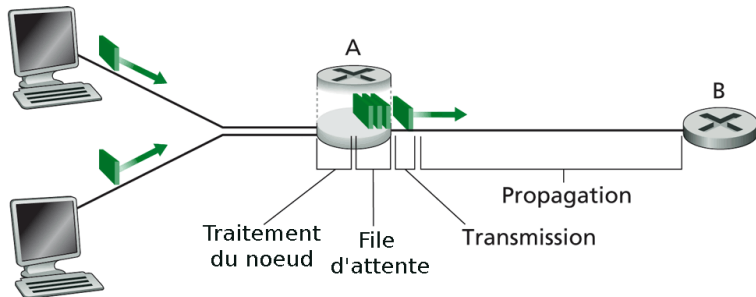
Congestion du routeur



Commutation de paquets - Perte de temps

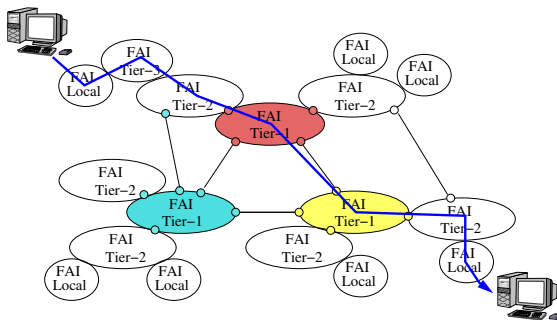
Différentes pertes de temps

- 1 Traitement par le routeur (contrôle, routage)
- 2 File d'attente
- 3 Délai de transmission
- 4 Délai de propagation



Internet : réseau des réseaux

- FAI "Tier-1" → couverture nationale ou internationale
- FAI "Tier-2" → couverture régionale
- etc.
- FAI Local → plus proche des hôtes

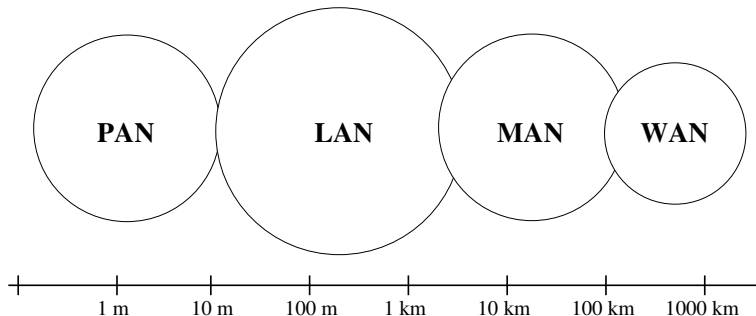


Classification des réseaux

Selon la distance maximale séparant deux nœuds

- ① Les réseaux personnels (**Personal** - **PAN**)
 - interconnectent des équipements personnels (PDAs, etc.) ;
 - sur quelques mètres
- ② Les réseaux locaux (**Local** - **LAN**)
 - interconnectent un(e) ou plusieurs salle(s) / bâtiment(s)
- ③ Les réseaux métropolitains (**Metropolitan** - **MAN**)
 - interconnectent plusieurs sites dans une ville, une région ;
 - agrégat de réseaux locaux
- ④ Les réseaux étendus ou longue distance (**Wide** - **WAN**)
 - interconnectent à l'échelle d'un pays, voire d'un continent ;
 - liaisons terrestres et satellitaires
- ⑤ Interconnexion de réseaux étendus (**Internet**)

Classification des réseaux



Selon les performances

- Débit (bande passante)
 - Réseaux à faible et moyen débits $\rightarrow$ débit < 512 kbps
 - Réseaux à haut débit $\rightarrow 512$ kbps $\leq$ débit ≤ 30 Mbps
 - Réseaux à très haut débit $\rightarrow 30$ Mbps $<$ débit
- Délai d'acheminement (latence)

Routes et délais sur Internet

traceroute de gaia.cs.umass.edu vers www.eurecom.fr

```

1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms ← les 3 mesures vers le 1er routeur
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms ← lien transatlantique, saut
important
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 * * * ← le routeur n'envoie pas de réponse ou durée de vie (TTL) trop petite
18 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms

```

Routes et délais sur Internet

traceroute vers www.univ-fcomte.fr

traceroute to www.univ-fcomte.fr (194.57.91.224), 30 hops max, 40 byte packets

1 192.168.0.1 (192.168.0.1) 2.530 ms 12.622 ms 12.620 ms
 nb sauts max ↗ ↖ taille des paquets émis
 adresse routeur local ↗
 2 * * *
 3 93.228.70-86.rev.gaoland.net(86.70.228.93) 44.680 ms 46.591 ms 47.818 ms
 routeurs du FAI ↗ ↖
 4 25.241.103-84.rev.gaoland.net (84.103.241.25) 48.173 ms 49.199 ms 50.064 ms
 5 * * *
 6 renater-ix1.sfinx.tm.fr (194.68.129.102) 65.076 ms 49.014 ms 47.491 ms
 ↗ réseau national de télécoms pour la technologie, l'enseignement et la recherche
 7 te0-3-1-0-lyon1-rtr-001.noc.renater.fr (193.51.189.126) 63.345 ms 63.399 ms 65.310 ms
 8 te0-2-0-0-dijon-rtr-011.noc.renater.fr (193.51.189.142) 70.354 ms 70.966 ms 71.681 ms
 9 te0-1-0-0-besancon-rtr-011.noc.renater.fr (193.51.189.113) 76.069 ms 76.598 ms 77.676 ms
 10 sequanet-vl100-te0-0-0-0-besancon-rtr-011.noc.renater.fr (193.51.186.57) 68.616 ms 71.589 ms
 11 194.57.79.225 (194.57.79.225) 75.262 ms 77.003 ms 78.052 ms
 12 gw-ufc.sequanet.fr (194.57.79.193) 58.801 ms 57.565 ms 59.691 ms
 13 * * *

Pas forcément le plus court chemin géographique

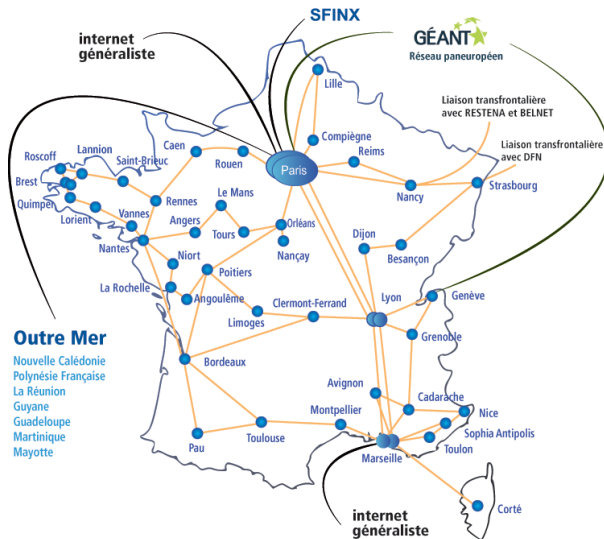
Routes et délais sur Internet

traceroute vers www.univ-fcomte.fr

traceroute to www.univ-fcomte.fr (194.57.91.224), 30 hops max, 60 byte packets

nb sauts max ↗
↖ taille des paquets émis
 1 lan.home (192.168.1.1) 1.883 ms 2.277 ms 2.507 ms
adresse routeur local ↗
 2 80.10.255.157 (80.10.255.157) 19.142 ms 19.240 ms 19.386 ms
 3 ae119-0.ncstr102.rbc.orange.net(80.10.44.122) 19.535 ms 19.728 ms 19.862 ms
↖ routeurs du FAI ↘
 4 ae43-0.nistr202.rbc.orange.net (193.252.160.113) 20.032 ms 20.190 ms 20.257 ms
 5 ae40-0.nistr201.rbc.orange.net (81.253.180.117) 20.420 ms 20.556 ms 21.726 ms
 6 193.252.137.82 (193.252.137.82) 24.098 ms 6.282 ms 15.736 ms
 7 ae304-0.ffttr7.frankfurt.opentransit.net (193.251.133.3) 15.889 ms 15.993 ms 16.155 ms
 8 193.251.142.16 (193.251.142.16) 16.405 ms 16.423 ms 16.684 ms
 9 et-3-3-0.cr2-par7.ip4.gtt.net (213.200.119.214) 16.975 ms 17.686 ms 17.829 ms
 10 renater-gw-ix1.gtt.net (77.67.123.206) 20.547 ms 20.628 ms 20.824 m
↗ réseau national de télécoms pour la technologie, l'enseignement et la recherche
 11 et-2-0-0-ren-nr-lyon1-rtr-131.noc.renater.fr (193.51.180.167) 30.479 ms 30.551 ms 30.751 ms
 12 te-0-0-0-10-ren-nr-dijon-rtr-091.noc.renater.fr (193.55.204.0) 31.515 ms
 13 te0-0-0-13-ren-nr-besancon-rtr-091.noc.renater.fr (193.51.177.182) 31.728 ms
 14 rr-sequane-ren-nr-besancon-rtr-091.noc.renater.fr (193.55.202.81) 32.779 ms 33.175 ms 33.438 ms
 15 194.57.79.198 (194.57.79.198) 34.317 ms 34.464 ms 34.655 ms
 16 * * *

Réseau Renater



Modèle de communication en couches - Pourquoi ?

Le fonctionnement des réseaux est complexe

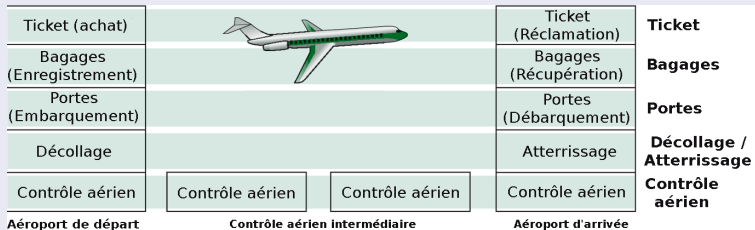
- Pourquoi ? Établir une communication est complexe
 - Coder les bits en signaux
 - Gérer la retransmission des paquets perdus
 - Contrôler et mettre à jour le routage
 - etc.
- Simplification en considérant **différentes couches**, avec **un protocole par couche**
- Standards et normes évitent la prolifération des protocoles
 - Divers organismes, notamment
 - l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*)
 - Normes américaines, mais suivies internationalement
 - Exemples : Ethernet (IEEE 802.3), WiFi (IEEE 802.11), etc.

Modèle de communication en couches - Interactions

Une couche

- Fournit des services / interfaces à la couche supérieure
- Utilise les services / interfaces de la couche inférieure

Analogie : vue en couches du trafic aérien



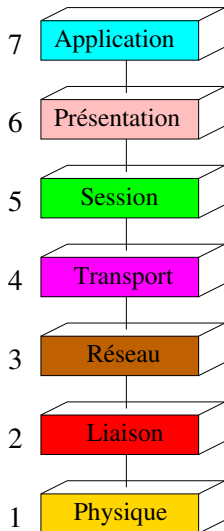
Modèle de communication en couches - Intérêt

- Simplification
 - Un fonctionnement complexe en faisant interagir des couches
 - Chaque couche effectuant des tâches plus “simples”
- Structuration
 - Chaque couche s'occupe de gérer certains problèmes pour établir une communication
 - Les couches s'enchaînent dans un ordre précis
- Modularité
 - Mise à jour aisée
 - Changement transparent de l'implémentation d'une couche
Exemple : modifier la procédure d'enregistrement n'a pas d'impact sur les tickets ou encore sur le contrôle aérien
- Abstraction
 - Communications entre hôtes régies entre couches de même niveau, indépendamment des couches inférieures

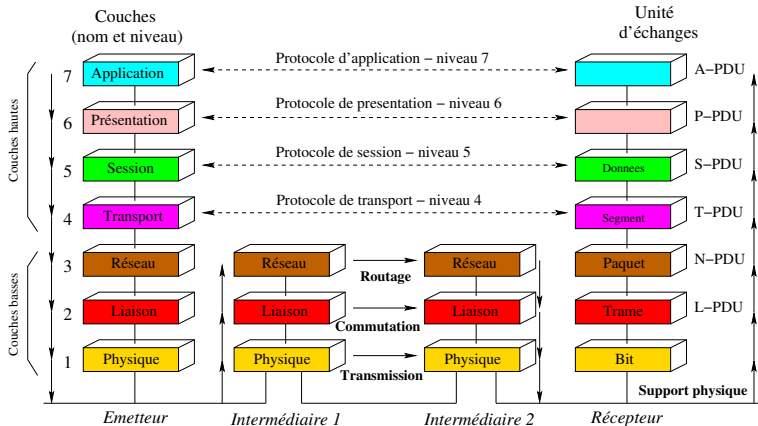
Modèle ISO/IEC 7498 Open Systems Interconnection

Architecture en 7 couches

- **Application** → HTTP, FTP, etc.
 - Accès aux services réseaux
- **Présentation** → MIME, SSL, TLS
 - Codage des données
- **Session**
 - Connexion logique de processus
- **Transport** → TCP, UDP
 - Acheminement de bout en bout
- **Réseau** → IP, protocoles de routage
 - Com. de proche en proche
- **Liaison de données** → PPP, etc.
 - Com. directes entre 2 hôtes
- **Physique**
 - Transmission effective



Modèle ISO/IEC 7498 Open Systems Interconnection



Cadre fonctionnel

- Spécifie l'ensemble des fonctionnalités d'une couche
- Ne dit pas comment une couche doit les implanter

Modèle ISO/IEC 7498 Open Systems Interconnection

Description du rôle de chaque couche

⑦ Couche Application

- Fournit des services de communication aux utilisateurs

⑥ Couche Présentation

- Produit une représentation cohérente des données
- S'occupe de la conversion de code ou de format de données
- Optimise et sécurise les échanges

⑤ Couche Session

- Gère une connexion logique entre deux processus
- Établit, maintient et ferme une connexion

④ Couche Transport

- Assure l'acheminement de bout en bout entre hôtes
- Optimise l'utilisation des ressources
- Fragmenté / réassemble les données en paquets
- S'occupe du multiplexage de plusieurs flux

Modèle ISO/IEC 7498 Open Systems Interconnection

Description du rôle de chaque couche

③ Couche Réseau

- Achemine les paquets via des nœuds intermédiaires
- Gère le routage (chemins, contrôle de flux, adressage)

② Couche Liaison de données (2 sous-couches : LLC et MAC)

- Transmet les données sans erreurs et garantit un accès équitable au support / médium de communication
- Structure les données en trame
- Méthodes d'accès au support avec ou sans collisions

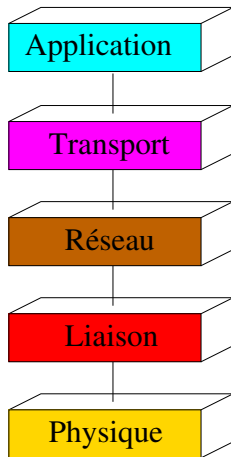
① Couche Physique

- Assure la transmission effective des bits
- Spécifie le type et les caractéristiques du support
→ codage des bits, carac. électriques et mécaniques

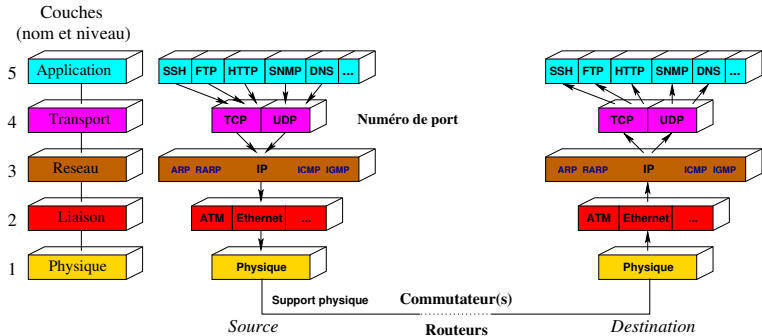
Modèle de communication en couches - TCP/IP (5 couches)

Pile (hybride) des protocoles Internet

- **Application** → HTTP, FTP, etc.
 - Implémentation des applications réseaux (navigateur, etc.)
- **Transport** → TCP, UDP
 - Transfert de données entre hôtes
- **Réseau** → IP, protocoles de routage
 - Routage de datagrammes de la source à la destination
- **Liaison** → Ethernet
 - Transfert de données entre nœuds dans un même réseau
- **Physique**
 - Signaux sur un câble, dans l'air



Modèle de communication en couches - TCP/IP (5 couches)



Adressage d'une machine dans différentes couches

- Application → Nom symbolique = caseb.iut-bm.univ-fcomte.fr
- Réseau → Adresse IP
IPv4 = 193.52.61.144 - IPv6 = fe80::3a63:bbff:feb5:9d7d
- Liaison → Adresse Ethernet / MAC = 38:63:bb:b5:9d:7d

Modèle de communication en couches - TCP/IP (5 couches)

Application → Nom symbolique = `caseb.iut-bm.univ-fcomte.fr`

- Adresse facile à retenir par un être humain
- À un nom symbolique correspond une / plusieurs adresse(s) IP
- À une adresse IP correspond "un seul" nom symbolique

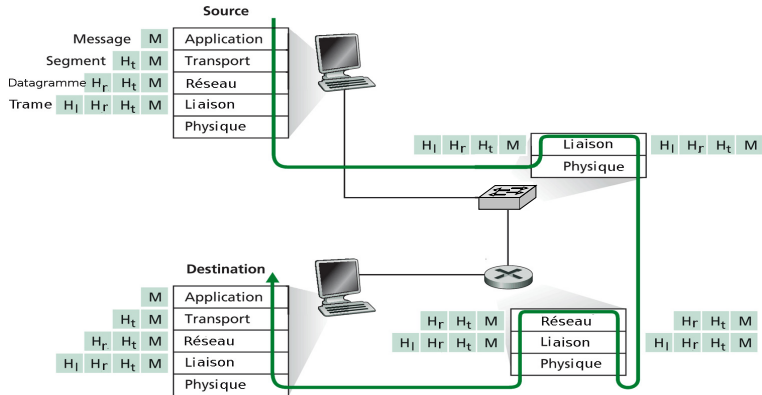
Réseau → Adresse IP = `193.52.61.144`

- Utilisée pour les communications entre réseaux différents
- Manipulée par les routeurs
- À une adresse IP correspond une et une seule adresse Ethernet

Liaison → Adresse Ethernet / MAC = `38:63:bb:b5:9d:7d`

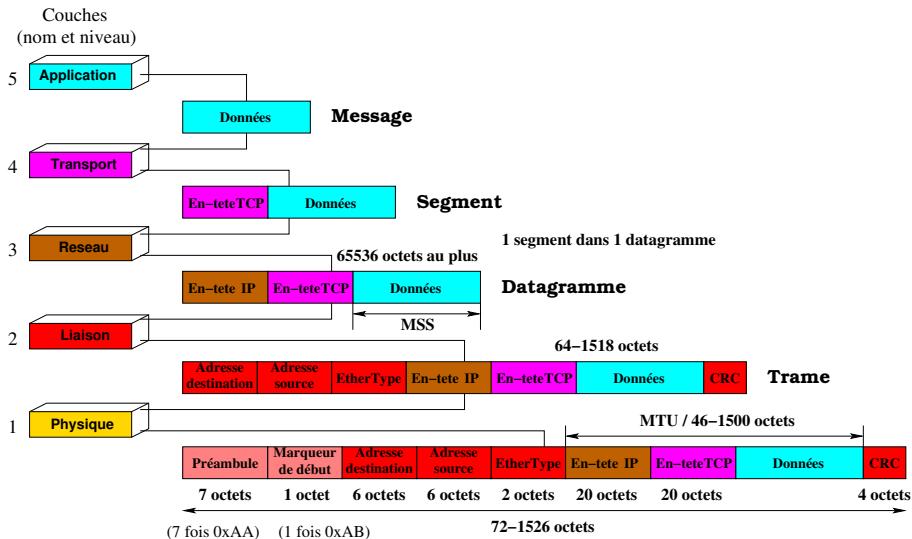
- Utilisée pour les communications au sein d'un même réseau
- Manipulée par les commutateurs ; propre à une carte réseau

Encapsulation / décapsulation des données dans Internet



- Une couche ajoute au bloc de la couche supérieure un en-tête
- L'en-tête contient des informations (H_r = adresses IP, etc.)

Encapsulation / décapsulation des données dans Internet



Fragmentation des datagrammes IP

Pourquoi ?

- Les réseaux n'ont pas la capacité d'envoyer des "gros" paquets
- La taille max. d'un datagramme dépend du type de réseau

Taille max. d'un datagramme → **Maximum Transmission Unit**

Fragmentation au niveau d'un routeur

- Lorsque taille datagramme > taille MTU
- Lorsqu'il relie des réseaux avec des MTUs hétérogènes

Comment ça se passe dans un réseau Ethernet ?

- Datagramme → MTU = 1500 octets
- Segment → taille choisie pour tenir dans le datagramme
 - Taille max. des données → **Maximum Segment Size**
MSS = MTU - 20 (en-tête IP) - 20 (en-tête TCP) octets

Au commencement, il y eu la commutation de paquets

- 1961 ⇒ Théorie sur l'utilisation de la commutation de paquets (Leonard Kleinrock - MIT)
- 1964 ⇒ Commutation de paquets dans les réseaux militaires
- 1967 ⇒ ***Advanced Research Projects Agency Network***
- 1972
 - ⇒ ARPANet comporte plusieurs dizaines de nœuds
 - ⇒ ARPANet est présenté au grand public
 - ⇒ ***Network Control Protocol***
 - Premier protocole de communication d'hôte à hôte
 - Ancêtre de TCP
 - ⇒ Premier programme de courrier électronique

Puis vinrent l'interconnexion et de nouveaux réseaux

- 1970 ⇒ Réseau (radio) ALOHANet sur l'archipel d'Hawaii
- 1973 ⇒ Définition d'Ethernet
(Bob Metcalf *et al.* - Xerox)
- 1974 ⇒ Architecture des réseaux d'interconnexion
(Vinton Cerf - Stanford et Bob Kahn - ARPA)
 - Utilisation du terme **internetting** pour le réseau des réseaux
 - Définition de l'architecture d'Internet (protocoles TCP/IP)
- fin 70's ⇒ Multiplication des architectures propriétaires

De nouveaux protocoles, tandis que les réseaux prolifèrent

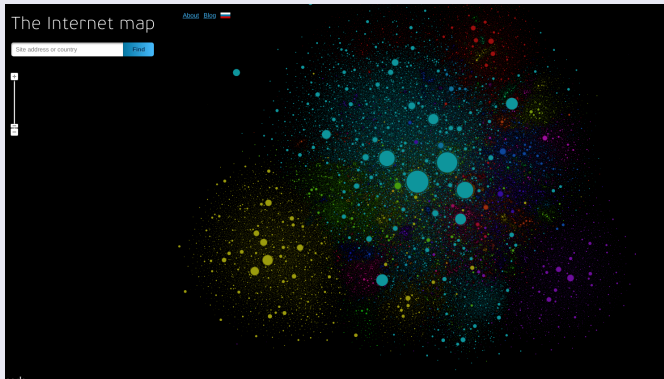
- 1981 $\Rightarrow$ Apparition du Minitel en France
- 1982 $\Rightarrow$ Définition du protocole SMTP (courrier élec.)
- 1983 $\Rightarrow$ Déploiement de TCP/IP
- 1983 $\Rightarrow$ Définition du **Domain Name System**
 - Apparition des noms symboliques désignant les hôtes
 - Transformation nom symbolique $\leftrightarrow$ adresse IP
- 1985 $\Rightarrow$ Définition du protocole FTP
- fin 80's $\Rightarrow$ 100000 hôtes connectés

Web, commercialisation et applications

- début 90's ⇒ Disparition d'ARPANet
- début 90's ⇒ Émergence du **World Wide Web**
 - Système **hypertexte** de **pages** liées par des **hyperliens**
 - **HyperText Markup Language**
 - **HyperText Transfer Protocol**
- 1993 ⇒ Apparition du navigateur web NCSA Mosaic
 - Ancêtre de Netscape
- fin 90's ⇒ Commercialisation du Web
- fin 90's à aujourd'hui ⇒ Développement croissant
 - Explosion du nombre d'utilisateurs dans le monde
 - Applications → messagerie instantanée, Pair-à-Pair (P2P), etc.
 - Problématique de la sécurité
 - Passage du cœur du réseau (liens *backbone* ou dorsales) au Gigabit par seconde, Térabit par sec. (jusqu'à 400 Tbit/s)

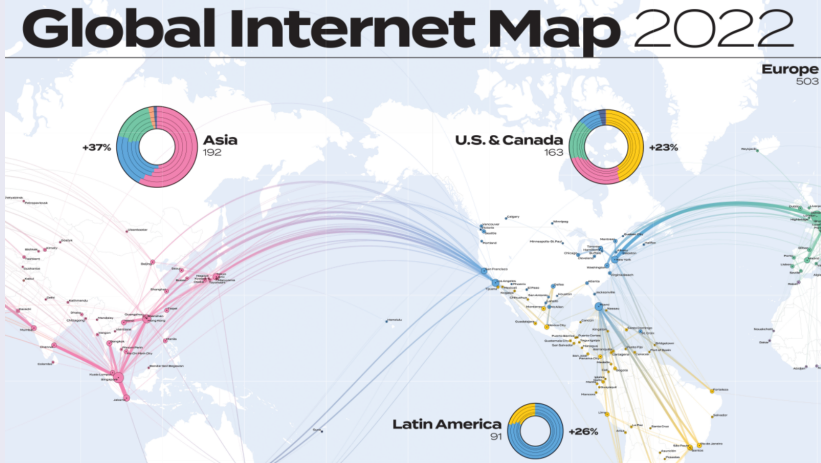
Carte de l'Internet

Internet map



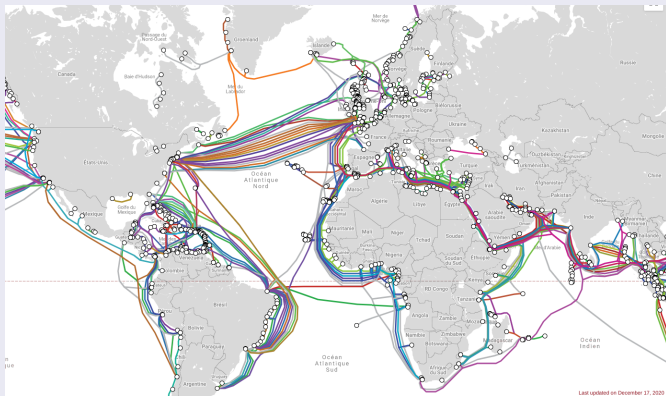
Carte de l'Internet

Global Internet Map 2022



Carte des câbles sous-marins

Submarine Cable Map



Expansion de l'Internet des Objets (*Internet of Things - IoT*)

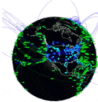


Internet backbone & colocation provider

Global Internet service provider


**HURRICANE ELECTRIC
INTERNET SERVICES**

Internet Backbone and Colocation Provider

Services IP Transit Get Quote Layer 2 Transport Get Quote Colocation Get Quote Dedicated Server Get Quote	Hurricane Electric Hurricane Electric IP Transit  Our Global Internet Backbone provides IP Transit with low latency, access to thousands of networks, and dual-stack native IPv6+IPv4. Global IPv6 & IPv4 Internet Transit Global Internet Backbone  HE 3D Network Map Free IPv6 Certifications!  This tool will allow you to certify your ability to configure IPv6. http://ipv6.he.net/certification  Colocation	Specials Get BGP+IPv6+IPv4 for \$0.05/Mbps! Quick Links Network Map (PDF) Looking Glass Free IPv6 Tunnel Broker Free DNS Global IPv6 Deployment BGP Toolkit
--	--	--

Pour finir

Résumé

- Une vue globale d'Internet
- Compréhension de ce qu'est un protocole
- Structure d'un réseau et d'Internet
 - Bords, réseau d'accès, réseau d'interconnexion
 - Commutation de circuits vs. de paquets
- Performances : pertes et délais
- Modèle en couches
- Historique

Un aperçu, une idée de ce que sont les réseaux