

Histoire des réseaux

Pierre David

pda@unistra.fr

Université de Strasbourg – Master CSMI

2023 – 2024

Plan

Les prémices

Du télégraphe à l'Internet

Vers l'Internet

L'Internet

Licence d'utilisation

©Pierre David

Disponible sur <https://gitlab.com/pdagog/ens>

Ces transparents de cours sont placés sous licence « Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International »

Pour accéder à une copie de cette licence, merci de vous rendre à l'adresse
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Histoire des réseaux

De toutes temps, les hommes ont cherché à communiquer à distance :

- ▶ signaux de fumée
- ▶ tambour
- ▶ bouteille à la mer
- ▶ pigeon voyageur
- ▶ sémaphores

Plan

Les prémices

Du télégraphe à l'Internet

Vers l'Internet

L'Internet

Les prémisses – La poste

- ▶ 500 av J.C. : le roi Cyrus couvre l'empire perse de relais de poste
- ▶ 1477 : Louis XI crée les relais de poste
- ▶ 1783 : service maritime entre la France et les États-Unis
- ▶ 1791 : inviolabilité de la correspondance (décret = vœu pieux)
- ▶ 1829 : distribution du courrier sur tout le territoire français
 - ▶ 5 000 facteurs, 200 000 km de tournées
- ▶ 1874 : Union générale des postes → Union postale universelle
 - ▶ en 1947, rattachement à l'ONU



Enseigne à Hautvillers http://dompassions2.vip-blog.com/vip/article/4674480_Relais-de-Poste-mais-o%C3%B9-.html

La poste délivre un message physique

⇒ il faut dématérialiser le message pour le télétransmettre

Les prémisses – Télégraphe optique de Chappe



Tour de l'ancien télégraphe Chappe à Saverne, ©SHPTA
<http://musee.ptt.alsace.pagesperso-orange.fr/>

- ▶ 1793-1855 : la France se couvre de lignes du télégraphe optique de Claude Chappe
- ▶ 1798 : Paris-Strasbourg (500 km)
⇒ transmission = 2 h
 - ▶ au lieu de 4 jours à cheval

- ▶ réseau très développé jusqu'au milieu du XIX^e siècle
 - ▶ 5 000 km en étoile autour de Paris
 - ▶ 29 villes, 534 stations
 - ▶ copié dans d'autres pays
- ▶ supplanté par le télégraphe électrique à partir des années 1850



Le réseau Chappe en France 1793–1850 – Jeunamateur Wikimedia Commons

Le réseau Chappe en France

Directions (date de création)

● 1793-1800

● 1800-1815

● 1815-1830

● Après 1830

Lignes (date de création)

— 1793-1800

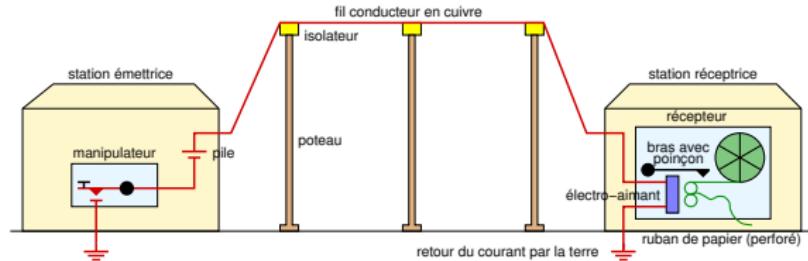
— 1800-1815

— 1815-1830

— Après 1830

Les prémisses – Télégraphe électrique

- ▶ 1832 : invention du télégraphe électrique par S. Morse
- ▶ 1838 : brevet par S. Morse (mécanisme + code)
- ▶ 1839 : ligne au nord de Londres par C. Wheatstone
- ▶ 1845 : ligne entre Washington et Baltimore



Manipulateur Morse
© Lauren.mcalary Wikimedia Commons

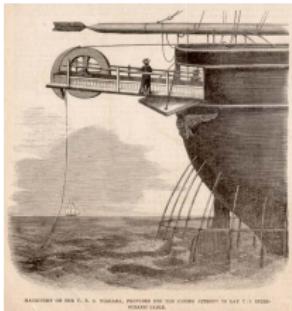
A	• -	K	• • -	U	• - -	1	• - - -
B	- • -	L	• - -	V	• - - -	2	- • - -
C	- - •	M	- - -	W	- - - -	3	- - • -
D	- - -	N	- -	X	- - - -	4	- - - -
E	-	O	- - -	Y	- - - -	5	- - - -
F	• - -	P	- - -	Z	- - - -	6	- - - -
G	- - -	Q	- - -			7	- - - -
H	- - -	R	- - -			8	- - - -
I	• -	S	• - -			9	- - - -
J	- - -	T	-			0	- - - -



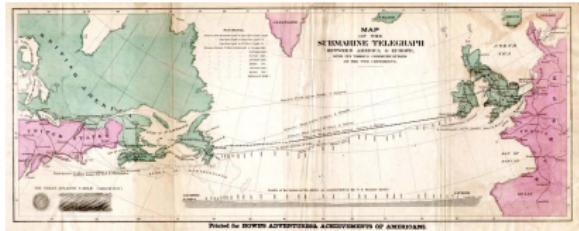
Récepteur Morse
© Rauantiques Wikimedia Commons

Les prémisses – Câbles sous-marins

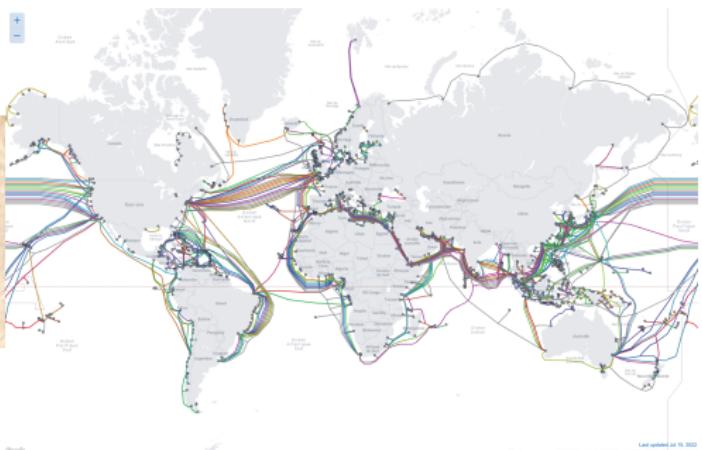
- ▶ 1850 : premier câble transmanche (Cap Gris-Nez / cap Southerland)
- ▶ 1858 : premier câble transatlantique (Irlande / Terre-Neuve)
- ▶ 1866 : deuxième câble transatlantique



Navire câblier USS Niagara
Bill Burns <https://atlantic-cable.com>



Tracé du câble de 1858 – ©@ Wikimedia Commons



Câbles sous-marins en 2022
© TeleGeography <https://www.submarinecablemap.com/>

Les prémisses – Télégraphie sans-fil

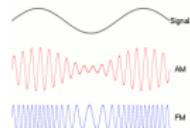
XIX^e siècle : Romagnosi, Ørsted, Ampère, Faraday, Maxwell, Branly, Hertz, Tesla, Popov, Lodge, Fessenden, Stone, Bose...

Marconi :

- ▶ 1895 : liaison de 1,5 km (Alpes suisses)
- ▶ 1897 : transmission de code Morse sur 13 km
- ▶ 1897 : The Wireless Telegraph & Signal Company
- ▶ 1899 : première liaison transmanche
- ▶ 1901 : première liaison transatlantique
- ▶ 1906 : conférence de Berlin (lg onde = 600 m)
- ▶ 1909 : prix Nobel
- ▶ 1912 : naufrage du Titanic
- ▶ 1920 : première émission radiophonique
- ▶ 1922 : BBC



Guglielmo Marconi
© Library of Congress



Berserkerus
Wikimedia Commons

Les prémices – Améliorations du télégraphe

Comment accélérer la transmission ?

⇒ minimiser l'intervention humaine pour coder/décoder le Morse

Améliorations :

- ▶ 1843 : télégraphe à cadran de Froment (F)
- ▶ 1844 : télégraphe alphabétique de Bréguet (F)
- ▶ 1846 : télégraphe à aiguilles de Siemens (D)
- ▶ 1860 : télégraphe imprimeur de Hughes (UK)
- ▶ 1870 : définition du code Baudot (France)
- ▶ 1874 : télégraphe multiplexeur-imprimeur de Baudot (F)
multiplexage temporel pour optimiser le débit

T	E	S	A	N
-	-	-	-	-
+	-	-	-	-
-	+	-	-	-
-	-	+	-	-
-	-	-	+	-
-	-	-	-	+
++	-	-	-	-
-	++	-	-	-
-	-	++	-	-
-	-	-	++	-
-	-	-	-	++
---	-	-	-	-
-	---	-	-	-
-	-	---	-	-
-	-	-	---	-
-	-	-	-	---

Code Baudot – Brevet 1888
CC BY-SA Wikimedia Commons



Clavier Baudot
CC BY-SA Wikimedia Commons



Ruban Baudot
CC BY-SA Ricardo Ferreira de Oliveira
Wikimedia Commons

Les prémisses – Télex

Problème : routage des télégrammes

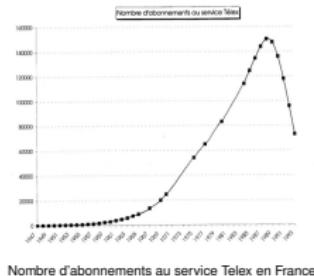
- ▶ à partir des années 1920 : utilisation du réseau téléphonique
- ▶ télécriteurs
 - ▶ cadran pour composer le numéro
 - ▶ données transmises avec le code Baudot
- ▶ transmission à 45,5 bauds



Telex Siemens T100
© Flominator Wikimedia Commons

Construction d'un réseau séparé : le réseau Télex

- ▶ TELEgraph EXchange
- ▶ D : années 1930, CH : 1935, F : 1946
- ▶ numéros d'appel sur 6 chiffres
- ▶ 2010 : 3 millions de lignes Télex encore en service
- ▶ 2017 : arrêt de l'exploitation par Orange en France



Nombre d'abonnements au service Telex en France

Les prémisses – Modem

Modem = Modulateur/Démodulateur

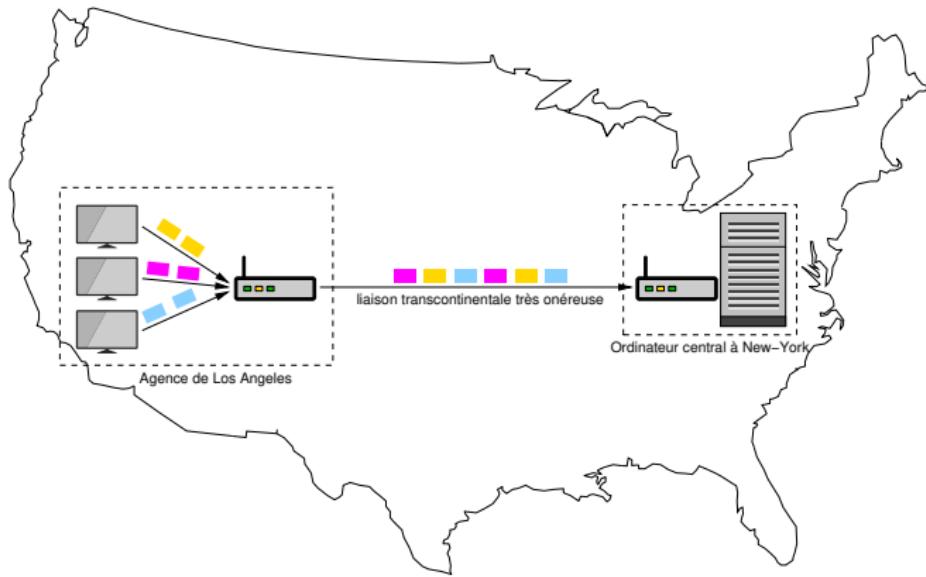


- ▶ deux procès majeurs :
 - ▶ 1948-56 : « Hush-a-phone v. United States »
⇒ modems acoustiques
 - ▶ 1968 : « Carterfone v. AT&T »
⇒ modems numériques connectés électriquement
- ▶ première utilisation massive :
 - ▶ transmission des données « radar » aux ordinateurs du système SAGE (1958)
 - ▶ modems acoustiques : max 300 bauds, en pratique 110 ou 150

Les prémisses – Multiplexage temporel

Plusieurs terminaux proches connectés à un ordinateur distant : comment optimiser l'utilisation des liaisons ?

Multiplexage temporel (1966) :



Plan

Les prémices

Du télégraphe à l'Internet

Vers l'Internet

L'Internet

Du télégraphe à l'Internet

Les premières connexions « informatiques » :

- ▶ 1940 : G. Stibitz utilise un télécriteur pour envoyer des instructions à son Model I aux Bell Labs (~500 km)
- ▶ 1955 : SABRE relie 1200 télécriteurs à travers les États-Unis
- ▶ 1958 : utilisation de modems Bell pour transmettre les données « radar » aux ordinateurs du système SAGE
- ▶ 1962 : L. Roberts connecte le TX-2 (MIT) avec le Q-32 (Californie)

Comment passer d'une connexion terminal-ordinateur à un réseau ?

De qui parle-t'on ?

- ▶ ISO : International Organization for Standardization
 - ▶ En français : Organisation internationale de normalisation
- ▶ ANSI : American National Standard Institute
 - ▶ Représente les Etats-Unis à l'ISO
- ▶ IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
- ▶ ARPA : Advanced Research Projects Agency
 - ▶ ou DARPA (Defense...) en 1973
- ▶ NSF : National Science Foundation
- ▶ CNET : Centre National d'Études des Télécommunications

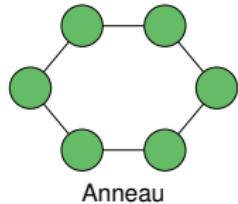


NASA – Wikipedia Commons

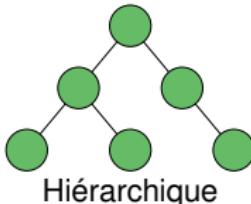
De qui parle-t'on ?

Échelle	Nom	Signification
< ~ 1 m	PAN	Personal Area Network
< ~ 1 km	LAN	Local Area Network
< ~ 10 km	MAN	Metropolitan Area Network
> ~ 10 km	WAN	Wide Area Network

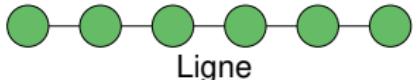
Topologies de réseau



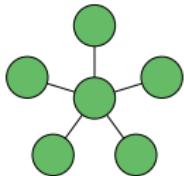
Anneau



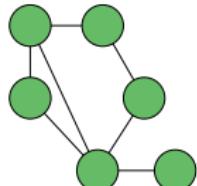
Hiérarchique



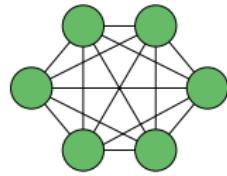
Ligne



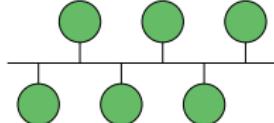
Étoile



Maillé



Graphe complet



Bus

Réseaux propriétaires

Au début des années 1970, les grands constructeurs développent et proposent leurs « architectures de réseaux »

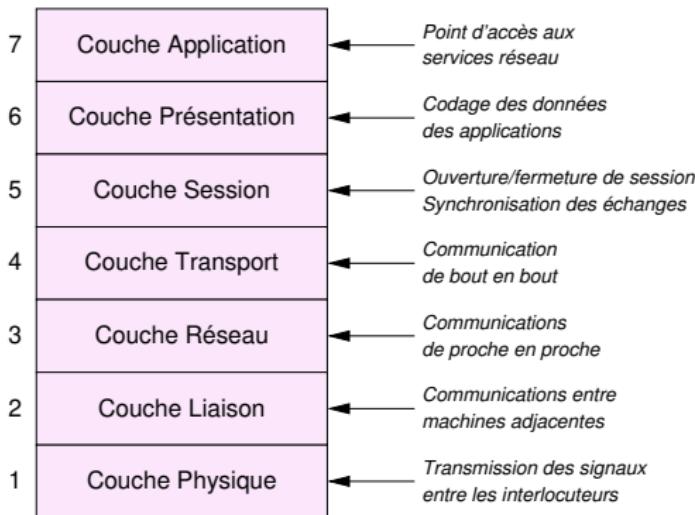
Quelques exemples :

IBM	SNA	Systems Network Architecture	1974
DEC	DECnet	Digital Equipment Corp. Network	1974
Honeywell-Bull	DSA	Distributed Systems Architecture	1971
Burroughs	BNA	Burroughs Network Architecture	fin années 1970
etc			

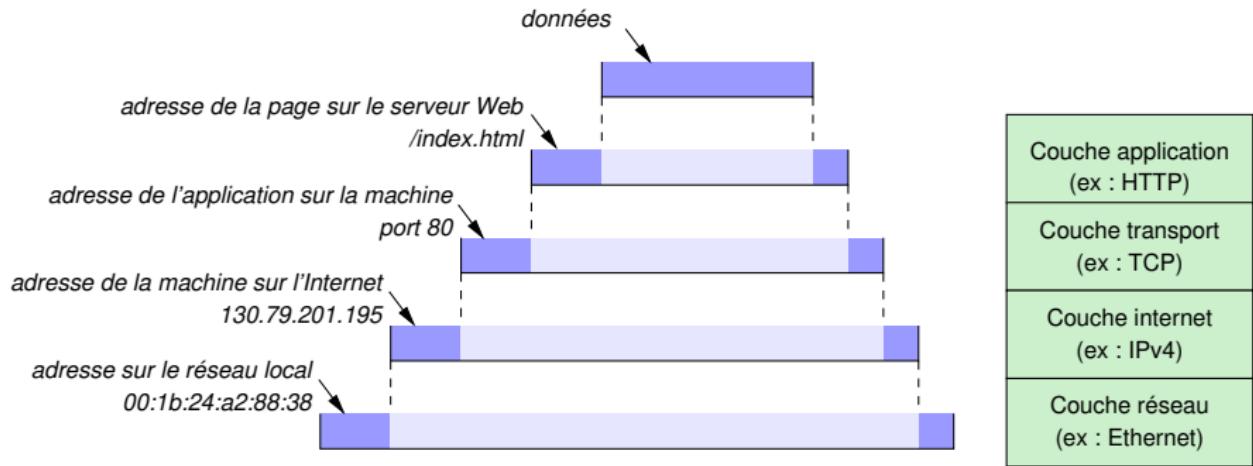
Ces architectures fonctionnent (généralement) bien mais enferment chez un constructeur

Décomposition en couches

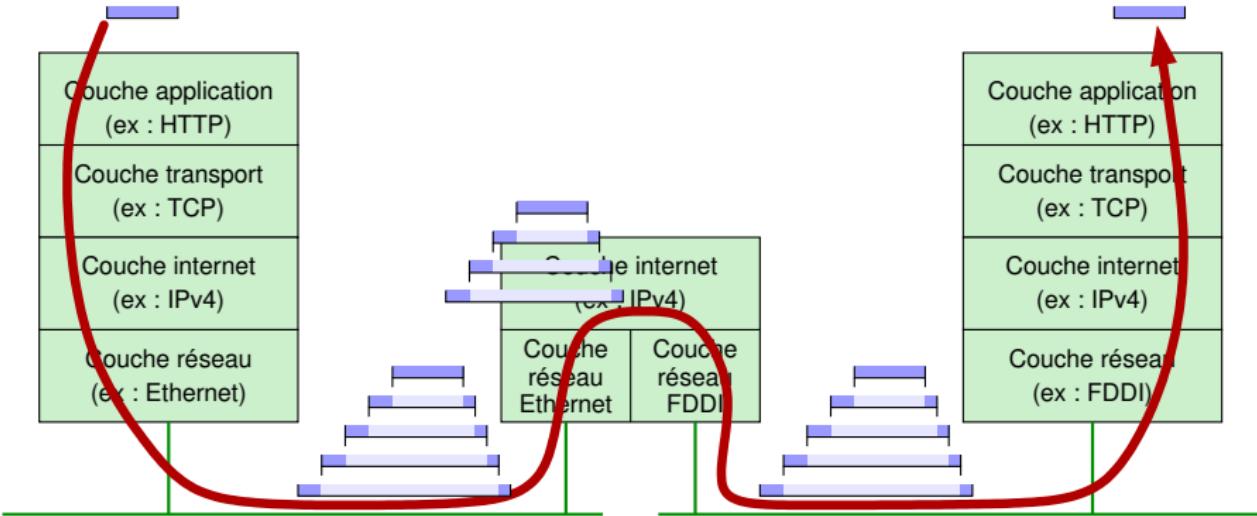
- ▶ 1972 : modèle CYCLADES
- ▶ 1975 : modèle TCP/IP (Internet)
- ▶ 1976 : modèle X25
- ▶ 1978 : modèle OSI (Open System Interconnection) de l'ISO :



Décomposition en couches et encapsulation



Passerelle



Réseaux locaux

Fin des années 1970, début des années 1980 : des technologies concurrentes

- ▶ Début des travaux de normalisation par l'IEEE : 1980
- ▶ **Token Ring** (IBM) : normalisé en 1985 (4 Mb/s, puis 16 Mb/s, puis 100 Mb/s)
- ▶ **Token Bus** (General Motors) : normalisé en 1983, destiné aux applications industrielles
- ▶ **Ethernet** (Xerox) : normalisé en 1985
- ▶ **FDDI** (Burroughs) : normalisé en 1986, fibre optique, jusqu'à 200 km et 100 Mb/s
- ▶ **AppleTalk** (Apple) : conçu en 1984 pour le Macintosh, jusqu'à 300 m et 230 Kb/s

Réseaux locaux – Ethernet

Repères :

- ▶ 1973-74 : conception au Xerox PARC : 3 Mb/s, jusqu'à 1 km
- ▶ 1979 : alliance DEC, Intel et Xerox pour en faire une norme
- ▶ 1982 : spécifications v2.0 à 10 Mb/s, norme européenne ECMA TC24
- ▶ 1983 : draft norme IEEE (10Base5)
- ▶ 1985 : norme IEEE
- ▶ 1988 : norme 10Base2, répéteurs
- ▶ 1990 : 10BaseT
- ▶ 1995 : Fast Ethernet 100 Mb/s
- ▶ 1998 : Ethernet 1 Gb/s
- ▶ 2002 : Ethernet 10 Gb/s
- ▶ 2010 : Ethernet à 40 et 100 Gb/s

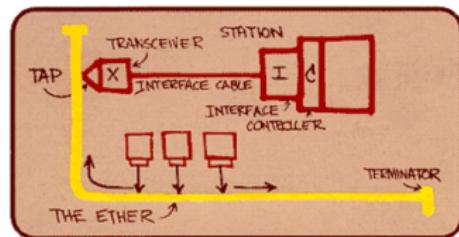
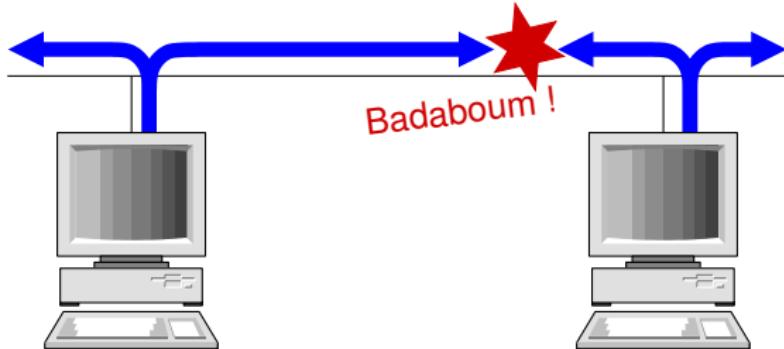


Schéma de Robert Metcalfe en 1976 – pas de copyright connu

Réseaux locaux – Ethernet

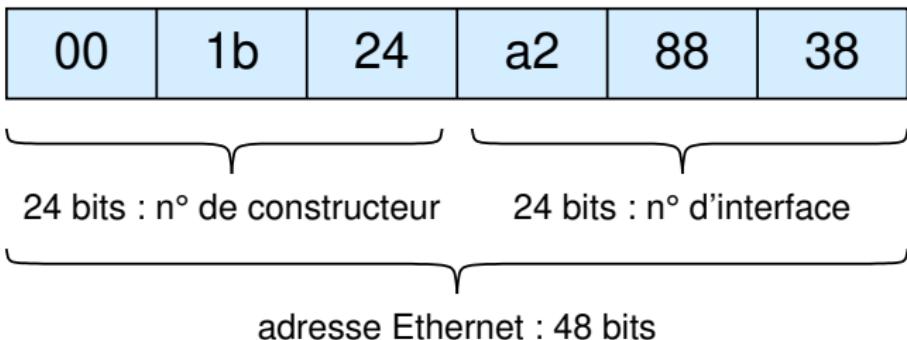
Principe de fonctionnement : **bus** + détection de **collision**



1. j'écoute le câble et j'attends que personne ne parle
2. j'émet, tout en surveillant que personne ne parle
3. si quelqu'un parle, j'attends un temps aléatoire et je recommence

Réseaux locaux – Ethernet

Principe de fonctionnement : adresses



- ▶ chaque interface réseau possède une adresse Ethernet unique
- ▶ format d'adresses normalisé par l'IEEE
⇒ repris pour la plupart des réseaux locaux

Réseaux locaux – Ethernet – Connexions

1973



Transceiver 10Base-5
©①② Alistair1978 Wikimedia Commons

1988



Câble 10Base-2 avec un T
©①② Dflock Wikimedia Commons

1995



Connecteur LC fibre optique
©①② Adamantios Wikimedia Commons

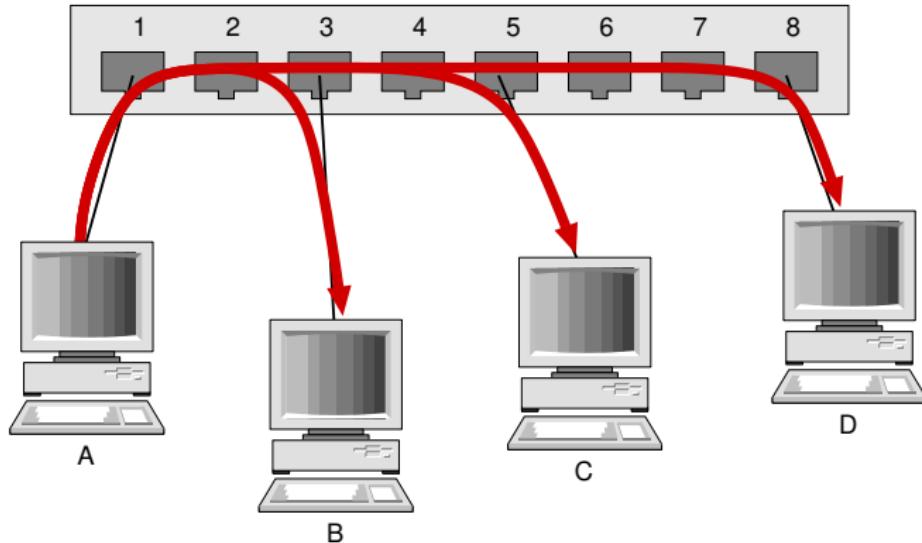
1990



Câble 10Base-T avec connecteur RJ-45
©①② Dflock Wikimedia Commons

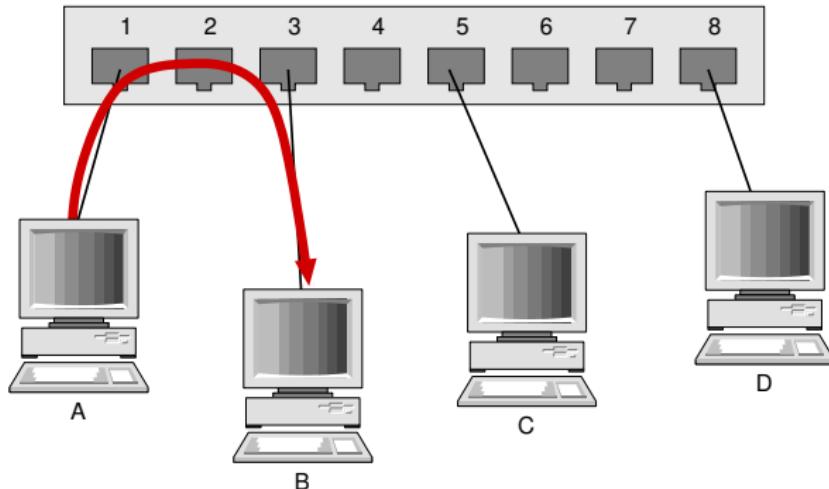
Réseaux locaux – Ethernet

Concentrateur Ethernet : A veut dialoguer avec B



Réseaux locaux – Ethernet

Commutateur Ethernet : A veut dialoguer avec B



Netgear GS105
© Netgear



Juniper MX960
© Juniper

Premier commutateur : société Kalpana (1989)

Réseaux locaux – Ethernet

Bilan :

- ▶ Les réseaux locaux sont apparus avec les mini-ordinateurs
 - ▶ un site peut comporter plusieurs ordinateurs ⇒ réseau
 - ▶ prolifération de réseaux locaux dans les années 1970
- ▶ Ethernet = technologie simple, robuste et peu onéreuse
 - ▶ pas forcément la meilleure au plan théorique
- ▶ Alliance DEC-Intel-Xerox pour promouvoir une norme
 - ▶ alliance industrielle forte, renforcée (Siemens, 3Com)
 - ▶ avance sur la spécification ⇒ norme européenne
 - ▶ nombreux produits (circuits intégrés, cartes réseau, équipements)
 - ▶ facteur d'échelle ⇒ diminution des prix
- ▶ Évolution
 - ▶ préservation de la compatibilité

Réseaux longue distance

Grandes catégories :

- ▶ Liaison louée (ou liaison spécialisée)
- ▶ Commutation de circuit
- ▶ Commutation de paquets
- ▶ Commutation de cellules

Réseaux longue distance

Liaison louée : analogue à une ligne téléphonique, sauf :

- ▶ pas de numéro de téléphone
- ▶ connexion permanente

Dans les années 1970 : conversion des réseaux téléphonique au « tout numérique »

⇒ les liaisons sont multiplexées au sein des réseaux d'opérateurs.

Une liaison louée est un canal de communication « point à point »

Facturation typique : forfait par mois

Réseaux longue distance

Commutation de circuits : analogue à une liaison louée, sauf :

- ▶ une seule liaison abonné-opérateur
- ▶ pas de liaison spécifique pour chaque destinataire
- ▶ connexions non permanentes

Fonctionnement similaire à celui du réseau téléphonique : un « circuit » dédié est établi tout le long du chemin pendant la durée de la communication.

France : Numéris (nom commercial du protocole défini en 1988)

Facturation : abonnement + connexions (temps + distance)

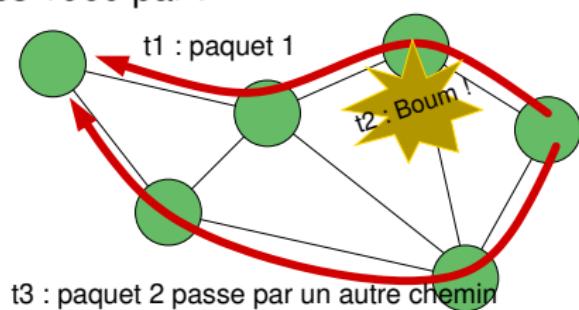
Réseaux longue distance

Commutation de paquets :

- ▶ les données sont découpées en « paquets »
- ▶ chaque paquet est acheminé indépendamment
- ▶ pas de circuit dédié entre les deux parties
- ▶ pas de ressources monopolisées dans le réseau

Concept développé dans les années 1960 par :

- ▶ P. Baran (RAND Corp)
- ▶ D. Davies (NPL)
- ▶ L. Kleinrock (MIT)



La commutation de paquets deviendra la base de l'Internet

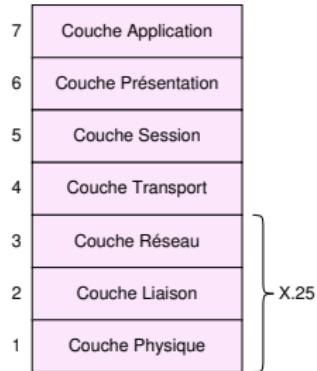
Réseaux longue distance

Initialement, la commutation de paquets ne suscite pas l'adhésion des opérateurs

- ▶ pas de garantie sur les délais et le débit
- ▶ acheminement décentralisé

Réseau X.25 : normalisé en 1976

- ▶ sur proposition de 5 pays
 - ▶ France, Grande-Bretagne, Canada, Belgique, États-Unis
- ▶ En réalité : circuit virtuel (meilleur chemin lors de la connexion)



Réseaux longue distance – Transpac

Transpac était le réseau X.25 opéré par France Télécom :

- ▶ 1970 : le CNET lance une étude pour la création d'un réseau spécialisé pour les données
- ▶ 1971 : rapport Hermès, chapitre sur la commutation par paquets
- ▶ 1974 : Transpac est ouvert en test
- ▶ 1976 : norme X.25
- ▶ 1976-1979 : adoption par les constructeurs (IBM, Bull, etc.)
- ▶ 1978 : création société Transpac, interconnexion internationale
- ▶ 1979 : lancement de l'offre commerciale
- ▶ 1980 : Minitel
- ▶ Années 1980 : plus grand réseau X.25 du monde
- ▶ 2012 : arrêt technique définitif

Minitel

- ▶ 1977 : rapport sur « l'informatisation de la société » de S. Nora et A. Minc (invention du mot « télématique »)
- ▶ 1978 : décision = réseau videotex + terminal peu onéreux
- ▶ 1980-83 : expérimentations
 - ▶ Annuaire électronique (1980 : St Malo : 55 utilisateurs, 1983 : Ille-et-Vilaine : 4000 minitels)
 - ▶ Télétel : 200 fournisseurs de service (1981 : 2500 foyers à Vélizy)
- ▶ 1984 : kiosque (3613, 3614, 3615) + développement des services
- ▶ 1985 : généralisation de l'annuaire électronique
- ▶ 2000 : 25 millions de personnes, 9 millions de terminaux
- ▶ 2009 : arrêt de l'annuaire 3611 (19 M connexions en 2008)



Terminal minitel
CC-BY Bernard Marti
Wikimedia Commons

France Telecom

- ▶ 1878 : Ministère des Postes et Télégraphes
- ▶ 1889 : nationalisation du téléphone
- ▶ 1944 : création du CNET
- ▶ 1978 : création de Transpac
- ▶ 1982 : lancement du Minitel
- ▶ 1988 : DGT (Direction Générale des Télécommunications) rebaptisée « France Télécom »
- ▶ 1990 : lancement du Bi-Bop
- ▶ 1991 : apparition du GSM (1993 en France)
- ▶ 1991 : FT = exploitant de droit public, personnalité morale
- ▶ 1996 : Loi de réglementation des télécommunications
FT = société anonyme, service universel
- ▶ 1998 : ouverture à la concurrence
- ▶ 2003 : création de la filiale Orange SA
- ▶ 2004 : FT = entreprise privée
- ▶ 2006 : la plupart des activités passent sous marque Orange
- ▶ 2007 : l'État ne possède plus de minorité de blocage

Plan

Les prémices

Du télégraphe à l'Internet

Vers l'Internet

L'Internet

Évolution vers l'Internet

- ▶ Année 1960 : une vision
- ▶ Année 1970 : 4 réseaux précurseurs
- ▶ Année 1980 : des réseaux concurrents, et l'Internet
- ▶ Année 1990 : Internet pénètre notre quotidien

Années 1960 – Une vision

- ▶ 1962 : J. Licklider (MIT) est nommé à l'ARPA
 - ▶ vision du « réseau intergalactique »
 - ▶ convaincre de l'intérêt d'un réseau
- ▶ 1965 : R. Taylor est nommé à l'ARPA
 - ▶ 3 terminaux dans son bureau
- ▶ 1965 : connexion TX-2 (MIT) avec Q-32 (Californie)
 - ▶ L. Roberts et T. Marill
 - ▶ liaison téléphonique dédiée avec modems acoustiques
 - ▶ succès, mais... insuffisance de la liaison téléphonique
 - ▶ intérêt de la commutation de paquets
- ▶ 1966 : L. Roberts est nommé à l'ARPA
 - ▶ ARPANET

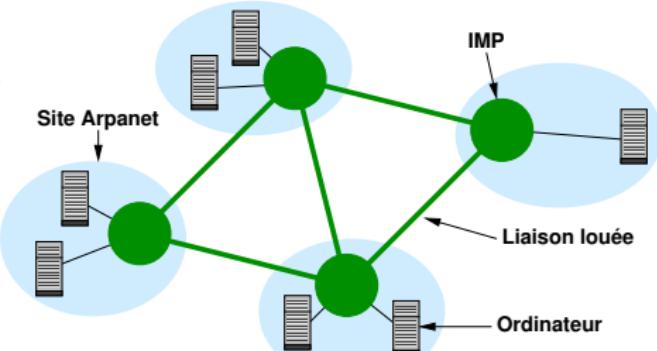
Arpanet

1968 : R. Taylor conçoit un projet de réseau

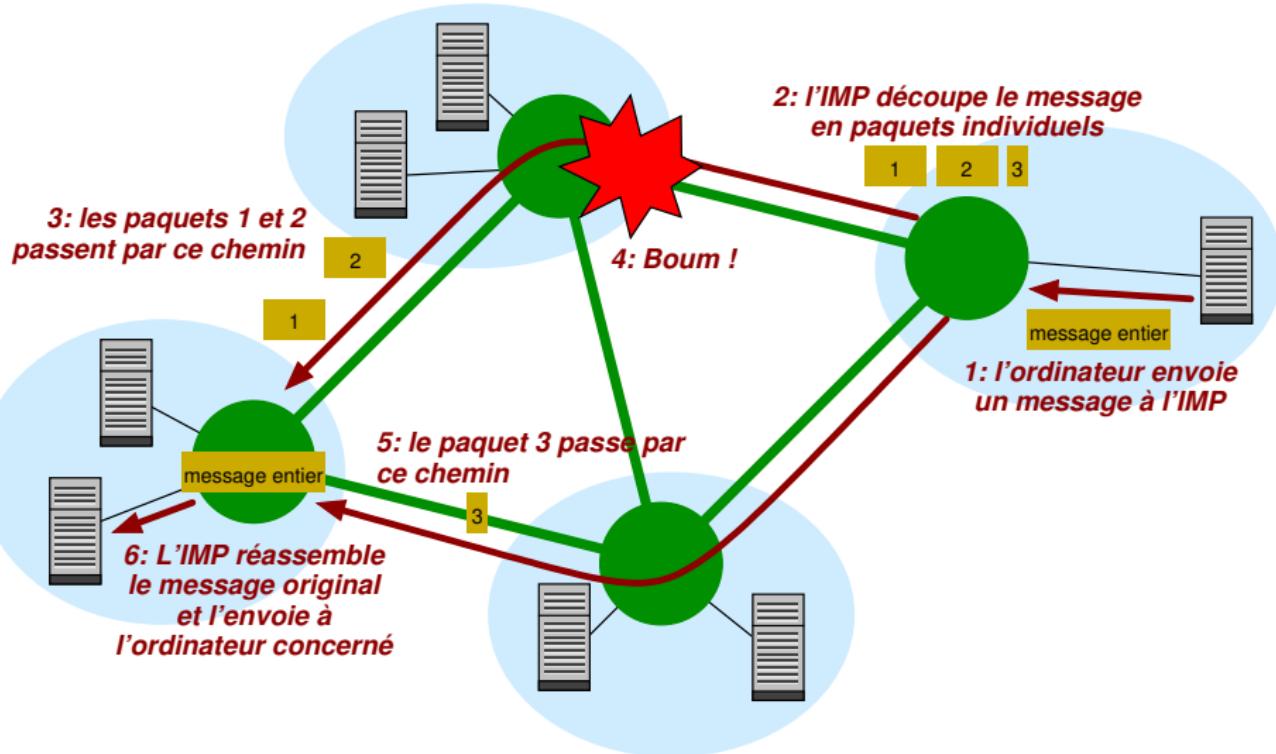
- ▶ envoi à 140 candidats potentiels
- ▶ 12 candidats répondent
- ▶ choix = BBN (Bolt, Beranek et Newman) en avril 1969

Architecture :

- ▶ liaisons louées à 50 Kb/s
- ▶ chaque site Arpanet est raccordé via un IMP
- ▶ IMP = Interface Message Processor
 - ▶ découpe le message en paquets
 - ▶ transmet le paquet à l'IMP suivant
 - ▶ accuse réception du paquet
 - ▶ réassemble le message
- ▶ un IMP peut connecter plusieurs ordinateurs



Arpanet – Découpage en paquets

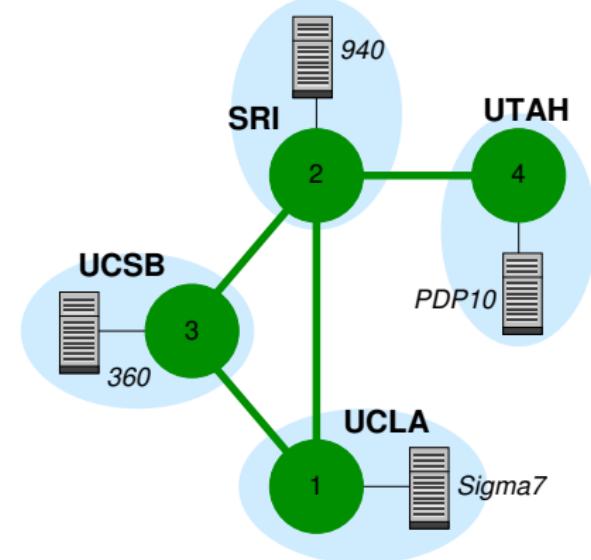


Arpanet – Démarrage

- ▶ 1968 : conception des IMP par BBN (9 mois)
 - ▶ à base d'ordinateurs Honeywell DDP-516 avec 24 Ko de mémoire
- ▶ 1969 : ARPANET original = 4 nœuds
 - ▶ Univ Californie à Los Angeles, Standard Research Institute, Univ Californie à Santa Barbara, Univ Utah
 - ▶ ordinateurs différents, systèmes d'exploitation différents

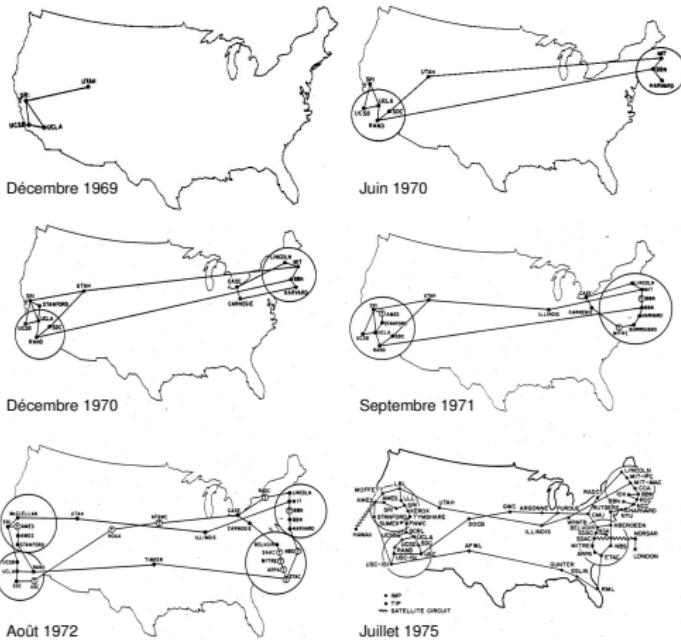
▶ Démarrage

- ▶ premier message :
29 octobre 1969
(UCLA → SRI)
- ▶ premier lien permanent :
5 novembre 1969
(UCLA → SRI)
- ▶ réseau de 4 nœuds :
21 décembre 1969



Arpanet – Croissance

- ▶ Croissance Arpanet
 - ▶ 1970 : liens à 230 Kb/s
 - ▶ 1981 : 231 ordinateurs



Cartes de F. Heart, A. McKenzie, J. McQuillan et D. Walden, scannées par Larry Press

Accès à Arpanet restreint \Rightarrow 1974 : BBN crée le réseau « Telenet » commercial

Arpanet

Principales applications :

- ▶ courrier électronique (1971)
 - ▶ 75 % du trafic ARPANET en 1973
- ▶ telnet : connexion à distance (1972)
- ▶ ftp : transfert de fichiers (1973)
- ▶ transport de la voix (1977)
 - ▶ jamais fonctionné correctement...

Évolution d'ARPANET :

- ▶ 1973 : début de la réflexion sur TCP/IP
- ▶ 1983 : migration d'ARPANET vers TCP/IP
 - ▶ ARPANET devient **un des** réseaux d'Internet

NPL – Mark I et II

- ▶ 1965 : D. Davies propose un réseau national (UK) à commutation de paquets
- ▶ 1966 : D. Davies est informé des travaux de P. Baran
- ▶ 1967 : début de la conception du réseau Mark I
- ▶ 1971 : démarrage du réseau Mark I
 - ▶ « Interface Computer » = Honeywell DDP-516
 - ▶ prévu avec 3 nœuds, réalisé avec 1 nœud (~60 lignes)
 - ▶ protocole incomplet
- ▶ 1973 : démarrage du réseau Mark II
 - ▶ « vraie » commutation de paquets
- ▶ 1976 : 12 ordinateurs et 75 terminaux connectés
- ▶ 1986 : fin du réseau Mark II

Merit

Merit = Michigan Educational Research Information Triad

- ▶ Michigan State Univ, Univ of Michigan, Wayne State Univ
- ▶ interconnexion des « mainframes » des 3 universités

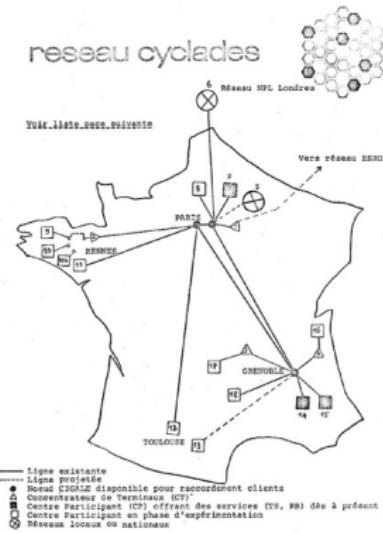
Repères :

- ▶ 1964 : projet pour un « learning center » au Michigan
- ▶ 1966 : création de Merit et recherche de financements
- ▶ 1970 : obtention du financement
- ▶ 1971 : premier test entre UM et MSU
- ▶ 1972 : réseau opérationnel (inauguration en 1973)
- ▶ 1976 : interconnexion avec Telenet
- ▶ 1978 : Western Michigan Univ rejoint Merit (plus une triade)
- ▶ 1983 : interconnexion avec ARPANET (\Rightarrow protocole TCP/IP)
- ▶ 1987 : Merit remporte l'appel d'offres pour opérer NSFNET

Cyclades

- ▶ 1970 : le CNET lance une étude pour la création d'un réseau spécialisé pour les données
- ▶ 1971 : rapport Hermès, chapitre sur la commutation par paquets
- ▶ 1972 : conception de Cyclades par l'IRIA (L. Pouzin)
- ▶ 1973 : démonstration
- ▶ 1975 : 25 ordinateurs connectés en France, à Londres et Rome
- ▶ 1976 : interconnexion avec NPL (Londres) et l'ESA (Rome)
- ▶ 1977 : arrêt du financement
- ▶ 1981 : arrêt de Cyclades

Cyclades



IRIA 78160-FRANCOURT TÉL.(1) 954 90 20 TELEX 60 100

Plan de Cyclades – pas de copyright connu

Innovations de Cyclades :

- ▶ décomposition en **couches** (reprise par l'ISO)
- ▶ adressage **hiérarchique** (n° réseau + n° ordinateur)
- ▶ notion de **port** pour communiquer entre applications
- ▶ notion de **datagramme**, transmission **non fiable**
 - ▶ fiabilité assurée par les extrémités
- ▶ ⇒ simplicité des nœuds intermédiaires

Bilan des précurseurs

Principales innovations :

- ▶ création d'une communauté de **recherche** en réseau
- ▶ **indépendance** vis-à-vis des constructeurs (tous)
- ▶ mise en œuvre de la **commutation de paquets** (tous)
- ▶ **services** majeurs : mail, telnet, ftp (ARPANET)
- ▶ décomposition en **couches** (Cyclades)
- ▶ notion de **port** pour communiquer entre applications
- ▶ adressage **hiérarchique** (n° réseau + n° ordinateur) (Cyclades)
- ▶ notion de **datagramme**, transmission **non fiable** (Cyclades)
 - ▶ fiabilité assurée par les extrémités

Les concurrents

Accès à ARPANET limité aux centres de recherche éligibles (financés par l'ARPA), d'où la création de réseaux « concurrents » :

- ▶ Telenet (1974) : fondé par BBN, protocoles de l'ARPANET
- ▶ MFEnet (1976) : Magnetic Fusion Energy network (DoE)
- ▶ HEPnet (1980) : High-Energy Physics network (DoE)
- ▶ CSNET (1981) : opéré par la NSF (National Science Foundation)
- ▶ Tymnet (1968) : au début, simple accès à des ordinateurs
- ▶ réseaux d'opérateurs basés sur X.25 (Transpac, etc.)
- ▶ BITNET (1981)
- ▶ UUCP (1978)
- ▶ etc.

BITNET

1981 : initiative de 12 universités ayant des ordinateurs IBM

- ▶ BITNET = Because It's Time Network
- ▶ 5 mai 1981 : premier lien (City U of NY / Yale)
- ▶ Fin 1981 : 26 nœuds

Financement du réseau par IBM (1984-1987)

Prérequis :

- ▶ louer une liaison spécialisée jusqu'à un site Bitnet
- ▶ acheter deux modems et en envoyer un au site Bitnet
- ▶ accueillir à son tour d'autres institutions gracieusement

1991 : 500 organisations, 3000 nœuds (âge d'or)

- ▶ Enseignement supérieur et recherche
- ▶ Amérique, Europe, Golfe persique, etc.

1996 : Fin du réseau

Influence IBM :

- ▶ Initialement : connexion d'ordinateurs IBM
- ▶ Protocoles IBM (RSCS, NJE)
 - ▶ Ultérieurement : portage sur d'autres systèmes
- ▶ Financement IBM
- ▶ Administration centralisée

Quelques innovations :

- ▶ exécution de jobs à distance
- ▶ listserv (listes de diffusion)
- ▶ adressage : pda@FRUNIP62

Fin de l'âge d'or :

- ▶ échanges limités avec le monde commercial
- ▶ pas de conversion à TCP/IP

UUCP et Usenet

UUCP :

- ▶ 1976 : Bell Labs développent un programme pour échanger des fichiers entre systèmes Unix (UUCP = Unix to Unix CoPy)
 - ▶ Connexion directe, ou via téléphone et modems
- ▶ 1978 : 82 machines connectées à l'intérieur des Bell Labs
- ▶ 1979 : diffusion avec Unix v7

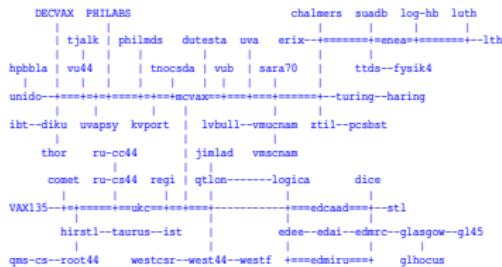
Principales caractéristiques :

- ▶ transfert de fichiers
- ▶ fonctionne sur liaisons louées comme sur des liaisons intermittentes (téléphone, X.25, etc.)
- ▶ **aucune formalité** pour « entrer », **aucune restriction**
- ▶ **pas d'administration** du réseau : autogestion
- ▶ 2 applications : **mail** et **news** (Usenet, à partir de 1980)

UUCP et Usenet

Mail : adresses avec routage explicite
... ! mcvax ! inria ! litp ! pda

News : système de forum
(articles dans des newsgroups)
Toujours utilisé



Usenet Backbone Map Juillet 1984 – © Bill & Karen Shannon

Bilan

Très grande diversité des réseaux :

- ▶ entités connectées
- ▶ organisation
- ▶ administration
- ▶ technique

Cette diversité va être balayée par l'Internet

Plan

Les prémices

Du télégraphe à l'Internet

Vers l'Internet

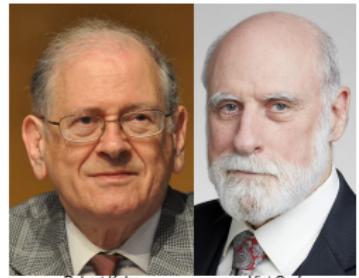
L'Internet

Internet – TCP/IP

Prolifération des réseaux

DARPA (R. Kahn et V. Cerf)

- ▶ masquer les différences entre réseaux
- ▶ protocole commun inter-réseaux
- ▶ « internetworking » ⇒ internet



Robert Kahn
CC BY-SA Veni Markovski
Wikimedia Commons

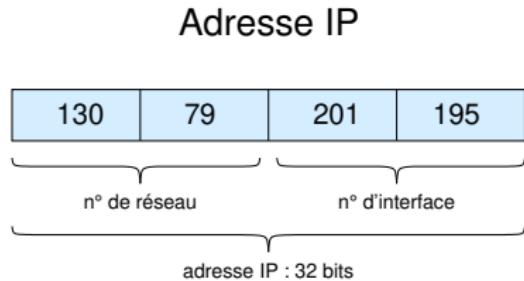
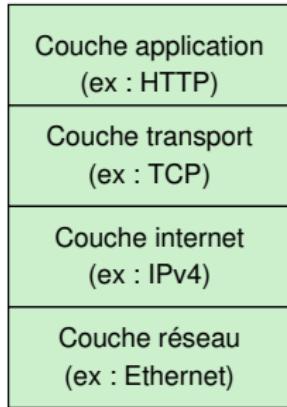
Vint Cerf
CC BY-SA Duncan Hull
Wikimedia Commons

1973 : protocoles TCP/IP

- ▶ Transport Control Protocol
- ▶ Internet Protocol

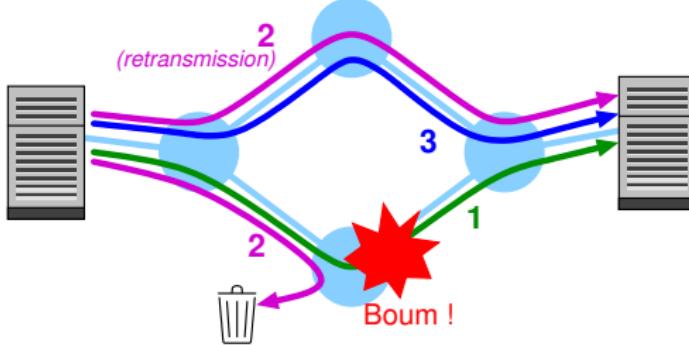
Internet – TCP/IP

Architecture en couches



Internet – TCP/IP

Datagrammes non fiables ⇒ Fiabilité assurée par la couche TCP

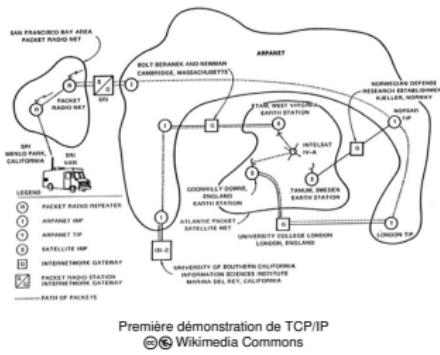


Couche application (ex : HTTP)
Couche transport (ex : TCP)
Couche internet (ex : IPv4)
Couche réseau (ex : Ethernet)

Fiabilité assurée par les extrémités et non par les nœuds intermédiaires

Internet – TCP/IP

- ▶ 1974 : première spécification de TCP/IP
- ▶ 1977 : démonstration de TCP/IP interconnexion de ARPANET, Packet Radio et SATNET
- ▶ 1978 : spécification finale de TCP/IP
- ▶ 1979 : implémentations de TCP/IP avec financement DARPA
- ▶ 1981 : publication de TCP/IP comme un « standard »
- ▶ 1982 : TCP/IP = standard DoD pour les applications militaires
- ▶ 1983 (1er janvier) : migration d'ARPANET à TCP/IP



Première démonstration de TCP/IP
© Wikimedia Commons

Internet

Implication des sociétés privées :

- ▶ 1985 : rencontre chercheurs-industriels autour de TCP/IP
 - ▶ 50 chercheurs DARPA et 250 industriels
 - ▶ ouverture des chercheurs (ce qui marche, ne marche pas)
 - ▶ problèmes non imaginés au départ par les chercheurs
- ▶ 1988 : Salon « Interop »
- ▶ depuis 1985 : participation des industriels aux travaux autour de TCP/IP

Internet – Fin d'ARPANET

À partir de 1983 : on n'a plus un réseau ARPANET et d'autres réseaux, mais on a l'**Internet**, et **ARPANET n'est plus qu'un des réseaux** qui le constitue.

- ▶ séparation de MILNET (1983)
- ▶ interconnexion de réseaux (CSNET, HEPnet, etc.)
- ▶ création de NSFNET (1986)
- ▶ Fin d'ARPANET : 1990

Internet – NSFNET

Programme « supercalculateurs » de la NSF :

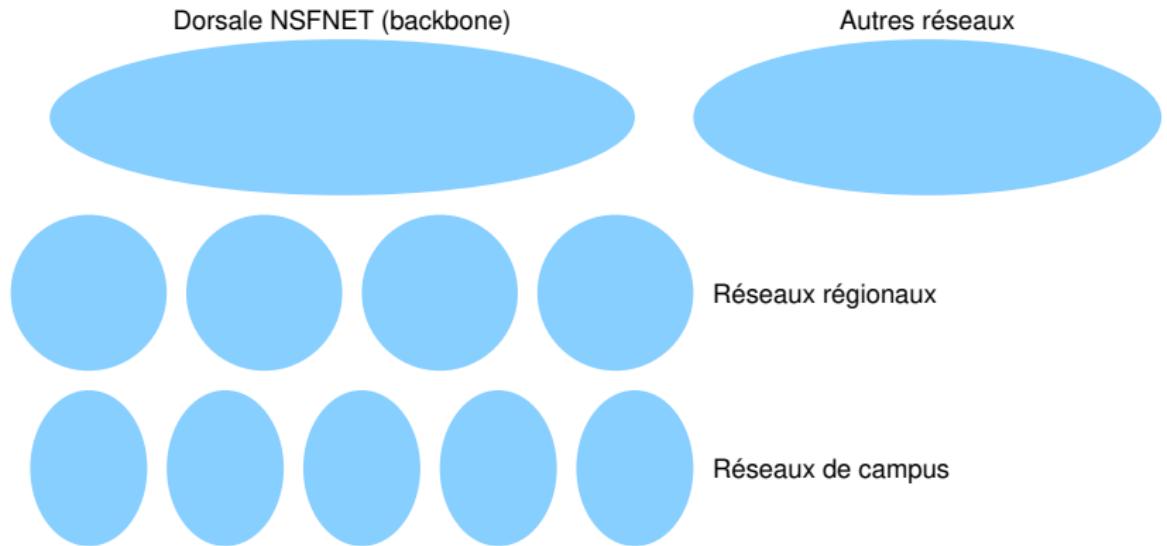
- ▶ 1984 : début du programme
- ▶ 1985 : création de 5 centres de calcul
 - ▶ Princeton, San Diego, Illinois (NCSA), Cornell, Pittsburg

Besoin d'un réseau (expérience de CSNET) :

- ▶ 1985 : décision de n'utiliser que TCP/IP
 - ▶ contraire à une décision du gouvernement fédéral
 - ▶ connexion possible à ARPANET
- ▶ 1986 : démarrage de NSFNET
 - ▶ 56 Kb/s (1986), 1,5 Mb/s (1988), 45 Mb/s (1991)
 - ▶ accessible à toute la communauté académique
 - ▶ et pas seulement aux sites DARPA

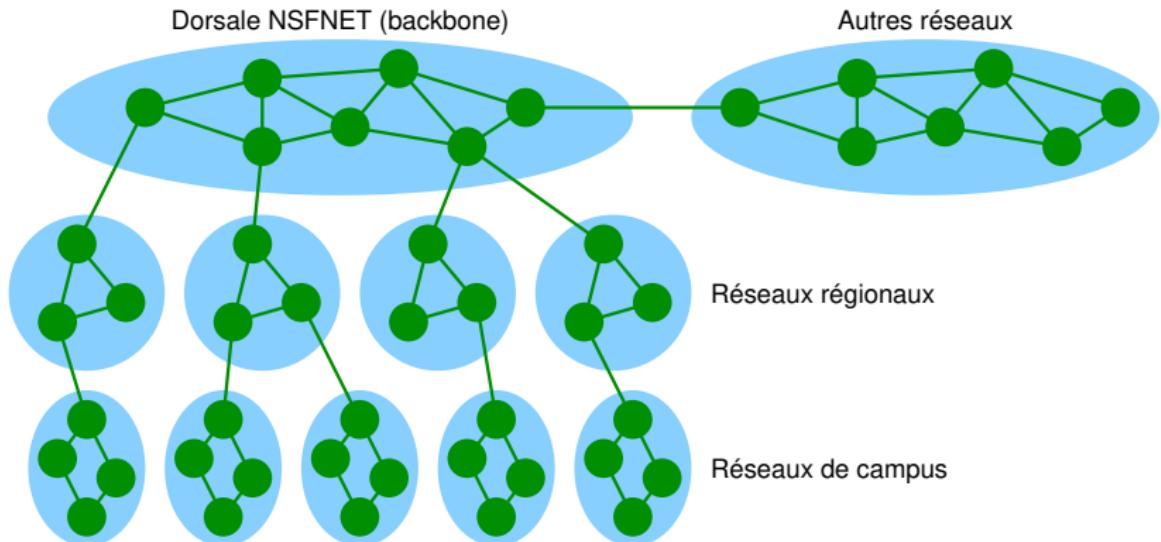
Internet – NSFNET

Architecture de NSFNET :



Internet – NSFNET

Architecture de NSFNET :



Internet – NSFNET

Connexion de pays autres que les États-Unis :

- ▶ 1988 : Canada, Danemark, Finlande, France, Islande, Norvège, Suède...
- ▶ 1989 : Australie, Allemagne, Israël, Italie, Japon, Mexique, Porto-Rico...
- ▶ etc.

Opération de NSFNET :

- ▶ 1987 : appel d'offres NSF ⇒ Merit + IBM + MCI
 - ▶ Merit : opération du réseau
 - ▶ IBM : fourniture des routeurs (ordinateurs) de backbone
 - ▶ MCI : fourniture des liaisons

Contrat pour 5 ans (1987 → 1992)

Internet – NSFNET

Nombre de machines connectées à NSFNET :

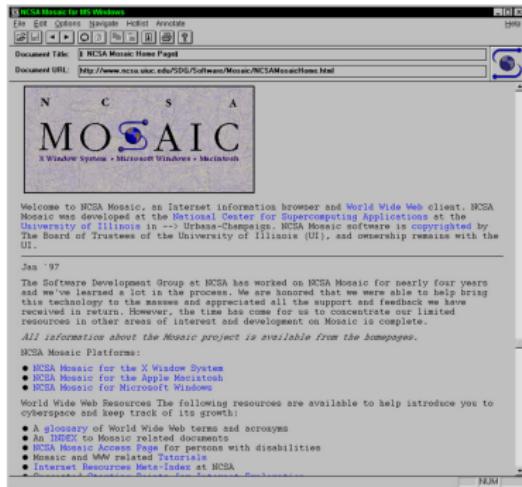
- ▶ 1987 : 5 000
- ▶ 1988 : 60 000
- ▶ 1989 : 160 000
- ▶ 1990 : 300 000
- ▶ 1991 : 600 000
- ▶ 1992 : 1 100 000
- ▶ etc.

Internet attire toujours plus d'utilisateurs

En 1988, NSFNET devient le véritable cœur de l'Internet

Internet – NSFNET

- ▶ 1991 : Tim Berners-Lee crée le **World Wide Web (WWW)**
- ▶ 1993 : NCSA diffuse le programme « Mosaic »
 - ▶ joli, multiplateforme, facile à utiliser



Capture d'écran de Mosaic – NCSA

- ▶ Mosaic est utilisable par n'importe qui
- ▶ Internet a désormais sa « killer application »

Internet – NSFNET

NSFNET « Acceptable Use Policy » (simplifiée) :

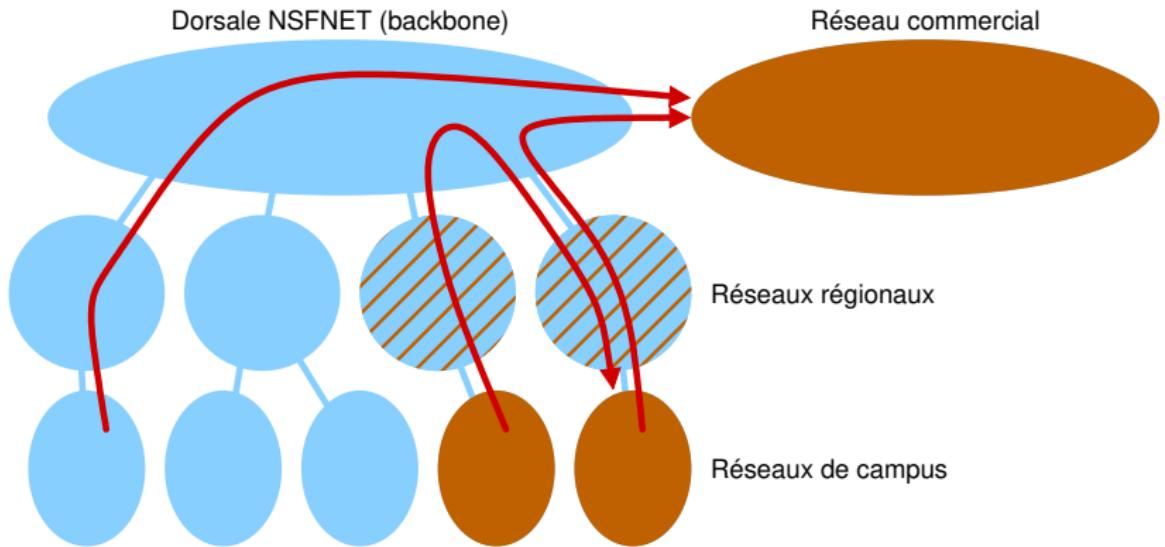
- ▶ le réseau est utilisé à des fins de recherche et d'éducation publiques
- ▶ le réseau peut être utilisé par les départements « recherche » de sociétés commerciales s'il y a une coopération avec un organisme public de R&E
- ▶ toute autre utilisation est proscrite

L'utilisation de NSFNET n'est pas compatible avec les usages commerciaux ou personnels

⇒ NSFNET devient un obstacle au développement de l'Internet

Internet – NSFNET

Acceptable Use Policy ⇒ certains trafics sont prohibés



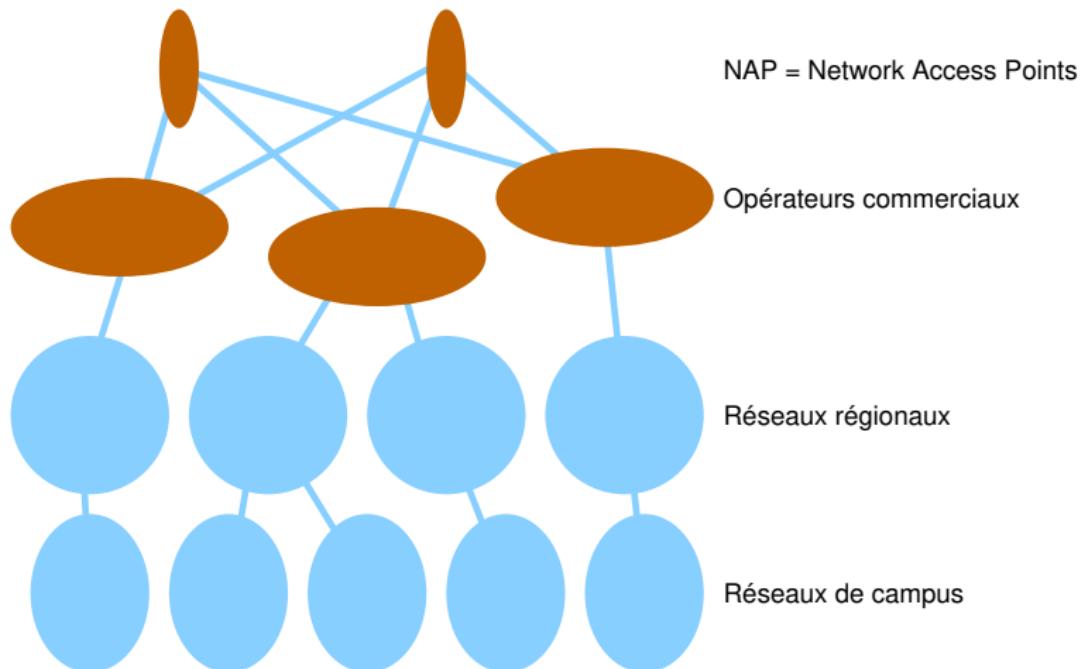
Internet – Privatisation de NSFNET

Évolution de NSFNET vers une infrastructure privée :

- ▶ 1988 : L. Kleinrock
- ▶ 1989 : projet de loi (Al Gore) au congrès américain
- ▶ 1989 : projet du gouvernement
- ▶ 1991 : NSFNET prévoit un plan de privatisation
 - ▶ création des CIX (Commercial Internet eXchange)
 - ▶ appel aux commentaires (240 pages)
- ▶ 1993 : plan définitif de la nouvelle architecture
- ▶ 30 avril 1995 : fin de NSFNET

Internet – Privatisation de NSFNET

Architecture proposée dans le projet de privatisation :



Internet – En France

- ▶ 1987 : Commission européenne publie un « livre vert » sur les télécommunications
- ▶ 1996 : Loi de réglementation des télécommunications
 - ▶ France Telecom n'a plus le monopole
 - ▶ Définition du « service universel »
- ▶ 1998 : Ouverture à la concurrence
- ▶ 1999 : Émergence des premiers opérateurs alternatifs

Internet – Gouvernance

Pas de contrôle centralisé du réseau



AT&T Global Network Operations Center – © Linda Shell Flickr

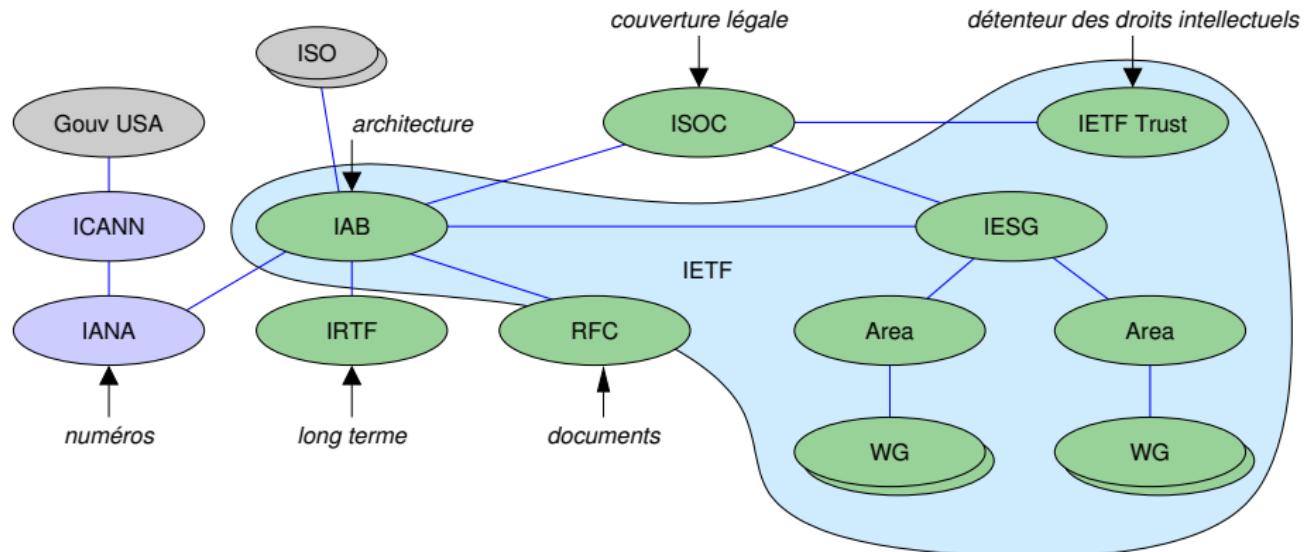
Comment cela peut-il fonctionner ?

Internet – Gouvernance

Internet n'est pas la propriété d'une entité

- ▶ 1979 : Internet Configuration Control Board (ICCB)
 - ▶ créé à l'initiative de V. Cerf (DARPA)
 - ▶ avis sur les points techniques
 - ▶ et aussi l'International Cooperation Board (ICB)
- ▶ 1984 : ICCB remplacé par l'Internet Advisory Board (IAB)
 - ▶ création de « task forces »
 - ▶ chairmen des 10 « research task forces » + éditeur des RFC
- ▶ 1986 : IAB remplacé par l'Internet Activities Board
 - ▶ création de l'IETF (Internet Engineering Task Force)
- ▶ 1992 : IAB remplacé par l'Internet Architecture Board
 - ▶ création de l'ISOC (Internet Society)

Internet – Gouvernance



Internet – Gouvernance

- ▶ ISOC : Internet Society
 - ▶ Organisation à but non lucratif, ONG, couverture légale
- ▶ IAB : Internet Architecture Board
 - ▶ Architecture, surveillance IETF, relations avec autres organismes
- ▶ ICANN : Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
- ▶ IANA : Internet Assigned Numbers Authority
 - ▶ Registre des numéros utilisés (noms, numéros de protocoles, etc.)
- ▶ RFC : Requests for Comments
 - ▶ Documents : propositions, normes de l'Internet, etc.
- ▶ IRTF : Internet Research Task Force
- ▶ IESG : Internet Engineering Steering Group
 - ▶ Regroupe les responsables d'Areas
- ▶ IETF : Internet Engineering Task Force
 - ▶ Individus (pas représentants de sociétés)

Internet – Gouvernance

Processus de normalisation d'Internet :

- ▶ « En matière de standards, il ne faut pas s'attendre à une approbation officielle avant longtemps, car il y a encore une majorité de **pays** qui n'ont **aucune expérience**, ni même de compréhension du sujet. Par contre, il y a aura d'ici un an des standards de fait qui tiendront lieu de modèles » (L. Pouzin, 1974)
 - ▶ « We reject kings, presidents and voting. We believe in **rough consensus** and **running code** » (D. Clark, 1992)
- ⇒ illustre bien les processus de normalisation

Internet – Gouvernance

Requests For Comments (RFC) :

- ▶ exigences techniques
 - ▶ « host requirements »
- ▶ politiques
 - ▶ règlement IETF, privatisation NSFNET, etc.
- ▶ livres blancs, documentations
- ▶ « best practices »
- ▶ expérimentations, propositions
- ▶ normes officielles de l'Internet
 - ▶ actuelles ou obsolètes

Il faut se méfier des RFC du 1er avril...

<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1149>



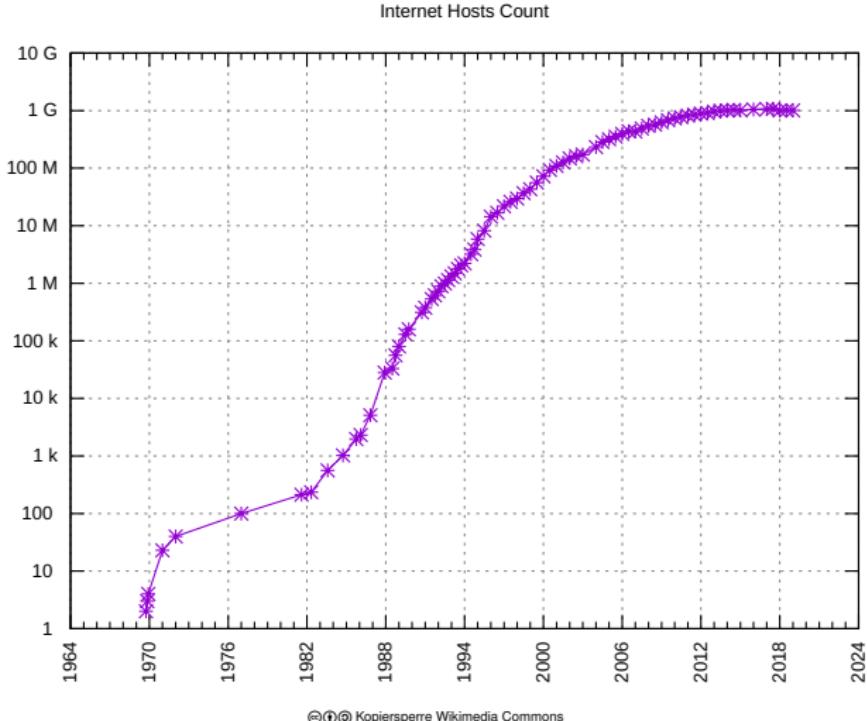
Pigeon – Alexis Lours Wikimedia Commons

Internet – Gouvernance

Illustration : courrier électronique

- ▶ Au début des années 1980, plusieurs systèmes de messagerie électronique sont en compétition :
 - ▶ X.400 : normalisé par l'ISO, complexe, des centaines de pages, peu d'implémentations
 - ▶ SMTP : protocole simple (SMTP = Simple Mail Transfer Protocol), 105 pages, plusieurs implémentations interopérables
- ▶ Devinette : quel protocole a eu du succès ?

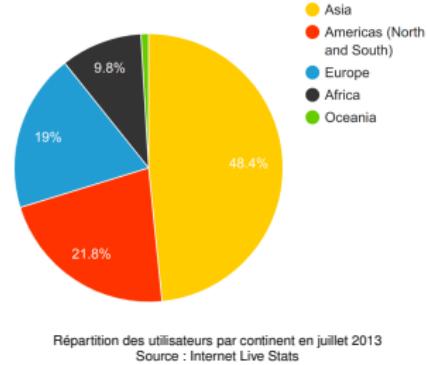
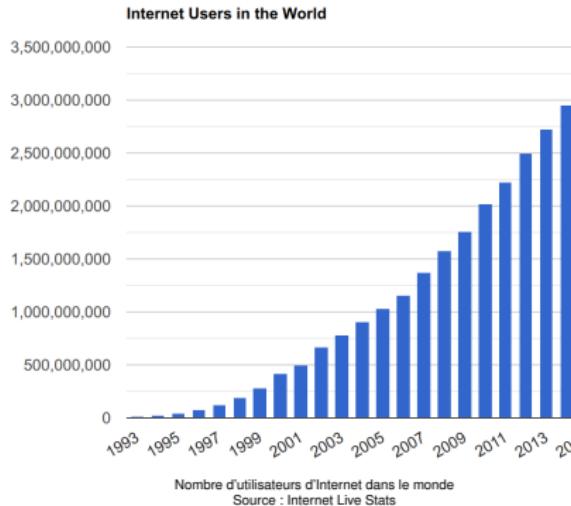
Internet – Le succès



Note : au delà du début des années 2000, les chiffres ne sont plus significatifs

Internet – Le succès

Décompte du nombre d'utilisateurs d'Internet : cf. Internet Live Stats



Estimation 2022 : environ 5,3 milliards d'utilisateurs

Internet – Le succès pendant 40 ans

Raisons ?

- ▶ principe de robustesse : « be liberal in what you accept, and conservative in what you send »
- ▶ protocole « end-to-end » : l'intelligence est dans les extrémités de la communication
- ▶ pas d'état dans les routeurs intermédiaires
 - ▶ simplicité, coût, tenue en charge
- ▶ résistance à la complexité du réseau
- ▶ organisation pragmatique
 - ▶ privilégie le pragmatisme technique
- ▶ résistance de l'organisation à la montée en charge
- ▶ dérégulation du secteur des télécommunications
 - ▶ transition « recherche → privé » réussie

Internet – Les défis

- ▶ Épuisement des adresses : évolution vers IPv6
- ▶ Accès à tous
- ▶ Neutralité du réseau
- ▶ Gouvernance
- ▶ Internet des objets
- ▶ Sécurité informatique
- ▶ Données personnelles et vie privée