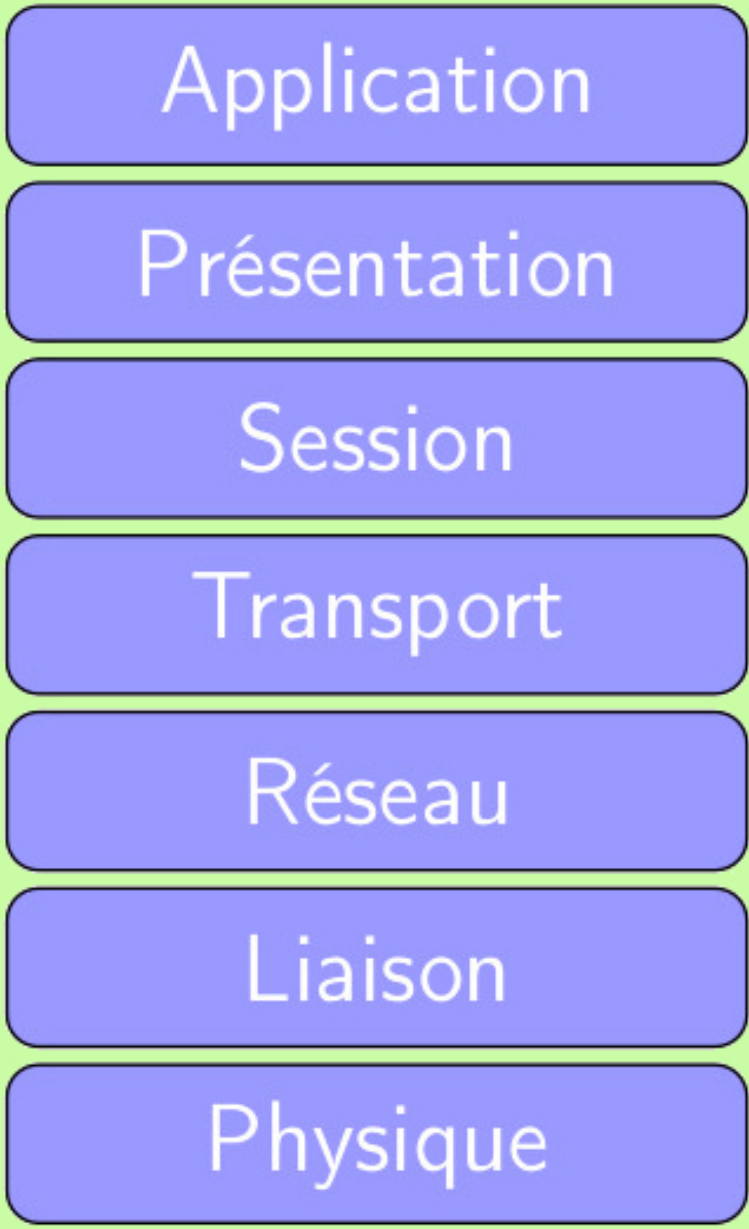
# Introduction

*Martin Delacourt, Université d'Orléans*

L3 Réseaux 1 — 2024/2025



# Organisation

| | | |
|---|---|---|
| **Cours** | 8h | M. Delacourt |
| **TD INGÉ** | 6h | M. Liedloff, M. Delacourt |
| **TD MIAGE** | 6h | A. Beauchamp, S. Rivault |
| **TP INGÉ** | 11h | A. Beauchamp, M. Delacourt, M. Liedloff, S. Rivault |
| **TP MIAGE** | 11h | A. Beauchamp, S. Rivault, S. Robert |

**Mél.** prenom.nom@univ-orleans.fr

**Début des cours :** 11 septembre

**Supports de cours :**

http://celene.univ-orleans.fr/course/view.php?id=1980

# Prendre des notes pendant les cours

# Évaluation

$$\textbf{Note} = \frac{3}{4}\,\textbf{CT} + \frac{1}{4}\,\textbf{CC}$$

**CT** examen terminal de 2h sur **Cours** + **TD** + **TP**.

**CC** contrôle continu.
interrogations au fil de l'eau, vous serez prévenus.

**Seconde session** sous la forme d'un **CT** de 2h unique.

# Contenu

**L3 Réseaux 1 :** Principes fondamentaux et algorithmes des réseaux (Ethernet, IPv4)

**L3 Réseaux 2 :** Principes fondamentaux et algorithmes des réseaux, la suite !

**Master :** Cryptographie, sécurité, web, ...

# Plan du cours

1. Introduction
2. Couches basses (Ethernet et Wifi)
3. Couche réseau (IP, routage)

**S2 :** Couche transport et couche application

# Bibliographie


• O. Bonaventure. *Computer Networking : Principles, Protocols and Practice*.
http://cnp3book.info.ucl.ac.be/1st/html/

• A. Tanenbaum. *Réseaux*. Dunod.

• D. Comer. *Internetworking with TCP/IP*. Pearson.

• J. Kurose et K. Ross. *Computer Networking : a top-down approach*. Pearson.

# Pour vivre dans les TPs de ce cours (Kathará)

En TP, nous utiliserons un logiciel de virtualisation de réseaux présent dans les salles machines du IIIA : Kathará. La version utilisée dans ce module n'est pas la version distribuée par les auteurs, mais une version adaptée, on trouve sur la page celene du cours :

- Une VM Xubuntu 22.04 avec kathará.
- Des instructions pour installation sur Ubuntu.

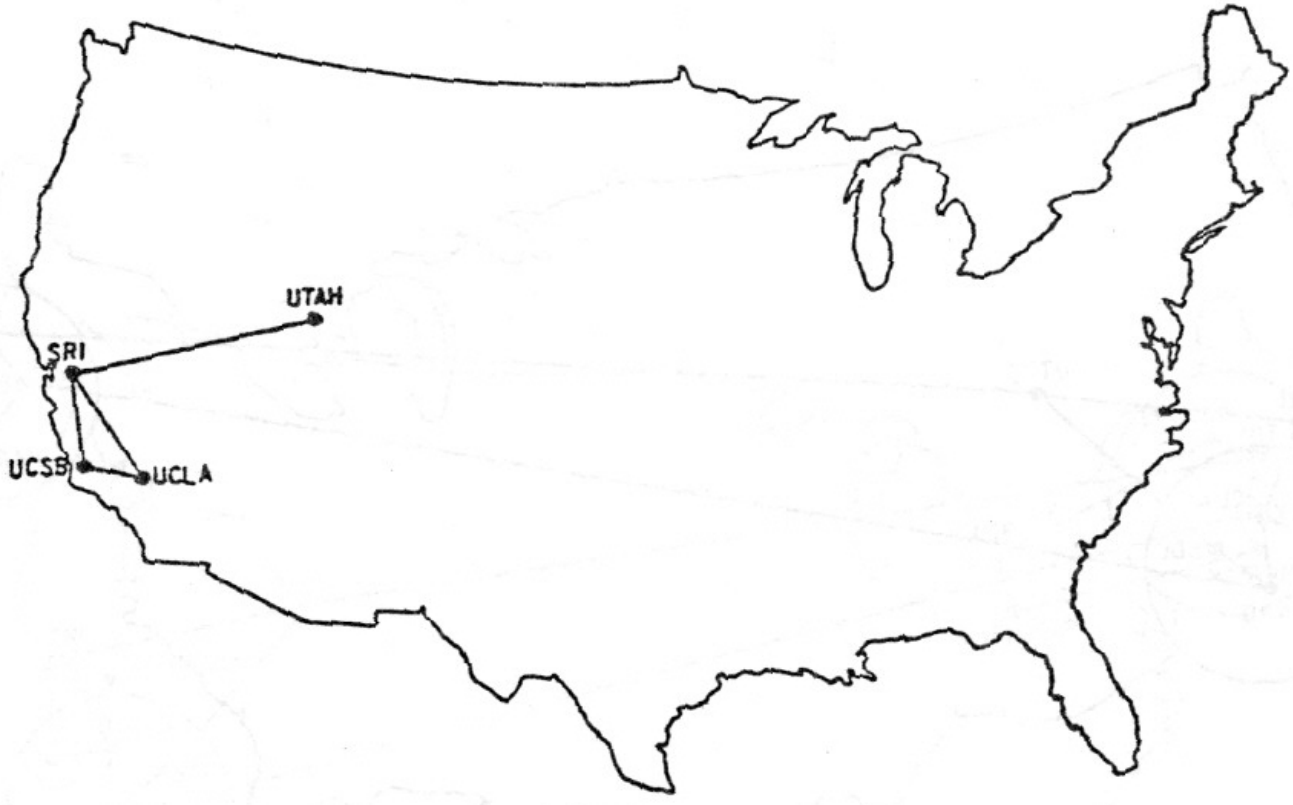
# Pour vivre dans les TPs de ce cours (Python)

Prérequis pour les TPs :

- Des notions rudimentaires d'utilisation d'un terminal bash.
- Une maîtrise minimale de Python3.

Si l'un ou l'autre vous fait défaut, mettez-vous à jour d'ici au début des TPs.

# Internet ?




The ARPANET in December 1969

# Poncifs

De nombreux types de réseaux existent. Dans ce cours : internet !

De plus en plus de moyens de se connecter :

- ordinateur,
- smartphone,
- et de nombreux objets connectés (imprimantes, casseroles,...)

# Pour l'utilisateur

- L'accès se fait par un FAI ou un CRI :
  - À domicile
  - Au travail ou à l'université
  - Dans la rue
- L'utilisation est découplée des considérations pratiques :
  - Web
  - Mail

# En regardant sous le capot

- Toutes ces machines connectées sont reliées par un réseau (graphe) de liens
  - 1-1 : câble, fibre optique
  - 1-N : Wifi
- Quelle topologie ?
- Quelle organisation ?

# La topologie

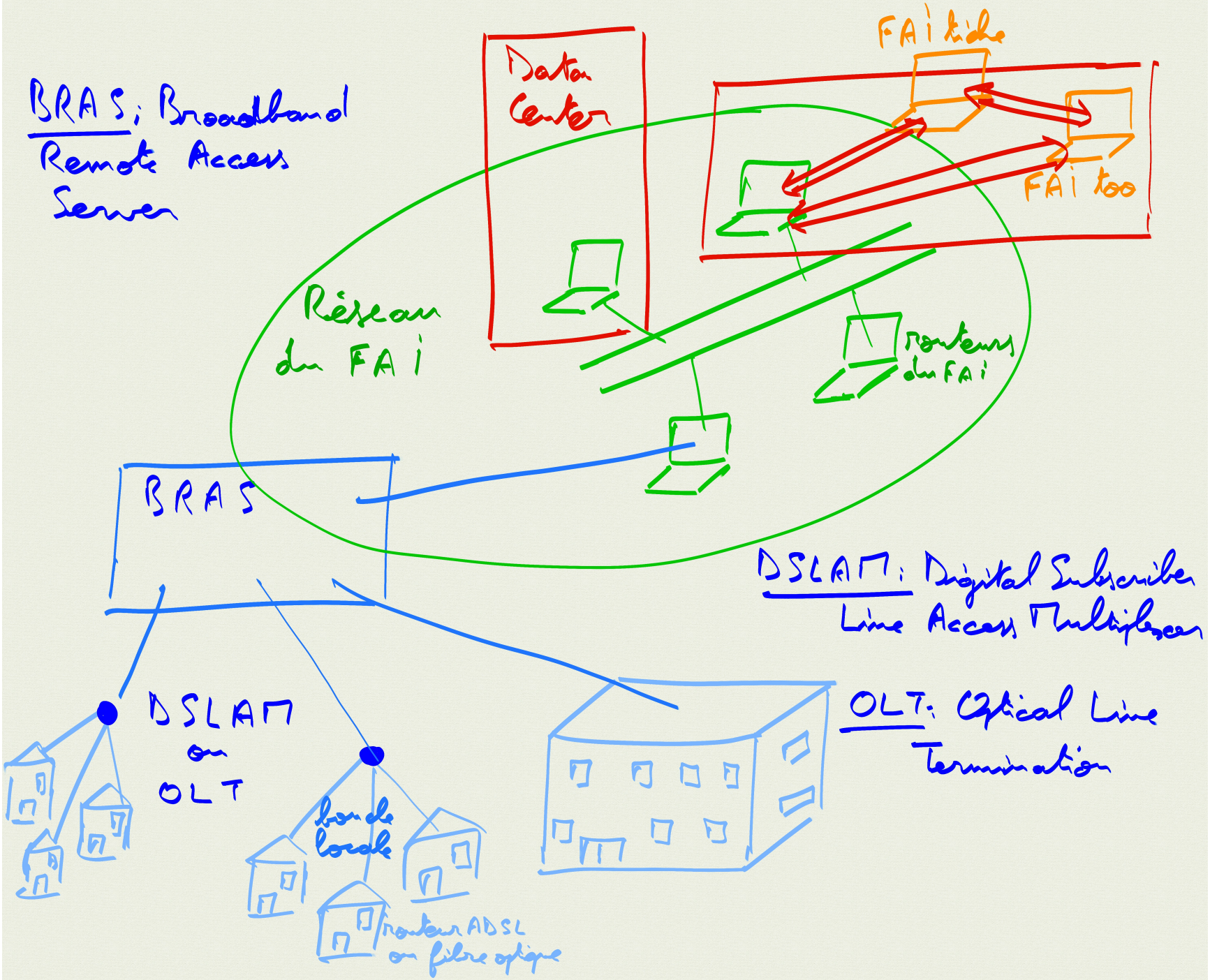
Différents modèles d'organisation ...

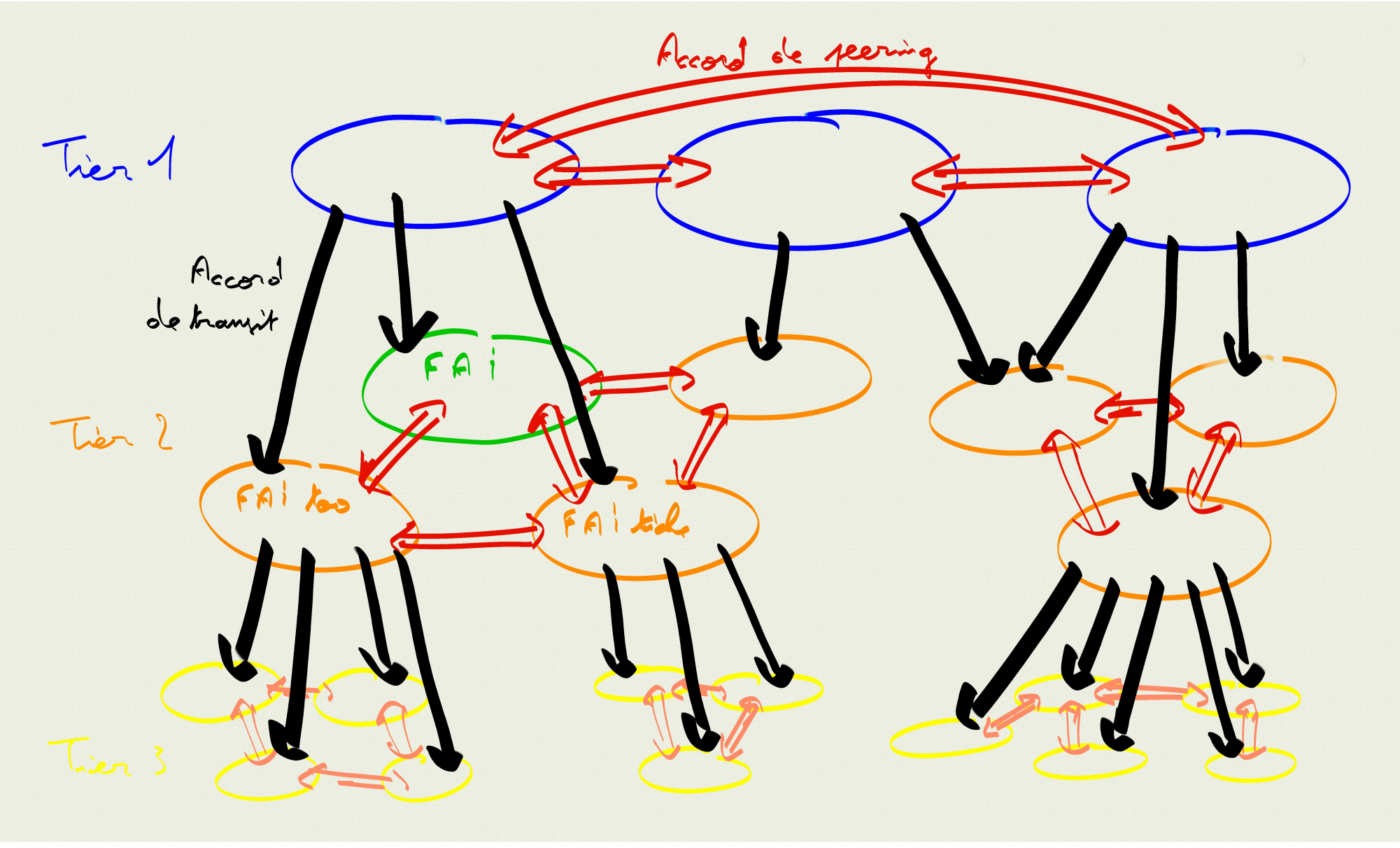
- En étoile
- En bus
- En anneau
- En clique
- En arbre

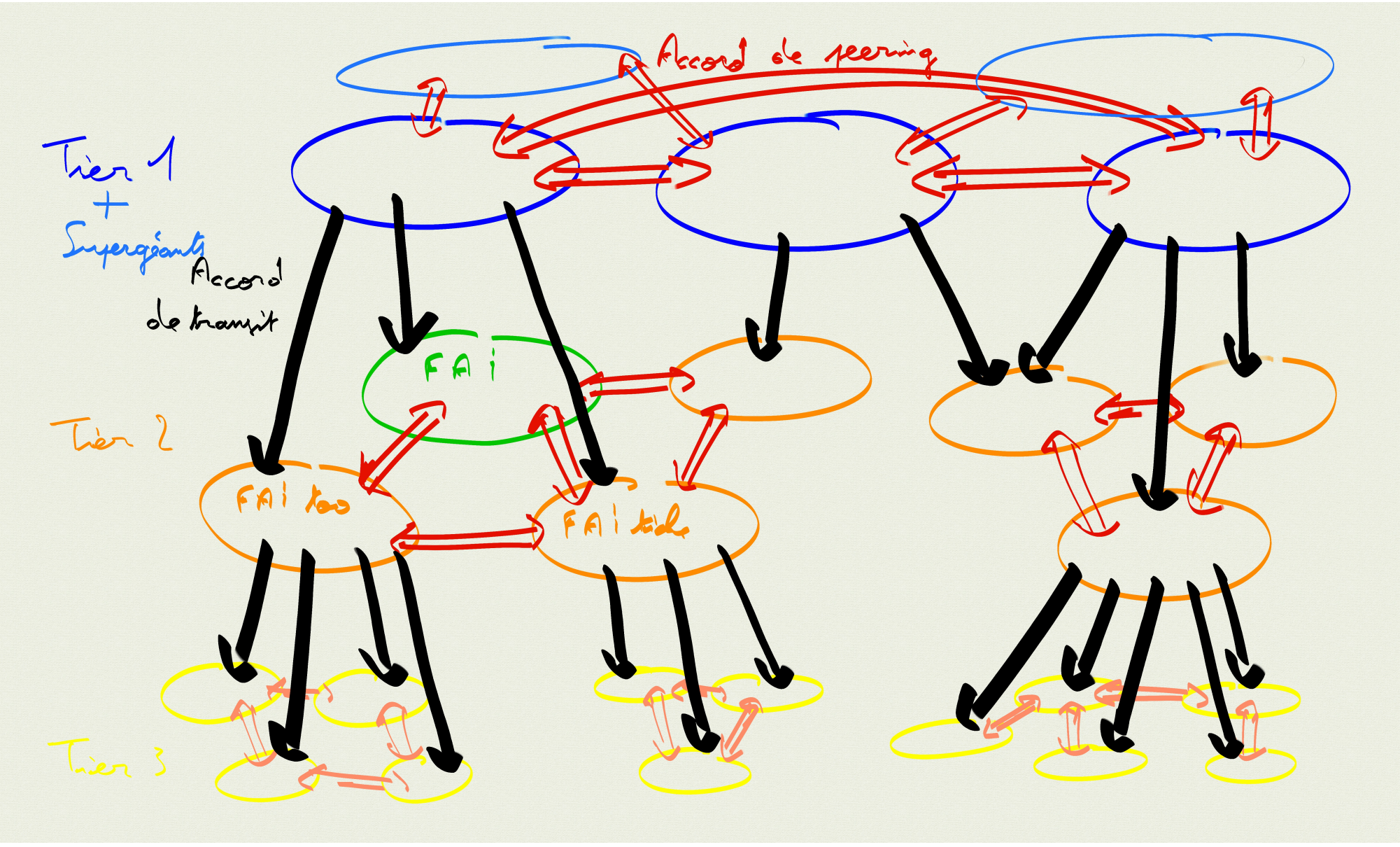
# Les distances

. . .et différentes tailles de réseaux :

- Bus dans un ordinateur ($<$ 1m)
- LAN ($<$ 1km)
- MAN à l'échelle d'une ville ($<$ 100km)
- WAN au delà.


BRAS : Broadband Remote Access Server
Data Center
FAI tiers
FAI too
Réseau du FAI
routeurs du FAI
BRAS
DSLAM : Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSLAM ou OLT
OLT : Optical Line Termination
boucle locale
routeur ADSL ou fibre optique


Accord de peering
Tier 1
Accord de transit
FAI
Tier 2
FAI two
FAI tiche
Tier 3

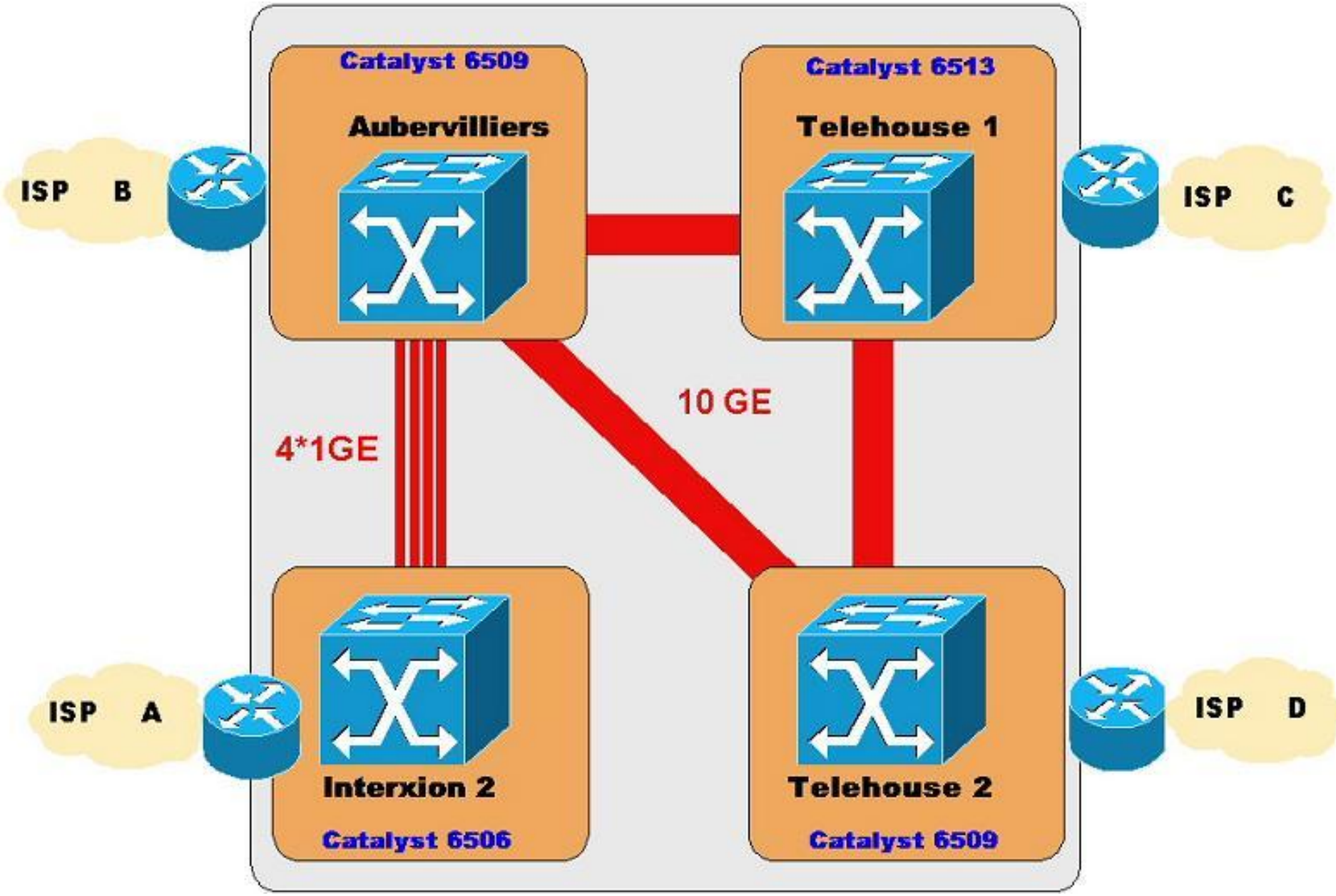

Accord de peering
Tier 1
+
Supergiants
Accord
de transit
FAI
Tier 2
FAI too
FAI tick
Tier 3

# Routage entre AS (Chap. 3)

- Accord de peering : échange courtois entre deux opérateurs de même taille des données en provenance de chacun des AS
- Accord de transit : routage (payant) de tout le trafic d'un AS vers et depuis le reste de l'internet (upstream) à travers un AS de transit.
- AS Tier-1 : groupe d'AS de "1er ordre", peering pur

Le routage se fait dans les points d'échange internet (IX).

- Points d'échange publics, lieux de peering massif
- En pratique réparti géographiquement entre plusieurs data-centers reliés par une boucle très haut débit
- Ex : FreeIX, ParIX, AMS-IX, etc




Architecture de ParIX
Document (c) ParIX utilisé à titre d'illustration

# Un mot sur les supports physiques

- Les grosses infrastructures sont gérées par des opérateurs de télécommunications.
- Mise en commun de moyens pour la mise en place de liens transcontinentaux (câbles transatlantiques, satellites, etc).
- Réseaux dédiés ou location de fibres optiques (par exemple à Réseau Ferré de France ou aux autoroutes) et câblage entre POPs.

# La géographie : adresses IP

- Pour organiser internet, on attribue une adresse à chaque connexion.
- Adresse IP : `x.y.z.t`

| | |
|---|---|
| Connexion | `ip addr add 10.0.0.17/24 dev eth0` |
| Routage | `ip route add default via 10.0.0.1` |

# Couvrez cette adresse IP. . . : DNS

- La connexion à un nom de domaine se transforme en lien vers une adresse IP

  `www.univ-orleans.fr` $\longleftrightarrow$ `194.167.30.240`

- Des serveurs DNS font la traduction

```
dig -t A univ-orleans.fr
...
univ-orleans.fr. 86400 IN A 194.167.30.240
...
```

# Questions de ce cours

- Tout au fond, que se passe-t-il ? Signal électrique, onde électromagnétique, ethernet, wifi. Partie 1

- Les adresses IP, comment ça marche ? Quelle géographie ? Quelle organisation ? IPv4, IPv6, routage. Parties 2 et 3

- Comment mettre une connexion longue distance au service d'une application ? TCP, UDP. Réseaux 2

- Quelles interactions de l'utilisateur avec internet ? DNS, web, mail. Réseaux 2

# Comment construire internet ?

- Nécessité de faire des choix : organes de décision, de réalisation.
- Une construction unique : très lourde à faire évoluer, impossible à réinitialiser ?
- Des dépendances fortes à son histoire et à sa géographie.

# Une brève histoire d'internet

The ARPANET in December 1969

# Les débuts

**1957** Sputnik !

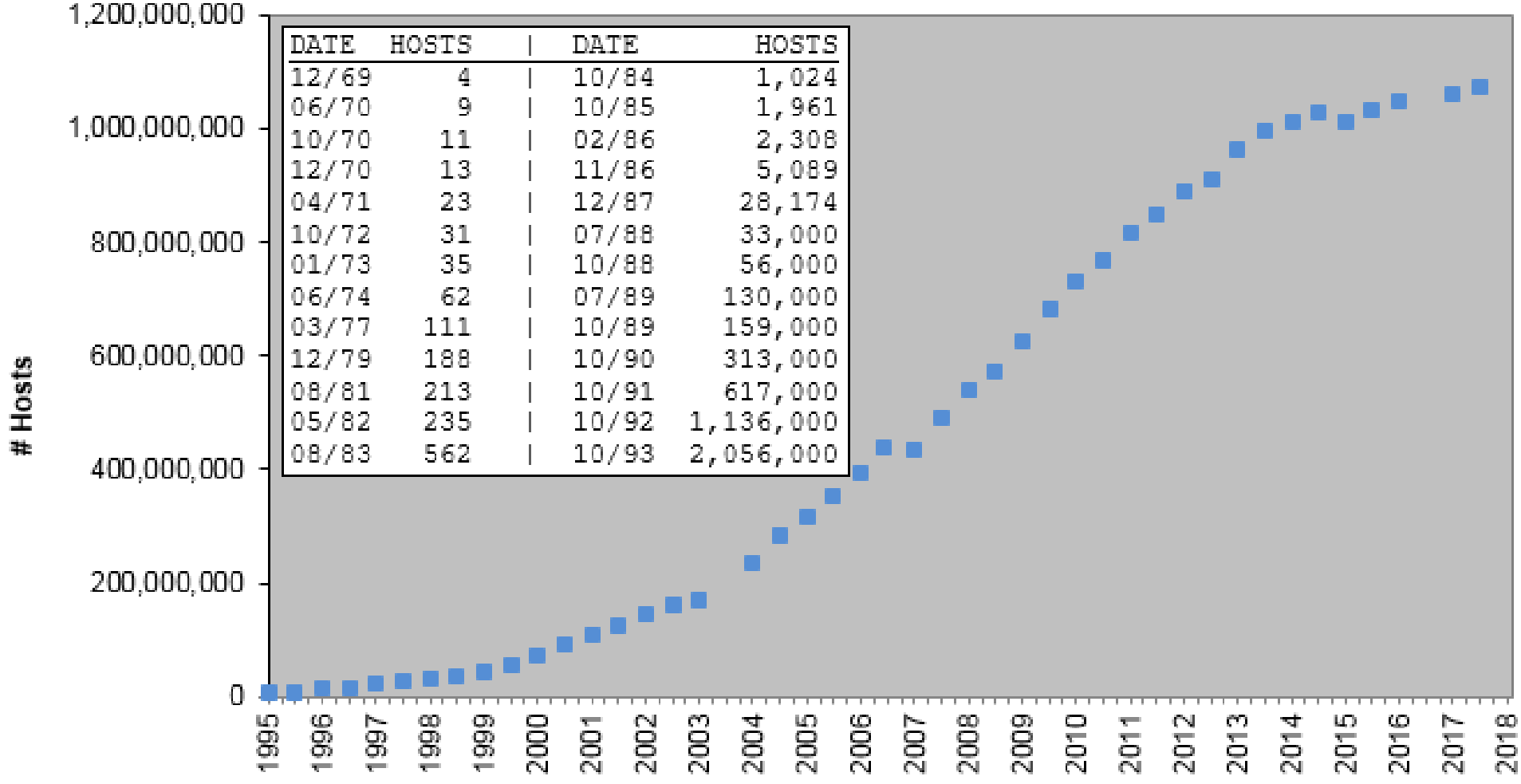
**1958** Réponse USA : ARPA (ou DARPA)

**1968** Projet ARPANET, réseau à transfert de paquets
2 puis 4 universités : Stanford, LA puis Utah, Santa Barbara

**1970** Network Control Program : liaisons poste à poste

**1980** Démilitarisation (ARPAnet $\rightarrow$ NSFNet)

Hobbes' Internet Timeline Copyright ©2018 Robert H Zakon
https://www.zakon.org/robert/internet/timeline/




| DATE | HOSTS | DATE | HOSTS |
|---|---|---|---|
| 12/69 | 4 | 10/84 | 1,024 |
| 06/70 | 9 | 10/85 | 1,961 |
| 10/70 | 11 | 02/86 | 2,308 |
| 12/70 | 13 | 11/86 | 5,089 |
| 04/71 | 23 | 12/87 | 28,174 |
| 10/72 | 31 | 07/88 | 33,000 |
| 01/73 | 35 | 10/88 | 56,000 |
| 06/74 | 62 | 07/89 | 130,000 |
| 03/77 | 111 | 10/89 | 159,000 |
| 12/79 | 188 | 10/90 | 313,000 |
| 08/81 | 213 | 10/91 | 617,000 |
| 05/82 | 235 | 10/92 | 1,136,000 |
| 08/83 | 562 | 10/93 | 2,056,000 |

# La construction

**1972** FTP RFC 354

**1977** Mail RFC 733

**1977** MTP RFC 772

**1979** Usenet (via UUCP)

**1983** TCP/IP fin de la transition

**1984** DNS RFC 819, 881, 882, 883

**1986** NNTP RFC 977

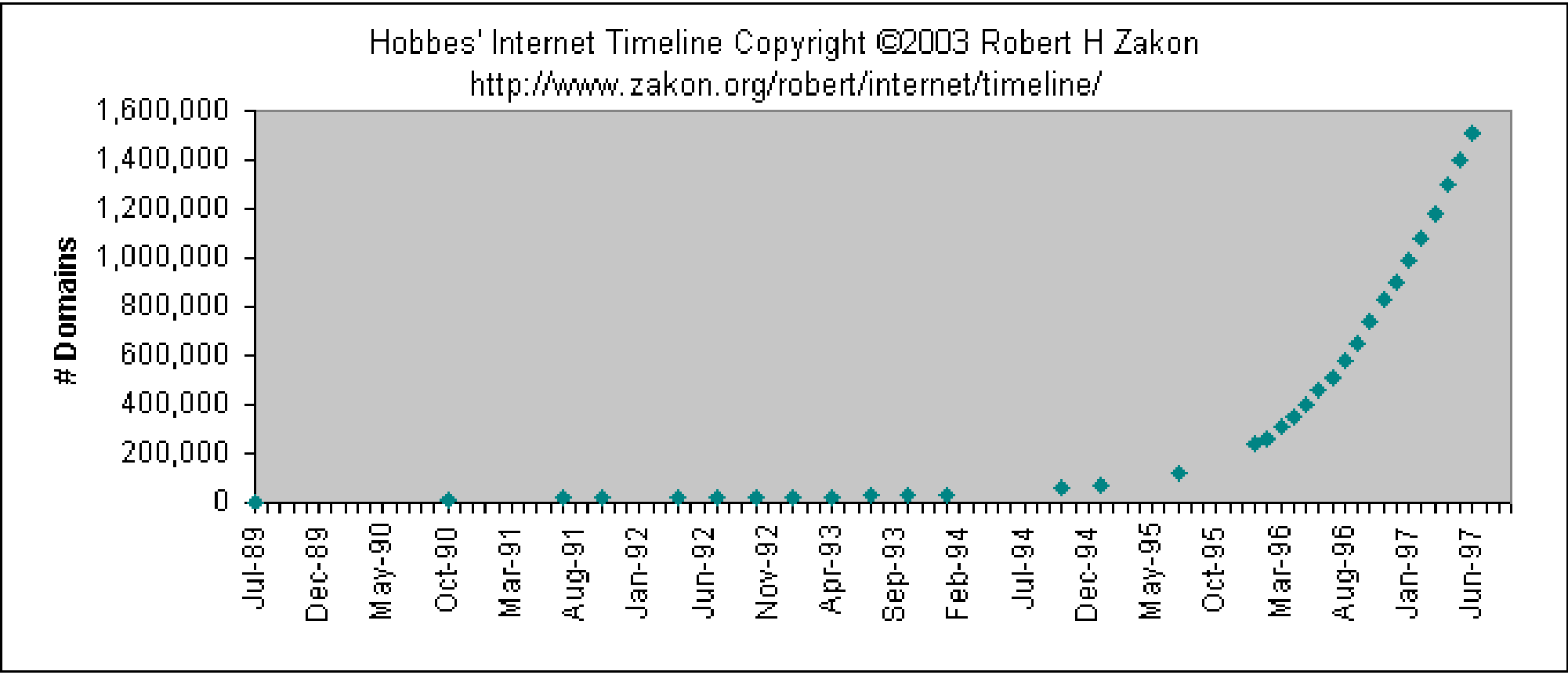
**1986** création de l'IETF

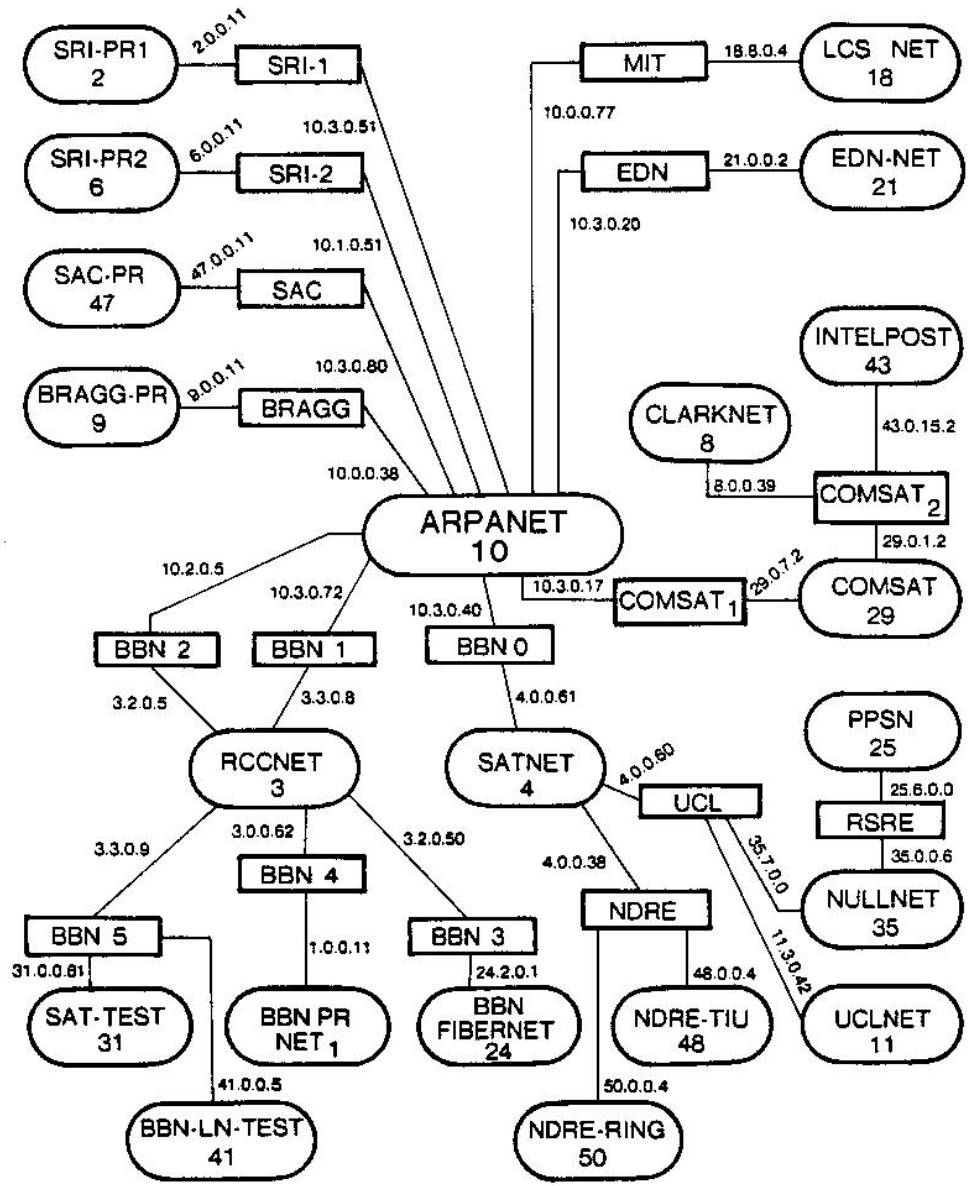
**1988** création de l'IANA

**1990** fin d'ARPANET

**1991** WAIS, Gopher, WWW

**1992** création de l'ISOC


Hobbes' Internet Timeline Copyright ©2003 Robert H Zakon
http://www.zakon.org/robert/internet/timeline/
# Domains
1,600,000
1,400,000
1,200,000
1,000,000
800,000
600,000
400,000
200,000
0
Jul-89
Dec-89
May-90
Oct-90
Mar-91
Aug-91
Jan-92
Jun-92
Nov-92
Apr-93
Sep-93
Feb-94
Jul-94
Dec-94
May-95
Oct-95
Mar-96
Aug-96
Jan-97
Jun-97


SRI-PR1
2
2.0.0.11
SRI-1
SRI-PR2
6
6.0.0.11
SRI-2
SAC-PR
47
47.0.0.11
SAC
BRAGG-PR
9
9.0.0.11
BRAGG
10.3.0.51
10.1.0.51
10.3.0.80
10.0.0.38
ARPANET
10
MIT
18.8.0.4
LCS NET
18
10.0.0.77
EDN
21.0.0.2
EDN-NET
21
10.3.0.20
INTELPOST
43
43.0.15.2
CLARKNET
8
8.0.0.39
COMSAT 2
29.0.1.2
COMSAT
29
29.0.7.2
COMSAT 1
10.3.0.17
10.2.0.5
10.3.0.72
10.3.0.40
BBN 2
BBN 1
BBN 0
3.2.0.5
3.3.0.8
4.0.0.61
RCCNET
3
SATNET
4
4.0.0.60
UCL
PPSN
25
25.6.0.0
RSRE
35.0.0.6
NULLNET
35
35.7.0.0
3.3.0.9
3.0.0.62
3.2.0.50
BBN 4
4.0.0.38
NDRE
BBN 5
BBN 3
1.0.0.11
24.2.0.1
48.0.0.4
11.3.0.42
31.0.0.61
SAT-TEST
31
BBN PR
NET 1
BBN
FIBERNET
24
NDRE-TIU
48
UCLNET
11
41.0.0.5
50.0.0.4
BBN-LN-TEST
41
NDRE-RING
50

# La modernité, essor du web.

**1993** Navigateur NCSA Mosaic

**1994** Yahoo !

**1994** Début du web commercial

**1995** Le trafic web dépasse le trafic ftp

**1996** Guerre des navigateurs

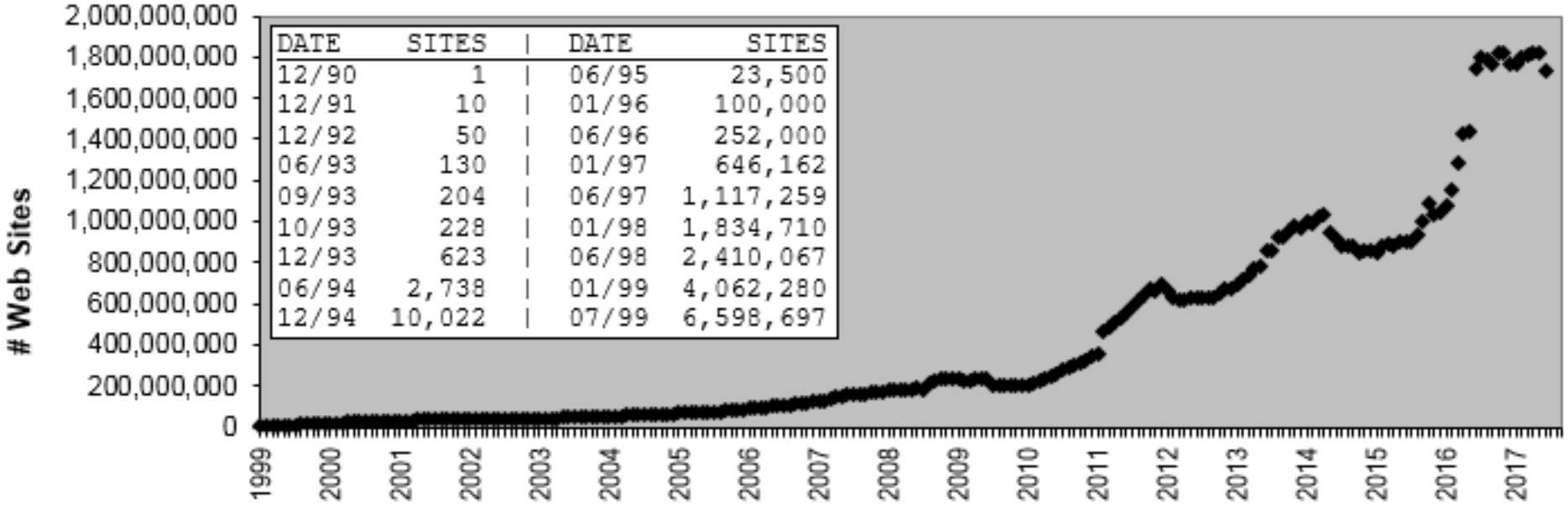
**1999** 1er téléphone portable connecté (Nokia 7110)

**1999** Google

**2004** Facebook

**2017** Fin de la garantie de traitement égal des flux de données aux USA

Hobbes' Internet Timeline Copyright ©2018 Robert H Zakon
https://www.zakon.org/robert/internet/timeline/




| DATE | SITES | DATE | SITES |
|---|---|---|---|
| 12/90 | 1 | 06/95 | 23,500 |
| 12/91 | 10 | 01/96 | 100,000 |
| 12/92 | 50 | 06/96 | 252,000 |
| 06/93 | 130 | 01/97 | 646,162 |
| 09/93 | 204 | 06/97 | 1,117,259 |
| 10/93 | 228 | 01/98 | 1,834,710 |
| 12/93 | 623 | 06/98 | 2,410,067 |
| 06/94 | 2,738 | 01/99 | 4,062,280 |
| 12/94 | 10,022 | 07/99 | 6,598,697 |

# Un secteur qui consomme

Cette croissance du secteur l'a déjà amené à une consommation conséquente (en 2022) :

- 7% de l'électricité produite dans le monde ;
- 14% de l'énergie mondiale produite :
- 4% du volume de Gaz à Effets de Serre émis dans le monde. (Plus que l'aviation civile.)

Records battus régulièrement !

# Un secteur qui consomme

Cette croissance du secteur l'a déjà amené à une consommation conséquente (en 2022) :

- 7% de l'électricité produite dans le monde ;
- 14% de l'énergie mondiale produite :
- 4% du volume de Gaz à Effets de Serre émis dans le monde. (Plus que l'aviation civile.)

Records battus régulièrement !

Les postes les plus impactants :

1. la quantité d'équipements ;
2. la taille des équipements ;
3. les services en ligne.

# Des équipements avant leur utilisation. . .

Une croissance globale forte :

- $+11\%$/an pour les smartphones ;
- $+9\%$/an pour les TV connectées, taille et résolution $\nearrow$ ;
- $-2\%$/an pour les laptops.

# Des équipements avant leur utilisation. . .

Une croissance globale forte :

- $+11\%$/an pour les smartphones ;
- $+9\%$/an pour les TV connectées, taille et résolution $\nearrow$ ;
- $-2\%$/an pour les laptops.

L'exemple de la production d'un smartphone :

- $700MJ$ en moyenne. Une voiture $\sim$ 120 smartphones, 1 laptop $\sim$ 9 smartphones.
- $61kg$ de GES émis, $5700km$ en train, $700km$ en voiture.
- un pourcentage important de la production mondiale de certains métaux (par exemple 10% du cobalt).

Des chiffres qui augmentent à chaque nouvelle génération.

# . . .puis lors de l'utilisation

Consommation énergétique faible en utilisation, mais consommation induite sur l'ensemble du réseau (serveurs, routeurs, data centers,. . .) importante.

# . . .puis lors de l'utilisation

Consommation énergétique faible en utilisation, mais consommation induite sur l'ensemble du réseau (serveurs, routeurs, data centers,. . .) importante. Pour la vidéo :

- Une vidéo haute définition de 10 minutes en streaming équivaut à 5 minutes d'utilisation d'un four standard à puissance maximale.
- Usages vidéos en très forte croissance (60% du trafic de données et responsables de 80% de la croissance).
- Par secteur, plateformes VOD 37%, pornographie 27%, tubes (Youtube, Dailymotion) 21%, le reste (réseaux sociaux surtout) 15%.
- Globalement, au minimum $50MT$ de GES émis par an, de l'ordre de $75M$ de voyages Paris-New York.

# Gouvernance de l'internet

The ARPANET in December 1969

# L'internet

Une définition : Une interconnexion de réseaux routable de point à point en utilisant le protocole IP.

Mais aussi :

- Un ensemble connexe de machines
- Un ensemble de protocoles
- Un ensemble de liens

# Des protocoles et des normes

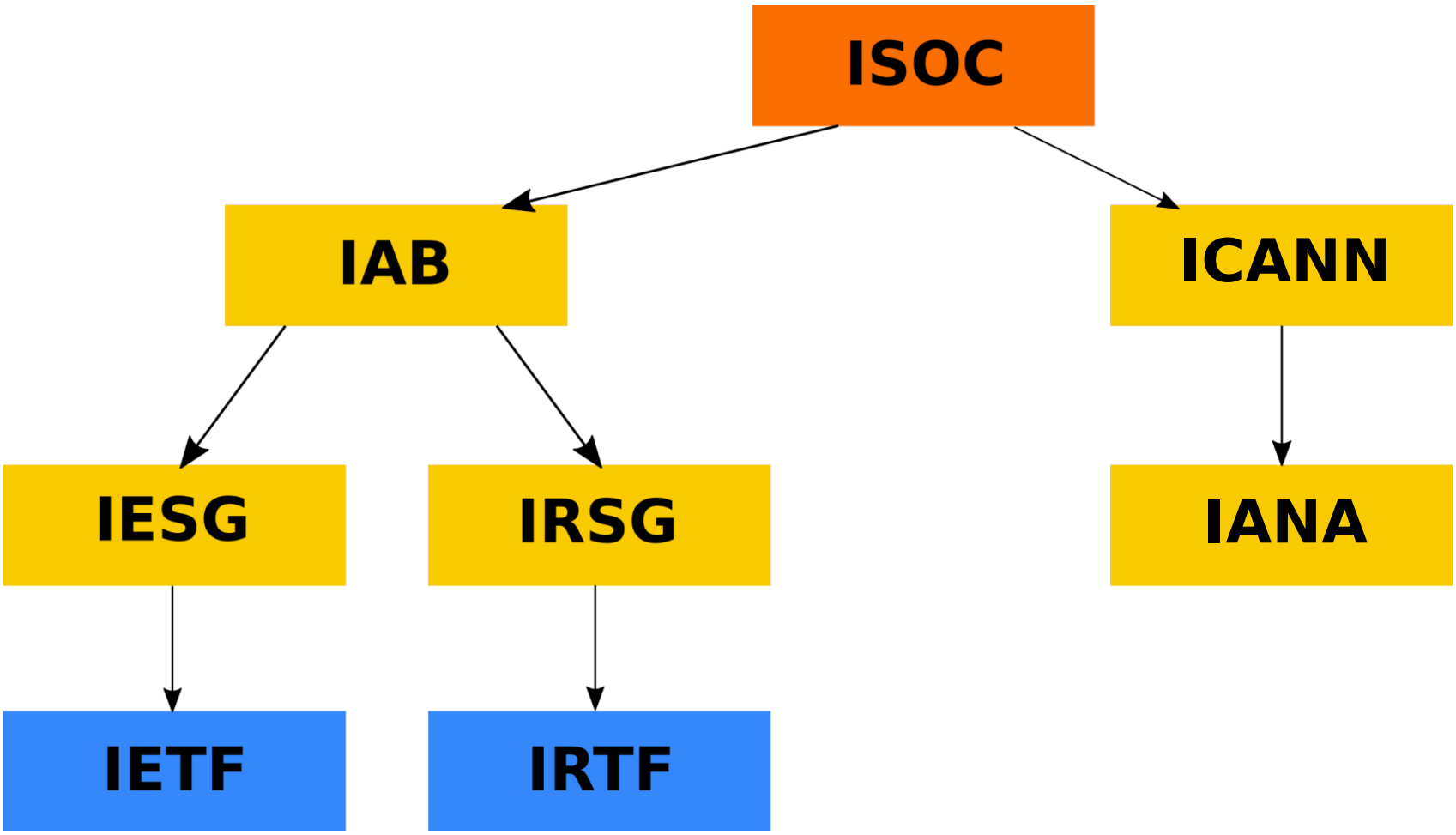
La bonne marche d'internet nécessite de :

- Normaliser les protocoles
  IP, TCP, DNS, ARP, HTTP, SMTP...
- Normaliser les données échangées
  binaire, hexa, textuel, HTML...
- Faire évoluer ces normes dans le temps

# Des ressources à allouer

- Créer et tenir à jour la géographie virtuelle
  numéros d'AS, adresses IP...
- Gérer l'annuaire des noms de domaine
  attribution et requêtes DNS...

# Organisation actuelle



# ISOC

À ses débuts, oeuvre à l'internationalisation et au développement d'internet.

- Fondée en 1992, ONG américaine
- Fonctionnement communautaire

Aujourd'hui, rôle de gouvernance, supervision de l'IAB, IETF, IRTF...

# ICANN- IANA

ICANN :

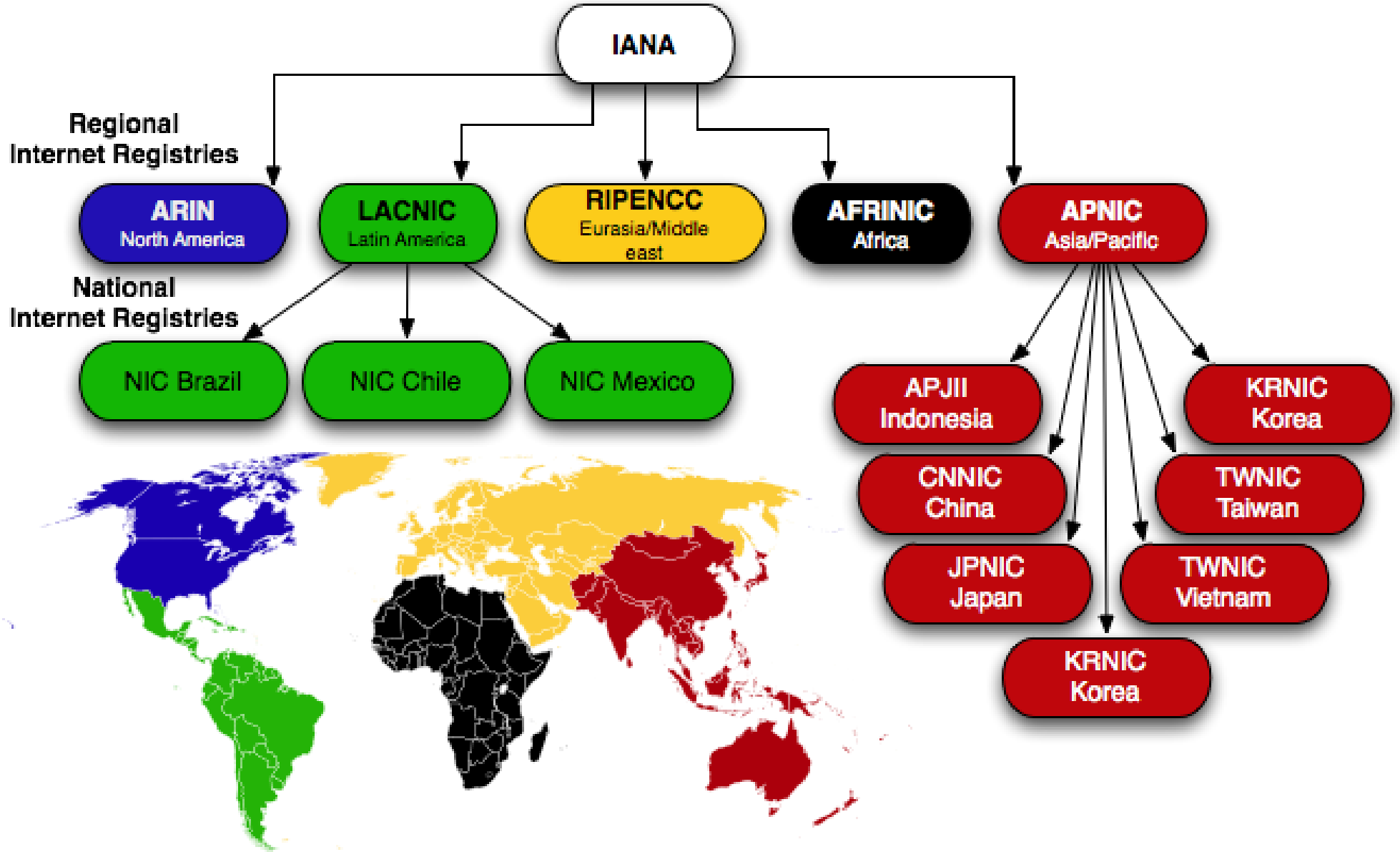
- ONG Américaine (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)
- Activité principale : IANA !

IANA :

- Internet Assigned Numbers Authority
- Attribution des ressources numériques (choix de la géographie...)
- IP (Chap. 2)/ DNS (coordination) / services et ports / ASN

# RIR (Regional Internet Registery)

- L'IANA délègue la gestion des ASN et des IPs au niveau continental, les RIR
- Les RIR délèguent la gestion des IPs au niveau local, les LIR
- Près de 4000 actifs en France, dont 2000 établis en France
- Exemples de LIR : les FAIs (souvent), des entreprises, associations
- Parfois, des National IR font interface entre les deux


IANA
Regional Internet Registries
ARIN
North America
LACNIC
Latin America
RIPENCC
Eurasia/Middle east
AFRINIC
Africa
APNIC
Asia/Pacific
National Internet Registries
NIC Brazil
NIC Chile
NIC Mexico
APJII
Indonesia
KRNIC
Korea
CNNIC
China
TWNIC
Taiwan
JPNIC
Japan
TWNIC
Vietnam
KRNIC
Korea

# Systèmes Autonomes et ASNs

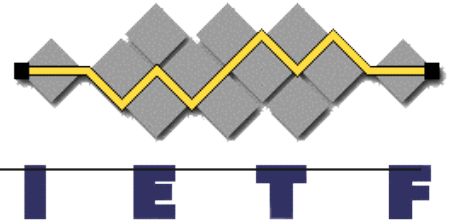
Internet est découpé en groupes de réseaux indépendants, les Autonomous Systems.

- En nombre croissant (plus de 60000 actuellement)
- Définis par une politique de routage interne commune (Chap. 3)
- Les ASN les identifient
- Permet de gérer le routage inter-réseaux (Chap. 3)

# IAB

- Internet Architecture Board
- Bureau nommé par l'ISOC
- Établit les protocoles et normes, l'architecture de l'internet
- Composé de task forces, dont IETF, IRTF & Co

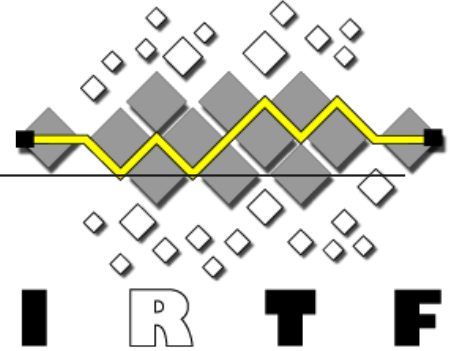
# IETF, IESG, RFCs




- Internet Engineering Task Force (resp. Steering Group)
- Groupe technique, depuis 1986
- Produit les RFCs approuvées par l'IESG :

  https://tools.ietf.org/html/rfc1
  - Ensemble des normes et protocoles de l'IETF (principalement) utilisées sur internet
  - Propositions, drafts, commentaires, etc
  - La bible !

# IRTF, IRSG




- Internet Research Task Force (resp. Steering Group)
- La branche recherche, projets de long terme
  (gestion de la congestion, respect des Droits de l'Homme, anti-spam...)
- On y prépare le futur

# Et aussi. . .

Des organismes :

- Pour gérer les supports de communication — ITU
- Pour définir les standards du web — W3C
- Pour faire régner l'ordre ! — CERT

# ITU

- International Telecommunication Union
- Créée en 1865 (Union Internationale du télégraphe)
- Agence technique des Nations Unies pour la création de normes et la gestion des systèmes de télécommunication
- Objectif de standardisation internationale

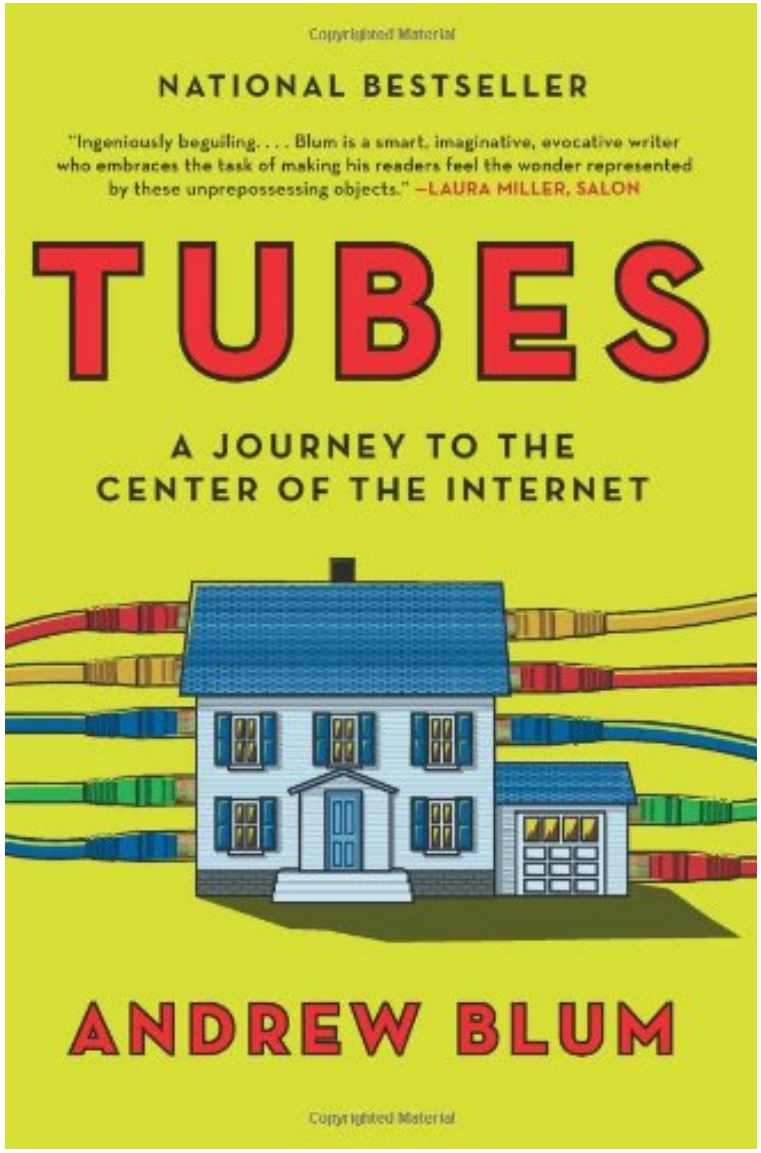
# W3C

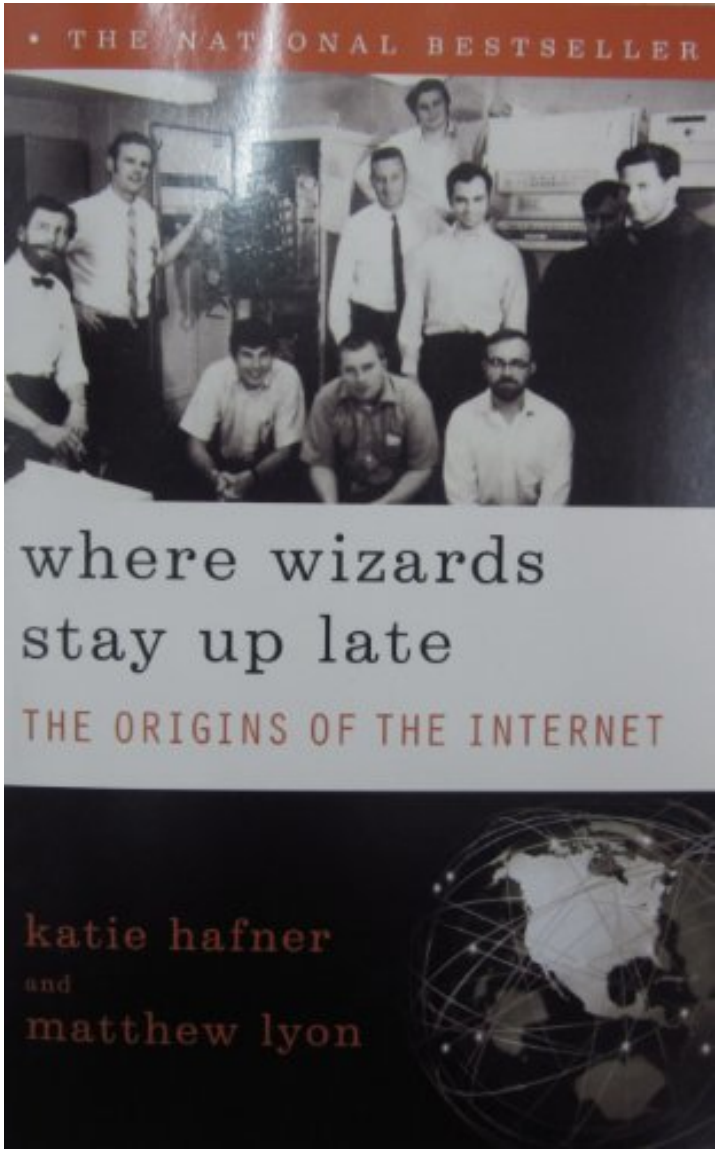
- Depuis 1994 (fondé au MIT) développe les standards du web : formats de données.
- Indépendant de l'ISOC, supervisé par un groupe d'instituts universitaires/de recherche
- Normalise HTML, XHTML, CSS, etc

# CERT

- Computer Emergency Response Team ou CSIRT (e.g. en Europe)
- Les forces de sécurité d'internet
- Ensemble d'organismes indépendants de réponse rapide
- Créé à la suite du premier incident (1988, ver Morris)

# Pour aller plus loin



# Dans ce cours

The ARPANET in December 1969

# Qu'est ce qu'un cours de réseau ?

Deux grandes options :

- De haut en bas : point de vue utilisateur
- De bas en haut : point de vue concepteur

# Modèles en couche

Les réseaux sont en général présentés comme une pile de couches ayant chacune une tâche précise : la pile réseau.

- Chaque couche interagit uniquement avec la précédente et la suivante dans la pile.
- Un protocole est attribué à une couche et remplit une des fonctions de la couche.
- En particulier, un protocole de couche $n$ permet la communication entre les couches $n$ de deux machines distinctes.

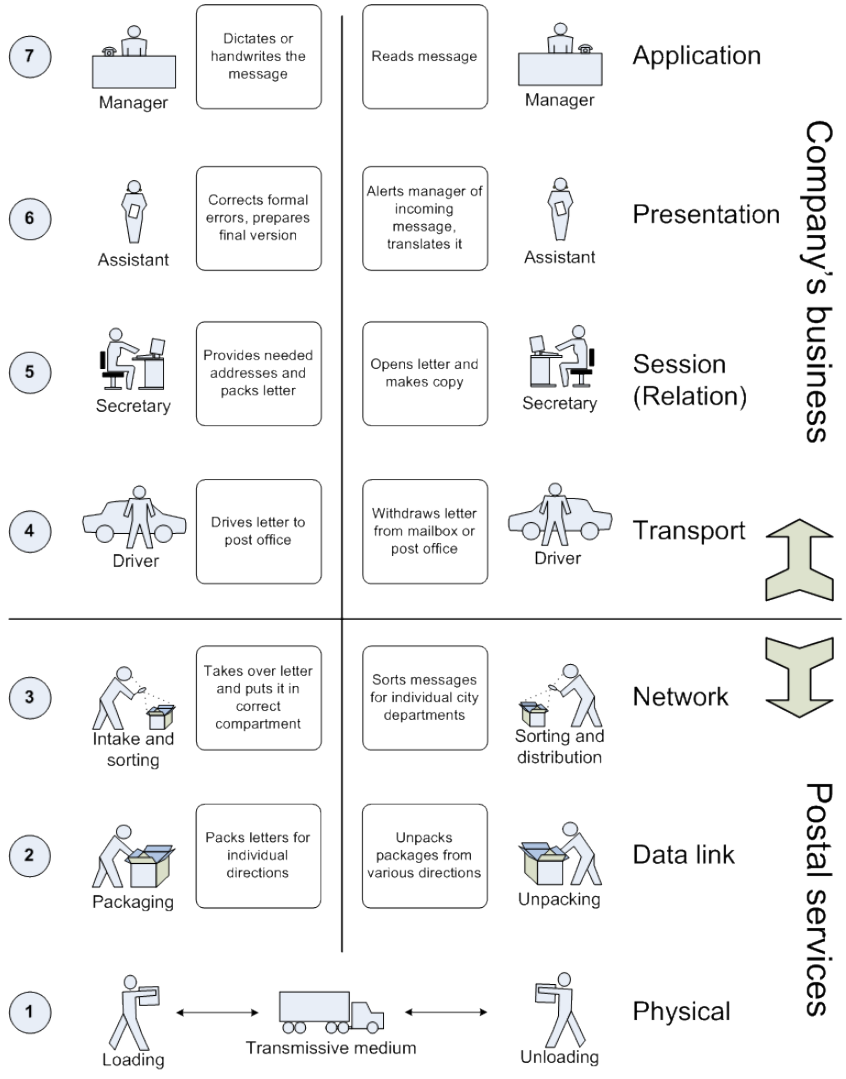
# Tout passe par en bas

- En partant d'un niveau donné de la pile, des protocoles successifs dans toutes les couches traversées encapsulent les informations transmises par la couche supérieure.

- La couche 1 (en bas) est la seule à pouvoir interagir directement avec une autre machine (au travers d'un protocole de couche 1).

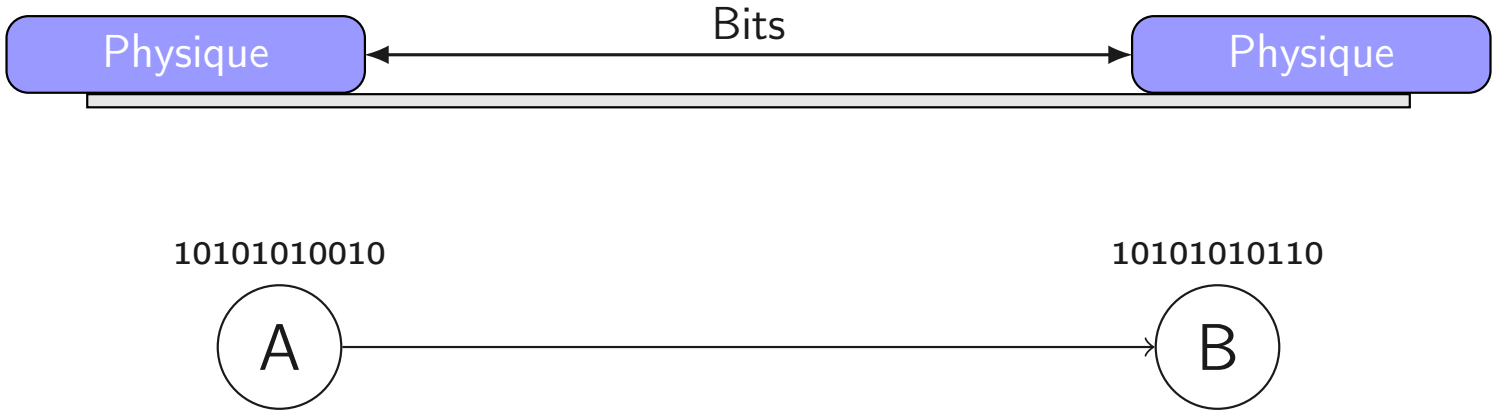
- De l'autre côté, les protocoles de chaque couche décapsulent les informations à transmettre à la couche supérieure.

# Un modèle : OSI



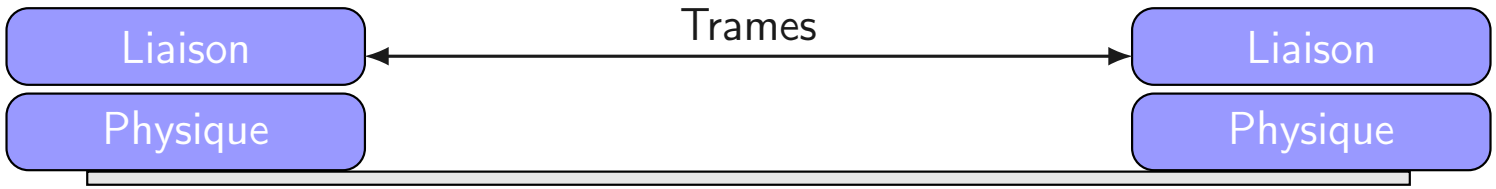

RM – OSI and letter communication parallel

# Couche physique (Physical)




- Lien point à point entre deux interfaces, pas d'intermédiaires ni de redirection attendue. Lien direct : câble (ethernet, fibre), air (wifi),...
- Transmission de bits uniquement.
- Potentiellement des erreurs.

# Couche Liaison (Data link)

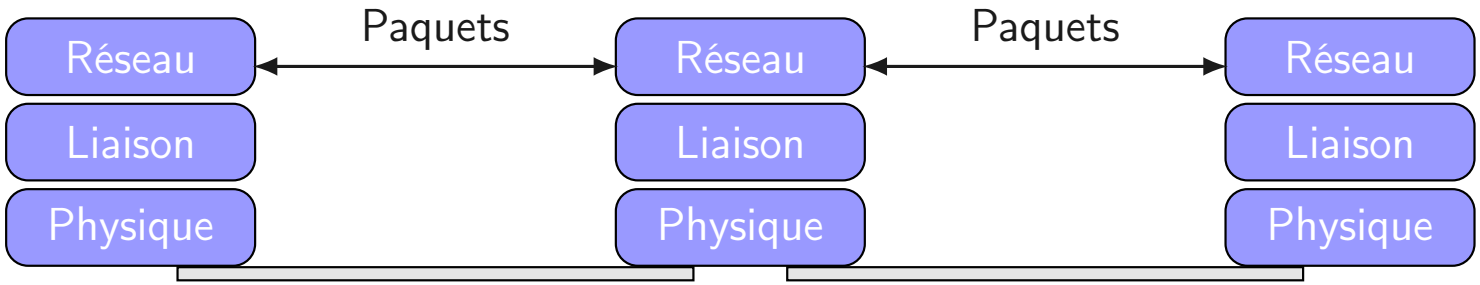


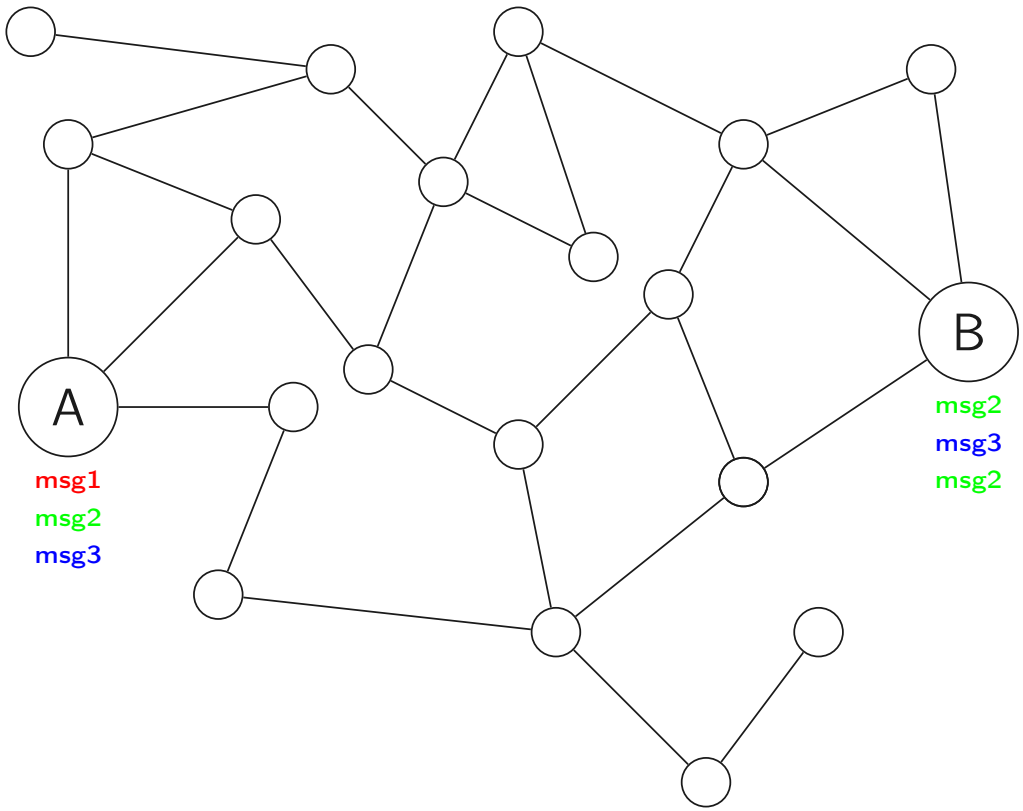
- Toujours lien point à point entre deux interfaces reliées. Gestion de l'accés au medium pour éviter les interférences.
- Transmission de trames.
- Ni erreur, ni perte, ni duplication.

# Couche réseau (Network)

- Cette fois, lien entre des points distants avec intermédiaires.
- Spécification des adresses pour le routage.
- Pertes, corruptions ou inversions potentielles de parties de messages.

# Couche réseau (Network)

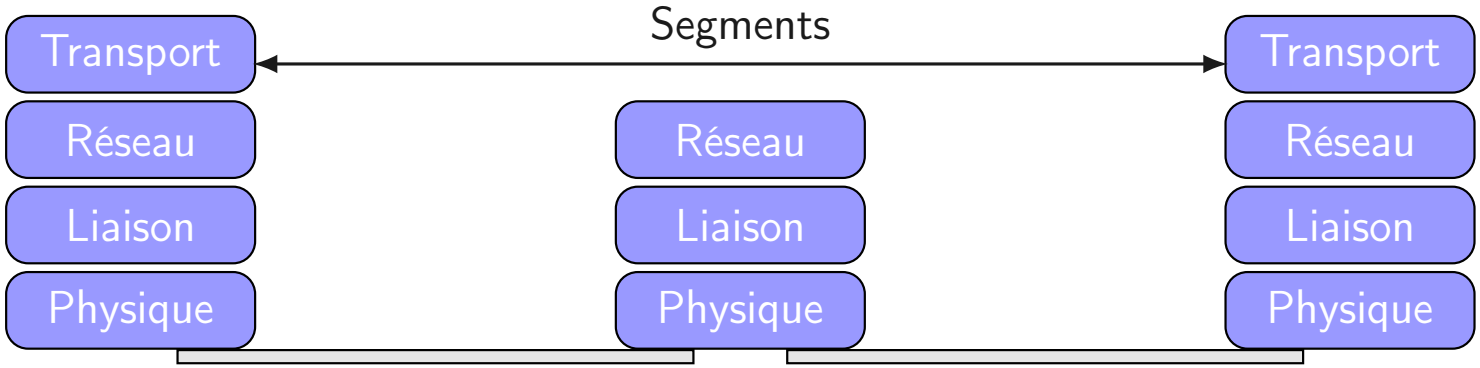


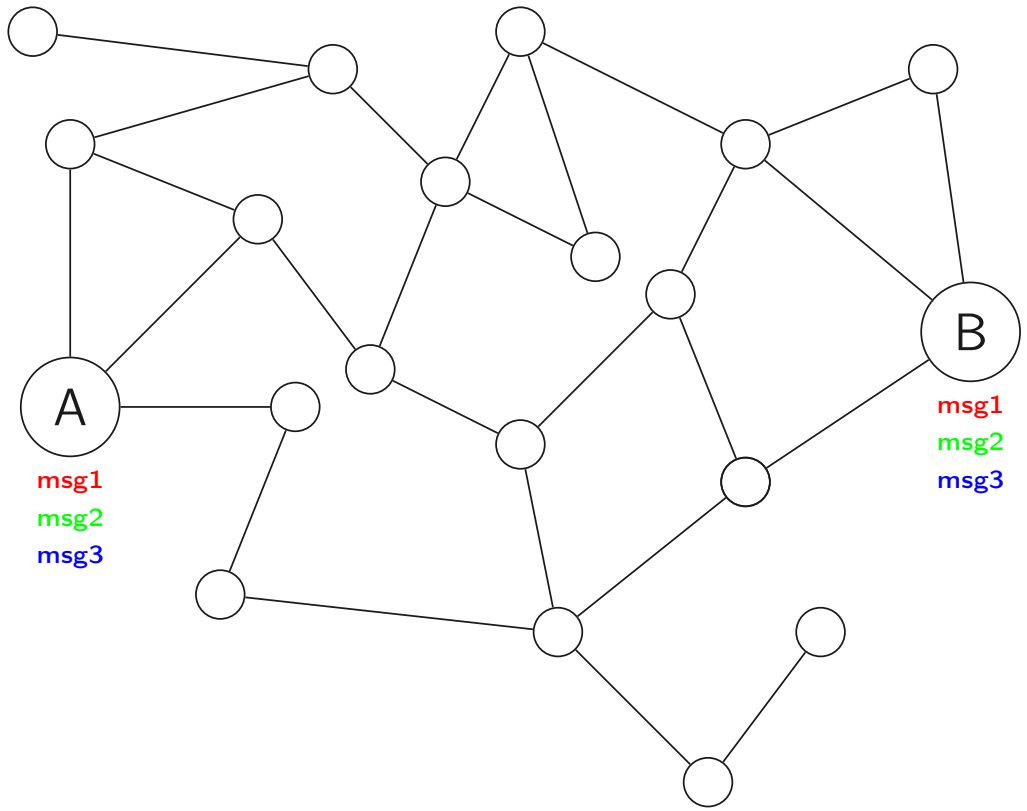



# Couche transport (Transport)

- De nouveau, liaisons entre des points distants, mais sans intermédiaire.
- Retour d'une communication fiable, sans erreur.
- Mode connecté (segments) ou non (datagrammes).

# Couche transport (Transport)



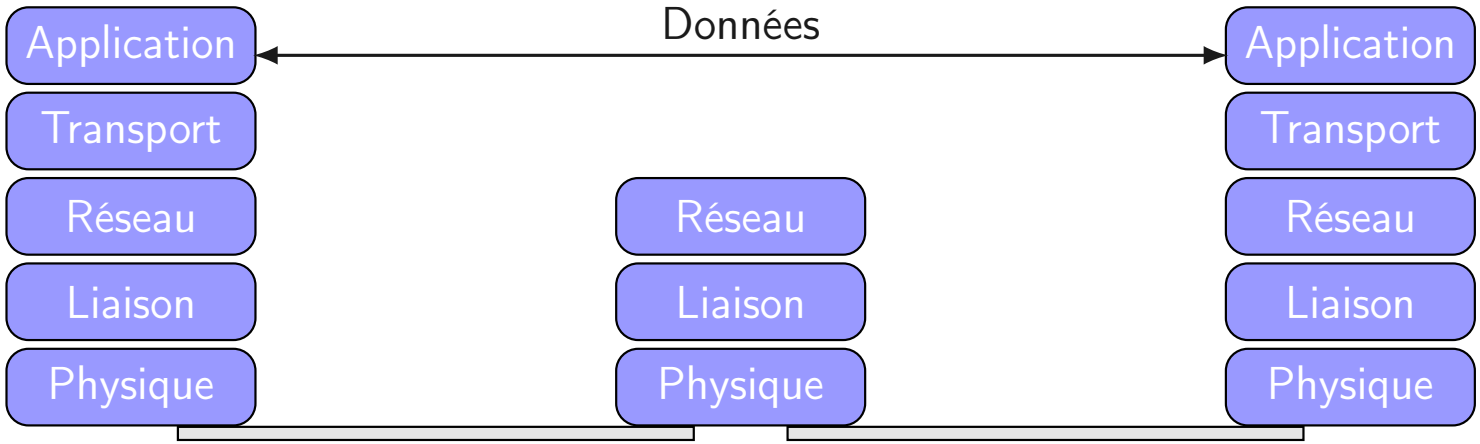
# Couche session (Session)

- Première des couches applicatives.
- Gestion des sessions liées à une application : ouverture, fermeture, synchronisation.
- Gestion de certaines erreurs au moyen de points de restauration.

# Couche présentation (Presentation)

- Seconde couche applicative.
- Codage (transformation des donnés en chaînes d'octets), chiffrement et compression.

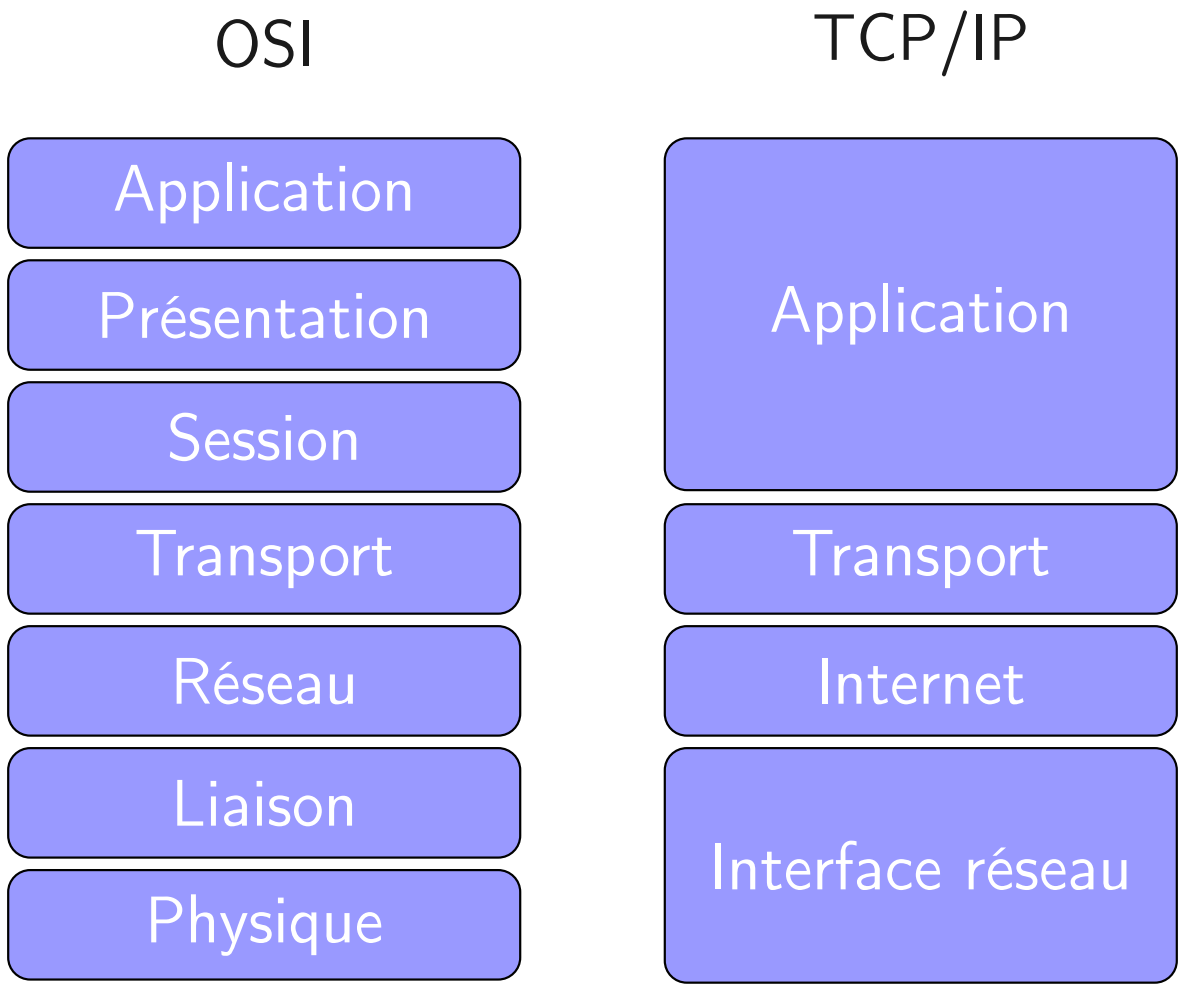
# Couche application (Application)




Les applications que vous connaissez avec leurs protocoles :

- Mail : SMTP
- Web : HTTP
- Chat : XMPP
- Envoi de documents : FTP
- ...

# En pratique


OSI
TCP/IP
Application
Présentation
Session
Transport
Réseau
Liaison
Physique
Application
Transport
Internet
Interface réseau

# Plan du cours

1. Introduction, histoire
2. Couches interface réseau

   Ethernet, Wifi
3. Couche internet, forwarding

   IPv4, tables de routage
4. Couche internet, routing

   RIP, OSPF, BGP

# Droits

L'image utilisée en page 62 provient de wikimedia commons.

`http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rm-osi_parallel.png`

D'autres images proviennent de CNP3 et sont diffusées sous licence CC-BY-SA-3.0.

`http://inl.info.ucl.ac.be/CNP3`

Les sources pour les pages 34 à 36 :

`http://inl.info.ucl.ac.be/CNP3`

`https://theshiftproject.org/article/`

`pour-une-sobriete-numerique-rapport-shift/`

`https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/`

Mes remerciements à Nicolas Ollinger (Université d'orléans) pour ses contributions et à Emmanuel Jeandel (Université de Lorraine) par transitivité.