

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 ⇒ *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 ⇒ *à cheval sur les R2.04 et R2.05*

Routage → Internet Protocol v4 (IPv4) et v6 (IPv6)

- Couches Liaison de Données et Physique ⇒ *vues en TD*

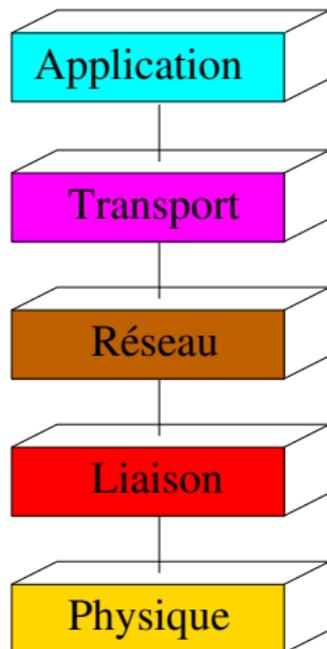
Transmission → Ethernet ; Supports et codage des bits

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

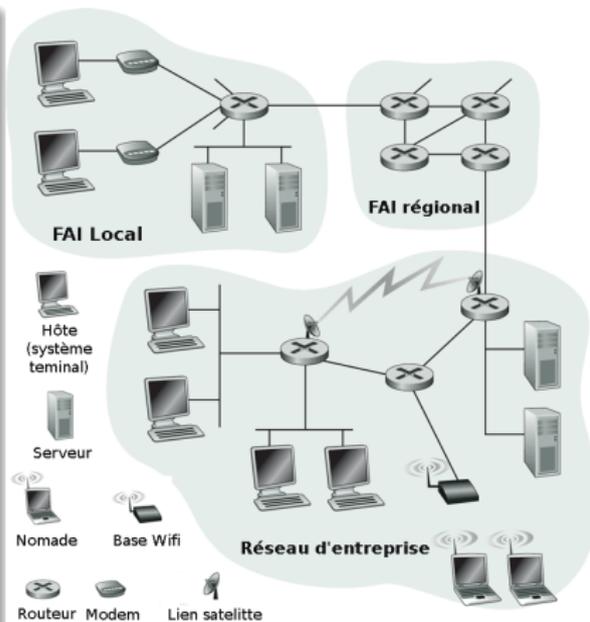


Introduction

- 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

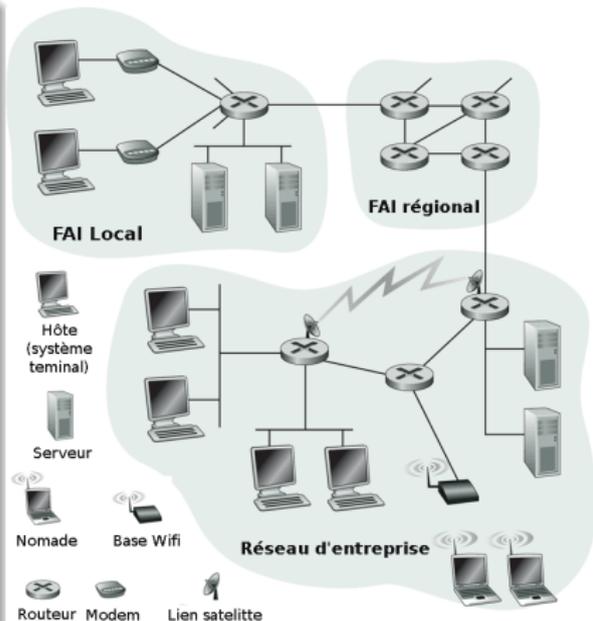
- Connexion de milliards d'appareils
 - **Hôtes** ou **systèmes terminaux** ;
 - exécutant des **appli. réseau**
- via des **canaux de transmission**
 - Ondes électromagnétiques
 - **Débit** ou **taux de transfert** (par abus bande passante) exprimé en bit/s, b/s ou bps
- interconnectés par des **routeurs**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



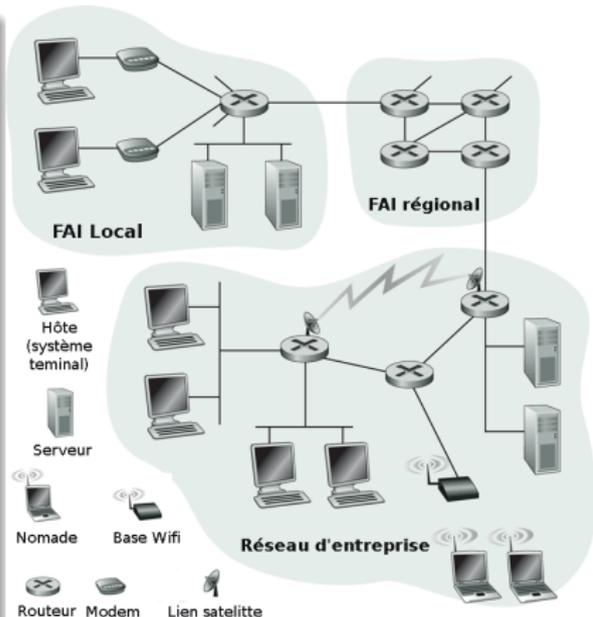
Internet : une infrastructure fournissant des services

- 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

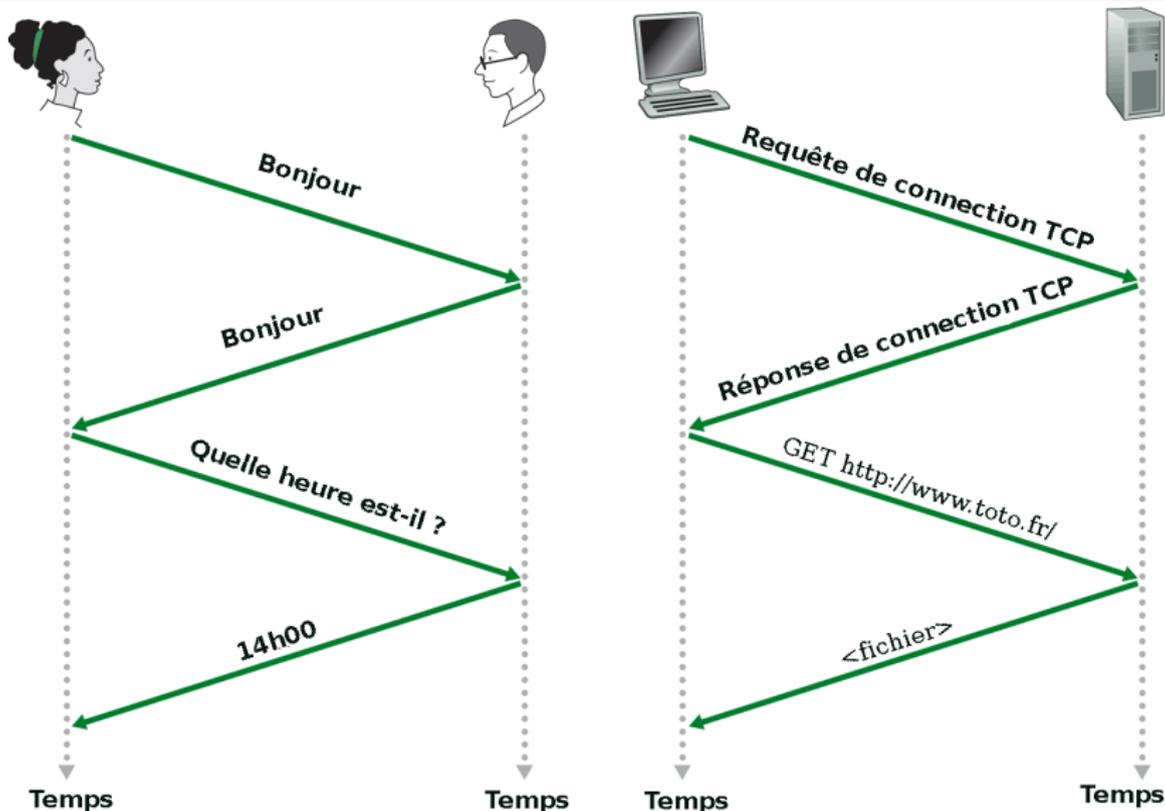
Conversation téléphonique

- 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

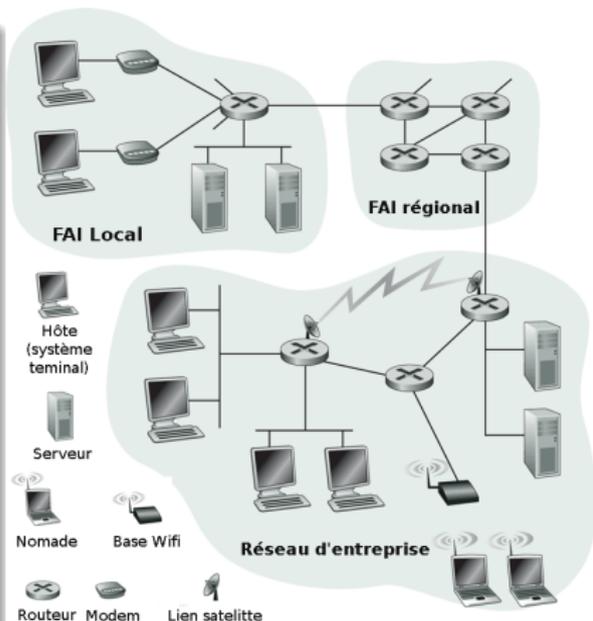
- Avoir les **mêmes règles d'échange**
 - ordre des envois/réceptions et actions associées
- et de **format de messages**

Illustration de la notion de protocole



Structure du réseau

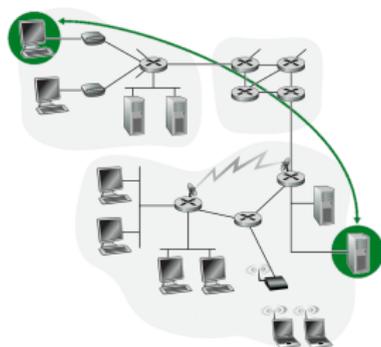
- Bords du réseau (**extrémités**)
 - Applications et hôtes
 - Ordinateurs, imprimantes, etc.
- Réseau d'accès (**lien**)
 - Relie les hôtes à un réseau d'interconnexion
 - xDSL, Ethernet, WiFi, 3G (UMTS), 4G, 5G, etc.
- Réseau d'interconnexion (**cœur**)
 - Routeurs
 - ATM, Internet, etc.



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.univ-fcomte.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

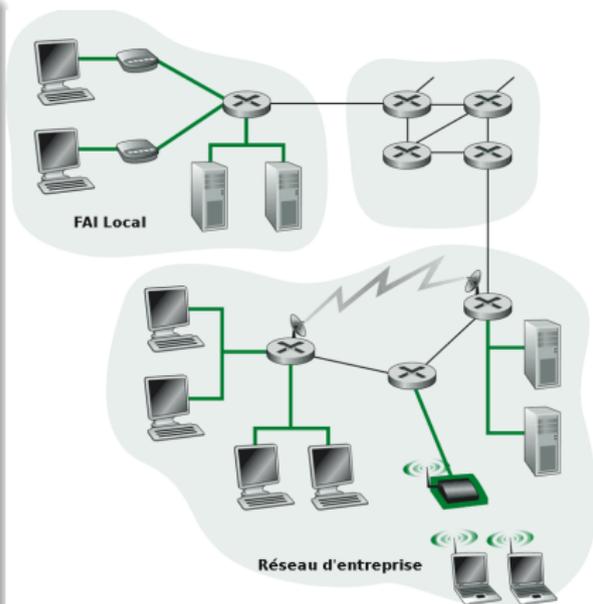
- Pas de contrôle de l'état des hôtes qui communiquent
L'acheminement des données n'est pas garanti
- Quel est son intérêt ?
 - Transmettre rapidement des données ;
 - la perte éventuelle d'une partie ayant un impact négligeable

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

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

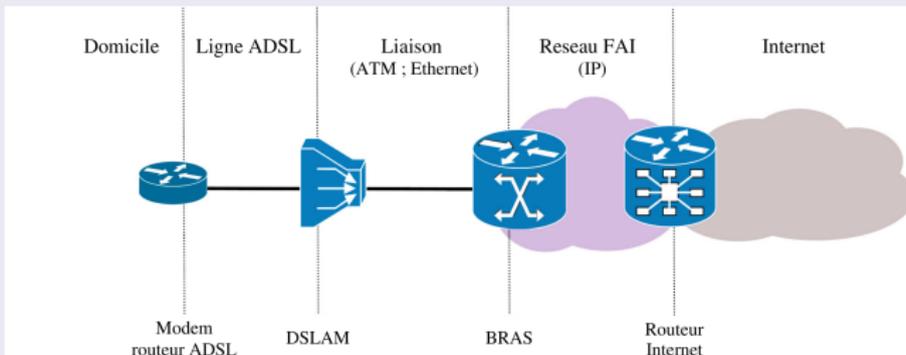
- Débit descendant VDSL / VDSL2 : 55 Mbps / 100 Mbps
- Débit montant VDSL / VDSL2 : 3 Mbps / 100 Mbps

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*

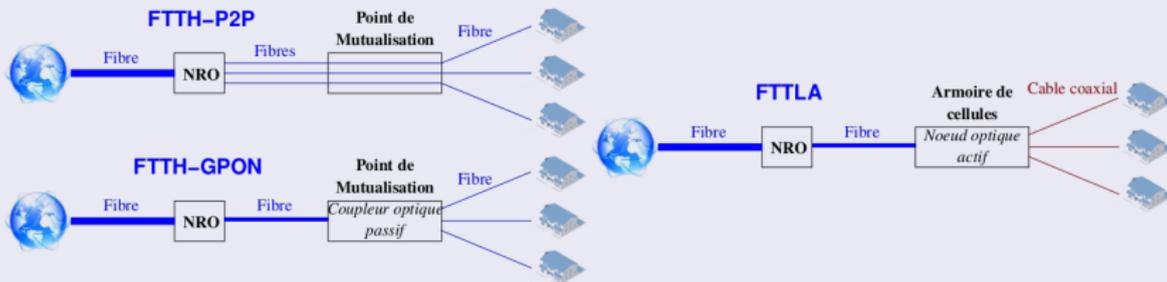
- “**Fibre jusqu’au dernier amplificateur**”
- Fibre partagée jusqu’à un nœud optique, puis câble coaxial

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

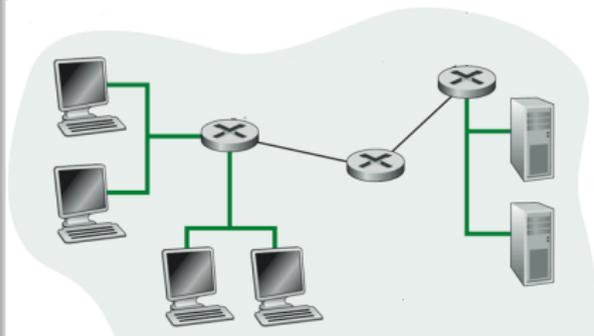


Différences entre FTTH et FTTLA (câble)

- Écarts de débits important ; débits sym. possibles en FTTH
 - FTTH → 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

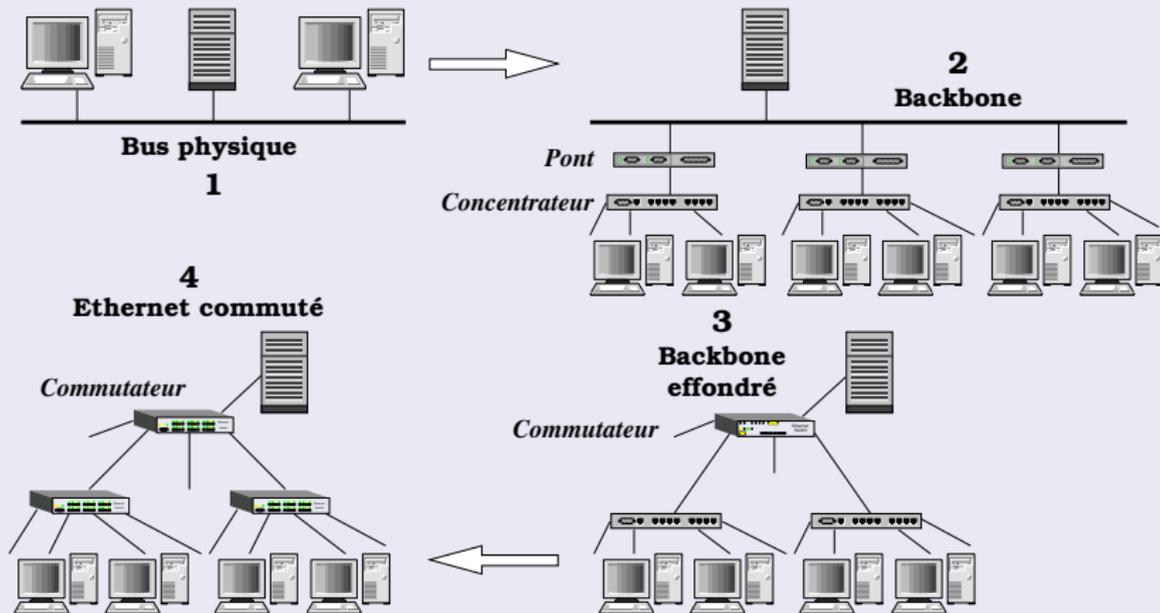
Accès institutionnel - Réseaux locaux (LAN)

- 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)

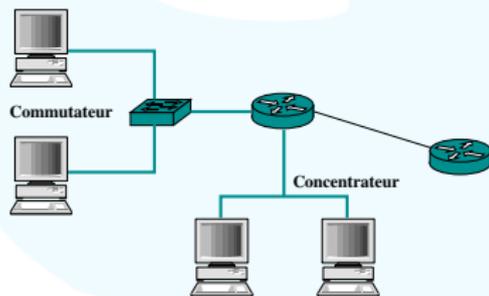
Évolution des LAN de type Ethernet



Accès institutionnel - Réseaux locaux (LAN)

Équipements d'interconnexion

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



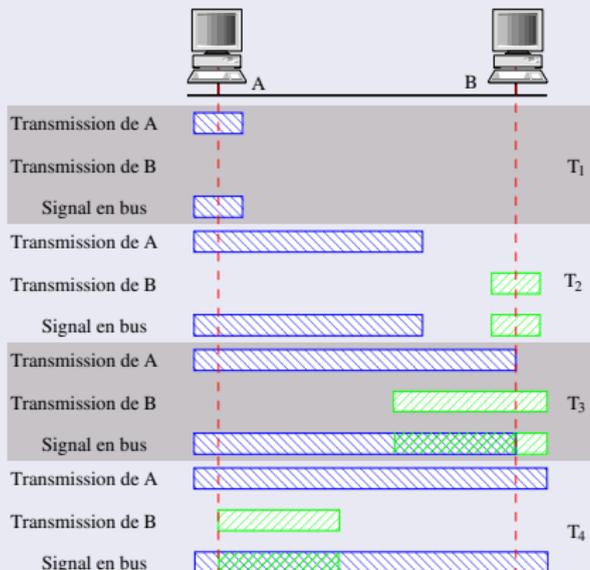
- Un message envoyé par un hôte est dans le cas du
 - **concentrateur** → **envoyé à tous** les autres hôtes ;
 - **commutateur** → **envoyé uniquement au destinataire**
- Un commutateur fournit un meilleur débit par utilisateur
- Le concentrateur est un équipement obsolète

Accès institutionnel - Réseaux locaux (LAN)

Utilisation du canal de communication

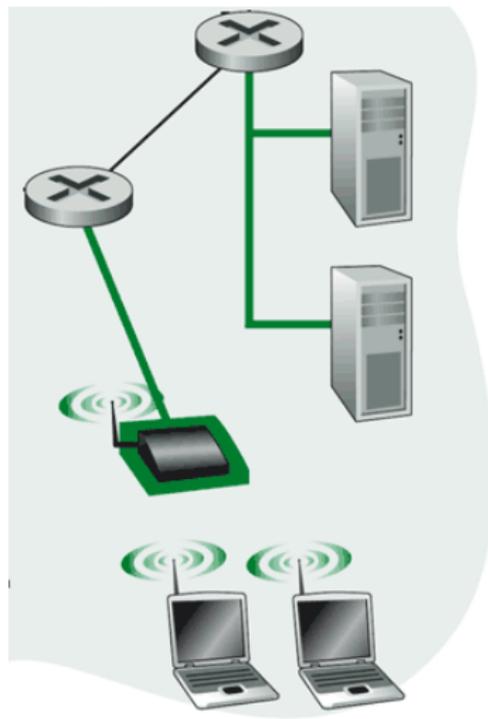
- Concentrateur → unidirect. à l'alternance (*half-duplex*)
- Commutateur → bidirectionnelle (*full-duplex*)

Collision possible avec un concentrateur

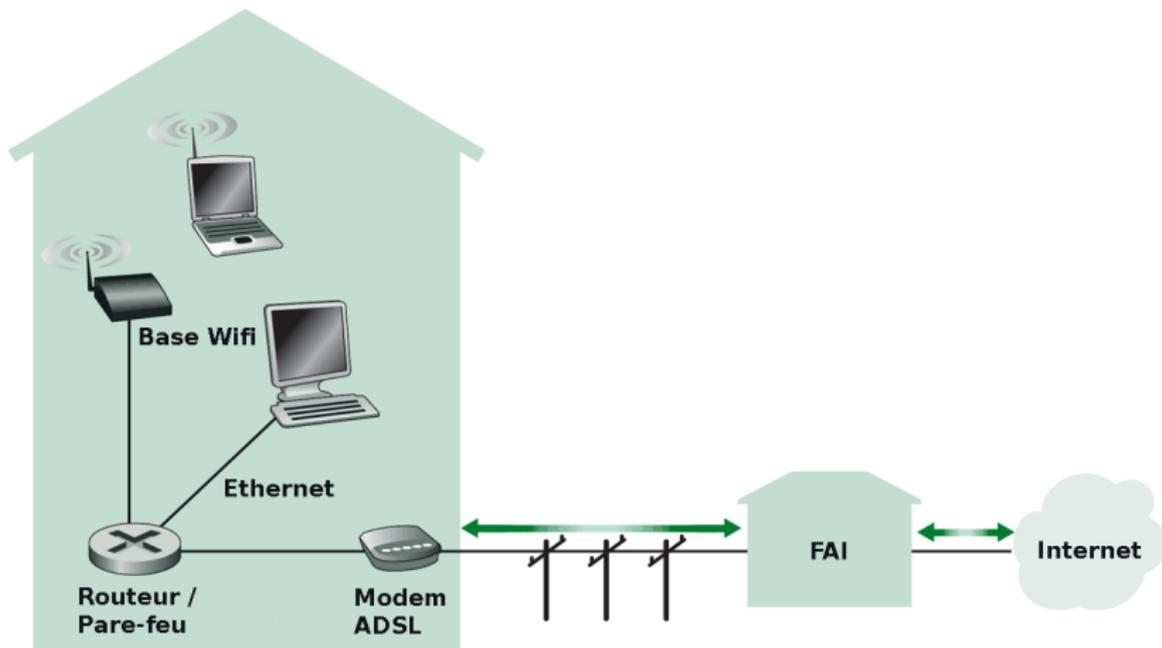


Accès nomade - Réseaux sans fil (WLAN)

- 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

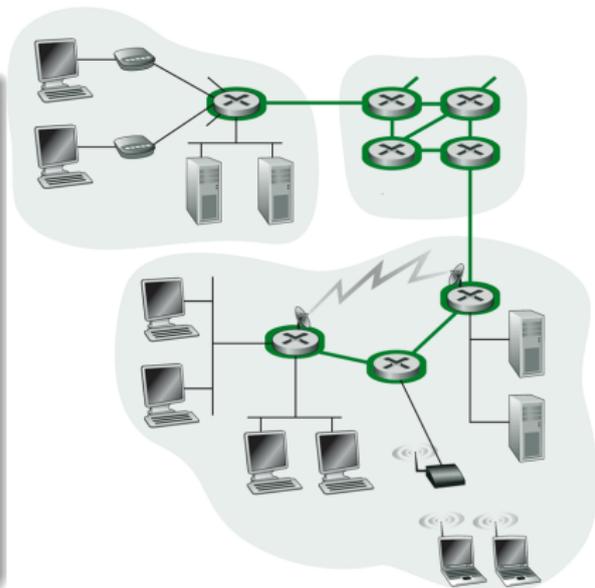


Accès à distance à la maison



Réseau d'interconnexion

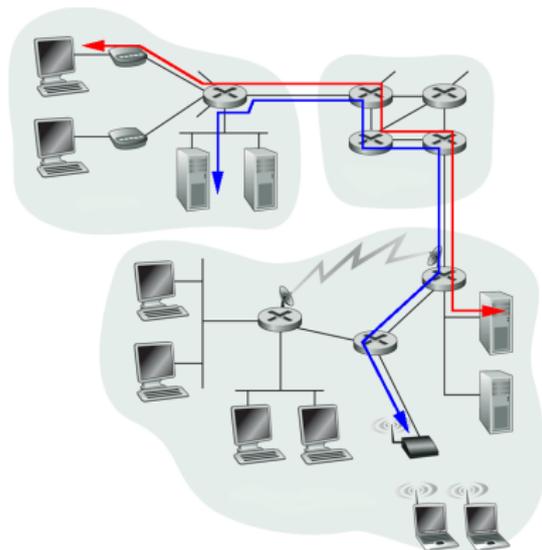
- Liaisons entre routeurs
- Comment les données sont-elles acheminées sur le réseau ?
 - Commutation de circuits
 - Circuit dédié par transfert
 - Analogie : le téléphone
 - Commutation de paquets
 - Données découpées et envoyées en morceaux
 - Analogie : courrier postal



Commutation = liaison temporaire de deux nœuds “voisins”

Commutation de circuits

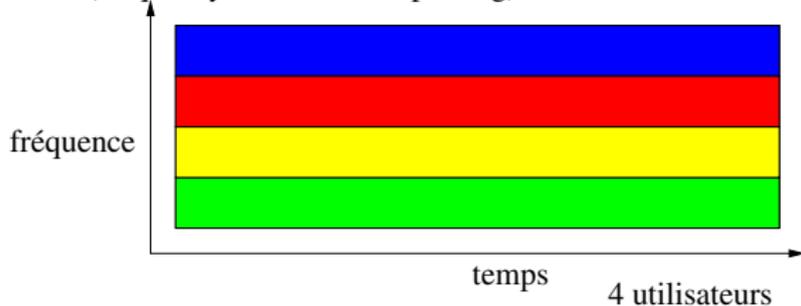
- Ressources réservées pour un transfert / “appel”
- Pas de partage
- Performances garanties
- Fonctionnement
 - ① Connexion → réservation
 - ② Transfert
 - ③ Libération → restitution



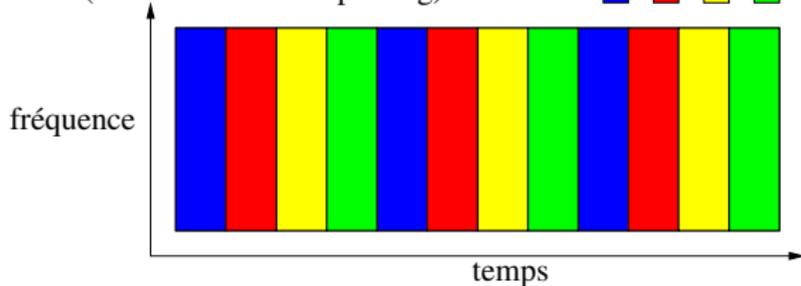
- Ressources réseau découpées en morceaux
 - Ressource inactive si inutilisée (pas de partage)
- Découpage en fréquence (bandes) ou en temps (intervalles)

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

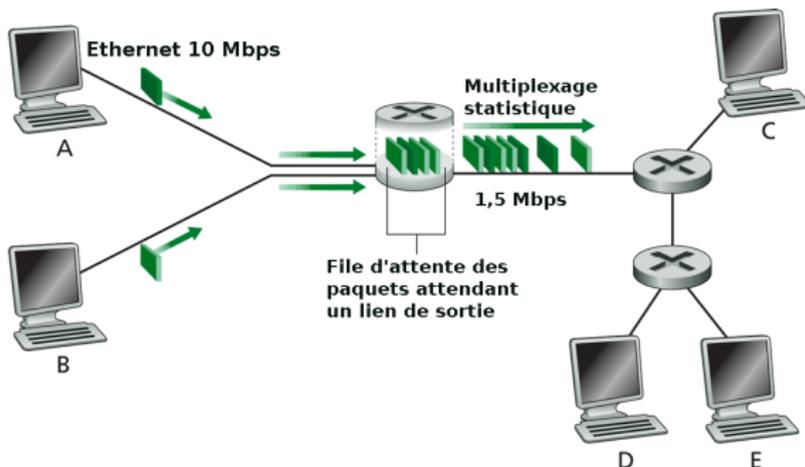
- Pas de découpage des ressources
- Pas de réservation de ressources

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



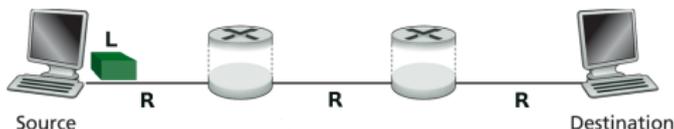
Commutation de paquets - Acheminement d'un paquet

- 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

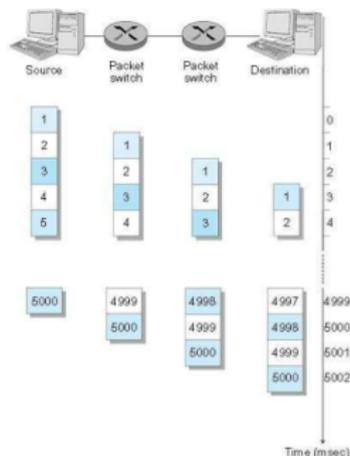
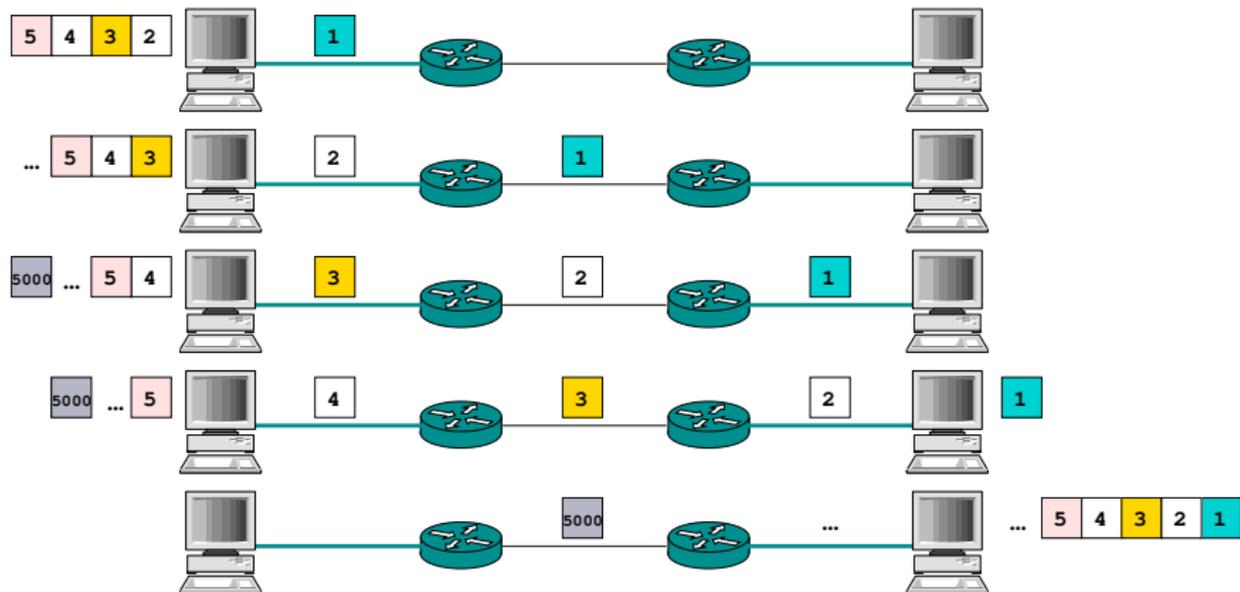


Illustration de l'intérêt de la fragmentation par un exemple

- 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

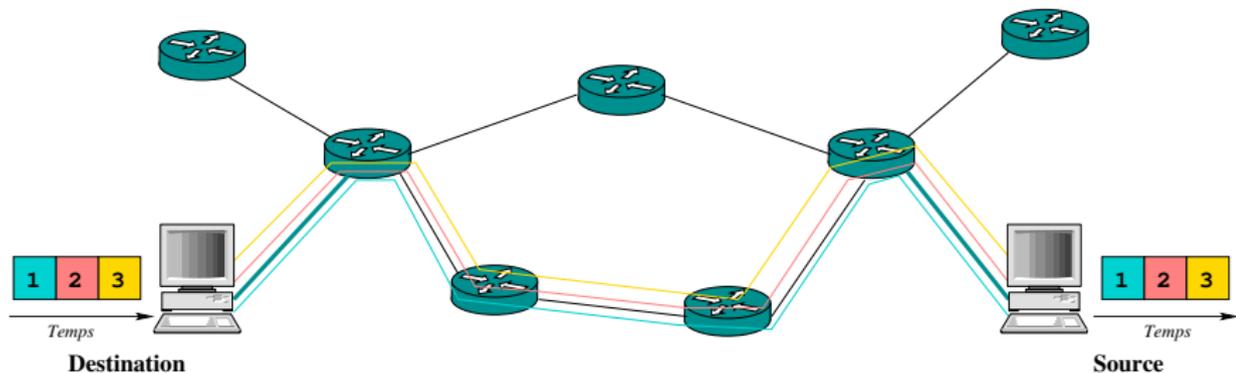
Aucun routeur ne connaît de chemin complet

- 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

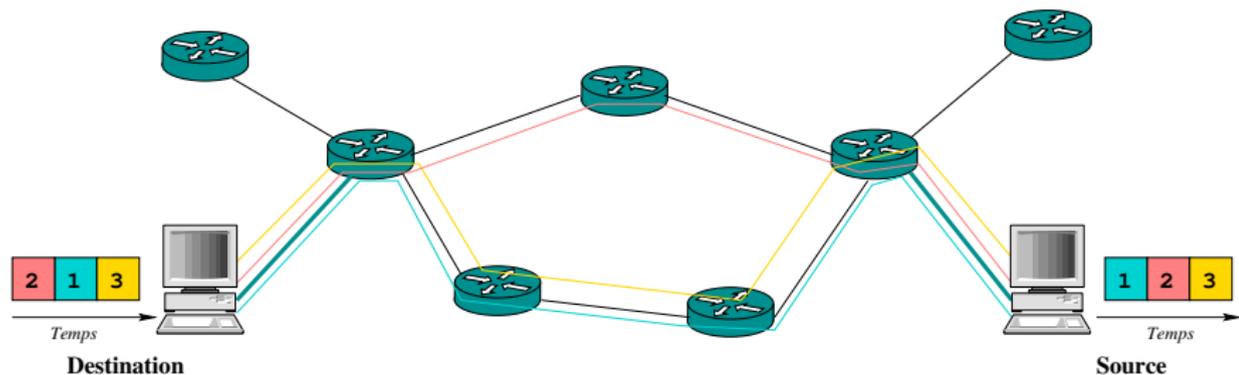
- Principe similaire à la commutation de circuits
- Fonctionnement
 - ① Connexion → création d'un circuit virtuel
 - ② Transfert des paquets → même chemin
 - ③ Libération → fermeture du circuit virtuel



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

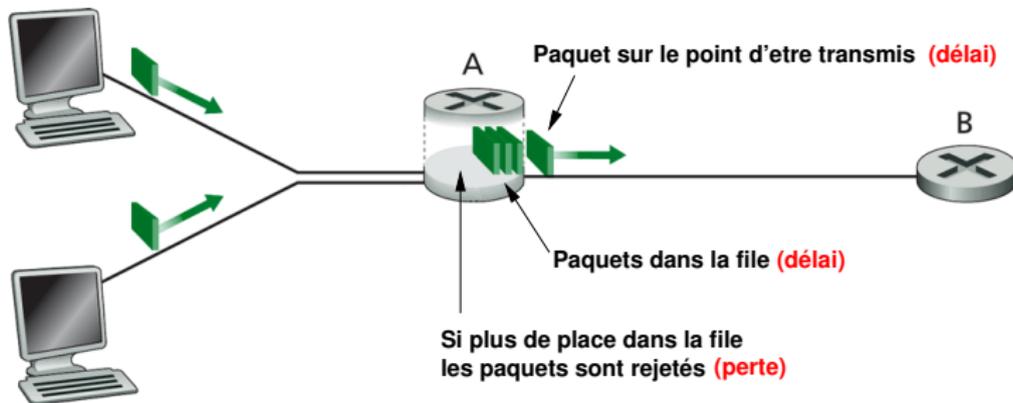


Commutation de paquets - Perte de paquets

Perte de paquets due à un routeur

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

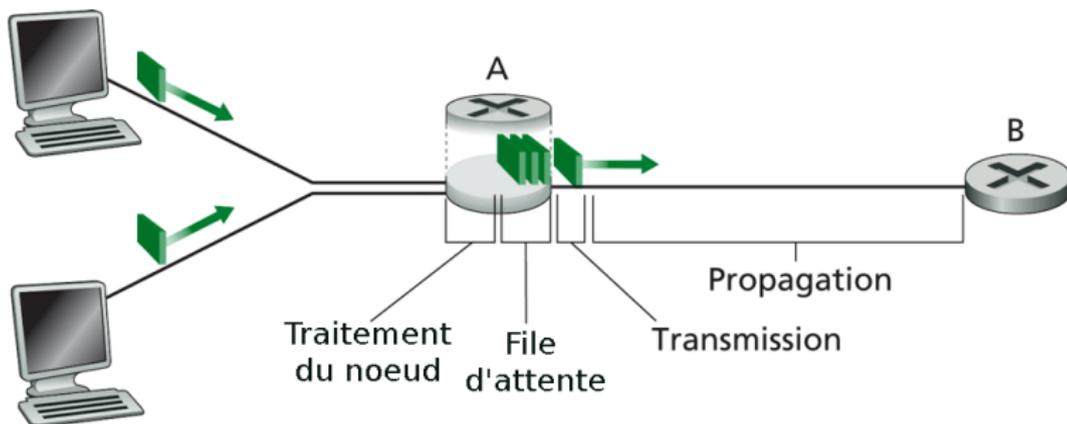
Congestion du routeur



Commutation de paquets - Perte de temps

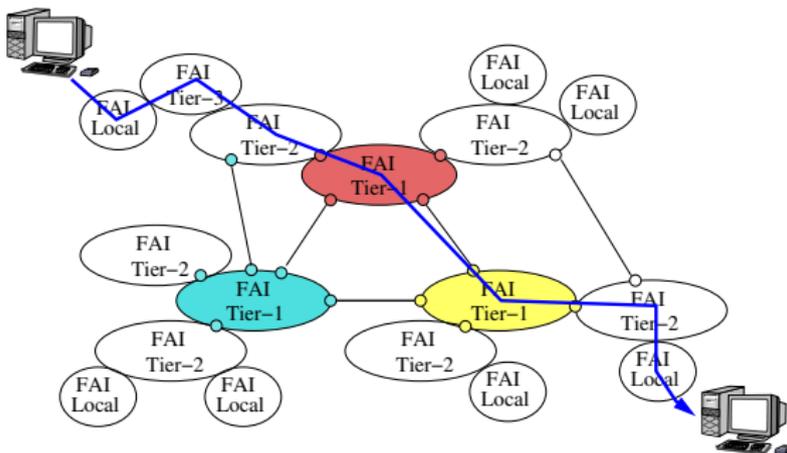
Différentes pertes de temps

- 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

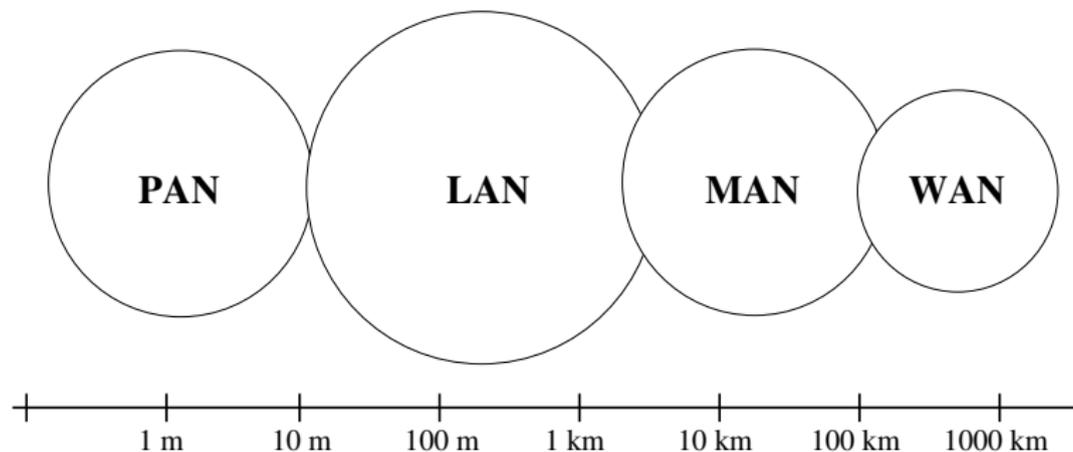


Classification des réseaux

Selon la distance maximale séparant deux nœuds

- 1 Les réseaux personnels (**PAN**)
 - interconnectent des équipements personnels (PDAs, etc.) ;
 - sur quelques mètres
- 2 Les réseaux locaux (**LAN**)
 - interconnectent un(e) ou plusieurs salle(s) / bâtiment(s)
- 3 Les réseaux métropolitains (**MAN**)
 - interconnectent plusieurs sites dans une ville, une région ;
 - agrégat de réseaux locaux
- 4 Les réseaux étendus ou longue distance (**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

		nb sauts max ↗	↖ taille des paquets émis
1	192.168.0.1 (192.168.0.1)	2.530 ms	12.622 ms 12.620 ms
	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

tracertoute vers www.univ-fcomte.fr

tracertoute 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.fftr7.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

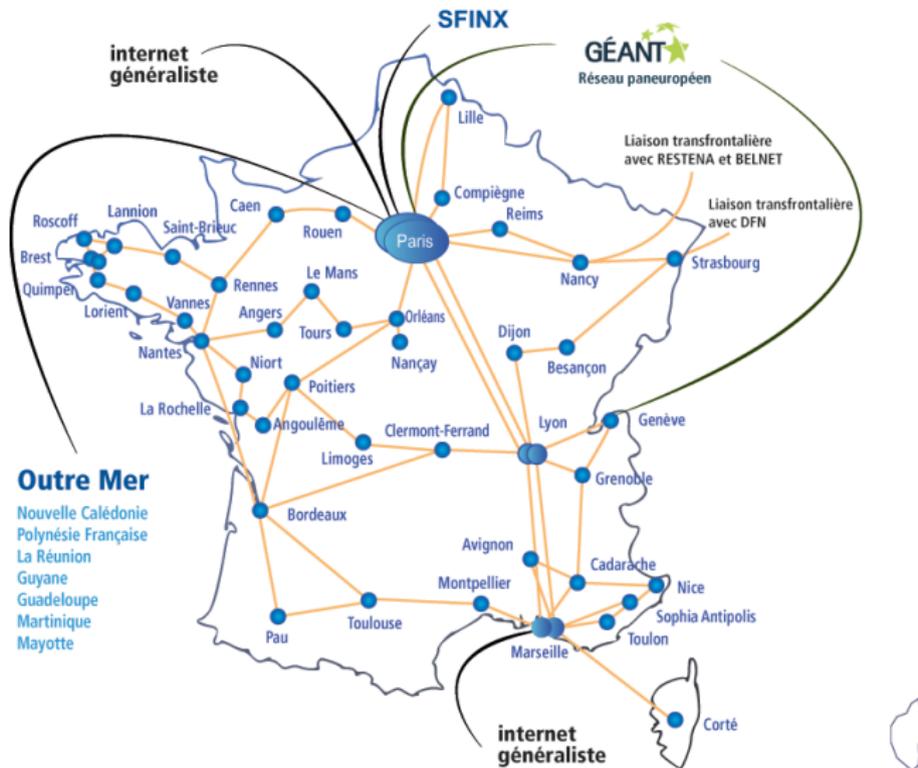
13 te0-0-0-13-ren-nr-besancon-rtr-091.noc.renater.fr (193.51.177.182) 31.728 ms

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

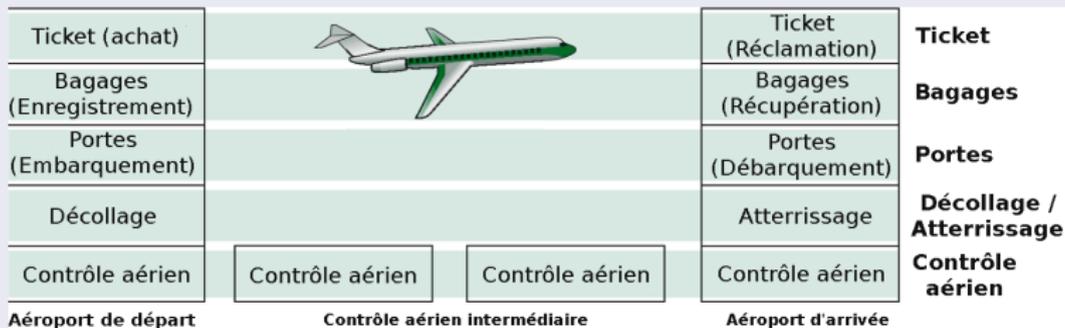
- Pourquoi ? Établir une communication est complexe
 - Coder les bits en signaux
 - Gérer la retransmission des paquets perdus
 - Contrôler et mettre à jour le routage
 - etc.
- Simplification en considérant **différentes couches**, avec **un protocole par couche**
- Standards et normes évitent la prolifération 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



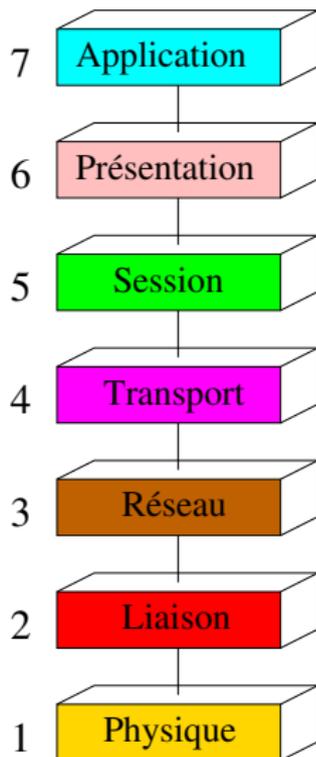
Modèle de communication en couches - Intérêt

- 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

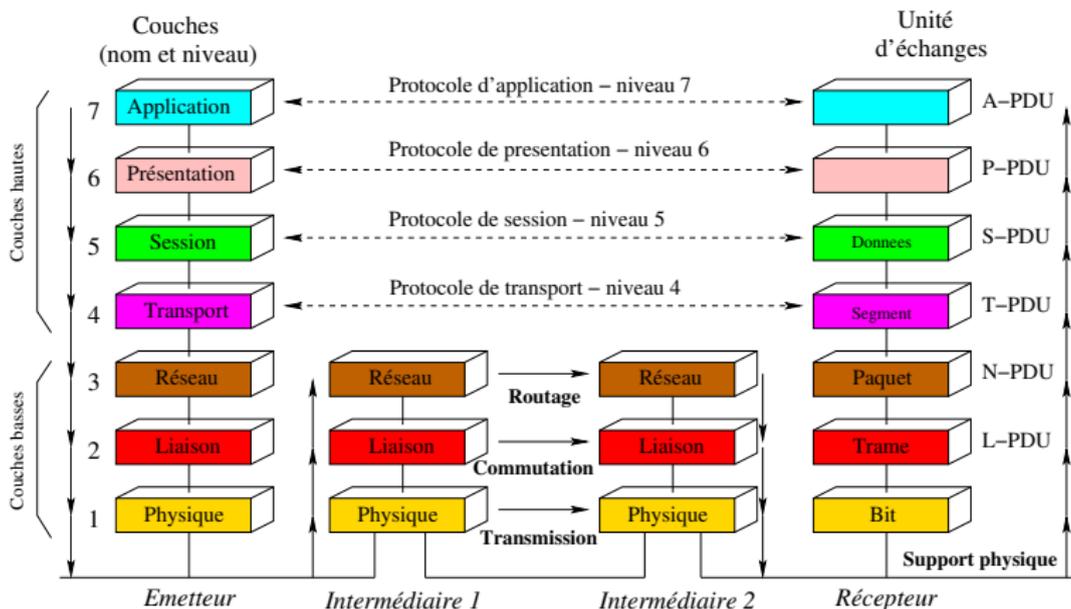
Modèle ISO/IEC 7498 Open Systems Interconnection

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
- Fragmente / 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

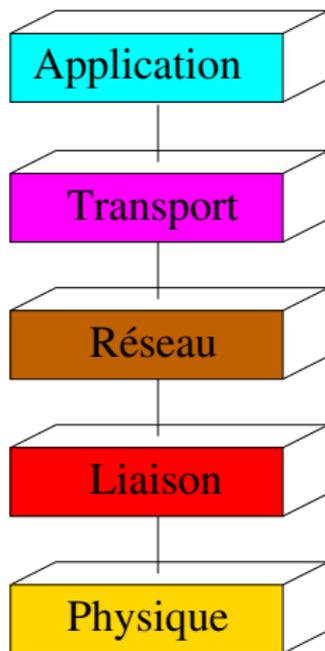
① Couche Physique

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

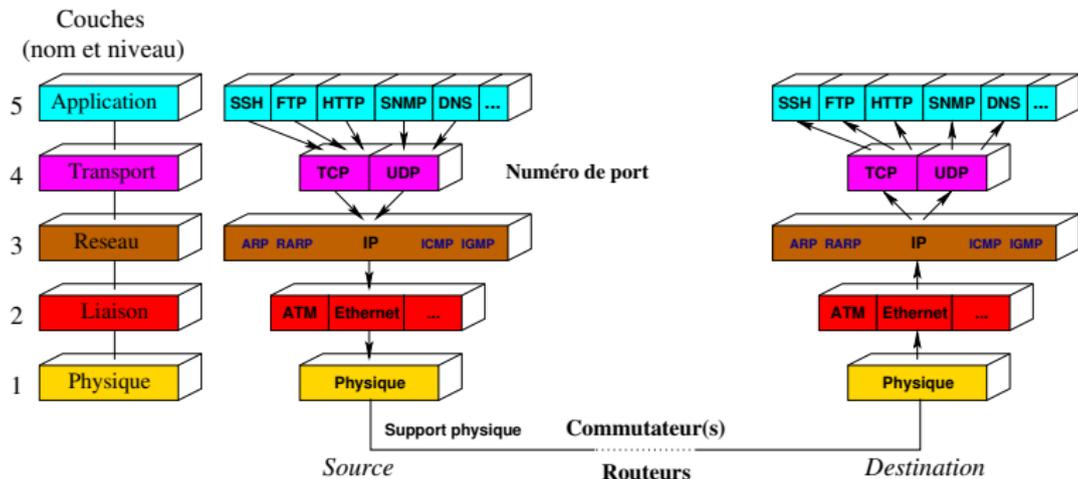
Modèle de communication en couches - TCP/IP (5 couches)

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

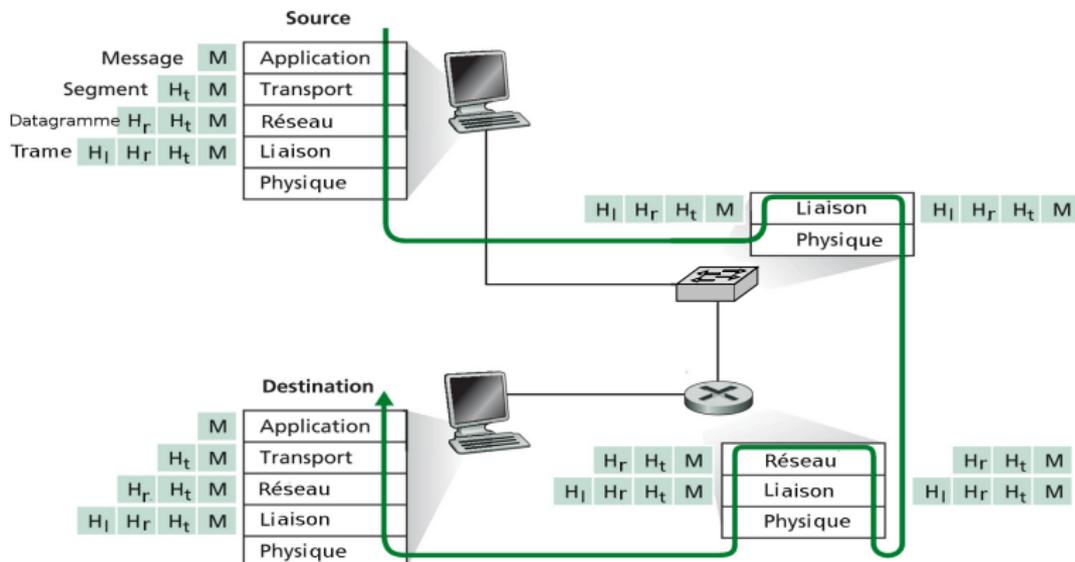
Réseau → Adresse IP = `193.52.61.144`

- 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`

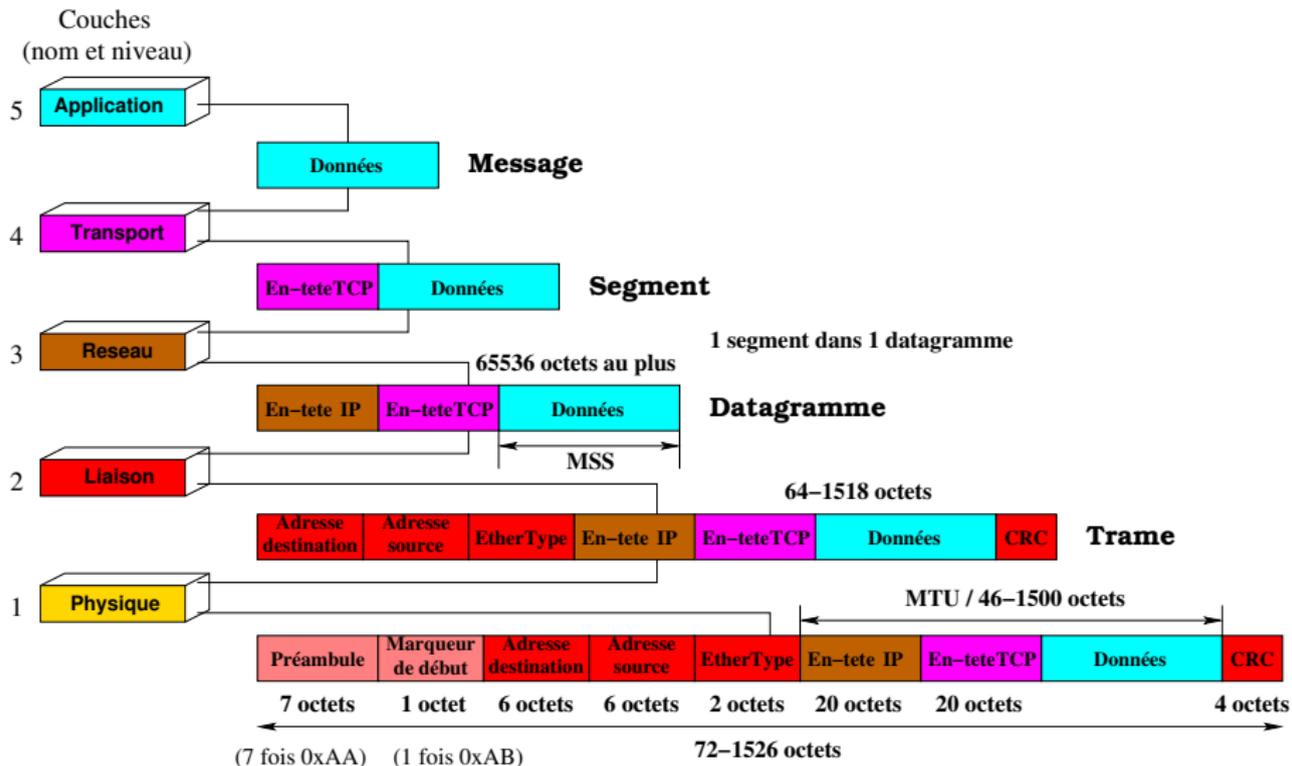
- Utilisée pour les communications au sein d'un même réseau
- Manipulée par les commutateurs ; propre à une carte réseau

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 **interneting** 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

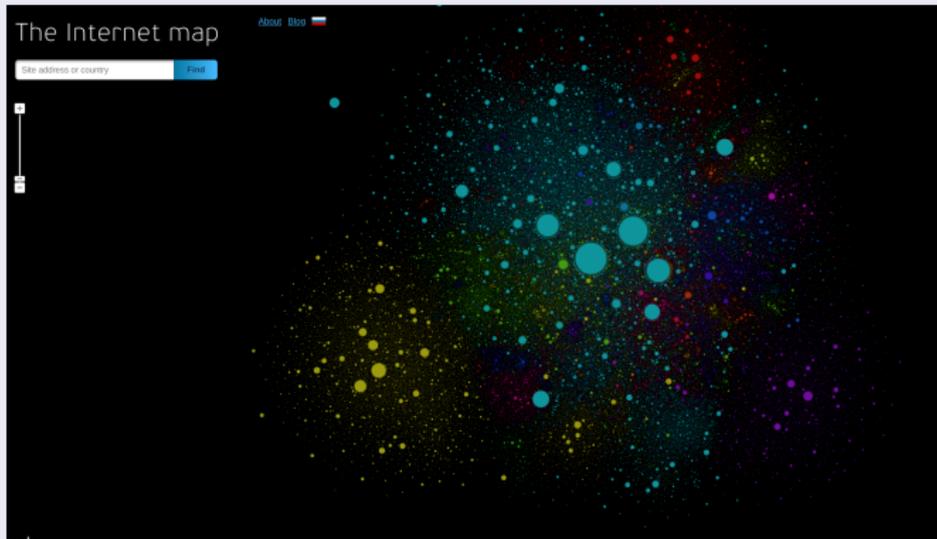
- 1981 ⇒ Apparition du Minitel en France
- 1982 ⇒ Définition du protocole SMTP (courrier élec.)
- 1983 ⇒ Déploiement de TCP/IP
- 1983 ⇒ Définition du *Domain Name System*
 - Apparition des noms symboliques désignant les hôtes
 - Transformation nom symbolique ↔ adresse IP
- 1985 ⇒ Définition du protocole FTP
- fin 80's ⇒ 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 (jusqu'à 800 Gbps), Térabit par sec.

Carte de l'Internet

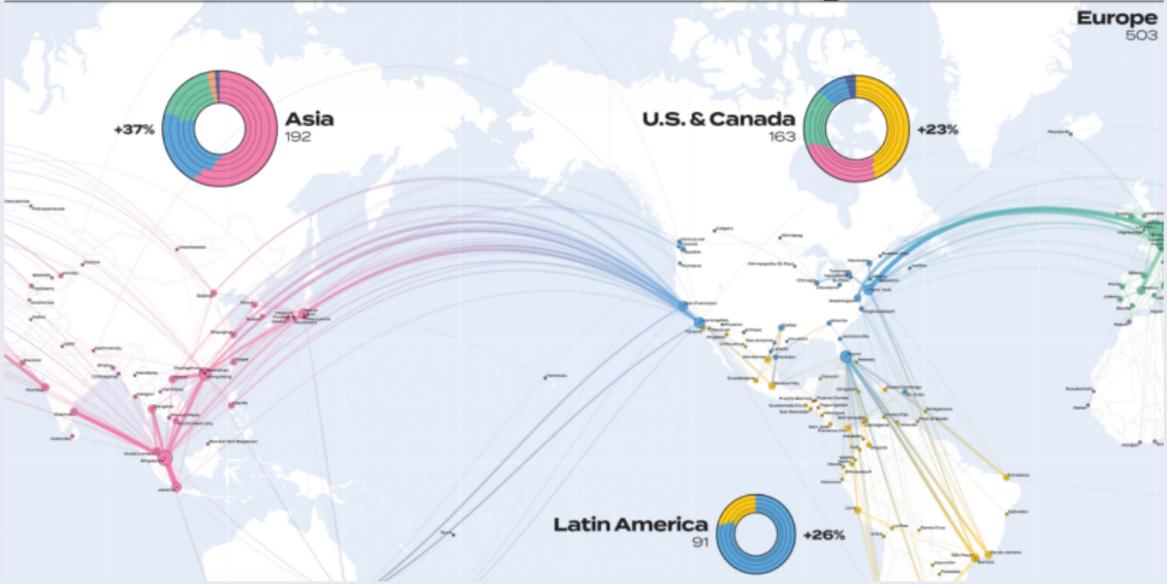
Internet map



Carte de l'Internet

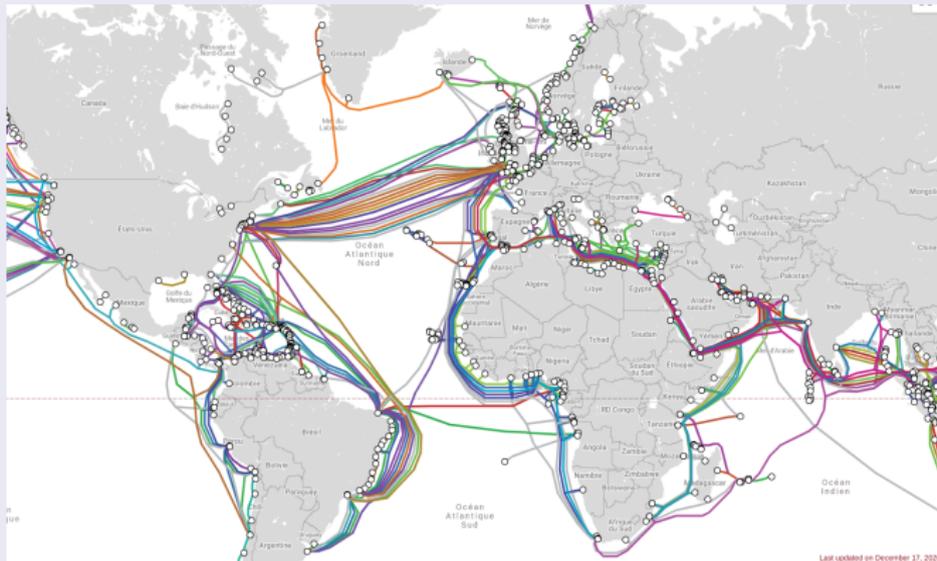
Global Internet Map 2022

Global Internet Map 2022

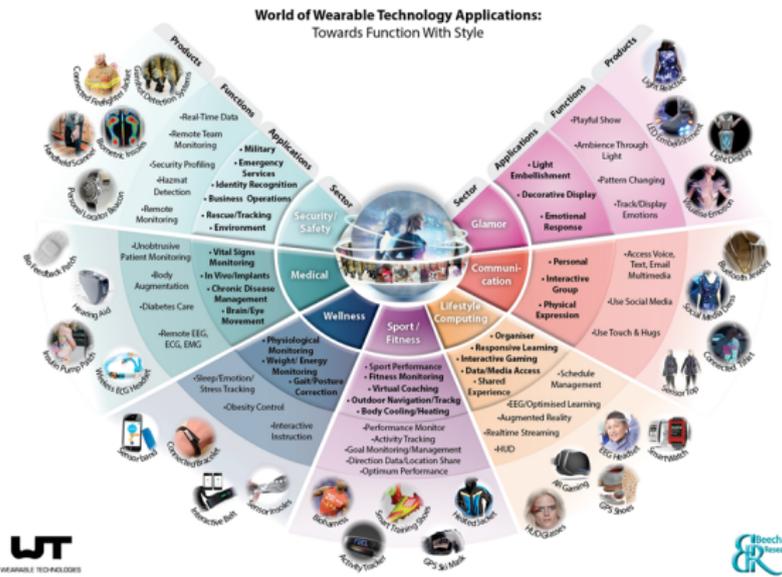


Carte des câbles sous-marins

Submarine Cable Map



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



© 2013 Beecham Research Ltd. & Wearable Technologies AG

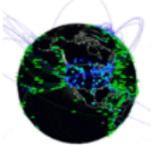
Internet backbone & colocation provider

Global Internet service provider



**HURRICANE ELECTRIC
INTERNET SERVICES**

Internet Backbone and Colocation Provider

Services	Hurricane Electric	Specials
<p>IP Transit Get Quote Layer 2 Transport Get Quote Colocation Get Quote Dedicated Server Get Quote</p>	<p style="text-align: center;">Hurricane Electric IP Transit</p>  <p>Our Global Internet Backbone provides IP Transit with low latency, access to thousands of networks, and dual-stack native IPv6+IPv4.</p> <p style="text-align: center;">Global IPv6 & IPv4 Internet Transit</p> <p style="text-align: center;">Free IPv6 Certifications!</p>  <p>This tool will allow you to certify your ability to configure IPv6.</p> <p style="text-align: center;">http://ipv6.he.net/certification</p>	<p style="text-align: center;">Global Internet Backbone</p>  <p style="text-align: center;">HE 3D Network Map</p>
<p style="text-align: center;">Information</p> <p>About Us Contacts FAQ Customer Login</p>	 <p style="text-align: center;">Colocation</p>	<p style="text-align: center;">Quick Links</p> <p>Network Map (PDF) Looking Glass Free IPv6 Tunnel Broker Free DNS Global IPv6 Deployment BGP Toolkit</p>

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