



Architecture réseaux

Olivier Tharan

`olive@pasteur.fr`

Institut Pasteur

Plan du cours

- Principes d'architecture
- Le modèle OSI
- TCP/IP
- Exemples d'architectures

Principes d'architecture

Grands principes

Qu'est-ce qu'un réseau ?

- C'est un ensemble de matériels et de logiciels permettant à des équipements de communiquer entre eux.
- L'objectif d'un réseau est le partage des ressources matérielles (disques durs, imprimantes) et des ressources logicielles (fichiers, applications)
- Les réseaux regroupent un ensemble hétérogène d'architectures, du filaire au sans-fil, du LAN au WAN

Topologies de réseaux

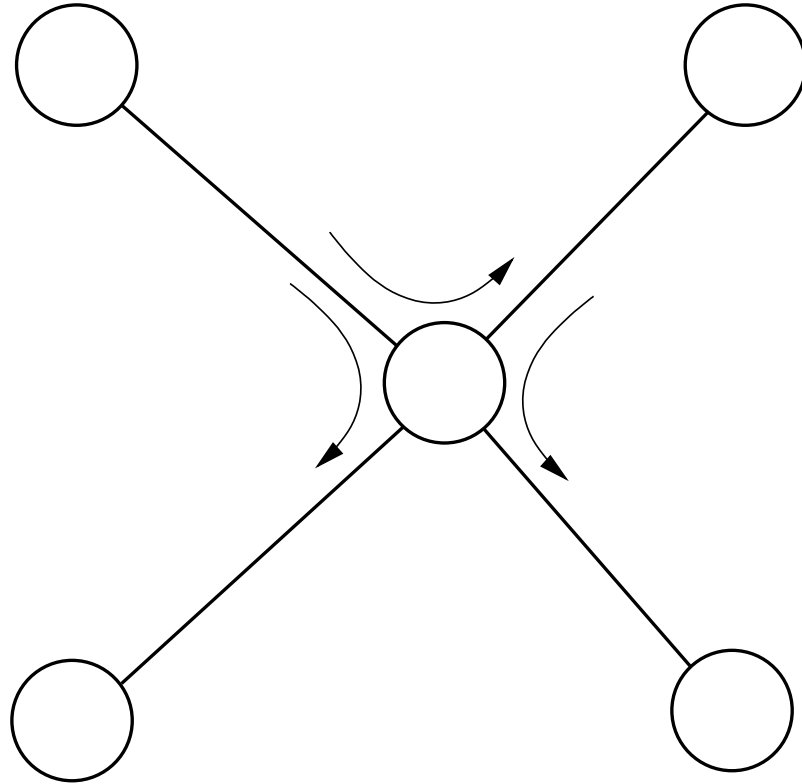
Les principales topologies de réseaux existantes :

- en étoile
- en bus
- en anneau
- maillé

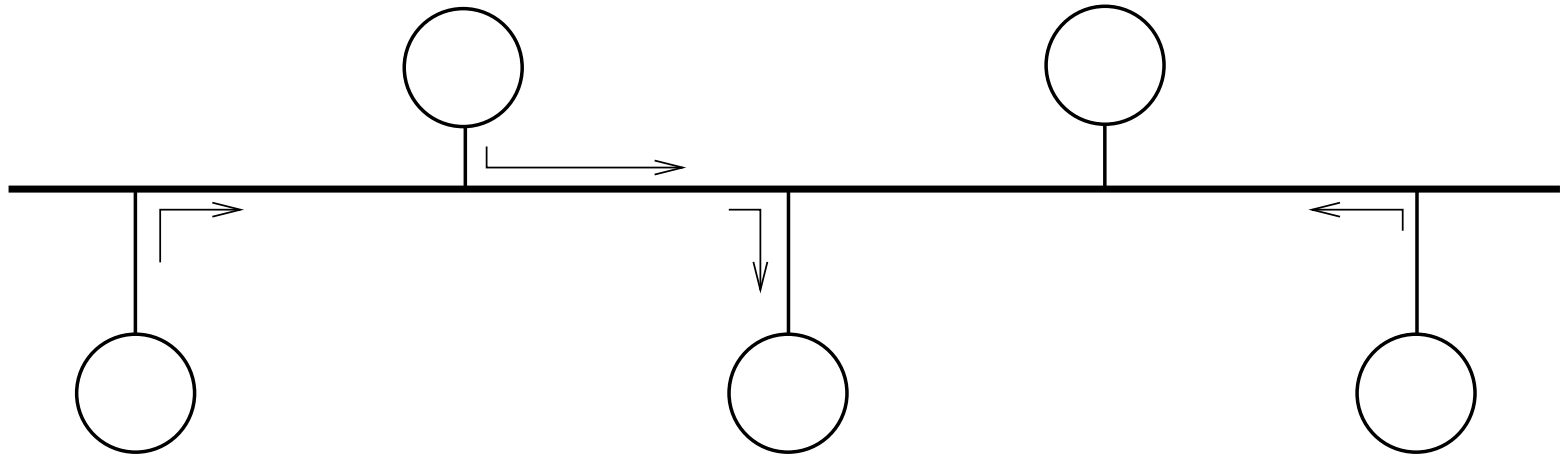
Ces éléments de base sont combinés pour former des réseaux complexes.

www.Mcours.com
Site N°1 des Cours et Exercices Email: contact@mcours.com

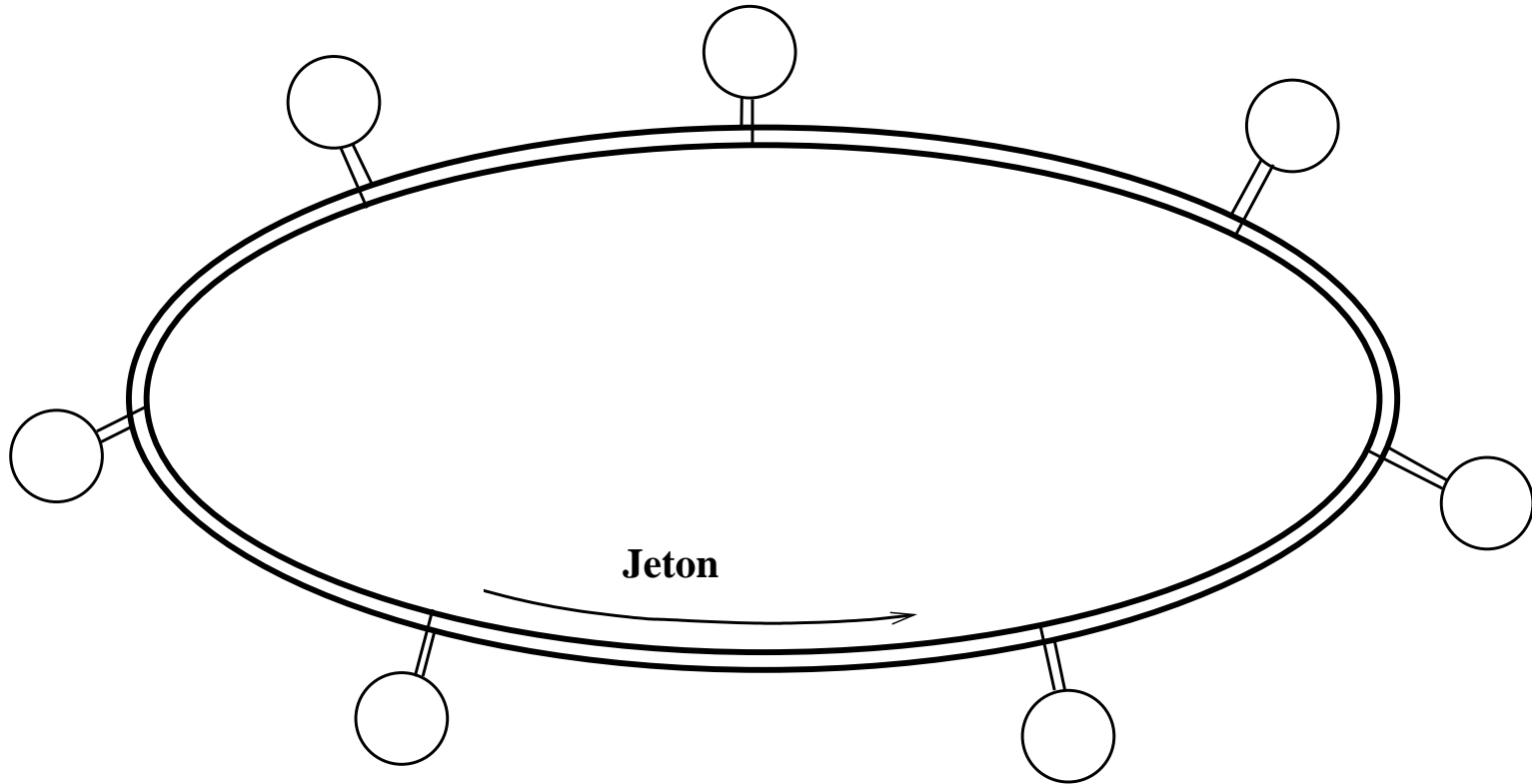
Réseau en étoile



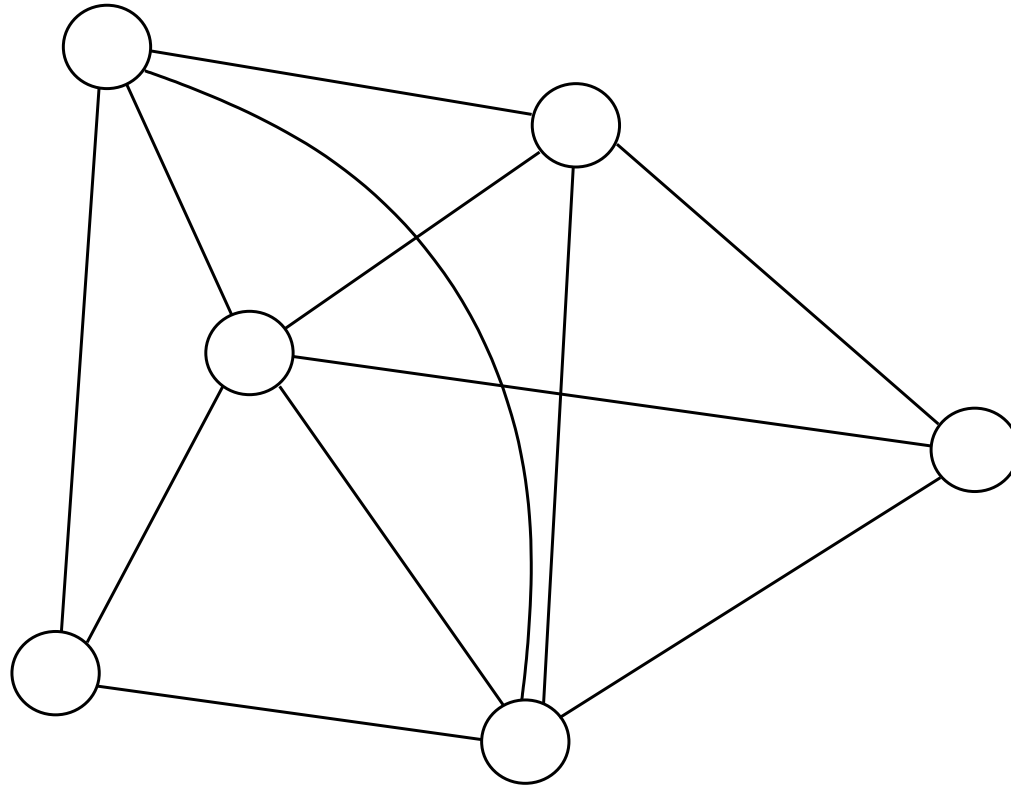
Réseau en bus



Réseau en anneau



Réseau maillé



Commutation

Manière de faire passer l'information de l'émetteur au récepteur

- Commutation de circuits
- Commutation de paquets
- Commutation de cellules



Commutation de circuit

Utilisée sur le réseau téléphonique, RNIS, GSM

- Création d'un circuit physique reliant les deux extrémités lors de l'établissement de la connexion
- Elle est adaptée au transport de la voix
- Contrainte de temps de transmission (téléphonie : isochronie et écho)
- Inconvénient : le circuit est occupé pendant la communication, qu'il soit utilisé ou non

Commutation de paquets

- L'information est découpée en paquets qui sont transportés de point en point à l'autre extrémité du réseau
- La commutation de paquets est utilisée sur les réseaux locaux, Internet, Frame Relay, GPRS
- Elle est adaptée au transport des données

Commutation de cellules

- Utilisée par ATM (Asynchronous Transfer Mode)
- Cellule de taille fixe : 53 octets (5 d'en-tête + 48 de données)
- Temps de commutation très faible par rapport au temps de propagation du signal
- Permet d'introduire des notions de qualité de service
- Utilisée principalement sur les liens d'interconnexion ou dans des applications multimédia

Mode avec/sans connexion

- Mode connecté : toute transmission doit être précédée d'une demande de connexion réussie
 - permet de contrôler proprement la transmission : authentification des intervenants, contrôle de flux
 - trois phases : établissement de la connexion, transfert des données, coupure de la connexion
 - Les ressources mobilisées ne sont pas forcément utilisées
- Mode non connecté : pas de négociation entre les intervenants (ni contrôle de flux ou d'erreur), bon pour des envois de messages courts ; similaire à l'envoi d'une lettre à la Poste

Mode d'envoi des informations

- *unicast* : point à point ; une source, une destination. C'est le cas général
- *multicast* : multidiffusion ; une source, des destinations multiples. Permet d'atteindre plusieurs correspondants à la fois, utilisé dans certaines applications (MBone, routage)
- *broadcast* : multidiffusion ; une source, toutes les cibles possibles (en général, toutes les machines d'un réseau local)

Le modèle OSI

Le modèle OSI

- Open Systems Interconnection
- C'est une classification des problèmes à résoudre dans un réseau
- 7 couches :



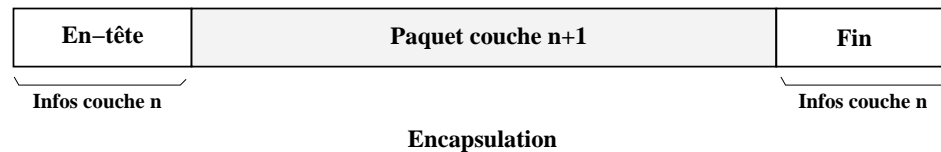
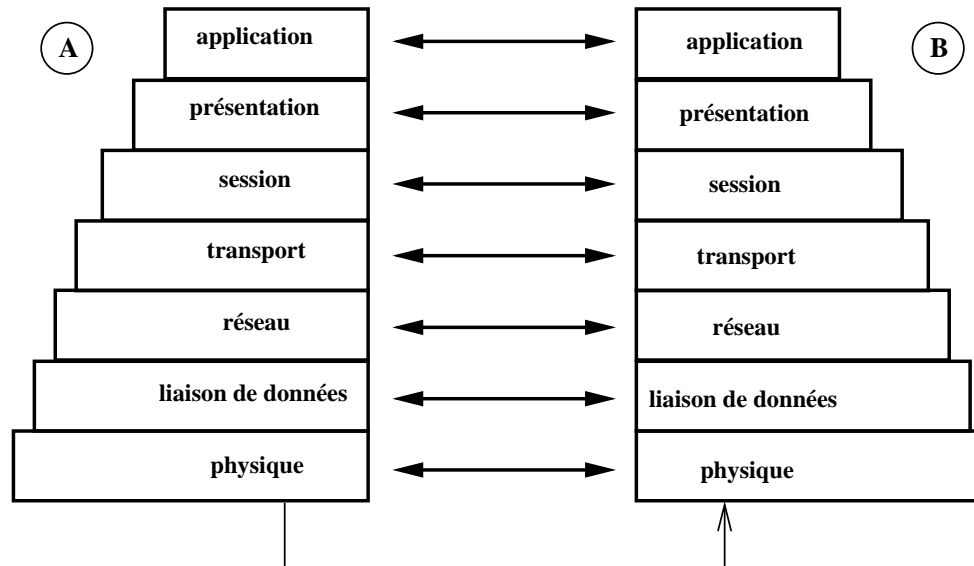
modèle OSI

Encapsulation entre couches

- Une couche offre un ensemble de services à la couche immédiatement au-dessus
- Chaque passage à la couche inférieure ajoute son en-tête
- Chaque passage à la couche supérieure enlève les informations propres à la couche du dessous

Protocole

- Communication entre couches de même niveau



Couche physique

- Couche basse (électronique ou optique)
- Circulation des bits d'information (0/1)
- Fibre optique : lumière
- Cuivre : paire torsadée, ondes électriques
- Ondes radio : WiFi, BLR, satellite
- Matériels passifs : répéteurs, ponts
- Matériels actifs : commutateurs

Couche liaison de données

- Transmission des données en « trames », en séquence
- Gestion des acquittements, détection des erreurs, régulation du trafic
- Exemples : Ethernet, réseaux sans fil 802.11

Ethernet

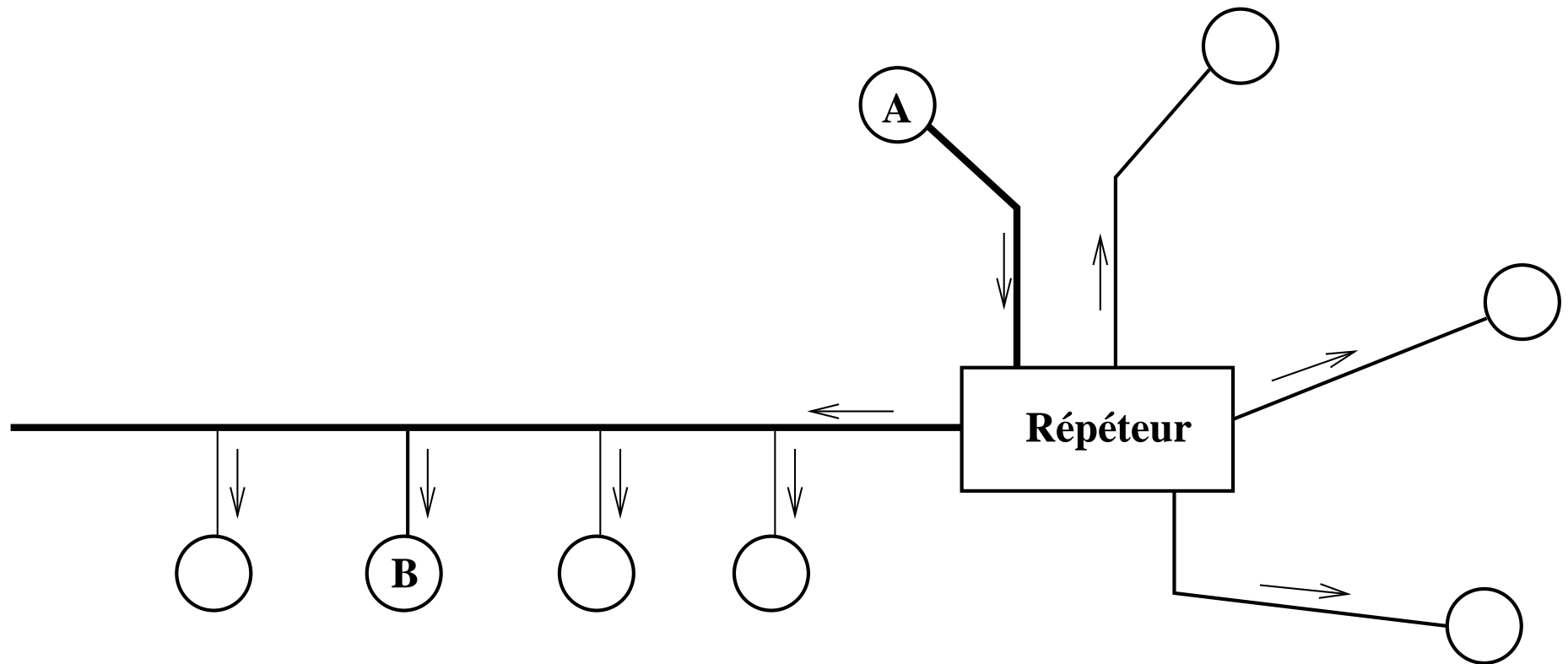
- Protocole créé par Xerox, normalisé par l'IEEE : 802.3
- CSMA/CD : Envoi du signal avec détection de collision (deux signaux sont envoyés en même temps)
- Différents types d'Ethernet : sur câble coaxial, sur paire torsadée, sur fibre optique
- Vitesses de transmission : 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10 Gb/s

Ethernet (2)

- MAC : Medium Access Control, un transmetteur, un récepteur, un circuit de détection de porteuse
- Adressage : 6 octets uniques au monde, exemple :
00 : 0a : 95 : cc : 80 : a2
- 3 premiers octets = constructeur
- ff : ff : ff : ff : ff : ff est l'adresse de *broadcast* (multi-diffusion)

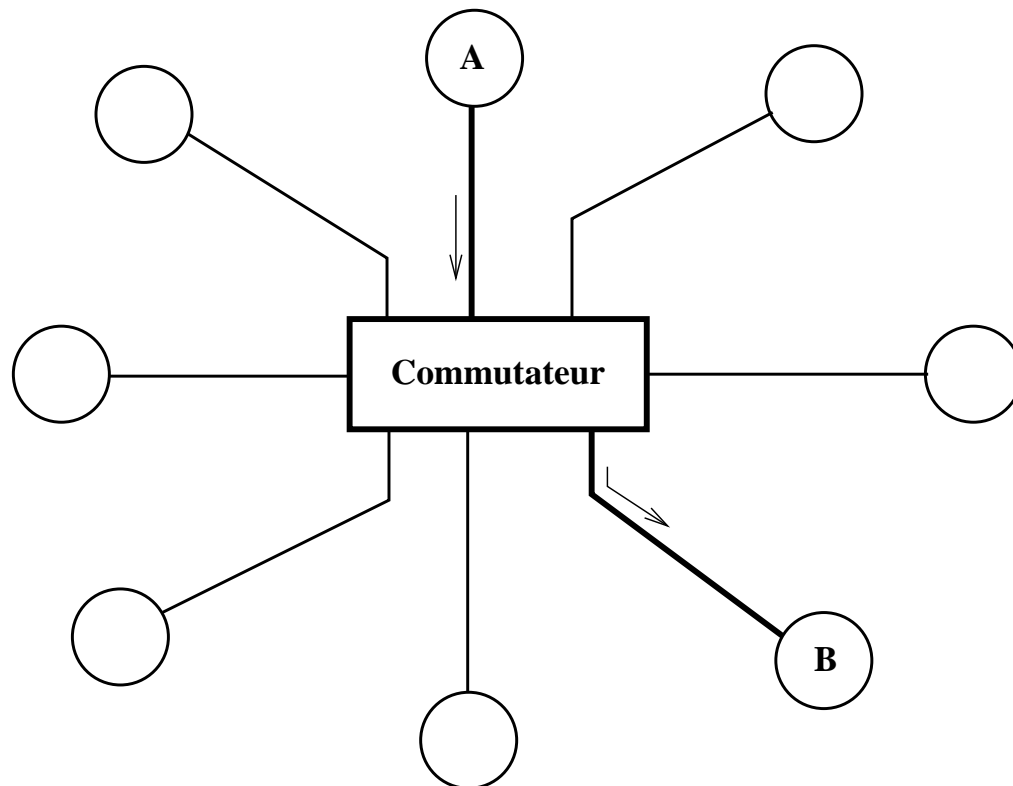
Ethernet (3)

- Réseau Ethernet : bus (câble coaxial) ou étoile (paire torsadée) ; domaine de collision



Ethernet (4)

- Pont : relie deux réseaux (domaines de collision) ensemble
- Commutateur : pont avec plus de deux ports ; cas le plus fréquent sur les réseaux actuels



Réseaux sans fil 802.11

- Réseau sans fil : ondes hertziennes, 2,4 GHz (802.11b, 802.11g) ou 5 GHz (801.11a) sur plusieurs canaux
- Normes les plus courantes : 802.11b (11 Mb/s), 801.11g (54 Mb/s)
- Cadre légal dans de nombreux pays, car utilisation de fréquences hertziennes : canaux à utiliser, fréquence à ne pas dépasser, etc.

Réseaux sans fil (2)

- Technique : une borne émetteur/récepteur (point d'accès) est reliée au réseau filaire ;
- Les ordinateurs disposent d'une carte réseau sans fil capable de se connecter au point d'accès ;
- Le point d'accès peut authentifier et/ou autoriser l'accès au réseau (couches supérieures).

Autres exemples

- Frame Relay
- HDLC ; sous-couche de connexions point-à-point telles que PPP
- X25
- FDDI : réseau local ou métropolitain en double anneau, à haut débit
- Token Ring : réseau local, anneau à jeton

Couche réseau

- Permet d'établir, maintenir et libérer des connexions
- Gère l'acheminement des paquets (adressage, routage de point en point)
- Interconnecte des réseaux hétérogènes
- IP, X25

Couche transport

- Transporte les données de manière transparente entre deux systèmes
- Fournit un service de bout en bout, avec le contrôle d'informations et la qualité de service
- TCP, UDP
- Le modèle OSI décrit 5 classes de transport : mise en place de connexions et transport, reprise sur erreur, multiplexage, contrôle de flux, détection d'erreurs

Couches session, présentation

- Session : organise et structure le dialogue entre applications : dans les deux sens en même temps ou chacun son tour, synchronisation
- Présentation : fournit à l'application une abstraction de la représentation des données. Cas le plus courant : ASN.1

Couche application

- Ce que voit l'utilisateur
- Liaison entre la pile réseau de la machine et les programmes
- Fournit des éléments et services de base aux applications : routines système, communication inter-processus, accès aux protocoles et aux services sur le réseau

TCP/IP

Généralités

- Développé sur les systèmes BSD (UCB), présent actuellement sur la majorité des systèmes, et dans de nombreux appareils
- Son succès : fonctionne sur des standards ouverts, n'est pas lié à un constructeur
- RFC : les normes d'Internet ; cf <http://www.ietf.org/rfc.html>
- Un groupe de normalisation : l'IETF, ouvert à tous ; un comité d'architecture : l'IAB ; une coordination mondiale : l'ISOC

Historique d'Internet

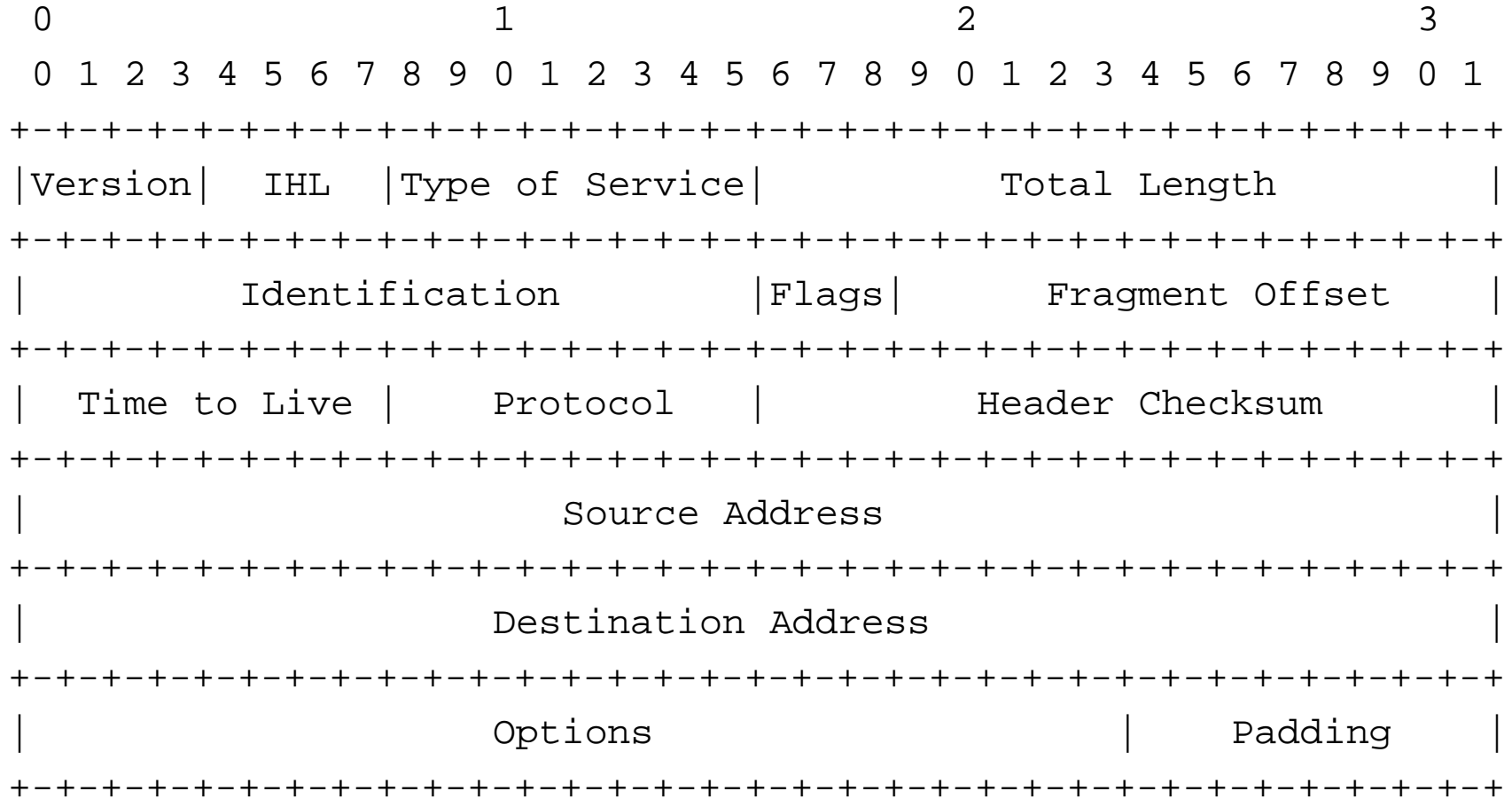
- En français : <http://perso.enst.fr/~beyssac/historique/historique.html>
- Hobbes' Internet Timeline : <http://www.zakon.org/robert/internet/timeline/>
- Premières expériences dans les années 1960, à la demande du DARPA (armée américaine)
- Naissance et maturation du protocole à la base d'Internet dans les années 1970 et 1980
- Décollage dans les années 1990 (croissance exponentielle des réseaux dans le monde et les entreprises)
- Éclatement de la bulle en 2000

Internet Protocol (IP)

- Décrit dans la RFC 791
- Adressage
- Envoi des paquets selon la politique du « best effort »
- Un paquet IP contient en en-tête quelques informations, dont les adresses source et destination
- ARP pour discussion avec la couche inférieure

```
16:28:55.445734 arp who-has 192.168.1.12 tell 192.168.1.2
16:28:55.445846 arp reply 192.168.1.12 is-at 0:a:95:cc:80:a2
```

En-tête de paquet IP



Adresses IP

- Sur 32 bits, généralement agrégés en 4 blocs d'un octet : 157.99.64.42
[10011101.01100011.01000000.00101010]
- Pas de lien géographique
- Masque : permet de déterminer le sous-réseau local : un masque de 255.255.255.0
[11111111.11111111.11111111.00000000]
donnera l'adresse de réseau 157.99.64.0
- Notation CIDR : on indique le masque sous forme du nombre de bits à un à gauche : 157.99.64.0/24

Attribution des adresses IP

- Par des organismes internationaux : ARIN, RIPE, APNIC, LACNIC
- Plus généralement par son fournisseur d'accès
- Classe A : réseau de 1.0.0.0 à 126.0.0.0 (sur 8 bits)
- Classe B : de 128.1.0.0 à 191.255.0.0 (sur 16 bits)
- Classe C : de 192.0.1.0 à 223.255.255.0 (sur 24 bits)
- Classe D : multicast, spéciale, de 224 à 231
- Actuellement, l'attribution des adresses se fait plus sporadiquement, sur un système sans classes (notation CIDR)

Adresses spéciales

- 0.0.0.0 : adresse source sur le réseau local
- Plage 127.0.0.0/8 : adresses internes (loopback)
- Adresses privées : 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16 (RFC 1918), non routées sur Internet
- Autres adresses plus obscures. Exemple : 169.254.0.0/16 (lien local). Voir la RFC 3330.

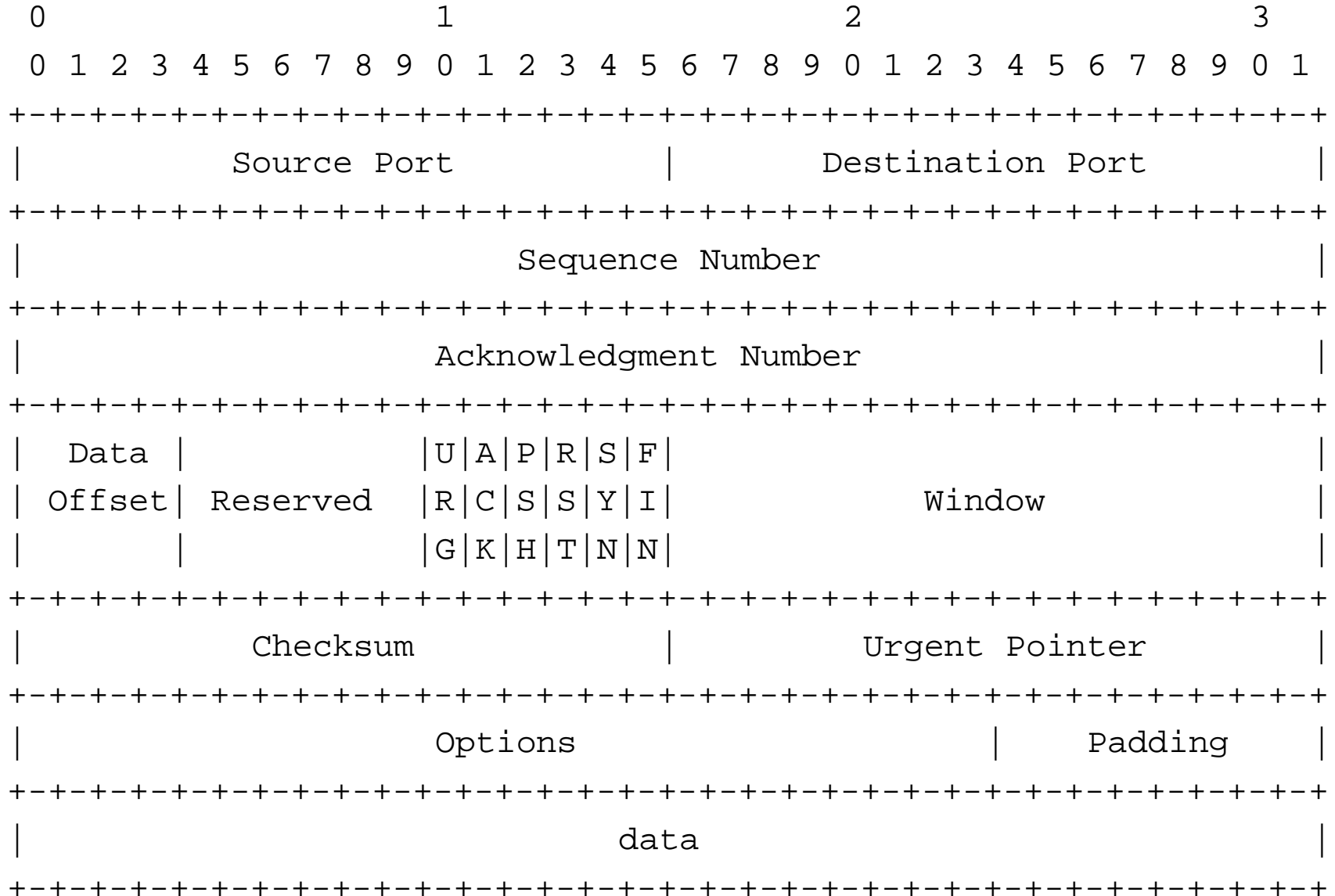
Routage IP

- Comment acheminer les informations d'un réseau à un autre
- Principe de base : si l'adresse de destination n'est pas dans le réseau local (déterminé avec le masque), on envoie les paquets à la passerelle (*gateway, routeur*) qui saura où envoyer le paquet.
- Routage sur un réseau local : des protocoles spécifiques implémentent des algorithmes (RIP, OSPF, IGRP)
- Routage sur Internet (BGP, EGP)

Transmission Control Protocol

- Décrit dans la RFC 793
- Fonctionne en mode connecté
- Établissement d'une connexion
- Transfert des données
- Fin de la connexion
- Un paquet TCP contient des numéros de port (entre 1 et 65535)
- Utilisation de drapeaux (SYN, ACK, FIN, RST, etc.)

En-tête de paquet TCP



Communication client-serveur

- Client = toute application, sur une machine donnée qui va initier une connexion et faire une requête
- Serveur = toute application, sur une machine donnée, qui va être à *l'écoute* des connexions entrantes, et répondra aux requêtes qui lui sont destinées
- Comme TCP démultiplxe les données venant d'applications différentes, la notion de *port* permet de distinguer la destination ultime sur une machine

Ports TCP

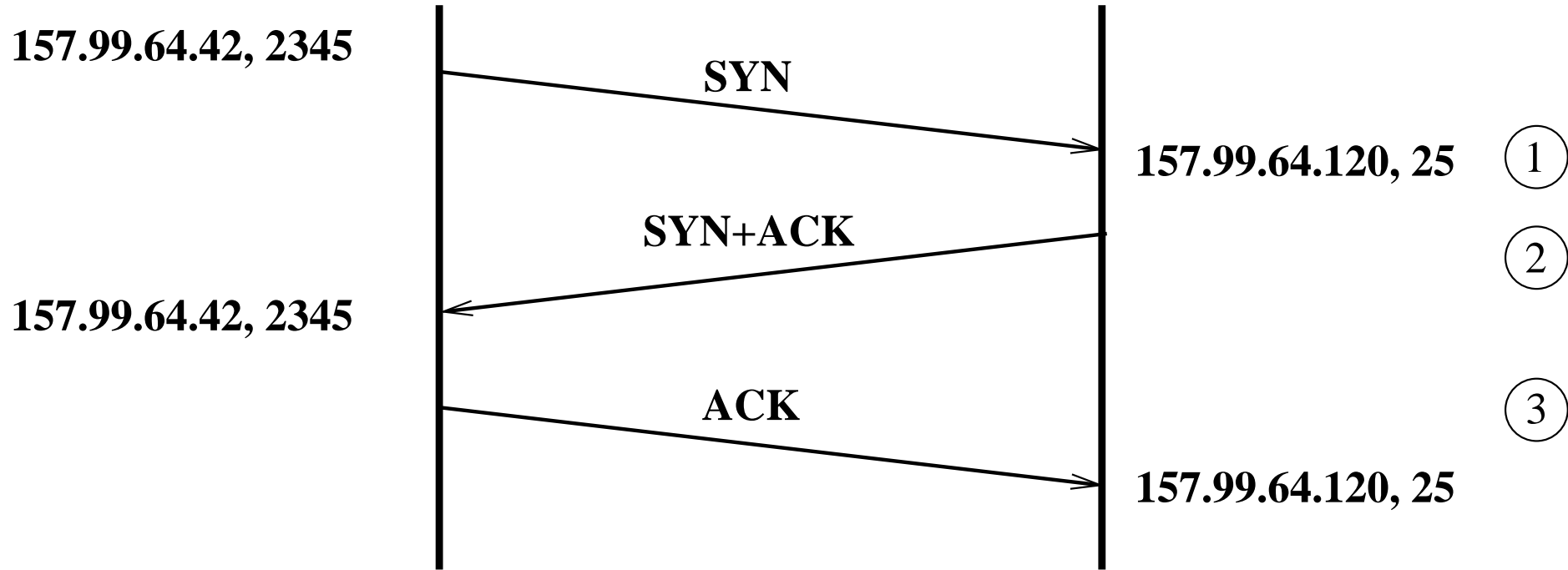
- La communication vers un service donné s'effectue sur un port. La combinaison { *adresse IP, numéro de port* } correspond à un processus sur le client ou le serveur.
- Les serveurs écoutent généralement sur un port connu. Exemple : 25 pour un serveur de courriel, 22 pour un serveur SSH, 21 pour un serveur FTP, 80 pour un serveur HTTP
- Le client choisit un port source arbitraire pour démarrer la connexion.
- Le quadruplet { *adresse source, port source, adresse destination, port destination* } détermine une connexion de manière unique

Connexions en cours et à l'écoute

Active Internet connections (including servers)

Proto	Recv-Q	Send-Q	Local Address	Foreign Address	(state)
tcp4	0	0	157.99.64.42.56147	*.*	LISTEN
tcp4	0	0	157.99.64.42.1426	157.99.64.120.25	TIME_WAIT
tcp4	0	0	157.99.64.42.56146	*.*	LISTEN
tcp4	0	0	157.99.64.42.56145	*.*	LISTEN
tcp4	0	0	157.99.64.42.4719	157.99.64.96.22	ESTABLISHE
tcp4	0	0	*.3128	*.*	LISTEN
tcp4	0	0	157.99.64.42.1681	210.171.225.106.21	ESTABLISHE
tcp4	0	0	157.99.64.42.3304	210.171.225.106.21	ESTABLISHE
tcp4	0	0	157.99.64.42.1148	157.99.64.120.22	ESTABLISHE
tcp4	0	0	*.143	*.*	LISTEN
tcp4	0	0	*.993	*.*	LISTEN
tcp46	0	0	*.80	*.*	LISTEN
tcp4	0	0	*.25	*.*	LISTEN
tcp4	0	0	*.22	*.*	LISTEN
tcp46	0	0	*.22	*.*	LISTEN

Exemple de connexion TCP



- ① Connexion vers 157.99.64.120 (SMTP), drapeau SYN
- ② Réponse vers 157.99.64.42 (port 2345), drapeaux SYN, ACK
- ③ Acquiescement (drapeau ACK)

Exemple d'échange TCP

Établissement de connexion :

```
15:05:59.377416 157.99.64.42.1270 > 157.99.64.120.25: S [tcp sum ok]
    3097754447:3097754447(0) win 57344
    <mss 1460,nop,wscale 0,nop,nop,timestamp 2137460 0> (DF)
    (ttl 64, id 22339, len 60)
15:05:59.378151 157.99.64.120.25 > 157.99.64.42.1270: S [tcp sum ok]
    1893767894:1893767894(0) ack 3097754448 win 61440
    <mss 1460,nop,wscale 0> (ttl 60, id 32959, len 48)
15:05:59.378185 157.99.64.42.1270 > 157.99.64.120.25: . [tcp sum ok]
    1:1(0) ack 1 win 58400 (DF) (ttl 64, id 22340, len 40)
```


User Datagram Protocol

- Envoi d'un datagramme ; utilisation de ports comme pour TCP
- Mode non connecté, type envoi d'une lettre
- Si le datagramme arrive, il est traité
- Sinon, il n'y a pas de retransmission
- Utile pour de petites quantités d'informations à la fois : DNS, syslog, multimédia (perte de quelques paquets peu importante)

ICMP, signalisation

- Appartient à IP (couche 3)
- Détection de destination injoignable
- Contrôle de flux
- Redirection de route
- État d'une machine distante (le fameux « ping ») :

```
mafate:~% ping cilaos.sis.pasteur.fr
PING cilaos.sis.pasteur.fr (157.99.60.173): 56 data bytes
64 bytes from 157.99.60.173: icmp_seq=0 ttl=63 time=14.515 ms
64 bytes from 157.99.60.173: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.543 ms
64 bytes from 157.99.60.173: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.474 ms
^C
--- cilaos.sis.pasteur.fr ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 0.474/5.177/14.515/6.603 ms
```

Exemples d'applications

- Applications clientes
 - Lecture/envoi de courrier : fetchmail, mutt
 - Navigation sur Internet : Mozilla, lynx
 - Outils FTP : ftp, lftp, ncftp, Ws_FTP, Fetch
- Applications serveurs
 - Serveurs web : Apache, Roxen, Caudium
 - Serveurs de courrier : Postfix, Sendmail, Exim
- Outils utiles pour le débogage réseau
 - netstat
 - lsof
 - tcpdump

DNS

- Important : base de données globale (sur Internet) et hiérarchique pour l'association nom de machine <-> adresse IP
- Au départ, juste un fichier (HOSTS) faisant la correspondance
- Le nombre de machines augmentant, il a fallu procéder autrement : chaque serveur gère une partie de la base de données du DNS, on dit qu'il « fait autorité » sur la zone qu'il sert.

DNS (2)

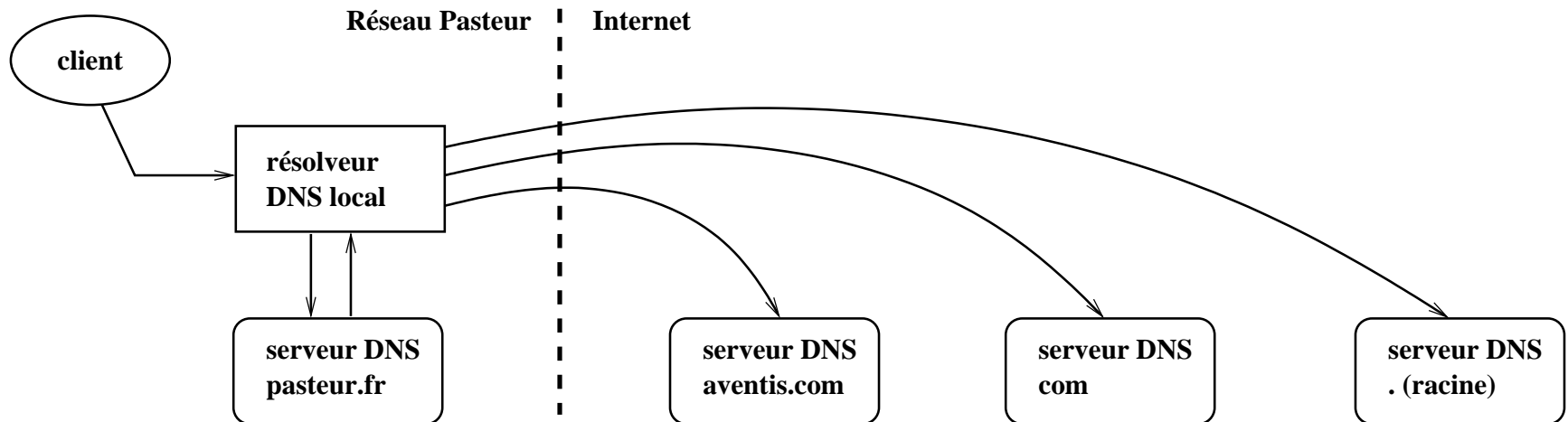
- Hiérarchies de premier niveau (TLD) : .com, .org, .net, .info, etc.
- Hiérarchies pour chaque pays (ccTLD) : .fr, .us, .uk, .be, etc.
- Enregistrement simple :

```
www.pasteur.fr IN A 157.99.64.12
```

- Il existe d'autres types d'enregistrements, pour spécifier les serveurs de noms, la zone, les serveurs de courriers, etc.

DNS (3)

- Requête : un client s'adresse au serveur de noms de son réseau local ; s'il sert la zone demandée, il répond à la requête, sinon transmet au serveur de noms de la zone concernée



SMTP

- Protocole simple et solide de transfert de courrier électronique (RFC 2821 et 2822)
- Principe : un client SMTP (votre outil de courrier, ou un serveur - Sendmail, Postfix, Exchange, etc.) se connecte au serveur de courrier du domaine du destinataire
 - destinataire = `olive@oban.frmug.org`
 - recherche DNS de l'enregistrement MX de `oban.frmug.org`
 - `oban.frmug.org IN MX 10 frmug.org.`
 - connexion au serveur SMTP `frmug.org`

SMTP : dialogue

```
mafate:~% nc mail.pasteur.fr 25
```

```
220 electre.pasteur.fr ESMTP Institut Pasteur; Wed, 18 Feb 2004 09:01:36
```

```
HELO mafate.sis.pasteur.fr
```

```
250 electre.pasteur.fr Hello mafate.sis.pasteur.fr [157.99.64.42], please
```

```
MAIL FROM:<olive@mafate.sis.pasteur.fr>
```

```
250 2.1.0 <olive@mafate.sis.pasteur.fr>... Sender ok
```

```
RCPT TO:<olive@pasteur.fr>
```

```
250 2.1.5 <olive@pasteur.fr>... Recipient ok
```

```
DATA
```

```
354 Enter mail, end with "." on a line by itself
```

```
From: Olivier Tharan <olive@mafate.sis.pasteur.fr>
```

```
To: Olivier Tharan <olive@pasteur.fr>
```

```
Subject: Test
```

```
Test
```

```
.
```

```
250 2.0.0 i1I81aQc060984 Message accepted for delivery
```

```
QUIT
```

```
221 2.0.0 electre.pasteur.fr closing connection
```


SMTP : courrier résultant

From olive@pasteur.fr Wed Feb 18 09:02:46 2004

Return-Path: olive@pasteur.fr

X-Original-To: olive@mafate.sis.pasteur.fr

Delivered-To: olive@mafate.sis.pasteur.fr

Received: from electre.pasteur.fr (electre.pasteur.fr [157.99.64.120])

by mafate.sis.pasteur.fr (Postfix) with ESMTTP id AFD703F63B

for <olive@mafate.sis.pasteur.fr>; Wed, 18 Feb 2004 09:02:46 +0100

Received: from mafate.sis.pasteur.fr (mafate.sis.pasteur.fr [157.99.64.42]

by electre.pasteur.fr (8.12.11/8.12.11) with SMTP id i1I81aQc0609

for <olive@pasteur.fr>; Wed, 18 Feb 2004 09:02:00 +0100 (CET)

Date: Wed, 18 Feb 2004 09:01:36 +0100 (CET)

Message-Id: <200402180802.i1I81aQc060984@electre.pasteur.fr>

From: Olivier Tharan <olive@pasteur.fr>

To: Olivier Tharan <olive@pasteur.fr>

Subject: Test

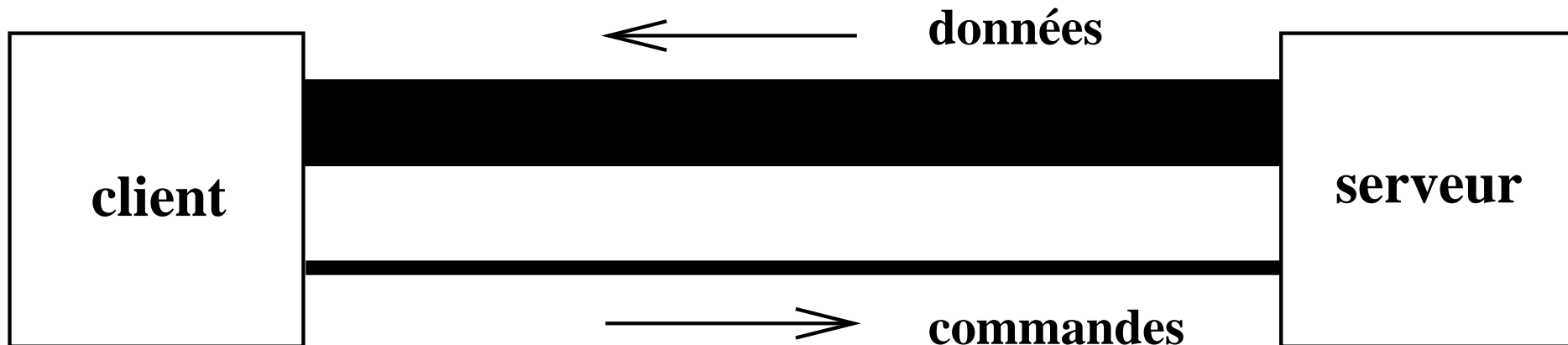
Test

Connexions distantes

- Connexions interactives : permet de se connecter sur une machine distante afin de travailler dessus
 - telnet, rlogin, SSH
- Connexions non-interactives : transferts de fichiers ou lancement de commandes non interactives
 - rsh, rcp, rsync

FTP

- Transfert de fichiers
- Un canal de commandes
- Un canal de transport



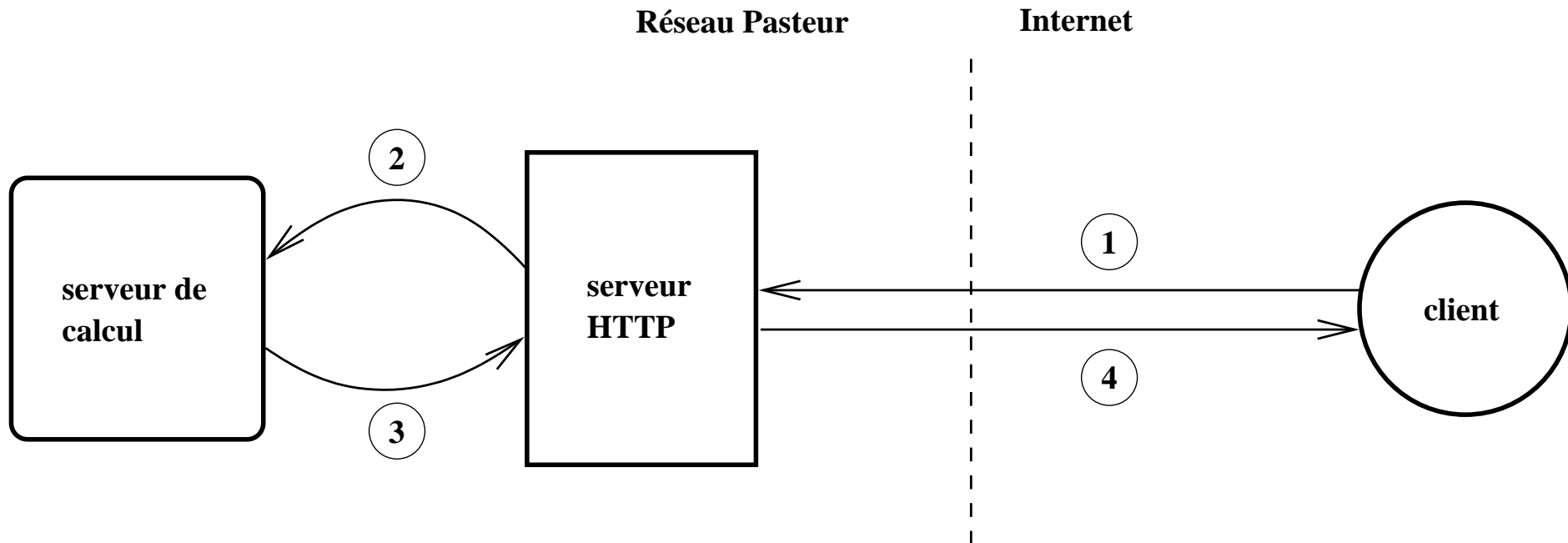
HTTP

- C'est aussi du transfert de fichiers (de documents)
- URL : Uniform Resource Locator, permet théoriquement de localiser un document sur Internet, sorte d'adresse unique : `http://www.pasteur.fr/recherche/unites/sis/formation/cours.html`
- Connexion ; donne-moi cette page ; déconnexion
- Vu en détail dans un cours à venir

Architecture « 3-tier »

- Architecture avec un client, un serveur qui répond au client, et un serveur en arrière-plan qui traite les requêtes, dispose des données, etc.
- Système classique : un client, un serveur web, un serveur de bases de données en arrière-plan (non accessible directement)
- Système Pasteur/Pise : un client, un serveur web, des serveurs de calcul sur des données biologiques

Architecture « 3 tier » (2)



Exemples d'architecture réseau

Exemples d'architecture

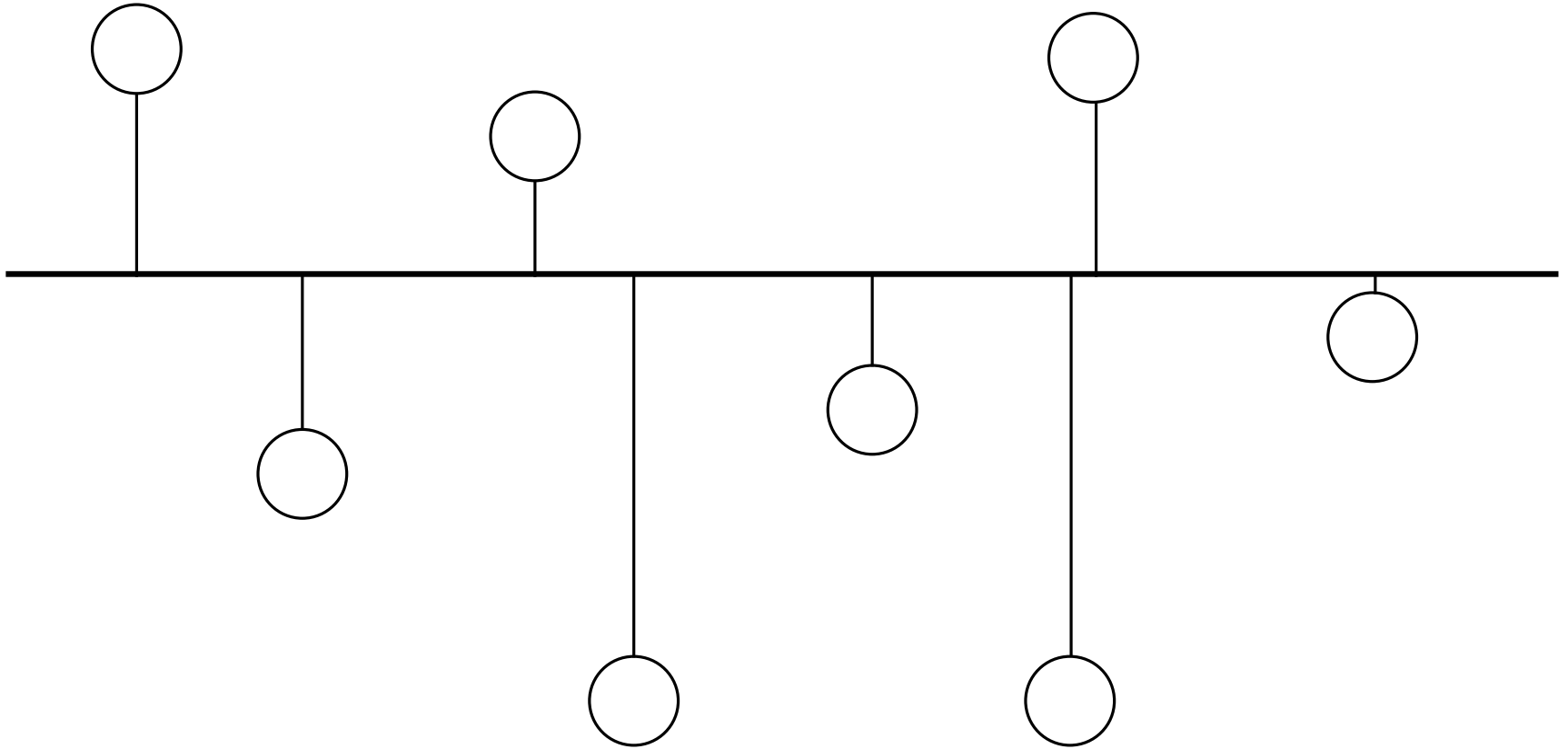
- Réseaux locaux (LAN)
- Réseaux métropolitains (MAN)
- Réseaux globaux (WAN)

Réseaux locaux : LAN

- Réseau local (Local Area Network)
 - en entreprise ;
 - dans une université, une école ;
 - chez soi ;
- Diamètre inférieur à 2 km
- Architecture plus ou moins complexe selon l'agencement des locaux et selon les besoins

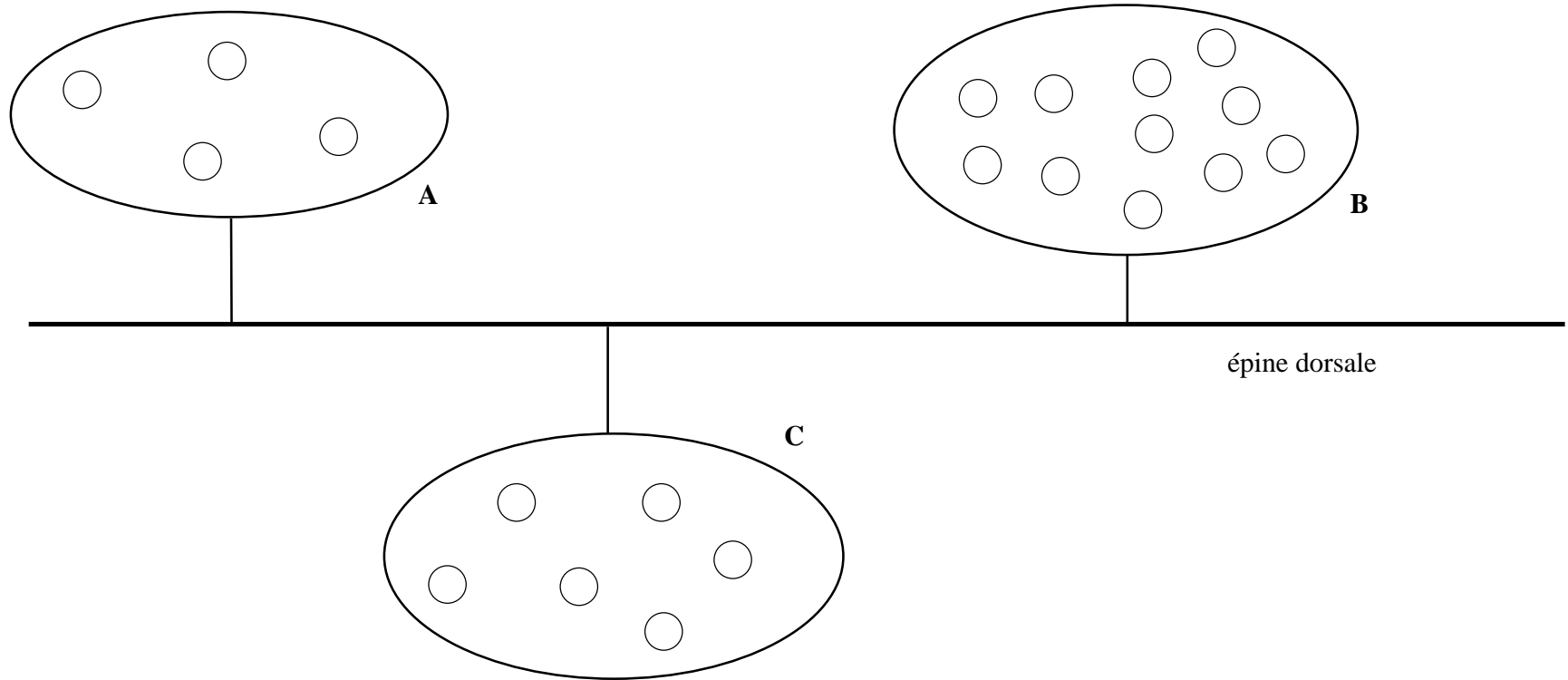
Architecture simple

- Tout le monde sur le même brin



Architecture plus complexe

- Plusieurs bâtiments, une épine dorsale



Architecture à l'Institut Pasteur

- Le câblage de chaque bâtiment arrive dans un local technique
- Chaque local est relié à l'un des deux centres nerveux (un de chaque côté de la rue)
- Les deux centres nerveux sont reliés par une épine dorsale
- Les serveurs recevant le plus de trafic sont au plus proche des commutateurs centraux
- Voir le plan du réseau dans le couloir !

Architectures sécurisées

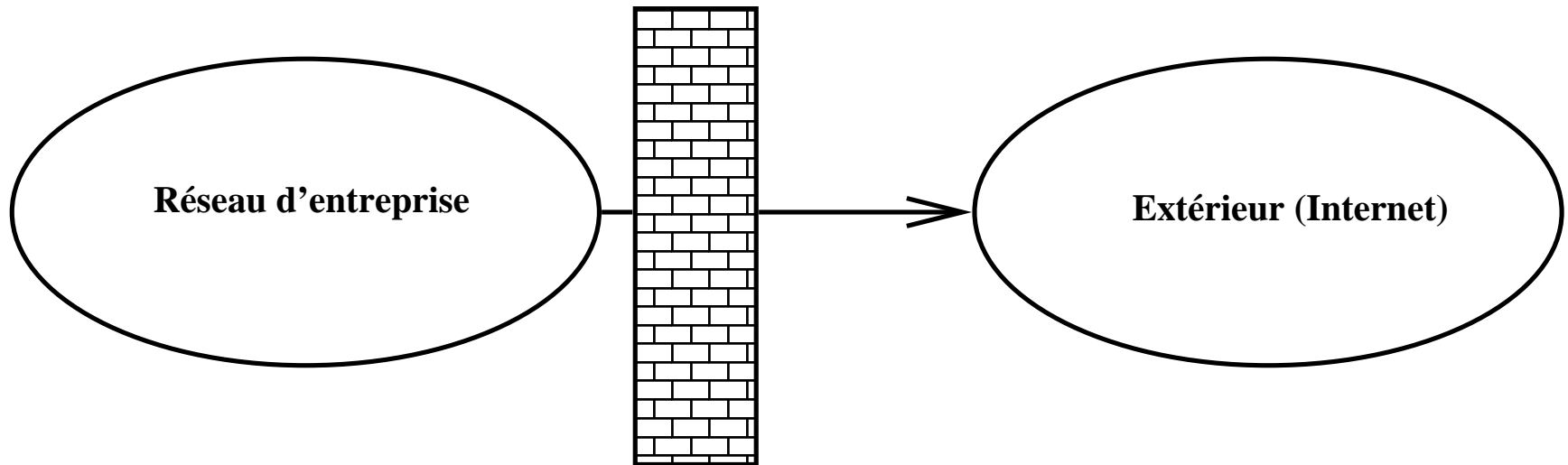
On peut séparer le réseau global en plusieurs espaces : un réseau interne, sûr et inaccessible ; un réseau accessible de l'extérieur ; le réseau extérieur, non sûr.

Les variations sont possibles selon les besoins, l'un des buts étant de cloisonner les flux pour limiter les accès non désirés.

- Protection simple : réseau en coupure
- Protection avec zone démilitarisée

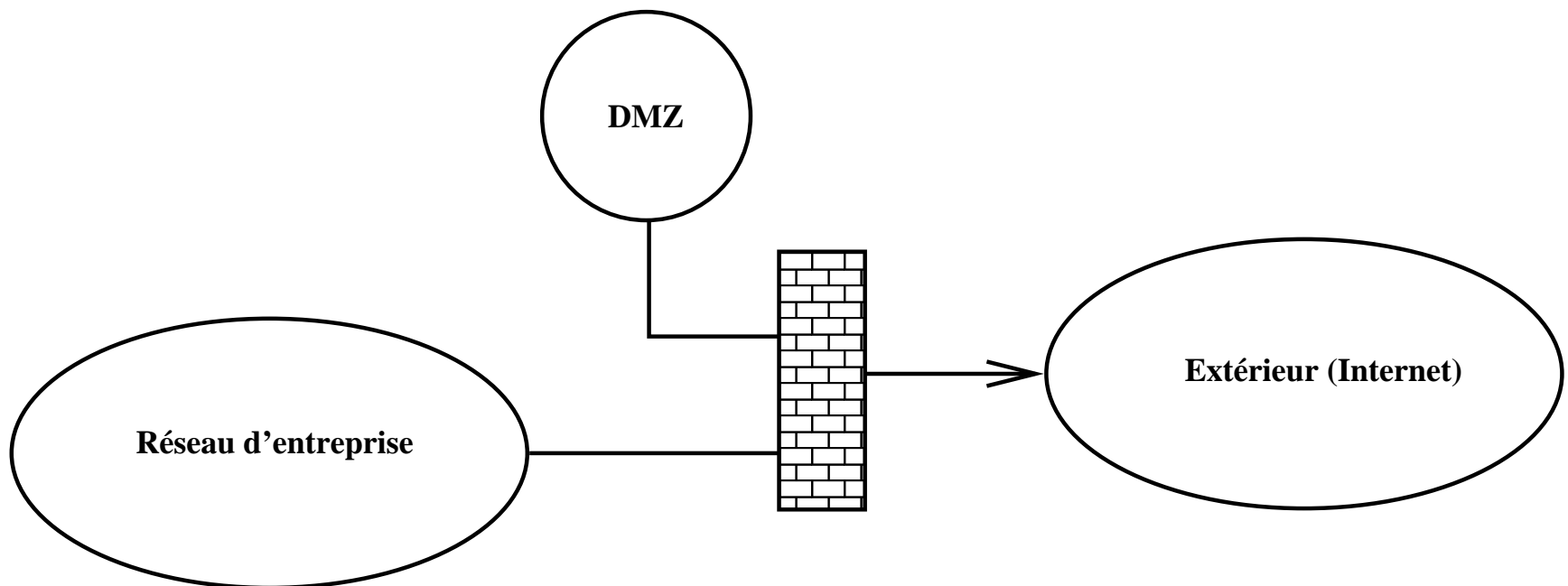
Réseau en coupure

- La littérature parle de pare-feu (*firewall*)



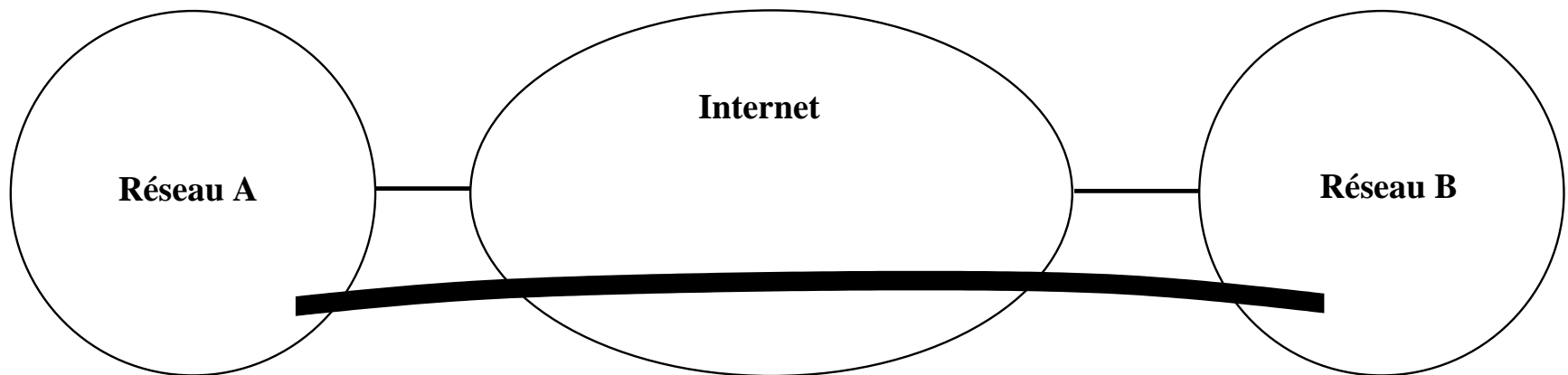
Réseau avec zone démilitarisée

- Zone démilitarisée : DMZ
- Séparation du réseau interne, à protéger, des services non sensibles, publics, accessibles de l'extérieur et susceptibles d'être attaqués



VPN

- Réseau Privé Virtuel
- Construction d'un « tunnel » entre deux points distants d'un réseau
- Utilisation des infrastructures existantes (réseau local, Internet)
- À l'intérieur du tunnel, les deux extrémités apparaissent comme l'une à côté de l'autre



Réseaux métropolitains : MAN

- Metropolitan Area Network
- Relie des réseaux importants entre eux, à l'échelle d'une grande ville, d'une métropole
- Exemples académiques : RAP, Reve, Osiris
- Diamètre inférieur à 10 km

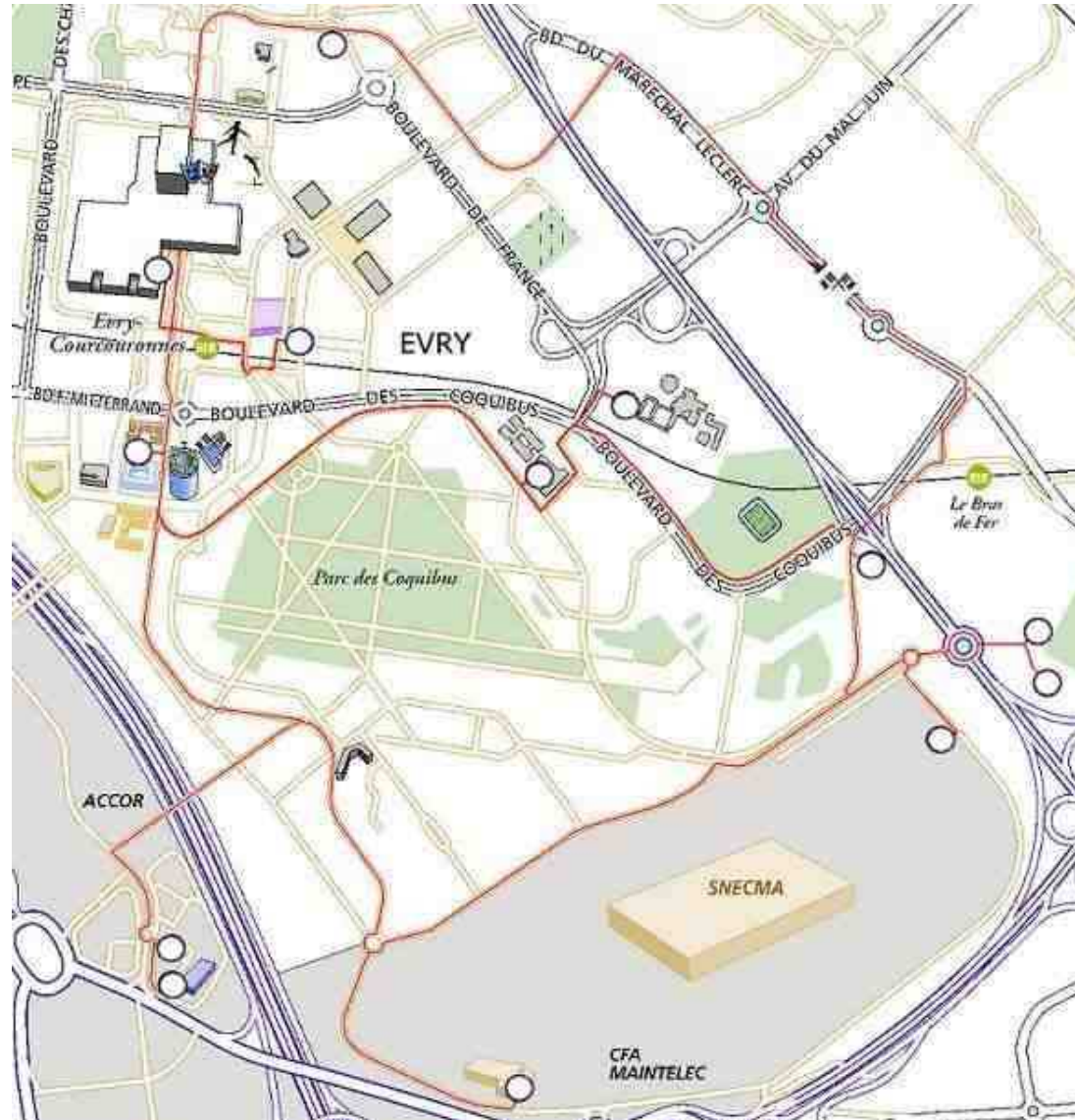
RAP : Réseau Académique Parisien

- Relie les centres de recherche, laboratoires et universités de Paris
- Utilise des câbles qui courent dans les tunnels du métro (312 km de fibres optiques) et les égouts (33 km)
- 5 points d'interconnexion reliés par une boucle DWDM
- <http://www.rap.prd.fr/>

REVE : réseau d'Évry Val d'Essonne

- Évry (Essonne), relie les centres de recherche de biotechnologies, la Genopole, les grandes écoles, l'université
- 18 km de fibres optiques
- <http://www.reve.fr/>

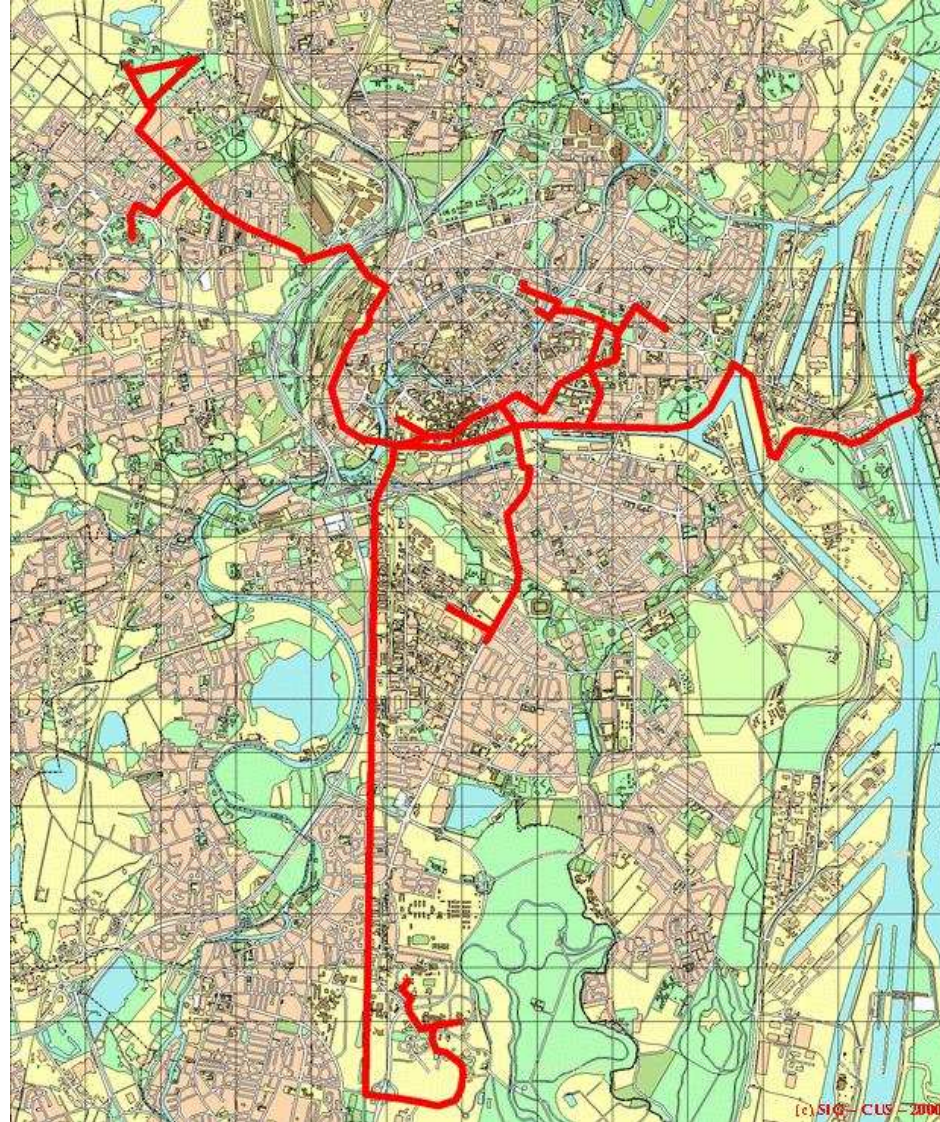
Le réseau REVE



Strasbourg : Osiris

- Relie les établissements de recherche, les universités
- <http://www-crc.u-strasbg.fr/osiris/>
- 20 sites, 120 bâtiments, 13000 machines, plusieurs dizaines de kilomètres de fibre optique

Le réseau Osiris



Réseaux globaux : WAN

- Wide Area Network
- Relie des réseaux sur une échelle importante (pays, continent)

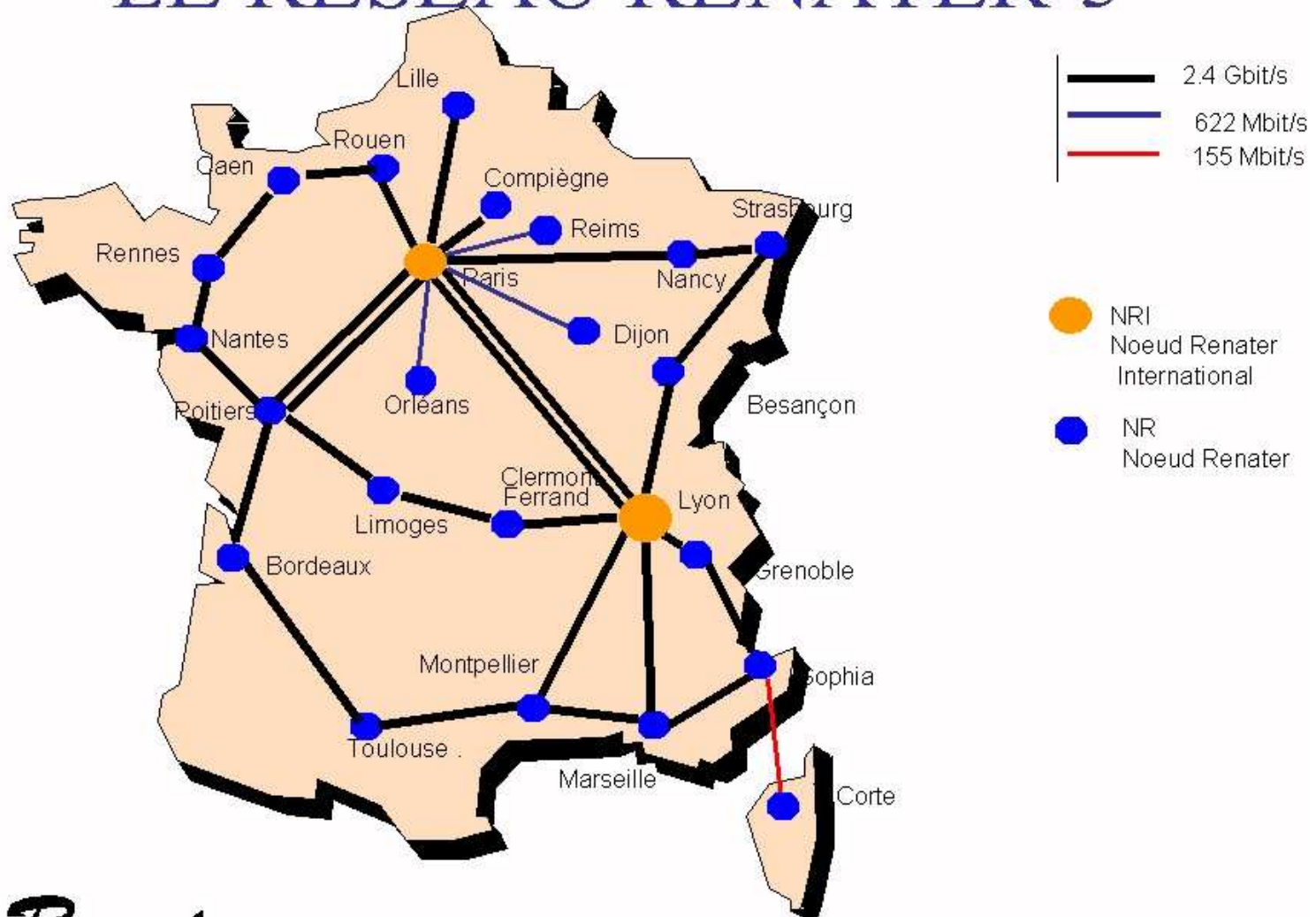
Renater

- Réseau National de la Recherche
- Relie des « plaques » régionales entre elles
- Fournit l'adressage IP
- Gère les liens avec les autres fournisseurs de transit
- CERT Renater : organisme chargé de la sécurité : diffuse les avis de sécurité, avertit les sites potentiellement piratés, fait de la surveillance active



Carte Renater 3

LE RESEAU RENATER-3



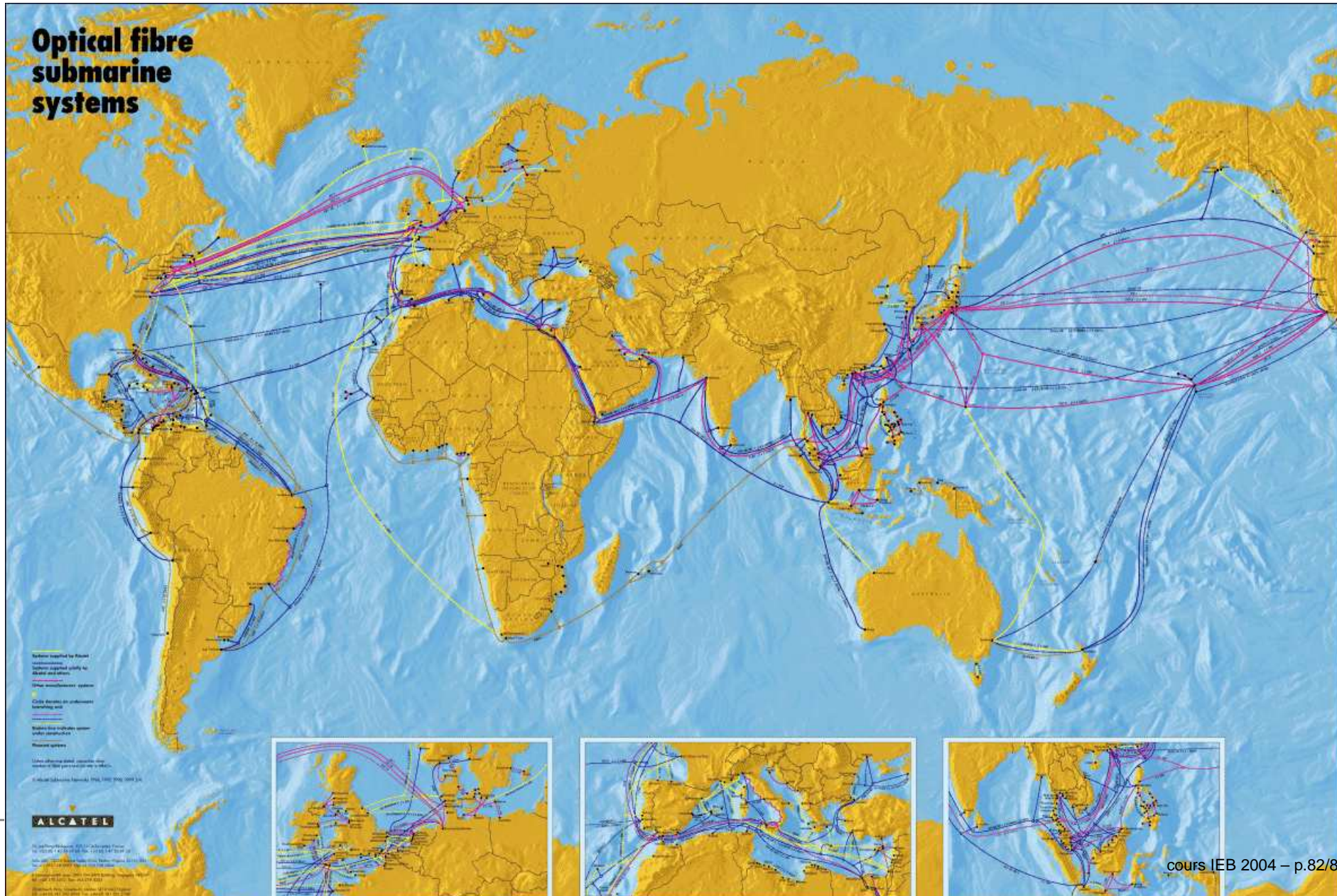
Renater

Paris, 27 juin 2002

RENATER-3

10/12

Internet est un WAN !



Internet2

- Projet (très avancé) de réseau académique et de recherche avec des débits très importants
- Principalement d'origine américaine

Bibliographie

Bibliographie

- « Réseaux », Andrew Tanenbaum, Pearson
- « Les réseaux », Guy Pujolle, Eyrolles
- « TCP/IP Illustrated », W. Richard Stevens (3 volumes), Addison Wesley
- « TCP/IP Administration de réseau », Craig Hunt, O'Reilly (traduit en français)
- « Unix Network Programming », W. Richard Stevens, Bill Fenner, Andrew M. Rudoff, Addison Wesley

Bibliographie en ligne

- Cours réseaux du CNRS :
<http://www.urec.cnrs.fr/cours/>
- Cours réseaux et Linux :
<http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/>
- Cours de Daniel Azuelos :
<http://www.pasteur.fr/recherche/unites/sis/formation/Reseaux-12-2003.pdf>
- Ce cours : <http://www.pasteur.fr/formation/infobio/arch/archi-reseaux.pdf>

www.Mcours.com
Site N°1 des Cours et Exercices Email: contact@mcours.com