

Histoire d'internet, concepts et émergences

Question de vocabulaire

Les grandes étapes

Principes essentiels

Complexité et émergences dans tout ça

La gouvernance

Franchouillardises des années 1970

Aujourd'hui et demain

Histoire d'internet, concepts et émergences

Pour discussion

Cyber sécurité

Neutralité du net

Algorithmes du WEB

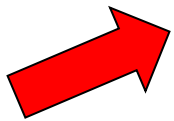
Economie: qui perd, qui gagne

Gouvernance de la société numérique

Nocivité des réseaux dits « sociaux »

Etc.

Histoire d'internet, concepts et émergences



Question de vocabulaire

Les grandes étapes

Principes essentiels

Complexité et émergences dans tout ça

La gouvernance

Franchouillardises des années 1970

Aujourd'hui et demain

Définition

Internet du
langage
courant



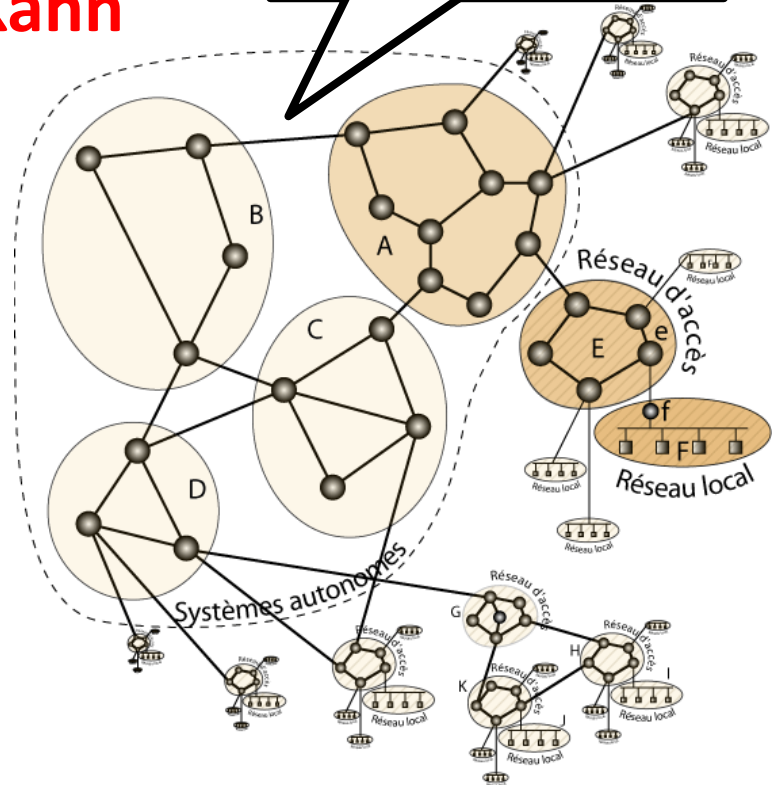
WIKIMEDIA
FOUNDATION



Internet

« Interconnexion
de réseaux »
Mot créé en 1972
Robert Elliot Kahn

Internet
générique



Internet: plusieurs niveaux



APPLICATIONS

Usages



Outils génériques

DNS, SMTP, WEB, SIP,.

TCP



TELECOM

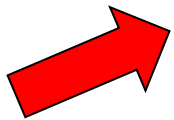
IP, BGP (routage)

Transmission :

- Wifi, ADSL
- Fibres optiques
- 4G, 5G
- +Satellites

Histoire d'internet, concepts et émergences

Question de vocabulaire



Les grandes étapes

Principes essentiels

Complexité et émergences dans tout ça

La gouvernance

Franchouillardises des années 1970

Aujourd'hui et demain

Internet: phases majeures

Préhistoire

1962 Principes Commutation de Paquets

1969 Démarrage du réseau Arpanet

1974 Publication de TCP/IP

Interop

1983 TCP/IP imposé

Maturité

Arpanet devient Internet

TCP dans UNIX Berkeley

1985 Mise en oeuvre du DNS

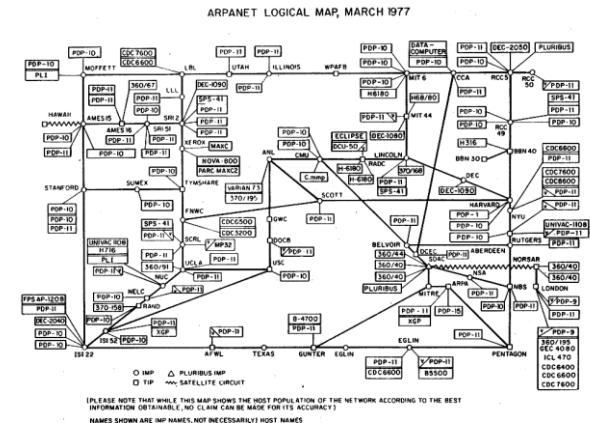
1989 Invention du WEB

Explosion

1995 Début grand public; Windows 95

2007 Smartphones (+ internet mobile 3G)

2020 5G, Starlink



Une créativité collective USA mondiale

Hall of fame d'Internet (vision 2012)

Pionniers

-  Paul Baran[†]
-  Vint Cerf
-  Danny Cohen (Informaticien)
-  Steve Crocker
-  Donald Davies[†]
-  Elizabeth J. Feinler
-  Charles Herzfeld
-  Robert Kahn
-  Peter T. Kirstein [\(en\)](#)
-  Leonard Kleinrock
-  John Klensin [\(en\)](#)
-  Jon Postel[†]
-  Louis Pouzin
-  Lawrence Roberts

Connecteurs mondiaux

-  Randy Bush
-  Kilnam Chon
-  Al Gore
-  Nancy Hafkin
-  Geoff Huston
-  Brewster Kahle
-  Daniel Karrenberg
-  Toru Takahashi
-  Tan Tin Wee

Innovateurs

-  Mitchell Baker
-  Tim Berners-Lee
-  Robert Cailliau
-  Van Jacobson
-  Lawrence Landweber
-  Paul Mockapetris
-  Craig Newmark
-  Ray Tomlinson¹² [†]
-  Linus Torvalds
-  Philip Zimmermann

Contributions des pionniers

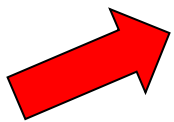
Qui	Date	Contribution	Où
Paul Baran	1963	Concept initial des réseaux de paquets	RAND
Leonard Kleinrock	1965	Modélisation des réseaux de paquets	UCLA
Lawrence Roberts	1969	Chef de projet et démarrage ARPANET	BBN
Donald Davis	1967	Réseau EPSS	NPL
Louis Pouzin	1972	Projet Cyclades	INRIA
Vint Cerf	1974	Publication de TCP	UCLA
Robert Kahn	1974		MIT
John Postel	1983	Co-invention du DNS	UCLA
Tim Berners-Lee	1991	Invention du WEB	CERN
Marc Andreessen	1993	Premier navigateur MOSAIC	NCSA

Les cinq premiers lauréats du **prix Queen Elizabeth Prize for Engineering (2013)** furent **Marc Andreessen, Tim Berners-Lee, Vinton Cerf, Robert Elliot Kahn et Louis Pouzin** pour leurs contributions à la création d'Internet et du World Wide Web

Histoire d'internet, concepts et émergences

Question de vocabulaire

Les grandes étapes



Principes essentiels

Complexité et émergences dans tout ça

La gouvernance

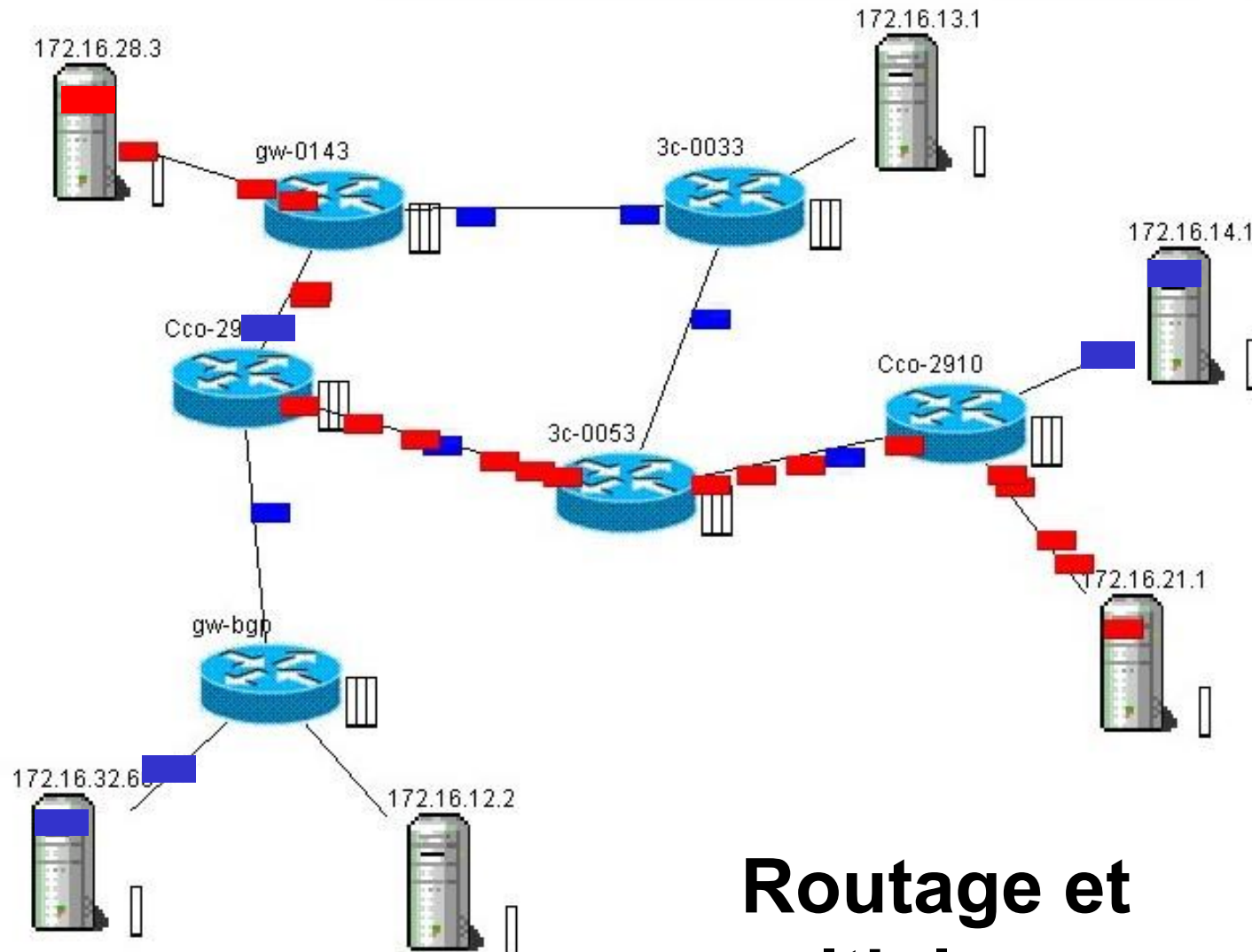
Franchouillardises des années 1970

Aujourd'hui et demain

Principes essentiels

- Informations découpées en paquets autonomes les datagrammes
- Internet est une interconnexion de réseaux, les Autonomous Systems (A.S)
- Contrôle de « **bout en bout** » par TCP
- Contrôle de flux et de congestion décentralisé
- Gestion centralisée limitée aux nommages et aux conceptions techniques
- Construction progressive via accords de **peering** et de **transit** (auto-organisation)

Paquets IP dans le réseau

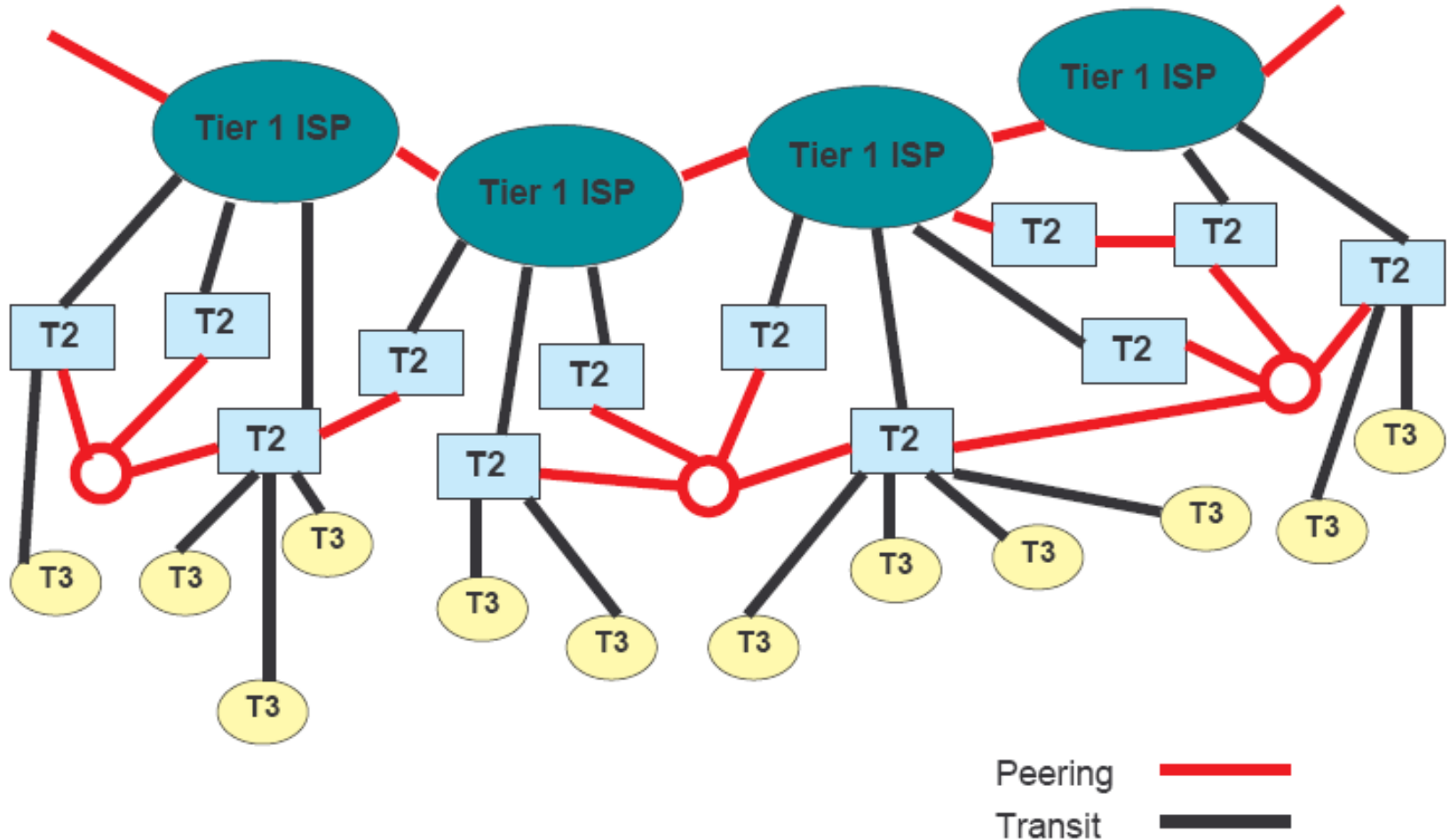


**Routage et
multiplexage**

Les A.S. (Autonomous Systems)

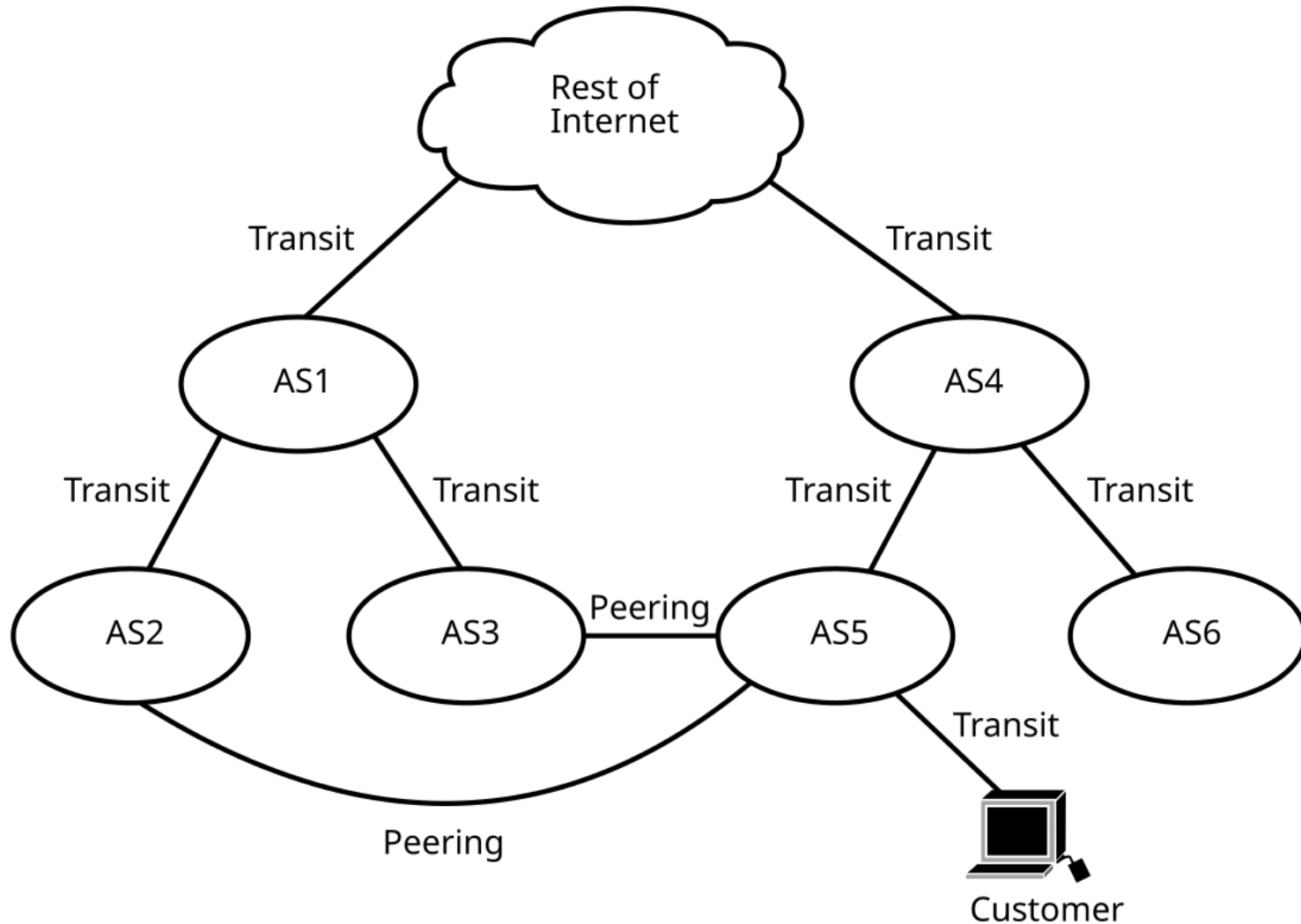
- Internet est bien une agrégation de réseaux les *autonomous systems* (A.S.)
- Le routage se fait entre les A.S. selon **BGP**
- Dimensions 2025: environ 100 000 AS et 10^6 routes connues
- Exemples d'A.S.:
 - Réseaux internes aux organisations
 - Fournisseurs d'accès à Internet (FAI)
 - Réseaux collectifs (ex: RENATER)
 - Réseaux de transit

Les AS sont de facto hiérarchisés

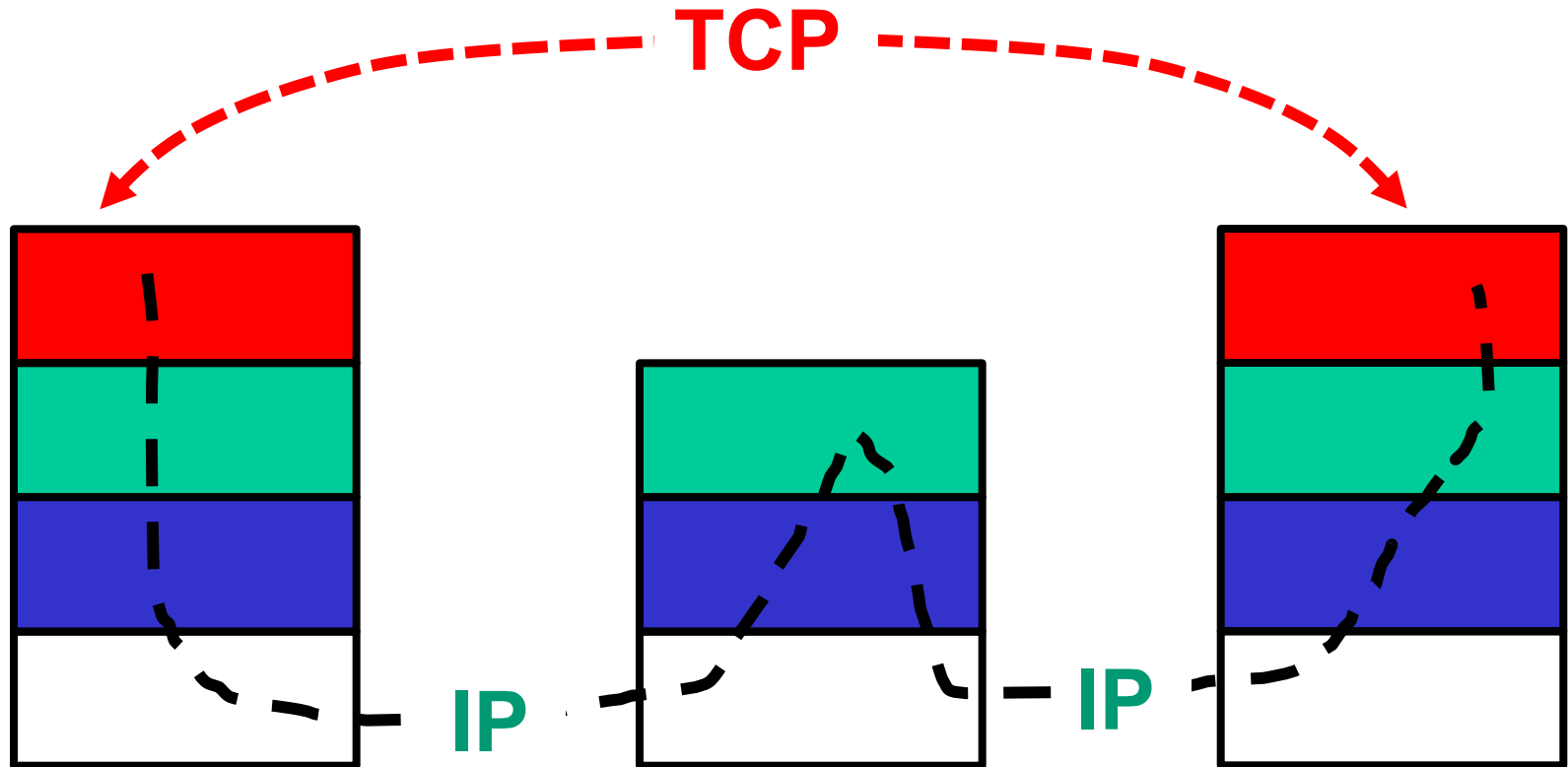


3 niveaux ("**Tiers**") d'**AS** selon les accords de trafic

Peering et Transit

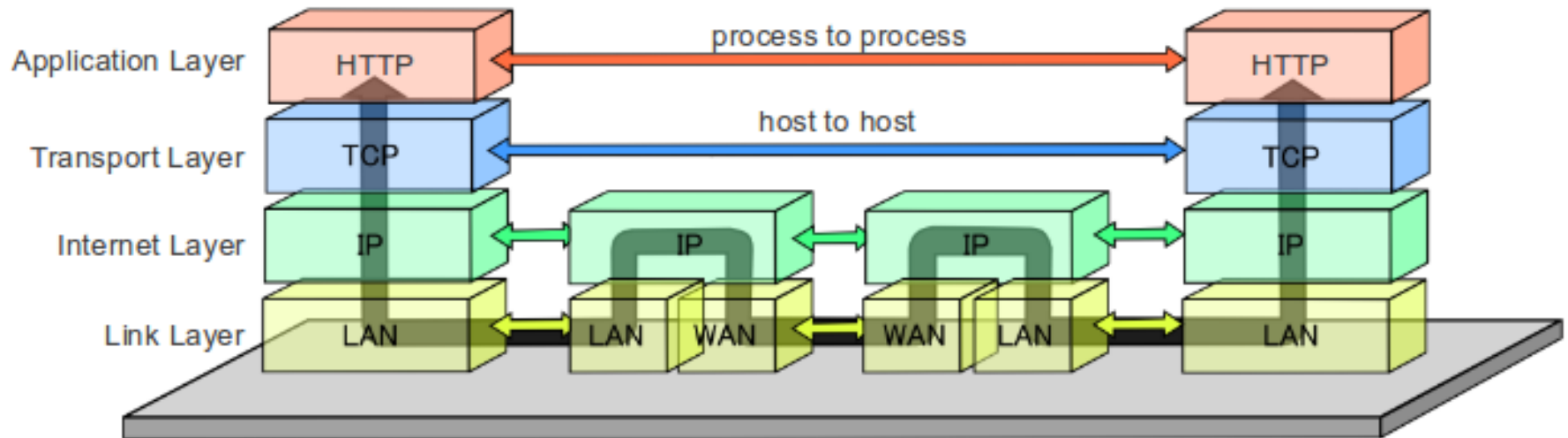


Contrôle de bout en bout par TCP



Le modèle Internet

Data Flow of the Internet Protocol Suite

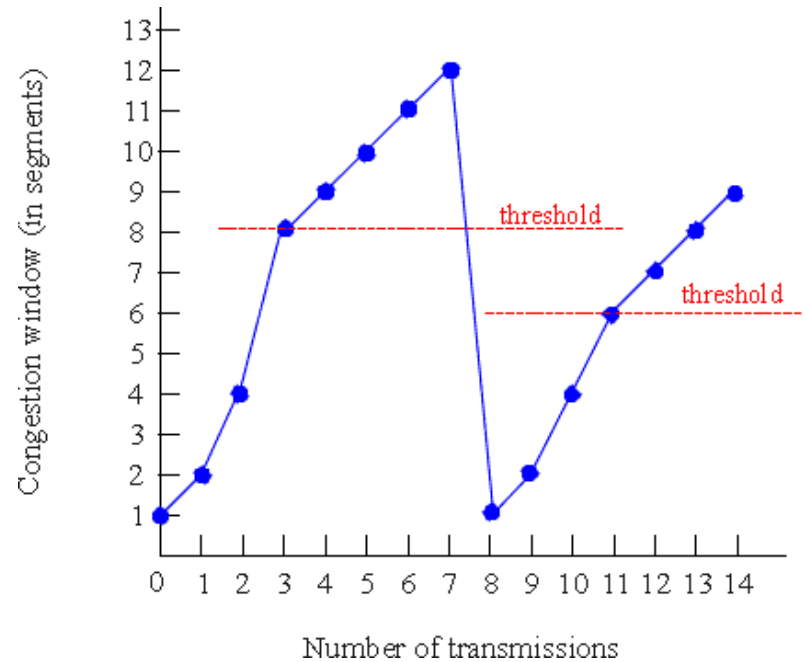


Fonctions de TCP

- 1. Connexion orientée (Connection-oriented)**
- 2. Fiabilité de la transmission**
- 3. Contrôle de l'ordre des données**
- 4. Contrôle de flux (Flow Control)**
- 5. Contrôle de congestion (Congestion Control) décentralisé**
- 6. Détection et retransmission d'erreurs**
- 7. Multiplexage / Démultiplexage**
- 8. Transmission en flux (stream-oriented)**

Contrôle de flux par TCP: **AIMD**

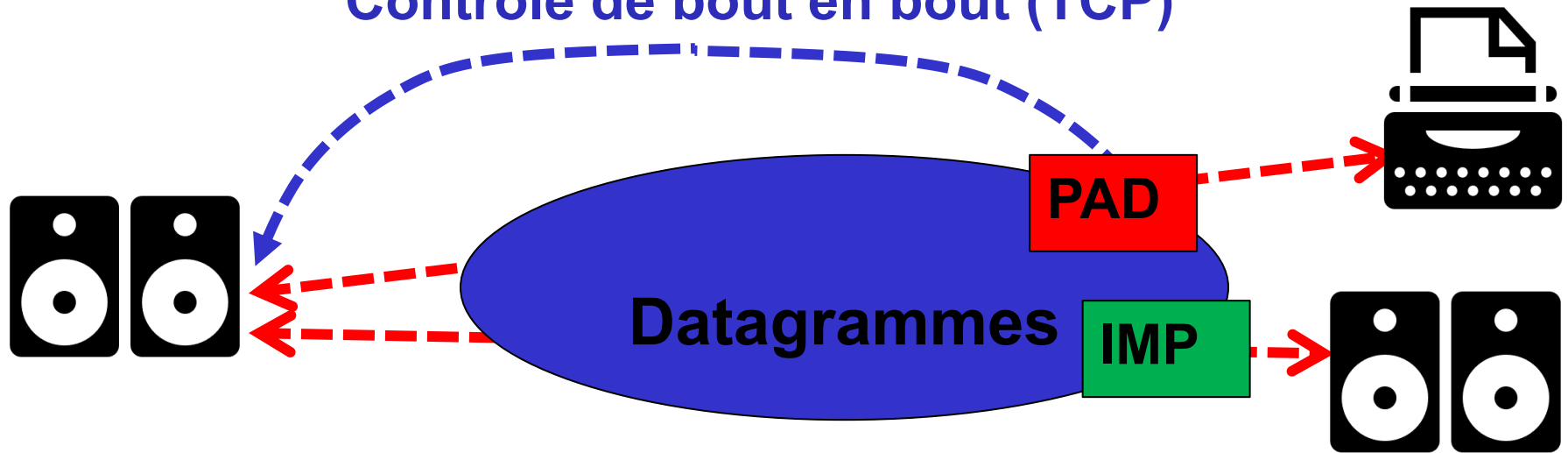
- Mécanisme décentralisé
- Contre réaction stable
- Principe (**AIMD**) qui module l'anticipation d'envoi des paquets (**fenêtre W**) en fonction des pertes de paquets, conséquence de la congestion du réseau:
 - Si pas de perte de paquet: on fait $W+1$
 - Si perte de paquet: on fait $W/2$



AIMD: **A**dditive **I**ncrease, **M**ultiplicative **D**ecrease

Arpanet avant généralisation de TCP/IP

Contrôle de bout en bout (TCP)



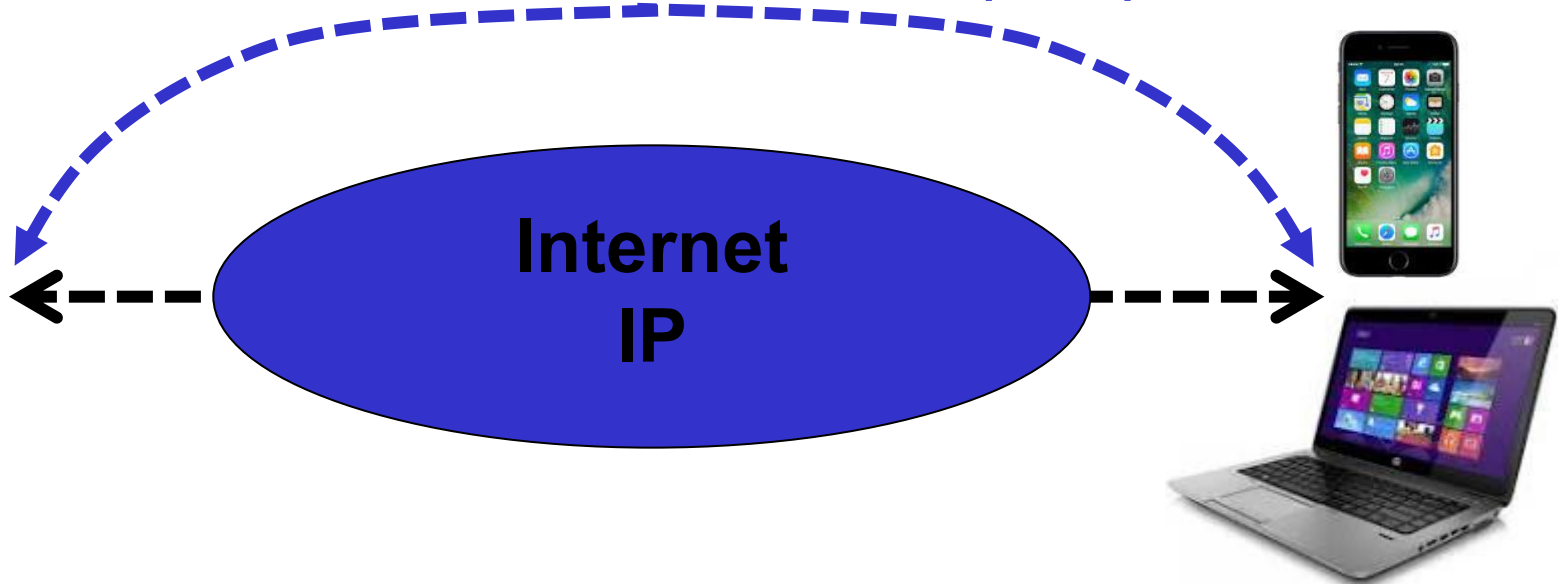
Connexion de terminaux non intelligents et systèmes via PAD ou des IMP

PAD= Packet Assembleur Désassembler

IMP = Interface Message Processor

L'internet contemporain

Contrôle de bout en bout (TCP)



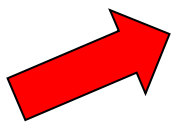
**TCP/IP est géré par l'équipement connecté:
Windows, UNIX, IOS, Android, etc.**

Histoire d'internet, concepts et émergences

Question de vocabulaire

Les grandes étapes

Principes essentiels



Complexité et émergences dans tout ça

La gouvernance

Franchouillardises des années 1970

Aujourd'hui et demain

Dimensions d'Internet

■ TCP/IP

- Potentiel IPV4: $2^{32} \sim 4 \times 10^9$
- Potentiel IPV6: $2^{128} \sim 6 \times 10^{18}$

■ Routage IP inter-réseaux (BGP)

- 100 000 Autonomous Systems (AS)
- Table de routage: 6×10^5 liens
- Diamètre du graphe: 15

■ WEB

- $N \times 10^9$ Pages
- 15×10^6 Liens
- Small World : 4 à 6 clics
- Diamètre graphe: 29



Composantes de la complexité d'internet

- Graphe du réseau des A.S. (systèmes autonomes) en structure de « **petit monde** »
- Pas de planification centralisée: la topologie du réseau résulte des accords de « peering » entre agents selon le principe que « **les riches deviennent plus riches** ».
- Routage auto-adaptatif par des algorithmes de proche en proche « polynomiaux »
- Contrôle de flux décentralisé avec boucle de contre-réaction négative (AIMD)

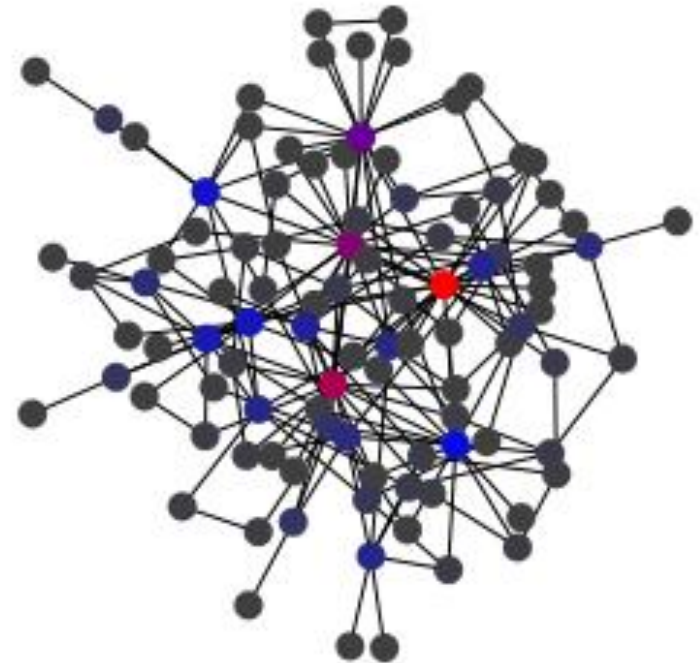
Les grands graphes de terrain

Les grands graphes de terrain: souvent des propriétés remarquables

Faible densité +

1. Distribution des degrés en loi de puissance ;
2. Propriété du petit monde ;
3. Structure fractale (ou encore dite sans échelle) ;

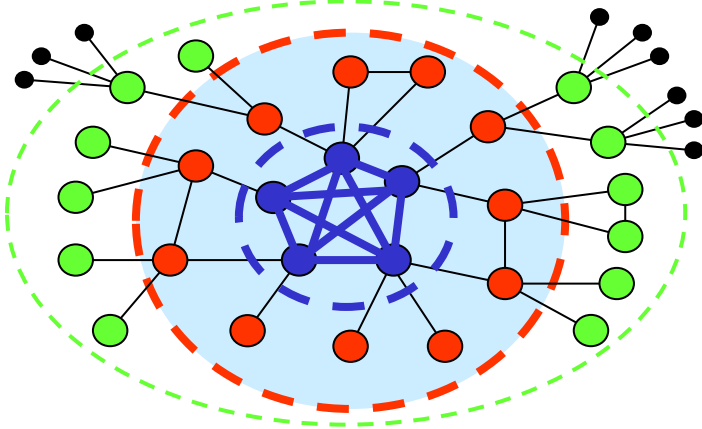
Ces 3 propriétés sont liées



Structure « **petit monde** »

Réseau téléphonique traditionnel

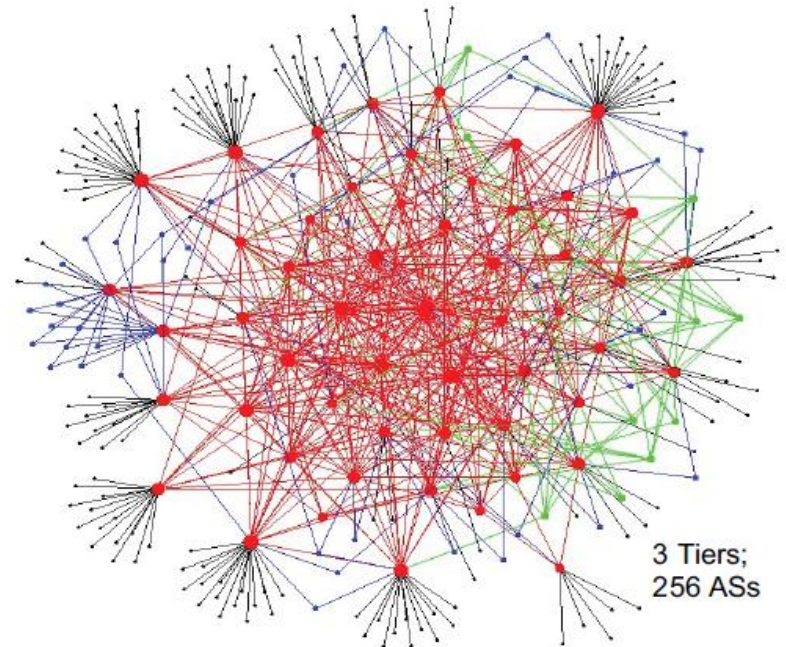
La partie maillée du graphe
est limitée à
 ≈ 50 nœuds & arêtes



5	CTP
39	CTS
430	CAA
13 000	CL

Internet

$\approx 100\,000$ Autonomous Systems



3 Tiers;
256 ASs

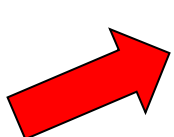
Histoire d'internet, concepts et émergences

Question de vocabulaire

Les grandes étapes

Principes essentiels

Complexité et émergences dans tout ça

 **La gouvernance**

Franchouillardises des années 1970

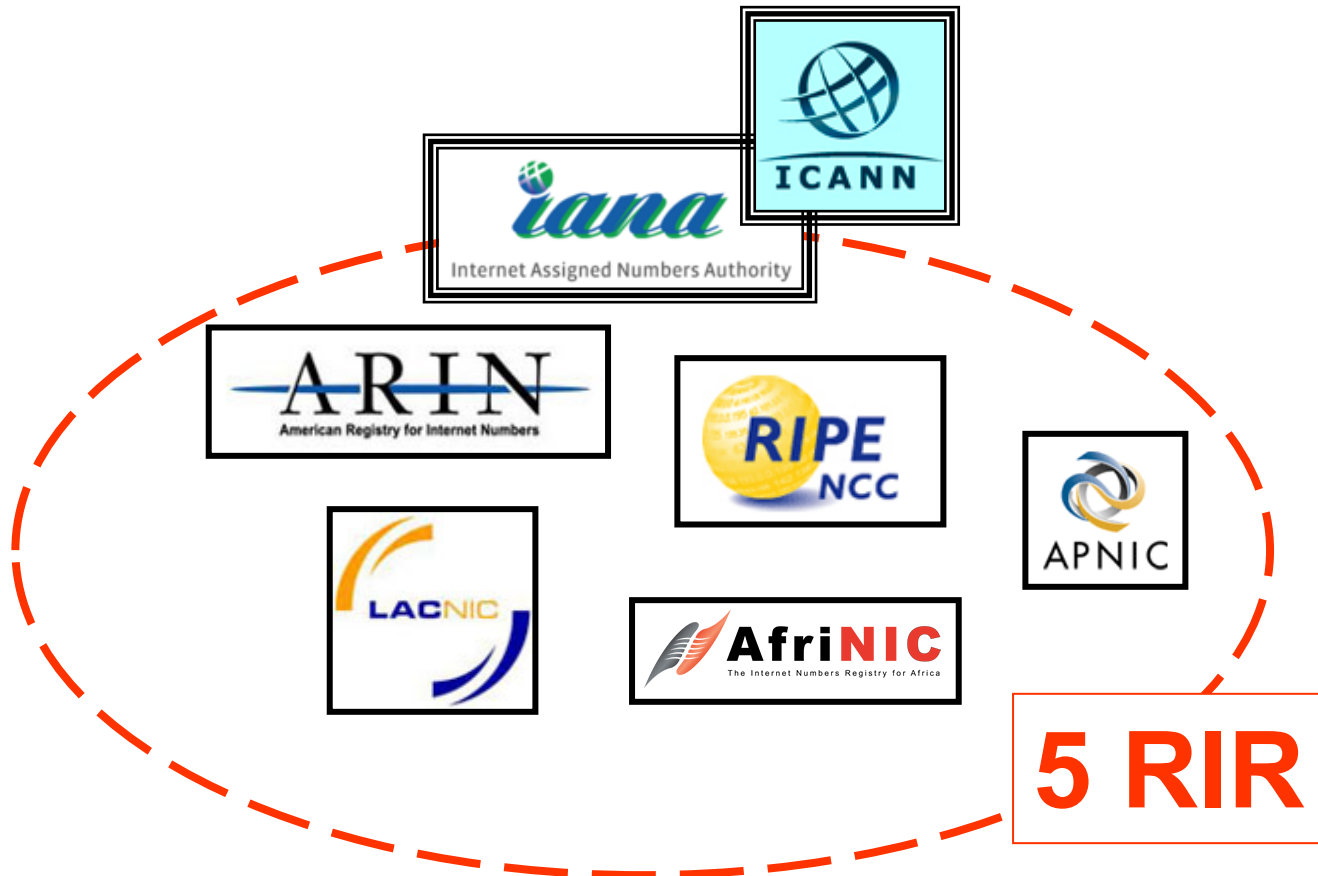
Aujourd'hui et demain

Gouvernance technique

- Adresses IPV4, V6, Numéros des A.S., noms de domaines
 - ICANN
 - IANA
 - RIR
- Protocoles et standards techniques
 - IAB (Internet Architecture Board) et IETF (Internet Engineering Task Force) : standards de communication via les RFC
- Divers
 - W3C, IEEE
 - W3C (World Wide Web Consortium)

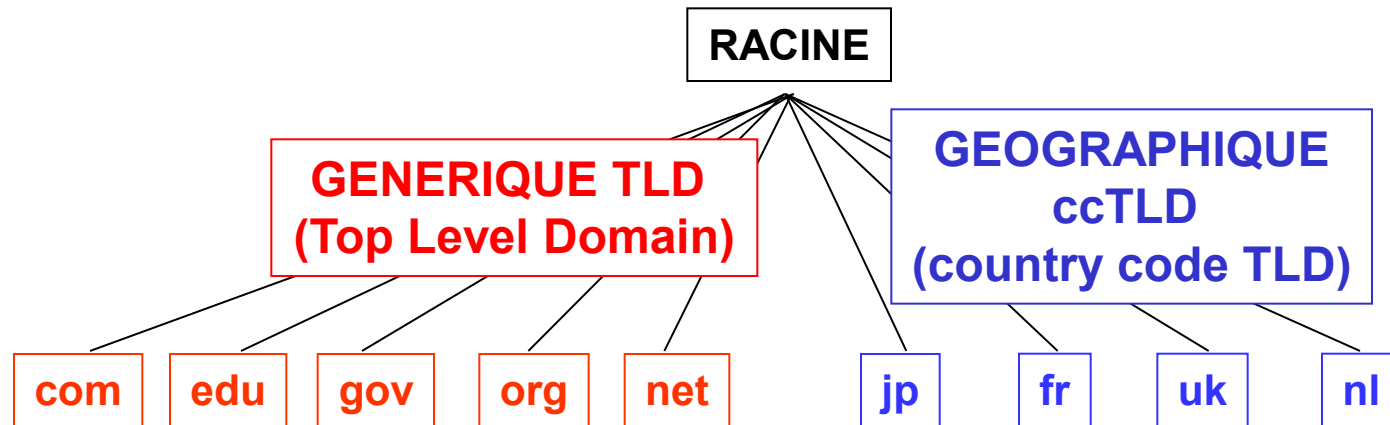
La gouvernance d'Internet

Les ressources d' **adresses IP**, les **N° d'AS** et les **noms de domaine** sont attribués par une gouvernance "américano mondiale" selon 5 zones géographiques.



Domain Name Server (DNS)

La gouvernance des **DNS** est associée à la gestion des adresses IP.



Chaque domaine dispose au moins d'un serveur de noms (liste des noms des hôtes et de leur adresse IP. Une application appelée « **solver** » recherche l'adresse **IP** correspondant au **DNS** contenu dans le service demandé (par exemple: **www.uco.fr** ⇔ **193.49.1.195**). Des caches existent sur le portail de l'ISP et même sur chaque station.

La gestion du DNS se fait sous la supervision de l'ICANN

Histoire d'internet, concepts et émergences

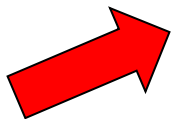
Question de vocabulaire

Les grandes étapes

Principes essentiels

Complexité et émergences dans tout ça

La gouvernance



Franchouillardises des années 1970

Aujourd'hui et demain

Internet: les contributions françaises

Préhistoire

1962 Principes Commutation de Paquets

1969 Démarrage du réseau Arpanet

1972 Projets français (RCP, Cyclades)

1974 Publication de TCP/IP

1978 Ouverture Transpac

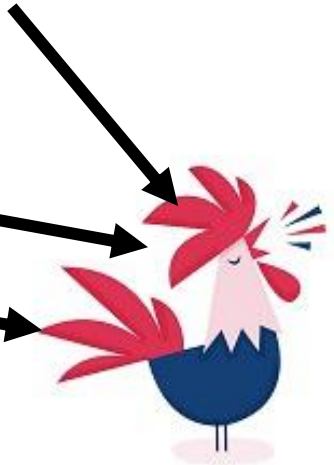
1982 Lancement Minitel

1983 Arpanet devient Internet

TCP dans UNIX Berkeley

TCP imposé dans Internet

Maturité



Divergences franco-françaises

Deux projets français lancés en 1972: Cyclades et RCP (maquette de Transpac) inspirés d'Arpanet

Un seul point commun: usage de la commutation par paquets, mais toutes raisons d'une divergence:

- Objectifs très différents
- Vision et culture
- Contexte technocratique-administratif (Délégation à l'informatique vs PTT)
- Rivalité de 2 équipes françaises (CNET et INRIA) mais à **l'avant-garde de la R&D internationale**

Deux cultures

Louis Pouzin (dans la recherche, 2003) :

« Le premier Arpanet utilisait une technique hybride de datagrammes astreints à une arrivée en séquence. Cigale a été le premier réseau appliquant intégralement le principe du datagramme, qui a été adopté ultérieurement par l'Arpanet, et maintenant l'Internet. En revanche, Transpac, le réseau de paquets de France Télécom, a utilisé les circuits virtuels. L'approche datagramme est de souche informatique. L'approche circuit virtuel est de souche télécom. Ces deux courants de pensée sont comme l'eau et l'huile, et s'opposent depuis les origines. »

Point de vue des PTT

Au début des années 1970 les opérateurs de télécom (encore PTT) planifiaient les premiers réseaux commutés numériques, avec deux versions possibles: commutation de circuits (type téléphonie) et commutation de paquets. Cette version fut préférée en France:

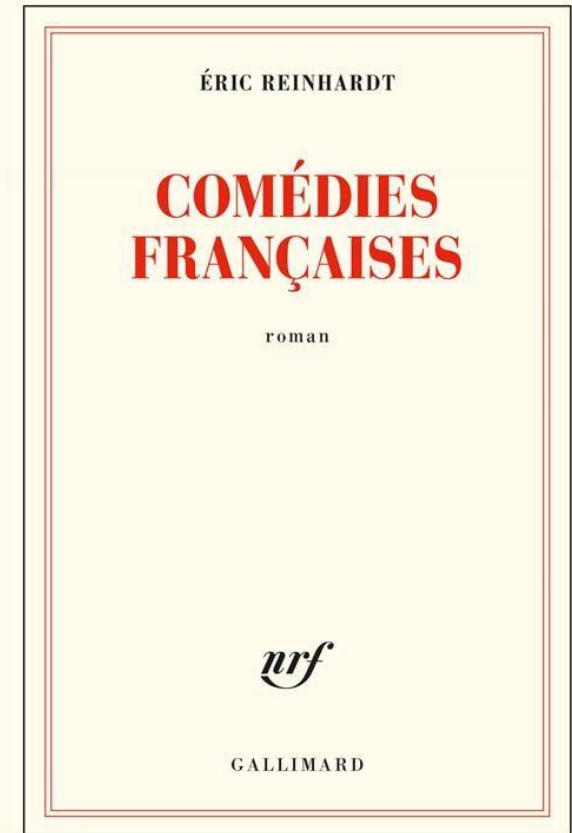
- *Adaptée au marché informatique du moment*
- *Initiatives de grandes entreprises (CIGREF)*
- *Rivalité avec l'IRIA*

50 ans après

A l'occasion du **50eme anniversaire du démarrage** d'Arpanet, roman porte-parole des orphelins frustrés du Plan Calcul (Maurice Allègre, Louis Pouzin):

- Dénonciation des coupables (Ambroise Roux, Giscard, PTT)
- Scénario utopique: Internet aurait pu être Français
- Fake news à propos de l'invention du datagramme déifié

La contribution de Cyclades à TCP/IP fut reconnue, parmi d'autres notamment celle de Donald Davies avec l'EPSS



Publication de TCP (1974)

A Protocol for Packet Network Intercommunication

VINTON G. CERF AND ROBERT E. KAHN,
MEMBER, IEEE

The authors wish to thank a number of colleagues for helpful comments during early discussions of international network protocols, especially R. Metcalfe, R. Scantlebury, D. Walden, and H. Zimmerman; D. Davies and L. Pouzin who constructively commented on the fragmentation and accounting issues; and S. Crocker who commented on the creation and destruction of associations.

Histoire d'internet, concepts et émergences

Question de vocabulaire

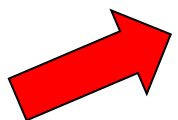
Les grandes étapes

Principes essentiels

Complexité et émergences dans tout ça

La gouvernance

Franchouillardises des années 1970

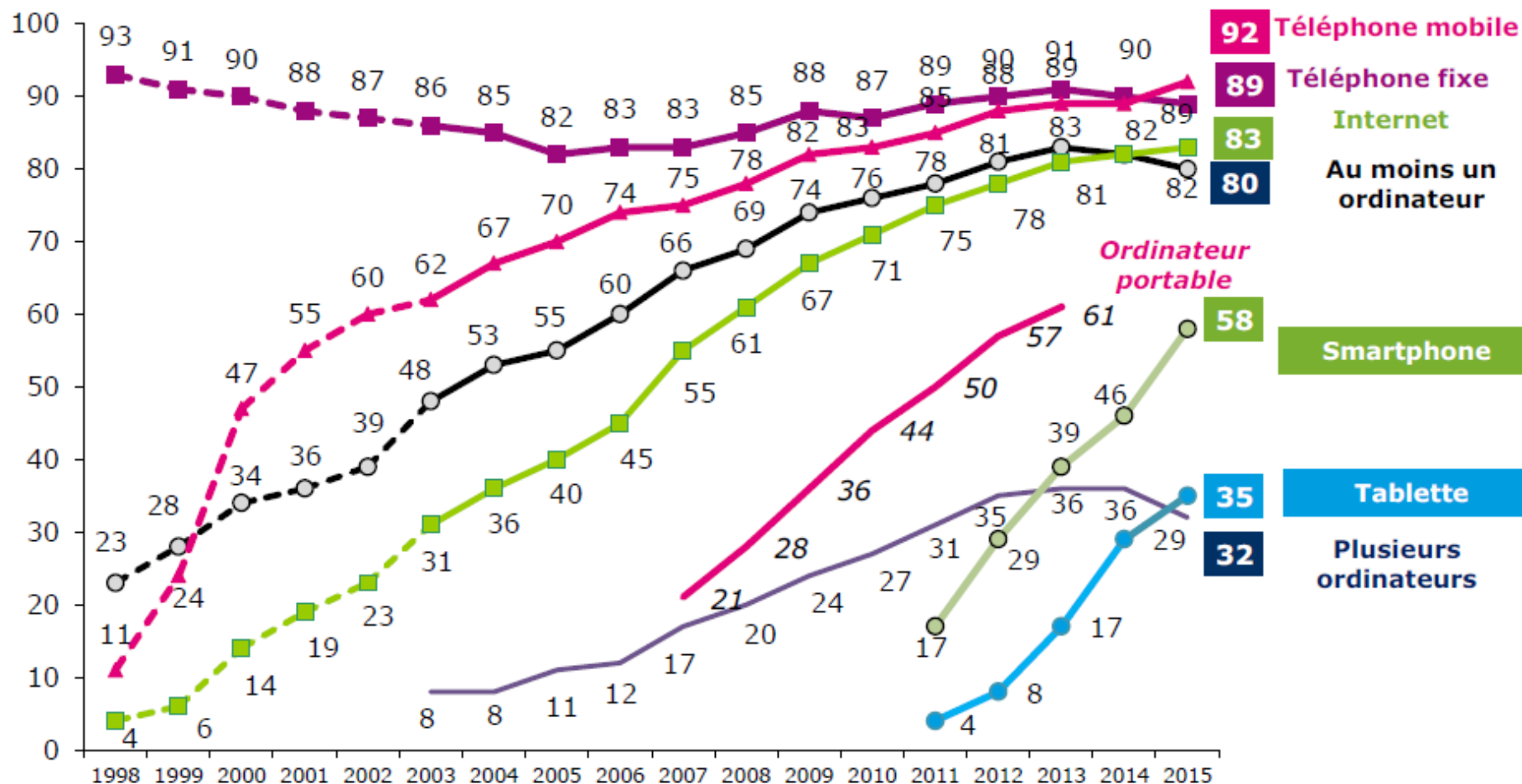


Aujourd'hui et demain

1995-2015: 20 années décisives

Taux d'équipement en téléphonie, ordinateur et internet à domicile

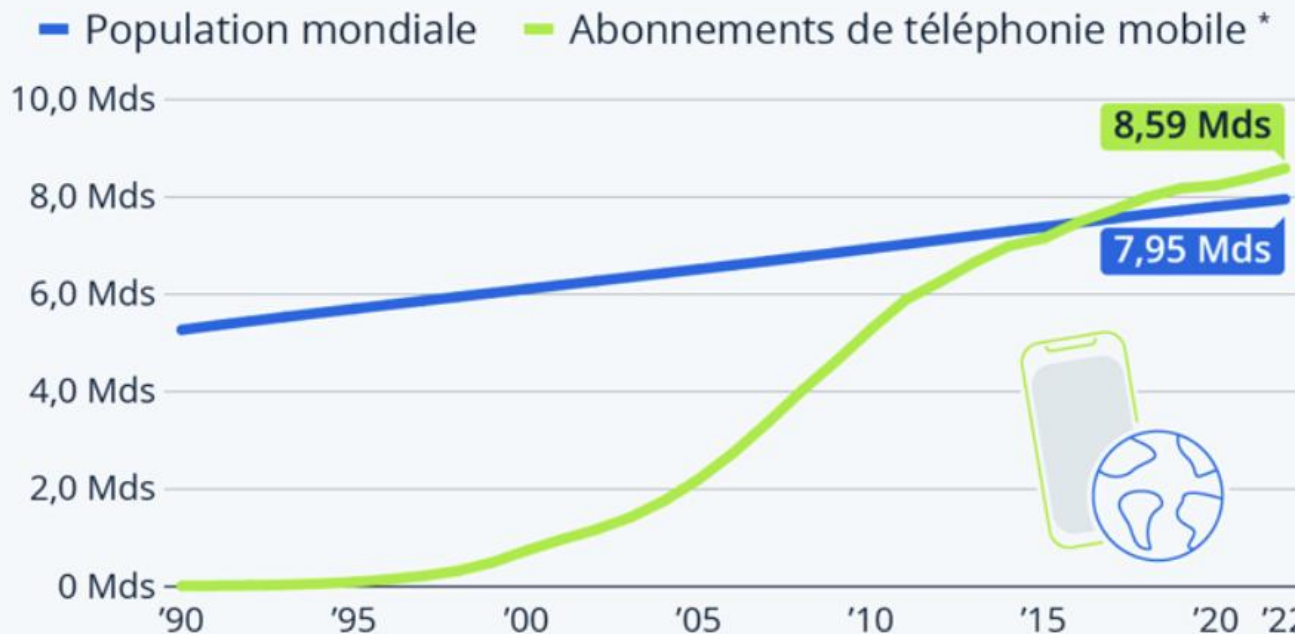
- Champ : population de 12 ans et plus, en % -



Usage d'internet universel

Plus de téléphones portables que d'humains sur Terre

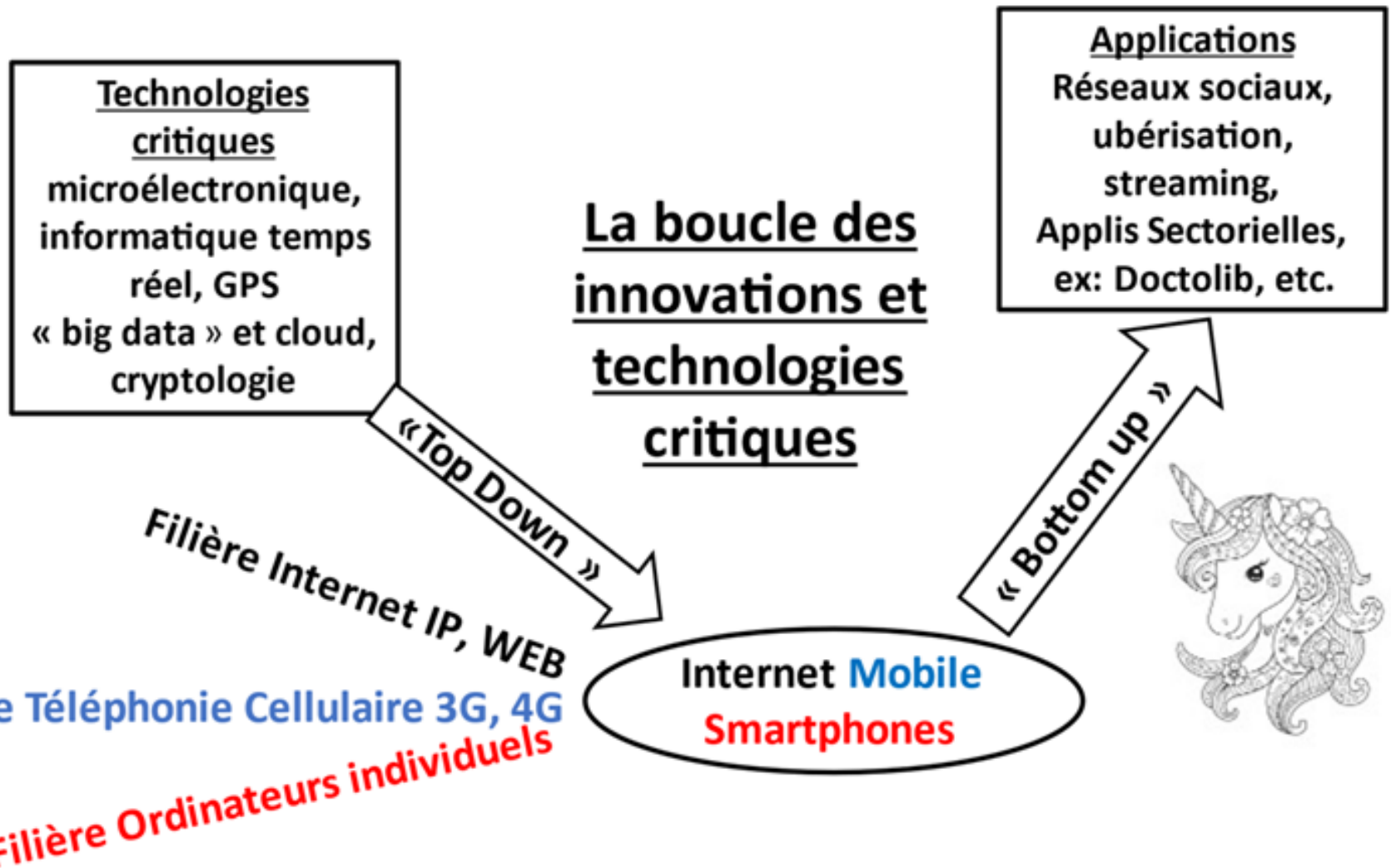
Nombre estimé d'abonnements à la téléphonie mobile comparé à la population mondiale



* Comprend les forfaits postpayés et prépayés actifs offrant des communications vocales ; hors abonnements via cartes de données ou modems USB, services de radiomessagerie et télémétrie.

Sources : UIT, Banque mondiale, Division de la population des Nations unies

Internet pour le grand public



Evolutions contemporaines

- **Passage progressif de IPV4 à IPV6**
- **Introduction de la technologie **MPLS** généralisée à tous les grands réseaux**
- **Adaptation aux flux intenses et au cloud: les **CDN** (Content Data Network)**
- **L'internet mobile et les smartphones**
- **L'extension des accès par satellites en orbite basse**

Le MPLS

- **Multiprotocol Label Switching (MPLS)** est un mécanisme de transport de données basé sur la commutation de labels (peut s'apparenter aux circuits virtuels)
- **Conçu pour améliorer les mécanismes IP de base:**
 - Gérer les priorités de trafic
 - Améliorer le « best effort »
 - Alléger la charge des routeurs
- **Généralisé dans tous les grands réseaux:**
 - Opérateurs de télécom
 - Réseaux d'entreprise et gestion de VPN

Les CDN

- Les CDN sont des réseaux de serveurs utilisés pour distribuer efficacement du **contenu** sur Internet
- Selon diverses sources entre **60 % et 80 %** du trafic Internet mondial transite par des CDN
- Les grands CDN : Cloudflare, Akamai, Amazon CloudFront, Google CDN, Fastly
- Quelques principes « court circuitant » l'internet général:
 - Mise en cache
 - Réseau distribué de serveurs (Points of Presence – PoP)
 - Routage intelligent / géo localisé

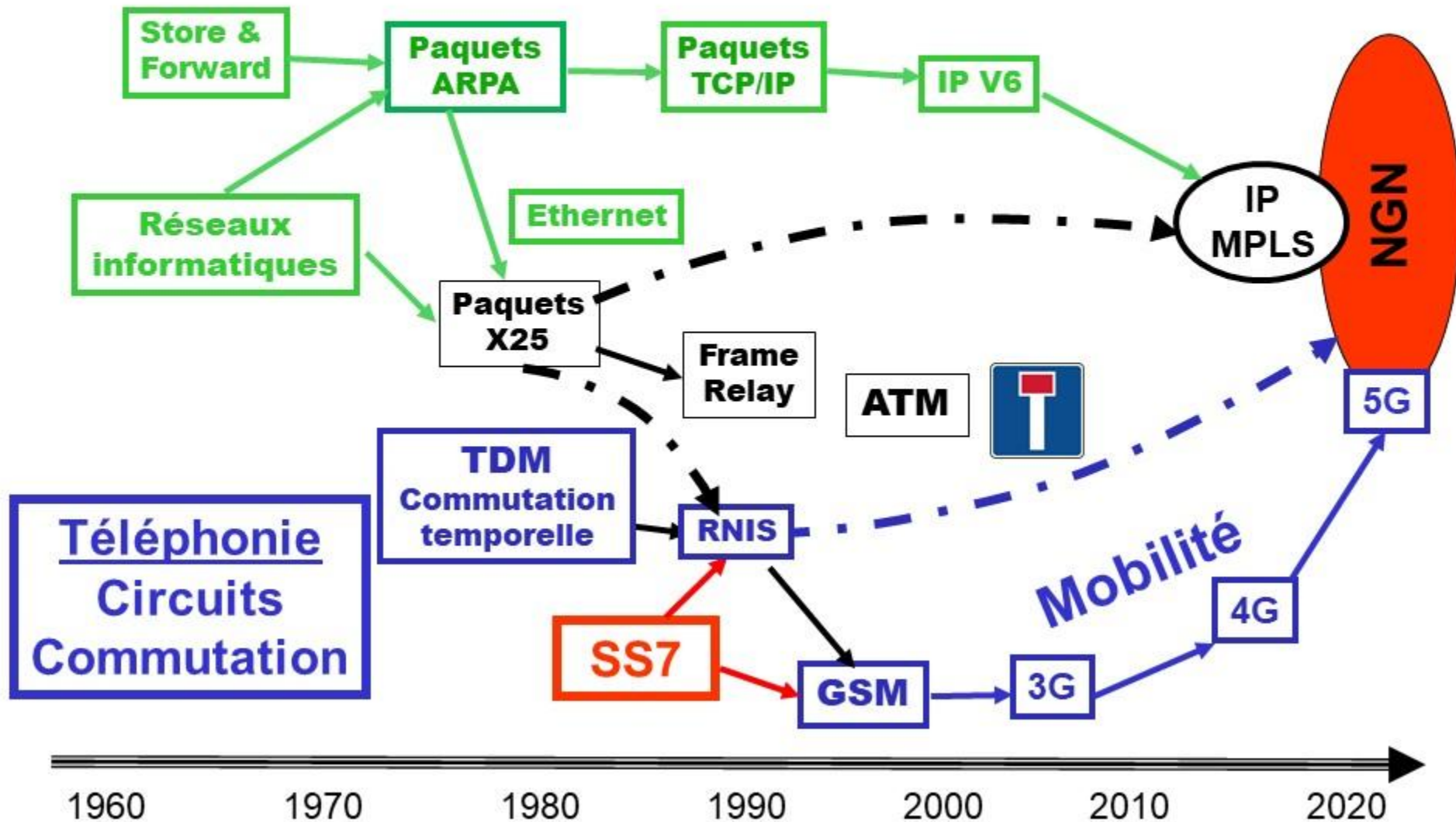
Résilience

- La réflexion de Paul Baran était d'imaginer un réseau maillé résistant à une destruction partielle
- La structure actuelle d'Internet répond partiellement à cet objectif:
 - Structure « petit monde » avec de nombreux points névralgiques (câbles optiques, nœuds de transit et hubs)
 - Serveurs DNS centralisés malgré les duplications
 - Cyber attaques
- Mais:
 - Fonctionnement asynchrone
 - Routage adaptatif
 - Et surtout, contrôle de flux décentralisé hors réseau

**A comparer avec le système électrique
vulnérable (stabilité en fréquence, pas de délestage
automatique, etc.)**

Informatique
Messages
Routage

Evolution Darwinienne des réseaux



Back up

Maturation des idées

	DATAGRAMME	CIRCUIT VIRTUEL	ROUTAGE PAR PAQUET	ROUTAGE PAR SESSION	CONTRÔLE DE FLUX	ANNEE
ARPANET					IMP	1969
CYCLADES					ETTD	1972
X25					RESEAU	1975
TCP/IP					ETTD	1974
MPLS					ETTD	1995

Routage IP: 2 niveaux logiques

1. Entre les **AS: BGP**
2. Internes aux **AS**

La "tripaille complexe" de transmission LAN et WAN est masquée par la couche IP qui permet un **transport de bout en bout** entre deux appareils quelconques, piloté par TCP.

NB: un réseau mobile est assimilable à un AS

