

À l'occasion des 40 ans d'Internet

Conférence - Débat

Arpanet

1957

1982

Genèse d'Internet

25 années qui ont changé le monde
1983 Internet An 1

Enjeux actuels

Le Nouveau Monde Numérique
Humains et Vortex Cyberphysique

Gérard Le Lann (INRIA)

Pionnier Internet (Rennes - Rocquencourt - Stanford)

Mercredi 24 mai 2023 -- 18h00

Orange Atalante 2 Av de Belle Fontaine
35510 Cesson- Sévigné
(Métro Atalante)

Entrée gratuite

Inscription par mail à l'adresse conference@armorhistel.org

armorhistel



IRISA

Inria

Préliminaires

Je m'exprime ici à titre personnel.

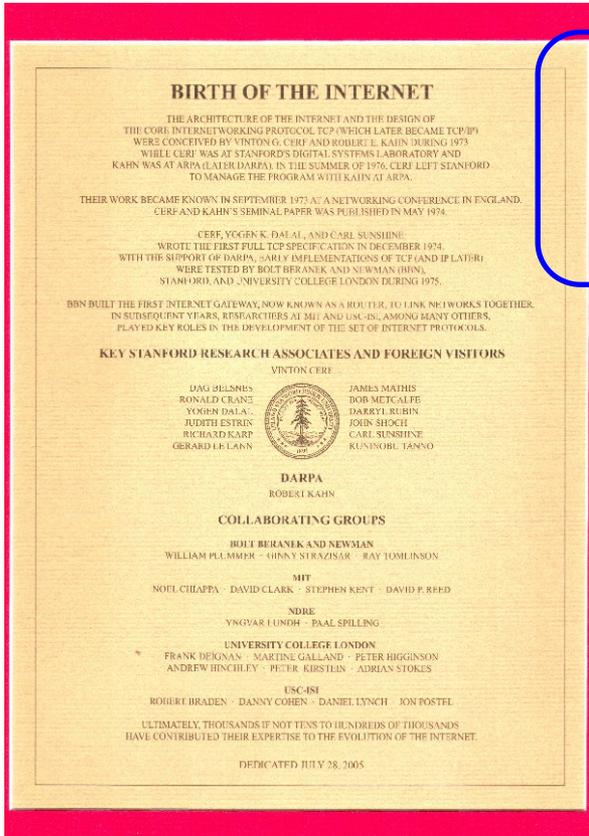
Les contenus de cette présentation n'engagent en aucune manière la responsabilité d'Armorhistel, d'Orange, d'Inria ou de l'IRISA.

Genèse d'Internet — Enjeux Actuels

Gérard Le Lann

DR Émélite INRIA (Paris-Rocquencourt)

Ancien membre des projets Cyclades (Univ. de Rennes—IRISA)
et Arpanet (Stanford Univ., Palo Alto)



L'origine d'Internet
Aventure humaine et
inventions fondatrices

Le Nouveau Monde
Numérique
Humains et Vortex
Cyberphysique



Histoire vérifiable et vérifiée

- Documents de référence et interviews (Charles Babbage Institute, etc.)
- Échanges réguliers depuis 1973 avec 1 précurseur et 5 pionniers nord-américains
- Faits historiques endogènes et exogènes souvent ignorés

Thème d'actualité

- USA, 2023 / *A six episode podcast about the creation of the Internet (interviews en cours)*

```

HELLO 315
@D C E
@L 86
LOGGER
OPEN
ISI-TENEX 1.31.64; ISI-TENEX EXEC 1.51.2
@LOS CERF 3
JOB 14 JAN TTY71 11-DEC-73 09:46
TENEX WILL GO DOWN TUE 12-11-73 2145 TIL WED 12-12-73 0500
YOU HAVE A MESSAGE
@RD

364 CHARS
1 10-DEC-73 KLEINROCK MESSAGE FOR LE LANN
TYPE MH$ FOR HELP
+MHT$
-----
DATE: 10-DEC-73 2143 PST
FROM: KLEINROCK
Re: MESSAGE FOR LE LANN

I'LL BE HAPPY TO RECEIVE YOU LATE IN JANUARY FOR A EW DAYS
LET US KNOW MORE PRECISELY WHEN YOU KNOW YOURSELF.

VINT WILL BE ASKING YOU TO CARRY DOWN A CERAMIC NAMEPLATE
FOR ME, AND I WOULD APPRECIATE IT IF YYOU WOULD CHECK
WITH HIM

LEN KLEINROCK.

-----
+MK$
364 CHARS
@SNDMSG
TYPE ? FOR HELP
Users: KLEINROCK

SUBJECT: RE: LELANN

MESSAGE (? FOR HELP):
LEN:
I WILL PASS MESSAGE ON TO GERARDEERARD+GERARD. HE ALSO HAS THE
NAMEPLATE. HE WAS WAITING FOR YOU TO QUOTE SAFE DATES FOR HIS
VISIT -- I'LL ASK TO HIM TO PROPOSE A FEW FOR YOUR TO CHOOSE
FROM.
SEE YA.
VINT
↑Z

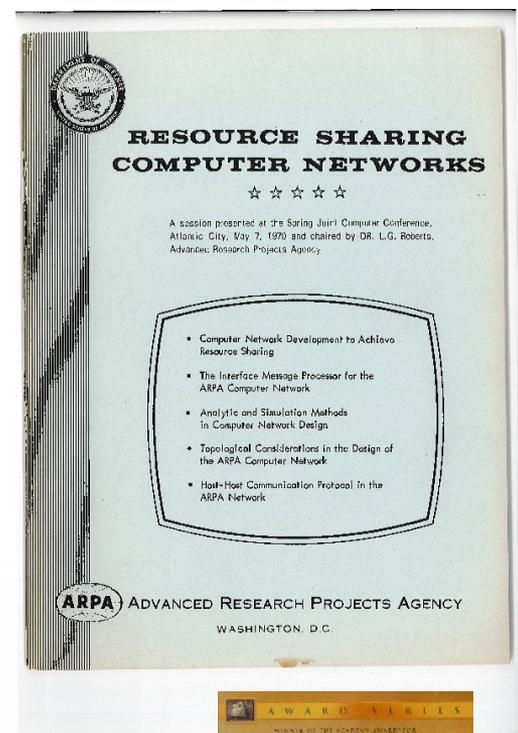
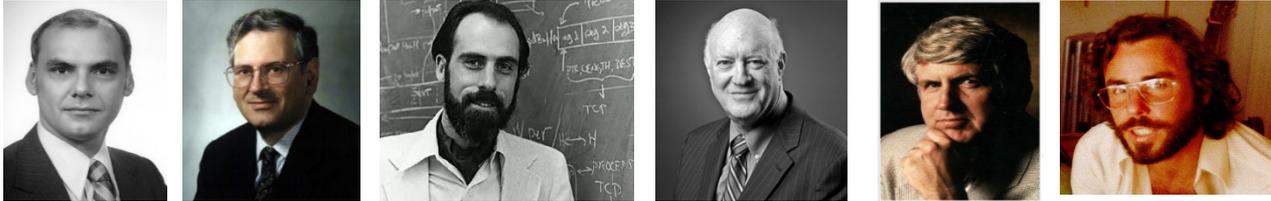
KLEINROCK --- OK
@

```

◆ Précurseurs (1957-1965)

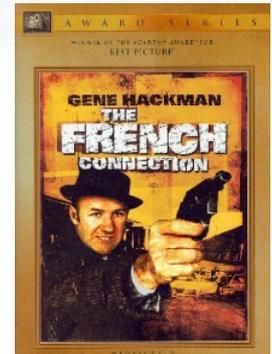


◆ Pionniers* (1967-1977)

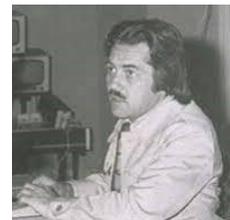


◆ Arpanet ⇔ Internet (1977-1982)

* Innovateurs (*par opposition à contributeurs*)

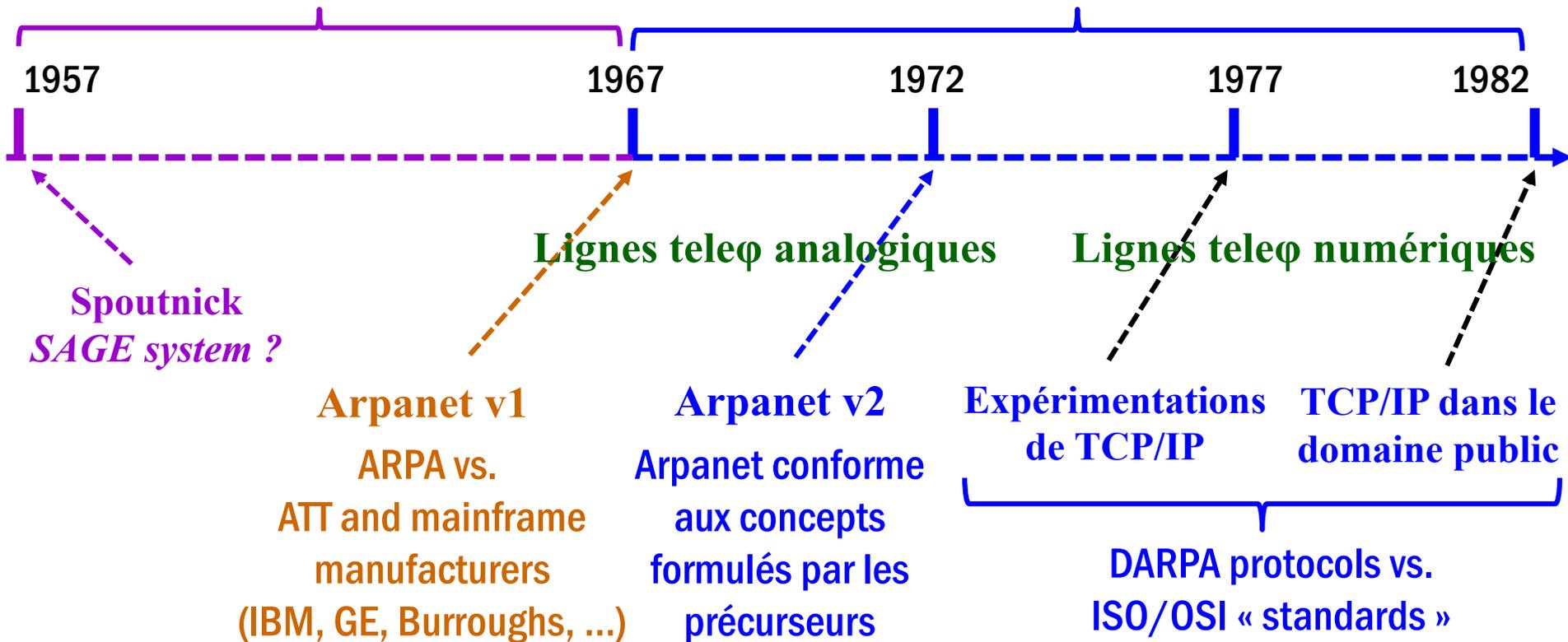


◆ Optionnel : Les travaux Cyclades (1972-1976)



L'ère des précurseurs

L'ère des pionniers



1983 : Internet An 1

TCP : Transmission Control Protocol



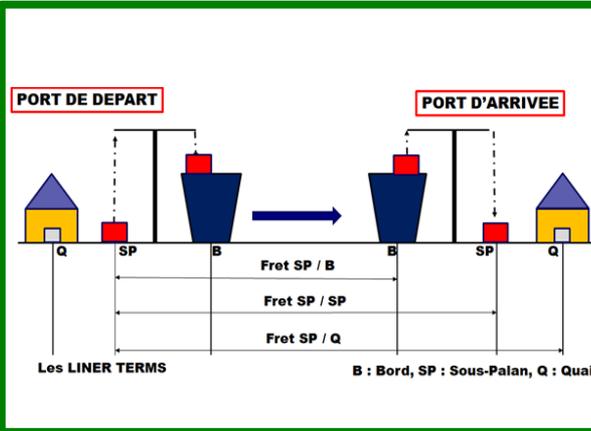
IP : Internet Protocol

Paquet/datagramme



Conteneurs
(identifiants, ports de départ, d'arrivée, ...)

Protocole IP



Protocole TCP



Gestion des ressources portuaires (chargements et déchargements des cargos, ...)



Gestion des pertes
(contrôle d'erreur)



Gestion du trafic
(contrôle de flux)

Plus récemment, contrôle des attaques cyber et/ou physiques



1957 – Le Big Bang

Guerre froide (USA-URSS)

*Lancement du satellite Spoutnik
Réseau militaire (US Air Force)
SAGE inadapté ?*



La Super-sentinel de l'US Air Force

Ce nouveau radar, qui ne pèse pas moins de 30 tonnes, a une portée de détection de plusieurs centaines de kilomètres: le radôme du radar mesure plus de 30 m de large. Les essais en cours à la station de lancement décideront de son incorporation dans les mailles du réseau américain « SAGE » de défense anti-aérienne.



Truly SAGE system or Toward a Man-Machine System for Thinking

Joseph C. Licklider

MIT & Lincoln Lab / MA

Propose un nouveau système SAGE

20 Aug. 1957, box 6, folder "1957"

Licklider Papers at MIT Libraries



In a few years, men will be able to communicate more effectively through a machine than face to face. That is a rather startling thing to say, but it is our conclusion.

— J. C. R. Licklider —

AZ QUOTES

***1958 / Création de l'ARPA (Advanced Research Projects Agency)
par le DoD (Arlington / VA)***

1959 / Contrat pour Rand Corporation

Les lieux historiques

Boston Technology Corridor

Lincoln Lab
(MIT staff working on
Defense related topics)



**Bolt Beranek
& Newman**
(MIT spin-off)

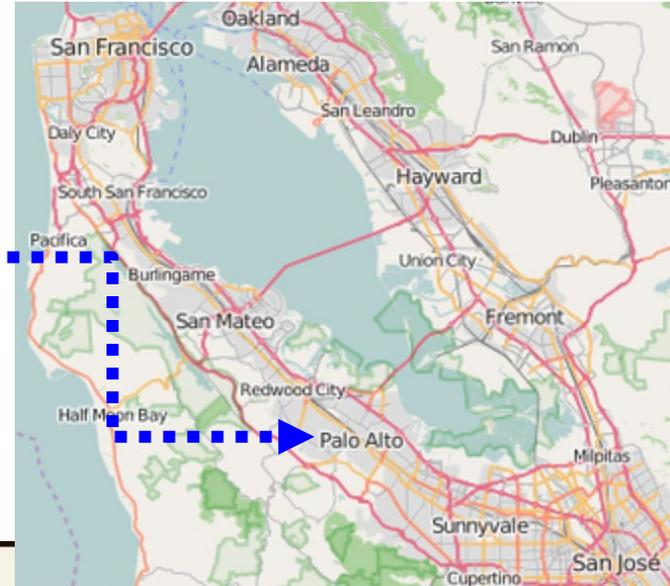
MIT

Natl Physical Lab

Londres, GB

**Stanford
University**

**Northern
California**



**Southern
California**



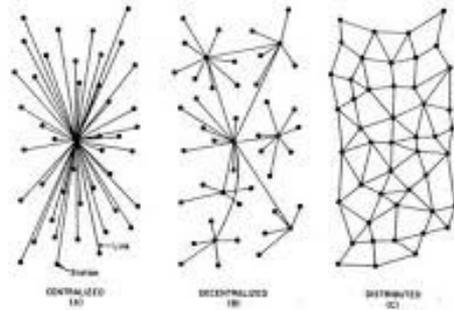
UCLA

Rand Corp

Les précurseurs

● Paul Baran (Rand Corp / CA)

Publications entre 1960 et 1964
11 rapports Rand / 9 par Paul Baran

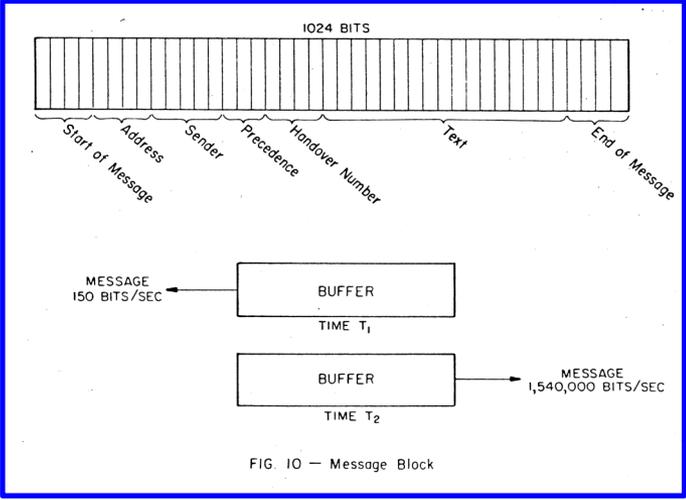
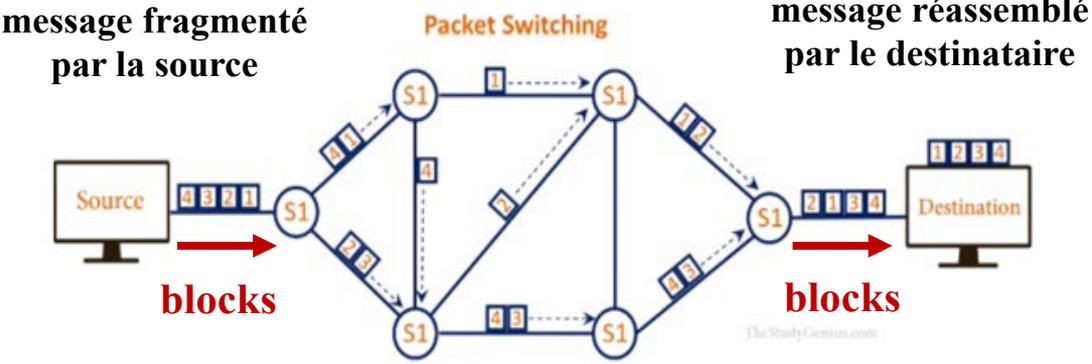


◇ Réseaux « best effort » (pertes, défaillances) à topologie maillée redondante

◇ Inventeur des **message blocks** // fragmentation des messages en universally standardized blocks émis et réassemblés par les hôtes (source, destination)

L'ancêtre du paquet (datagramme)

◇ Store-and-forward



- Leonard Kleinrock (PhD au MIT, 1962 → UCLA)

- ◆ *“Message Delay in Communication Nets with Storage”*



- J.C. Licklider (Vice-Président de BBN, 1960-1962)

- ◆ *“Man-Computer Symbiosis” et “Intergalactic Computer Network”*

- Donald Davies (Natl Physical Lab / GB, 1965)

- ◆ *Concepts pour Mark I ≈ ceux de Paul Baran*

- ◆ *Inventeur du mot **packet** qui va remplacer **message block***



Dès 1965 sont posés les concepts fondateurs de ce qui deviendra le paquet [aussi appelé datagramme à partir de 1973]

Définitions et standardisation du paquet/datagramme seulement après l'invention des protocoles TCP et IP (1972, ...)

1967-1971 : Arpanet v1



- ◇ 1967 : Larry Roberts, Directeur de l’IPTO (ARPA)
- Prend connaissance des travaux de P. Baran et D. Davies et **lance le projet Arpanet** ▶ Appel d’offres pour un réseau “**pure packet-switching**” (Baran/Davies) de **hosts « temps partagé »** (Licklider)
- Contrat notifié à BBN / Participants : universités et centres de recherche

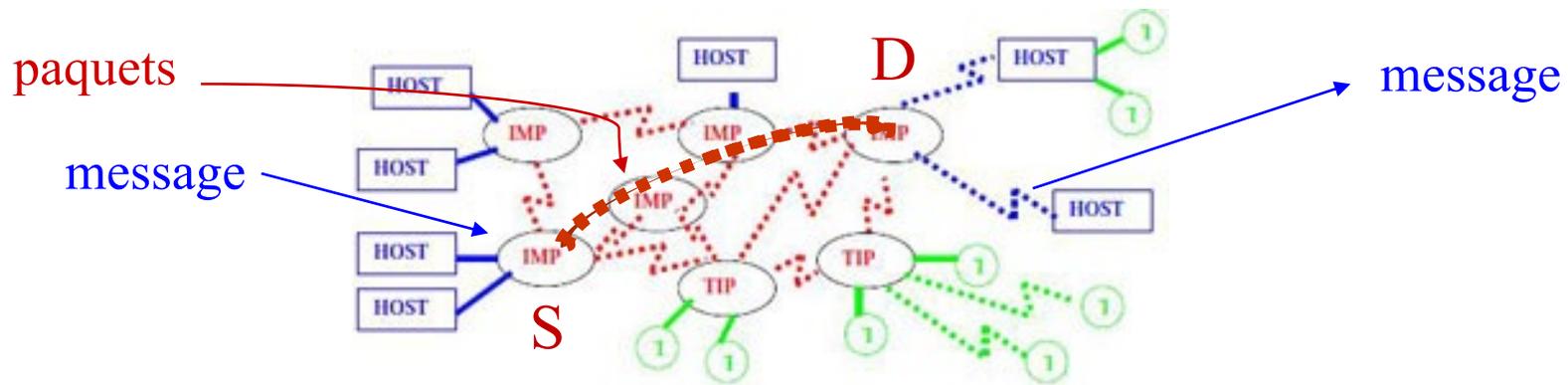
Et les industriels ?

ARPA se trouve face à un problème inattendu : IBM, Univac, Honeywell, GE, Burroughs, ... (constructeurs de hosts) ne s’impliquent pas (clientèle captive).

⇒ *Décision purement conjoncturelle par ARPA et BBN*

Non conforme aux principes fondateurs, décision remise en cause en 1972

- ▶ Fragmentation/réassemblage par les noeuds d’entrée/sortie du réseau d’IMP (Interface Message Processors) ▶ datagrammes à l’intérieur.
- ▶ BBN promet : le réseau d’IMP sera totalement fiable.



- Circuit virtuel entre **IMP S (source)** et **IMP D (destinataire)**, qui assurent fragmentation/réassemblage
- **Dans le réseau d'IMP : pure datagram/packet switching & adaptive routing** ■ ■ ■ ■ ■



◇ **Oct 1969 : Première transmission**
entre UCLA (LA) et SRI (Menlo Park)

◇ **1970-71 : Design du protocole inter-hôtes NCP**

Un seul message en transit sur une connexion host/IMP-to-IMP/host
Ack attendu pendant RTT (round-trip-time)

Conduit par Steve Crocker et le Network Working Group (NWG)



Ne croient pas à la possibilité d'un réseau totalement fiable

1971-1972 : Arpanet v1 ⇔ Arpanet v2

- **Rumeurs : démantèlement de ATT et IBM par la FCC (effectif en 1982)**
- **NWG devient INWG (international)**
 - ⇒ Les constructeurs européens pourraient adopter les protocoles Arpanet !
 - ⇒ Les plus agiles des constructeurs US savent qu'ils ont perdu / Protocoles Arpanet dans les mainframes et les miniordinateurs (avec les protocoles « propriétaires »)
 - ⇒ Les logiciels système (OS et I/O handlers) seront modifiés en conséquence

ARPA vs industriels : c'est ARPA qui gagne !

1972, return to basics (Baran/Davies, 1960s) 

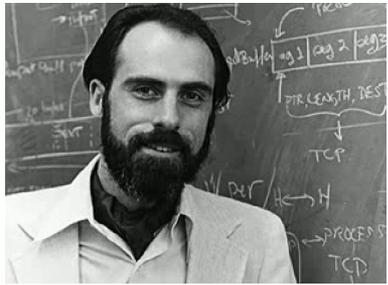
*Distinction v1 / v2 ignorée par les historiens,
et soigneusement occultée par certain(s) contributeur(s) ...*

1972-1977 : Arpanet v2

◇ 1972-1974 : Arpanet & TCP°

◇ 1974-1977 : Internetting & TCP

— **Vint Cerf** professeur à Stanford Univ. et **Bob Kahn** (ARPA → DARPA)



**Le barycentre Arpanet
bascule vers la côte ouest**

Stanford, SRI (Netw Info Center),
UCLA, Univ. Hawaï, Berkeley,
ISI, Xerox PARC,...



Basics

- **Paquets émis et reçus par les hôtes**
- **Paquets (et messages) peuvent être perdus, dupliqués, livrés dans le désordre**
- **Traversée de plusieurs réseaux ⇒ délais RTT non négligeables et très variables**
⇒ **Anticipation nécessaire (plusieurs paquets en transit)**

► **Remplacement de NCP (dysfonctionnements, limitations) par TCP°**

Travaux initiés par Steve Crocker, Vint Cerf, Bob Kahn, Alex McKenzie (BBN)

— TCP° // Principales innovations

- Adressage: ~~machine~~ ⇨ ports, processes
- Modèle : Inter Process Communications
- Mode *connectionless* : OK (⇨ origine du protocole IP)
- Mode *connection-oriented* : pas OK

contrôle d'erreur & de flux ???

⇨ mon apport à TCP°/TCP

- ▶ Mars 1973 : Présentation de mes travaux sur le “sliding window scheme” (“fenêtre glissante”) à Bob Kahn et Vint Cerf (à Rocquencourt) ① ② ③
- ▶ Juin 1973 : Invité par Vint Cerf, je rejoins son équipe à Stanford (1 an) / intégration du “sliding window scheme” dans TCP°/TCP

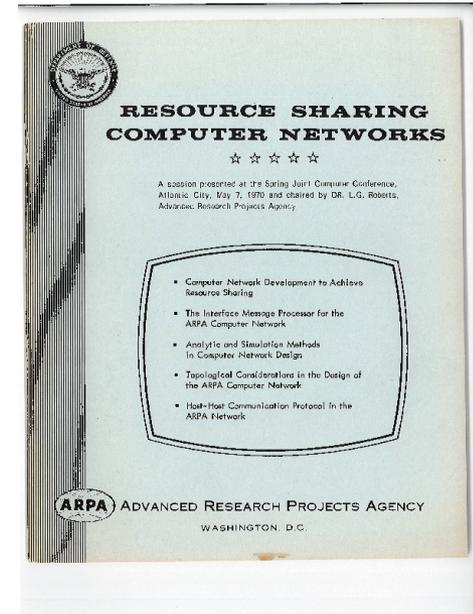
1

En parallèle à TCP^o aux USA

◇ 1972-1973 : Université de Rennes/Cyclades



Simulation de NCP et du protocole Cyclades ST-ST (inter hosts)



- ▶ Découverte des causes des dysfonctionnements de NCP et ST-ST
- ▶ Découverte de l’algorithme “sliding window” (contrôle d’erreur et de flux de bout-en-bout) // livraisons dans l’ordre des émissions, sans perte ni répétition

② 1972-73 : Simulation of Arpanet NCP and Cyclades STST Protocol in Simula-67

```

***/ 0 | 463449 | EF | 0 | 0 | U PURG L1 | |
***/ 0 | 464819 | EF | 0 | 0 | U PURG L1 | |
...
***/ 0 | 46796 | EF | 34 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
***/ 0 | 467969 | EF | 39 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
...
53/ 0 | 46785 | EF | 37 | 18 | D ETAB L1 | RECU |
***/ 0 | 467876 | EF | 39 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
***/ 0 | 468505 | EF | 39 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
***/ 0 | 468542 | EF | 39 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
...
62/ 0 | 469728 | EF | 2 | 6 | D PURG L1 | RECU |
...
67/ 0 | 472767 | EF | 27 | 7 | D ETAB L1 | RECU |
***/ 0 | 473134 | EF | 29 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
...
82/ 0 | 474574 | EF | 2 | 6 | D PURG L1 | RECU |
***/ 0 | 474543 | EF | 39 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
***/ 0 | 475285 | EF | 39 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
...
88/ 0 | 476027 | EF | 36 | 13 | D ETAB L1 | RECU |
***/ 0 | 476625 | EF | 38 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/
***/ 0 | 477414 | EF | 0 | 0 | U PURG L1 | |
...
71/ 0 | 478589 | EF | 0 | 6 | D PURG L1 | RECU |
...
73/ 0 | 479635 | EF | 32 | 7 | D ETAB L1 | RECU |
***/ 0 | 479873 | EF | 39 | 9 | U ETAB L1 | 0/ 0/

```

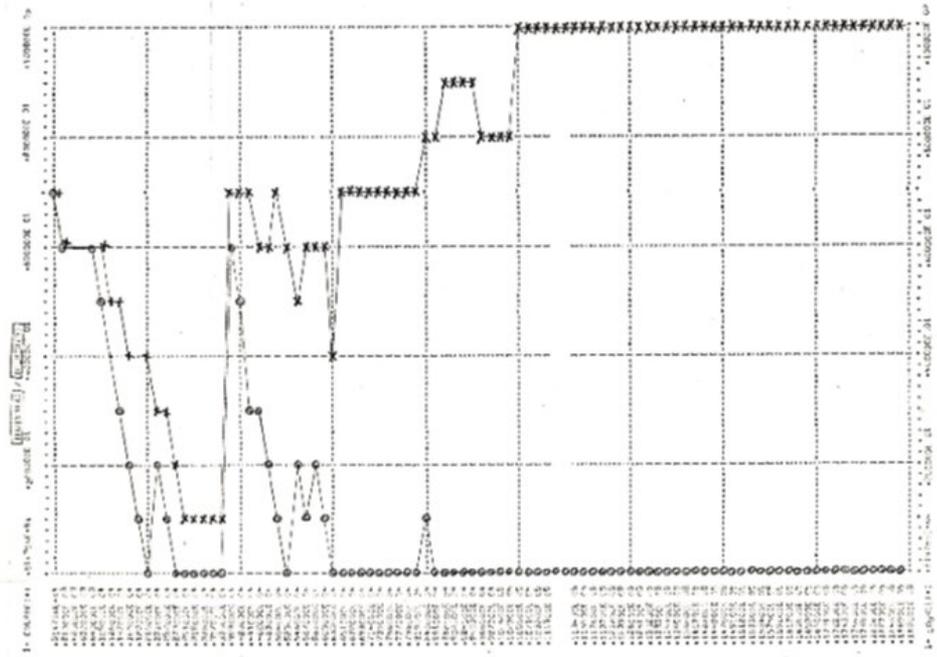
Fig. 2. Example of output.

Packets may be lost, retransmitted, and duplicated. Delays are variable and unbounded / No FIFO delivery

⇐ Error control

↓ Flow control

- Sequences of events in virtual time
 - causal relationships
 - causes of malfunction
- End port buffers occupancy
 - Overflows and loss of synchronization



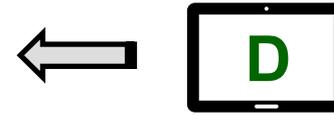
Sorties d'imprimantes
Centre de Calcul, Univ. de Rennes

③ The sliding window scheme / FIFO delivery, 0 loss, 0 duplicate

source



fragments
de message



destination

acquittements et crédits

Vue de S à t

fenêtre chez S à t



émis par S
et acquittés par D
(avant t)

émis, ack par D
pas encore reçu

pas encore émis
par S

fragments
perdus ou lents

ack par D
en route vers S

fenêtre chez D à t'

Vue de D à t' > t



reçus et acquittés
par D (avant t)

reçus et
acquittés

pas
reçus

reçu, pas
acquitté

V. Cerf, R. Kahn, 1974

Original publication on TCP^o

the segment, then the EM flag would also be set. The EM flag is also set on the last segment of a message, if the message could not be contained in one segment. These two flags are used by the destination TCP, respectively, to discover the presence of a check sum for a given segment and to discover that a complete message has arrived.

The LS and EM flags in the internetwork header are known to the GATEWAY and are of special importance when packets must be split apart from propagation through the next local network. We illustrate their use with an example in Fig. 9.

The original message A in Fig. 9 is shown split into two segments A_1 and A_2 and formatted by the TCP into a pair of internetwork packets. Packets A_1 and A_2 have their LS bits set, and A_2 has its EM bit set as well. When packet A_1 passes through the GATEWAY, it is split into two pieces: packet A_{11} for which neither EM nor LS bits are set, and packet A_{12} whose LS bit is set. Similarly, packet A_2 is split such that the first piece, packet A_{21} , has neither bit set, but packet A_{22} has both bits set. The sequence number field (SEQ) and the byte count field (CT) of each packet is modified by the GATEWAY to properly identify the text bytes of each packet. The GATEWAY need only examine the internetwork header to do fragmentation.

The destination TCP, upon reassembling segment A_1 , will detect the LS flag and will verify the check sum it knows is contained in packet A_{12} . Upon receipt of packet A_{22} , assuming all other packets have arrived, the destination TCP detects that it has reassembled a complete message and can now advise the destination process of its receipt.

RETRANSMISSION AND DUPLICATE DETECTION

No transmission can be 100 percent reliable. We propose a timeout and positive acknowledgement mechanism which will allow TCP's to recover from packet losses from one host to another. A TCP transmits packets and waits for replies (acknowledgements) that are carried in the reverse packet stream. If no acknowledgement for a particular packet is received, the TCP will retransmit. It is our expectation that the host level retransmission mechanism, which is described in the following paragraphs, will not be called upon very often in practice. Evidence already exists² that individual networks can be effectively constructed without this feature. However, the inclusion of a host retransmission capability makes it possible to recover from occasional network problems and allows a wide range of "loss" protocol strategies to be incorporated. We envision it will occasionally be invoked to allow host accommodation to infrequent

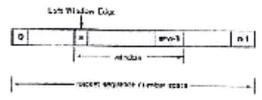


Fig. 9: The window concept

1	Source Address
2	Destination Address
3	Next Packet Seq.
4	Current Buffer Size
5	Next Write Position
6	Next Read Position
7	End Read Position
8	No Retrans. Max Retrans.
9	Timeout Flags
10	Curr. Ack Window

Fig. 11: Conventional TCP Header overdemands for limited buffer resources, and otherwise not used much.

Any retransmission policy requires some means by which the receiver can detect duplicate arrivals. Even if an infinite number of distinct packet sequence numbers were available, the receiver would still have the problem of knowing how long to remember previously received packets in order to detect duplicates. Matters are complicated by the fact that only a finite number of distinct sequence numbers are in fact available, and if they are reused, the receiver must be able to distinguish between new transmissions and retransmissions.

A *window* strategy, similar to that used by the French CYCLADES system (voie virtuelle transmission mode [8]) and the ARPANET very distant host connection [18]), is proposed here (see Fig. 10).

Suppose that the sequence number field in the internetwork header permits sequence numbers to range from 0 to $n-1$. We assume that the sender will not transmit more than w bytes without receiving an acknowledgment. The w bytes serve as the window (see Fig. 11). Clearly, w must be less than n . The rules for sender and receiver are as follows.

Sender: Let L be the sequence number associated with the left window edge.

1) The sender transmits bytes from segments whose text lies between L and up to $L+w-1$.

2) On timeout (duration unspecified), the sender retransmits unacknowledged bytes.

3) On receipt of acknowledgment consisting of the receiver's current left window edge, the sender's

² The ARPANET is one such example.

A window strategy, similar to that used by the French CYCLADES system (voie virtuelle transmission mode [8]) and the ARPANET very distant HOST connection [18]), is proposed here (see Fig. 10).

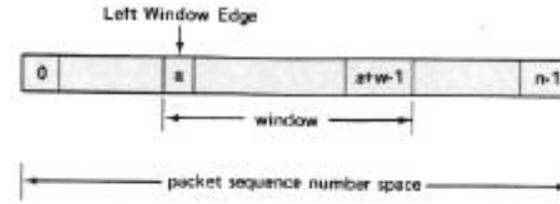


Fig. 10: The window concept

[8] J.F. Chambon, M. Élie, J. Le Bihan, G. Le Lann, and H. Zimmermann, "Functional specification of the transmission station in the CYCLADES network -- The STST protocol", IRIA Tech. Rep. SCH502.3, May 1973.

G. Le Lann and H. Le Goff, "Verification and evaluation of communication protocols", Computer Networks, Vol. 2 (1), North-Holland / Elsevier, Feb. 1978, pp. 50-69.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/03765>

07578900399

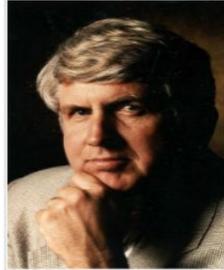
© 1974 IEEE. Reprinted, with permission, from IEEE Trans on Comm., Vol. Com-22, No. 5 May 1974

◇ 1974-1977 : TCP° & Interneting

(A) Interconnexions de réseaux hétérogènes en « packet-switching » *

✓ **Ethernet**
(1973)

Bob Metcalfe



✓ **Packet radio**

✓ **Par satellite**

avec la **Norvège** et la
GB (pays dotés
d'IMP et de TIP)

(A) et TCP° ⇔ TCP

(B) Séparation en 2 niveaux et définition du paquet (format, contenus, taille)
pour un réseau de réseaux hétérogènes interconnectés (futur Internet)

NB : jusqu'en 1973, le paquet était défini pour Arpanet = réseau isolé

TCP et (B) ⇔ {
IP et UDP
BGP (border gateway protocol)

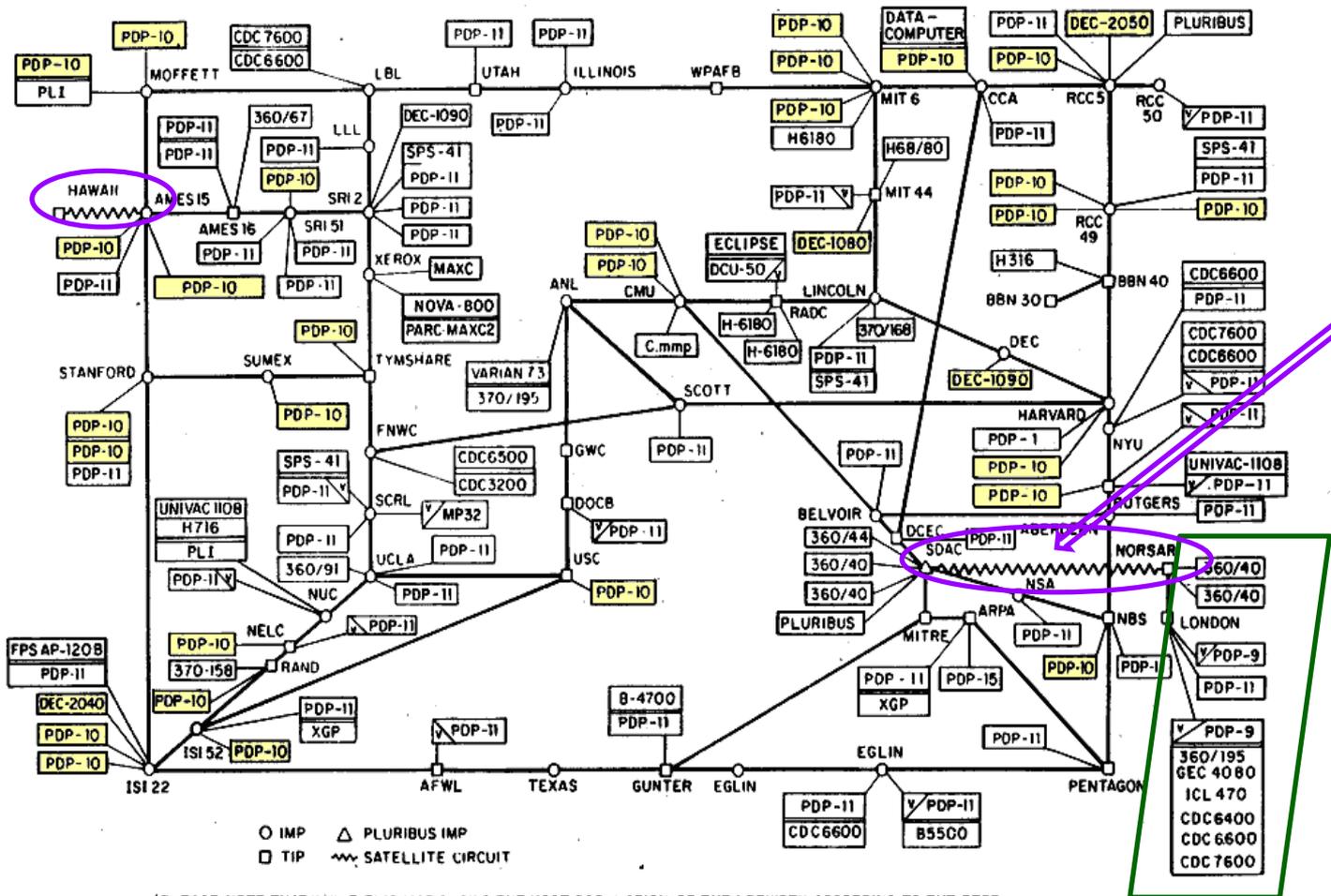
* *La France (via l'équipe Cyclades) non invitée/impliquée*

* *Réseau Cyclades : jamais connecté en packet-switching à aucun autre réseau*

Arpanet 1977

Une douzaine de constructeurs de hosts
(mainframes et miniordinateurs)

Environ 400 hosts
sous TCP



Liaison satellitaire
SDAC (USA) –
NORSAR (Norvège)

Hosts en Norvège
connectés au nœud
NORSAR, et hosts
en GB connectés au
nœud UCL (Londres),
lui-même connecté au
nœud NORSAR

Période 1977—1982

◇ Dissémination et expérimentations ++ de TCP/IP

- Variantes : calcul du RTT, calcul des « crédits » (capacités mémoire/calcul)
- USA, Norvège, GB, ... // principaux travaux à l'INWG, ancêtre de l'IETF

◇ Initiatives anti DARPA

- Réseaux EIN et Euronet (en concurrence)
- Travaux ISO-OSI

L. Pouzin et H. Zimmermann sont contributeurs

Buts : remplacer
modèle et protocoles Arpanet par
un modèle à 7 couches (standards
internationaux) //
TP couche 4 doit remplacer TCP

And the winners are ... DoD Arpanet and TCP !

Mi 1982, DARPA et la Defense Communications Agency annoncent :
Au 1^{er} janvier 1983, Arpanet sera scindé en deux réseaux distincts :

- **Milnet** (Arpanet « militaire »)
- **Internet** (anciennement Arpanet) // TCP remplace NCP

BIRTH OF THE INTERNET

THE ARCHITECTURE OF THE INTERNET AND THE DESIGN OF THE CORE INTERNETWORKING PROTOCOL TCP (WHICH LATER BECAME TCP/IP) WERE CONCEIVED BY VINTON G. CERF AND ROBERT E. KAHN WHILE CERF WAS AT STANFORD'S DIGITAL SYSTEMS LABORATORY BETWEEN MARCH 1973 AND JULY 1976 AND KAHN WAS AT ARPA (LATER DARPA).

THEIR WORK BECAME KNOWN IN SEPTEMBER, 1973 AT A NETWORKING CONFERENCE IN ENGLAND. CERF AND KAHN'S SEMINAL PAPER WAS PUBLISHED IN MAY 1974.

CERF, YOGEN K. DALAL, AND CARL SUNSHINE WROTE THE FIRST FULL TCP SPECIFICATION IN DECEMBER 1974. WITH THE SUPPORT OF DARPA, EARLY IMPLEMENTATIONS OF TCP (AND IP LATER) WERE TESTED BY BOLT BERANEK AND NEWMAN (BBN), STANFORD, AND UNIVERSITY COLLEGE LONDON DURING 1975.

BBN BUILT THE FIRST INTERNET GATEWAY, NOW KNOWN AS A ROUTER, TO LINK NETWORKS TOGETHER. IN SUBSEQUENT YEARS, RESEARCHERS AT MIT AND USC-ISI, AMONG MANY OTHERS, PLAYED KEY ROLES IN THE DEVELOPMENT OF THE SET OF INTERNET PROTOCOLS.

KEY STANFORD RESEARCH ASSOCIATES & FOREIGN VISITORS

DAG BELSNES
RONALD CRANE
YOGEN DALAL
JUDITH ESTRIN
RICHARD KARP
GERARD LELANN



JAMES MATHIS
BOB METCALFE
DARRYL RUBIN
JOHN SHOCH
CARL SUNSHINE
KUNINOBU TANNO

Dedicated July 28, 2005, Stanford

Internet doit son existence à TCP.
TCP et IP (à la suite de TCP)
furent inventés au cours du projet
Arpanet (≥ 1972).

Le paquet/datagramme résulte de
la poursuite des travaux initialisés
dès 1961 (précurseurs).

Finalisation/normalisation par des
centaines de contributeurs
(INWG, CCITT, IETF, ...).

Aucun des pionniers Arpanet ne
peut prétendre avoir joué un rôle
« irremplaçable ».
Les contributeurs, encore moins.

Internet aujourd'hui / Tous appareils / Tous usages

<https://datareportal.com/reports/digital-2022-global-overview-report>

TIME SPENT PER DAY ON THE INTERNET

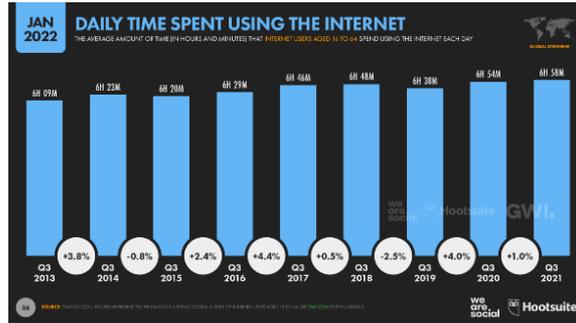
AVERAGE NUMBER OF HOURS SPENT USING THE INTERNET PER DAY VIA ANY DEVICE (SURVEY BASED)



2017

SOURCE: GLOBALWEBINDEX, Q2&Q3 2017, Based on a survey of internet users aged 16-61

LANS GRAPHICS



USA

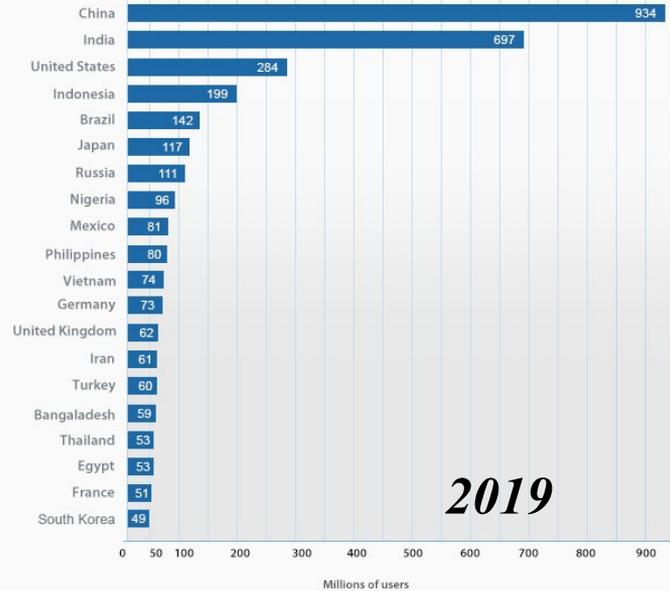
4.95 billion people use the internet daily in 2022 (worldwide)

X connexions TCP par jour par utilisateur (moyenne pondérée sur tous les pays)

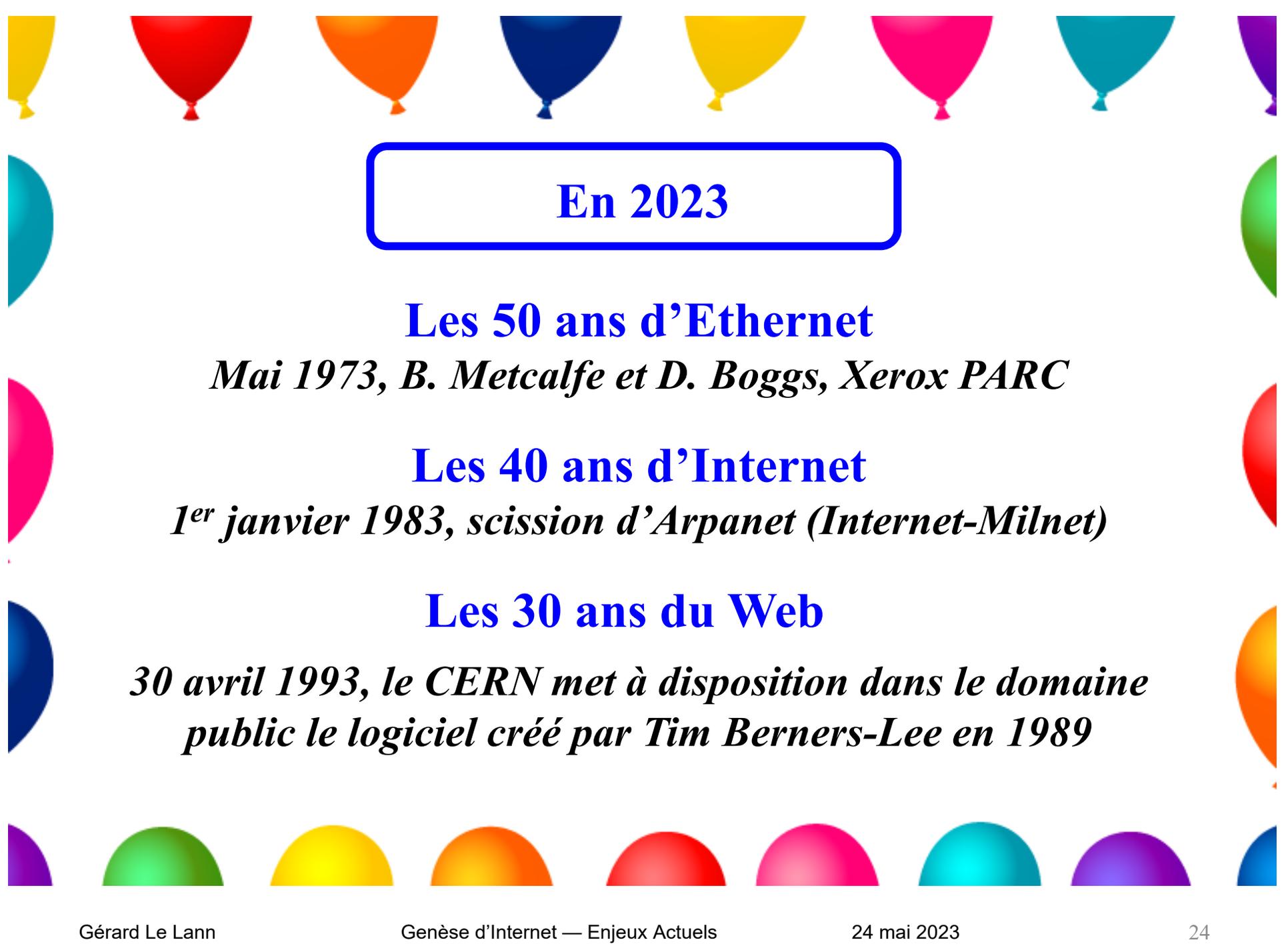
⇒ « sliding window scheme » activé
 ≈ 5 X milliards de fois par jour en 2022 !

Internet Traffic Statistics:

Total number of internet users: 4,803,660,196



2019



En 2023

Les 50 ans d'Ethernet

Mai 1973, B. Metcalfe et D. Boggs, Xerox PARC

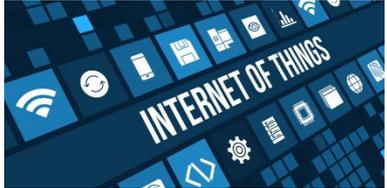
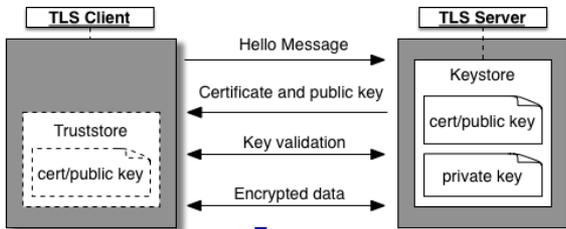
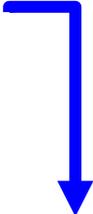
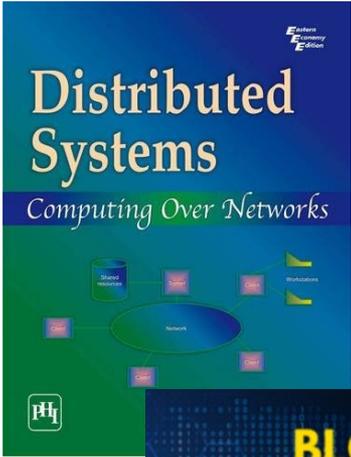
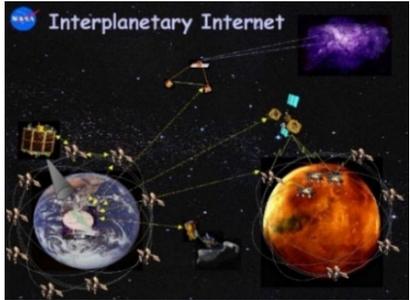
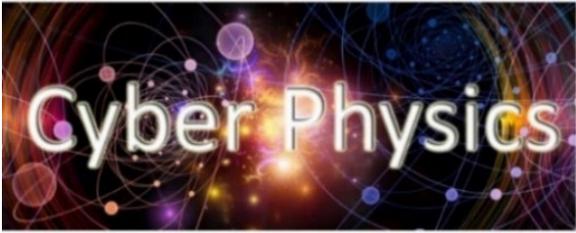
Les 40 ans d'Internet

1^{er} janvier 1983, scission d'Arpanet (Internet-Milnet)

Les 30 ans du Web

30 avril 1993, le CERN met à disposition dans le domaine public le logiciel créé par Tim Berners-Lee en 1989

Internet legacy



Enjeux Actuels (sélection)

Neutralité du Net ?

Souveraineté numérique ... Pour qui ?



50-150 Terabits/s submarine cables
(fiber optics) for Internet
≈ 90% Intercontinental Internet traffic
≈ 25% owned by GAFA

▣ **Internet spatial** (satellites en orbites basses et hautes)

OneWeb (618 satellites) / owned by
Bharti (30 %), Eutelsat (22,9 %) et le
gouvernement britannique (17,6%)



Starlink (> 3.000 satellites)
/ 100% owned by Elon Musk

▣ **Nationalités des constructeurs de smartphones, PC, serveurs, etc. ?**

▣ **iOS, Android, Windows :**
OS incontournables pour tout ce qui est numérique (Cloud/Edge Computing, ...)

~~▣ **Cloud souverain ?**~~ ⇒ **Cloud de confiance !**

▣ **US Cloud Act // CHIPS Act (280 Mrds US\$)**

▣ **TSMC (≤ 3 nanometer technology) in Taïwan / 2023, in the USA (Arizona, ...)**

Privacy / Adversaires passifs : cyber-espionnage, surveillance, ...

Données à caractère personnel ... collectées sans consentement, exploitées, revendues, mises sur la place publique, ...

Big Brother



Big Browser
is watching you...

CNIL ??? RGPD ???

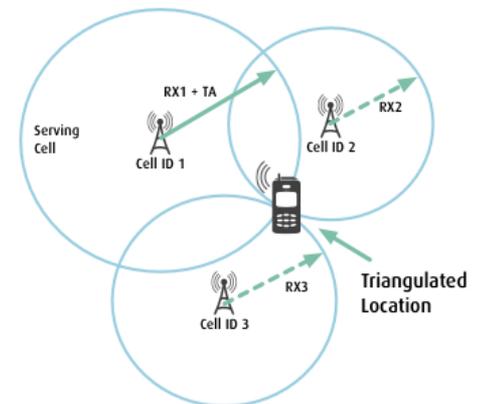
Assistants à commande vocale



Commission Européenne
DS Act, DM Act, AI Act

Irréaliste :
exiger des GAFAM qu'ils
révèlent leurs algorithmes.

Smartphones



Safety & Cybersecurity / Adversaires actifs

- **Cyberattaques & failles zero-day**

Infrastructures, outils d'accès, données, objets (IoT), ...

Masquerading, Sybil attacks, man-in-the-middle attacks, DoS, destructive intrusions, replay attacks, injection of bogus/falsified data, ransomware, ...

- **Risques en cyberspace** \Rightarrow *dommages physiques pour les humains*

- **Altération des capacités mentales :**

harcèlement, addiction aux réseaux sociaux, etc. \equiv « piratage » des cerveaux

- **Sécurité-innocuité compromise :** blessures graves/irréversibles, décès



Particularly worrying with
Connected Autonomous Cars



**Les smartphones-sur-roues peuvent tuer ...
... et l'ont déjà fait !**

Tesla car on Autopilot
Highway 101 (CA), 2018

Humains et Monde Réel

- Surrounded by digital devices (IoT) - Wear digital prostheses (Body Area Nets)
- Within real (safety-critical) networks - With networks inside

Humains, Avatars et Mondes Virtuels

- Within multiverse

Humans with implants inside (humains “augmentés”)



- **Neuralink**, founded in 2016, has yet to receive FDA approval to test its brain chip in humans
- **Synchron**, like Neuralink, aims to help patients with severe paralysis control digital devices
- **Precision Neuroscience**, founded in 2021

Réalité virtuelle / Réalité augmentée ⇔ Métavers / Multivers

- **Technologies essentielles** (Défense, Ingénierie, Industrie, Arts, ...)

Transhumanisme

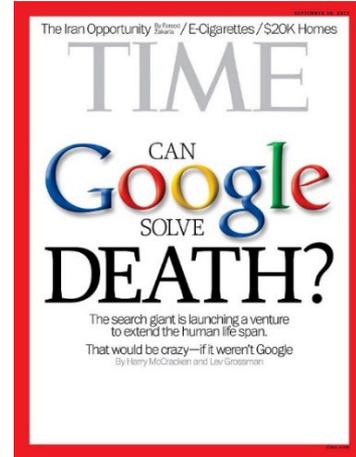
◆ “Digitized brains” stored into computers/clouds / ◆ “Vie éternelle”

Laurent Alexandre, Congrès USI, Paris, 25/06/2013 :

“L’homme qui vivra 1.000 ans est déjà né.”

Source Insee, pour la France (2023) : **Les filles nées en 2022 devraient vivre 93 ans en moyenne et les garçons 90 ans.**

Source Eurostat (2023) / Espérances de vie à la naissance en 2021 :
Union Européenne : 80 ans / États-Unis : 76 ans.



IA et « singularity »

◆ Intelligence de l’humain « non augmenté » supérieure à l’IA ?

◆ IA supérieure à l’intelligence humaine ?

2008 : Ray Kurzweil prédit la « singularity » pour 2045

2023 : Ray Kurzweil prédit la « singularity » pour ... 2029

➤ Humains non « augmentés » ?

➤ L’intelligence humaine (naturelle) n’évolue pas avec le temps (!?)



IA (Intelligence Algorithmique) générative/conversationnelle

- ✿ **GPTx, MusicLM, etc.** : LLMs et apprentissage profond (réseaux de neurones, inférence bayésienne, ...).

L'exactitude des résultats dépend (1) des données utilisées en apprentissage (quantité, couverture, fraîcheur), (2) des biais des vérificateurs ... humains.

- ✿ **ChatGPTx, Bard, Midjourney, etc.**

L'exactitude des réponses dépend également des formulations des questions (« prompts »).

GPT-3 : 174 Mrds de paramètres, traite du texte

GPT-4 : 540 Mrds de paramètres, traite du texte et du visuel (images, écrans, ...)

Yann Le Cun, META, 2023 :

« D'ici cinq ans, plus personne n'utilisera un modèle tel que ChatGPT. »

Mais au fait ... quelle définition pour « Intelligence Humaine » ?

Elle proviendrait de la structuration du cerveau, qui évolue avec le temps. Pas de « surcouches » / complexification du cortex (réseaux de neurones et synapses).

Vue, ouïe, odorat, goût, toucher / Cinq sens fondamentaux pour l'acquisition des facultés cognitives, puis leur utilisation (« entrées » instantanées du cerveau).

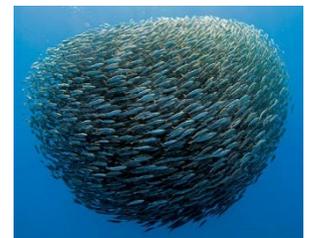
IA supérieures à l'intelligence humaine ?

- « Supérieures » ???
- **Vue, ouïe, odorat, goût, toucher ? \Rightarrow Rendez-vous lorsque nous aurons vu, à l'œuvre, des androïdes ou des robots humanoïdes dotés d'IA générale ...**

Les hubots de « Real Humans » ?

« Société » homogène, harmonieuse ?

- **IA supérieures à l'intelligence animale ... ?**



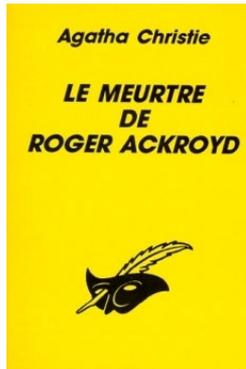
L'IA source de créativité ?

Physique Newtonienne \Rightarrow *IA générative* \Rightarrow *Physique Newtonienne*

Mécanique Classique \Rightarrow *IA générative* \Rightarrow *Mécanique Classique*

Physique Newtonienne \Rightarrow Albert Einstein \Rightarrow Physique Relativiste

Mécanique Classique \Rightarrow Niels Bohr \Rightarrow Mécanique Quantique



**ChatGPTx vs Agatha Christie :
mieux que Pierre Bayard ?**



Mais les IA de demain ne seront pas les IA d'aujourd'hui ...

L'IA source de créativité ?

Sans les humains, les IA « condamnées » à la circularité...
... ou capables de produire des innovations de rupture ?

★ Invraisemblable : réponses à des questions ouvertes fondamentales
(de quoi est faite la matière noire, ... ?)

★ Vraisemblable : dans des ensembles gigantesques de données :
— découverte de corrélations cachées entre certains éléments,
— identification d'éléments de « qualité informationnelle » insuffisante,
— .../...
... introuvables par des humains en des temps « raisonnables ».

⇒ L'intelligence humaine magnifiée/augmentée par les IA
(questions « inattendues ») ...
... à quels coûts ?

Cerveau humain

Poids \approx 1,35 kg

\approx 100 Mrds de neurones

Consommation \approx **15 Watts**

Largest public supercomputers

in the world are currently

20 Megawatts to 30 Megawatts

Meta Research Super Computer

Cluster de serveurs de
20.250 Nvidia GPUs

Valeur > 1 Mrd US\$

The Nvidia RTX 2080 has a total of 225W graphic units, 650W minimum system power.

90 Nvidia RTX 2080 * 650

\Rightarrow **58,5 Megawatts**

L'intelligence humaine magnifiée/augmentée par les IA générales.

Les IA générales magnifiées/augmentées par l'intelligence humaine.

\Rightarrow La coexistence est inévitable (*sur Terre et ailleurs*).

NB : tous les supports de cette présentation ont été générés par un humain.

Et maintenant ...

Qui détermine notre futur univers cyberphysique ?

◆ **Années 1970++ (Arpanet/Internet)**

Une agence gouvernementale suscite l'innovation et l'impose aux industriels.

◆ **Années 2010++**

Les GAFAM créent l'innovation et l'imposent aux autorités publiques.

Vortex numérique

Humans inside networks



Avec Internet, les humains ont commencé leur migration vers un univers cyberphysique ...

... à façonner selon quelles valeurs éthiques, sociétales, morales, civilisationnelles, ...?

Distributed Systems--Towards a Formal Approach (1977)

<https://hal.inria.fr/hal-03504338>

Entre Stanford et Cyclades, une vision transatlantique de la création d'Internet (2020)

<https://www.inria.fr/fr/entre-stanford-et-cyclades-une-vision-transatlantique-de-la-creation-dinternet>

Time, reliable communications, distributed algorithms and the Internet (2021)

<https://hal.inria.fr/hal-03504370>

Sur la sécurité cyber et physique des humains dans les futurs réseaux (2022)

<https://inria.hal.science/hal-03684098v1/document>



Conduite automatisée, cybersécurité et enjeux de société (2018)

<https://www.espace-sciences.org/conferences/conduite-automatisee-cybersecurite-et-enjeux-de-societe>

Cyberphysical Constructs and Concepts for Fully Automated Networked Vehicles (2019)

<https://hal.inria.fr/hal-02318242>

**Next Generation Vehicles, Safety, and Cybersecurity—The CMX Framework
(avec Qualcomm USA, à paraître)**

Optionnel

1972-1976 : Cyclades

◇ Louis Pouzin

- 1972-1973 : Recrute, s'adjoit par contrat les conseils de BBN, contrat pour la CII (Louveciennes) / 3 Mitra-15, futurs nœuds de Cigale

Relations conflictuelles avec les PTT (d'où vient le budget Cyclades ?)

- 1974-1975 : Supervise l'avancement de Cigale et Cyclades (IRIA, CII, IMAG)

Chance ! Arpanet est dans sa phase v2 (back to pure packet-switching)

- ▶ **Il suffit de copier / Choix aisé pour Cyclades, car seulement 2 constructeurs de « hosts » (IBM et CII)**

- 1975-1976 : Fonctionnement du réseau Cyclades

- Principales contributions/participations :

rien sur TCP

- ▶ Réunions et conférences internationales
- ▶ Travaux sur *packet* * et IP / **Un des contributeurs les plus actifs à l'INWG : poursuite des résultats établis par Baran/Davies et pendant Arpanet**

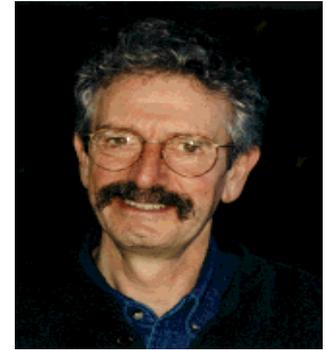
Catenet, nom proposé au lieu de Internet

Packet Networks-Issues and Choices. IFIP Congress 1977: 515-521

* Le terme *datagram* fut inventé en 1973 par Halvor Bothner-By, ingénieur norvégien / CCITT



◇ **Hubert Zimmermann**



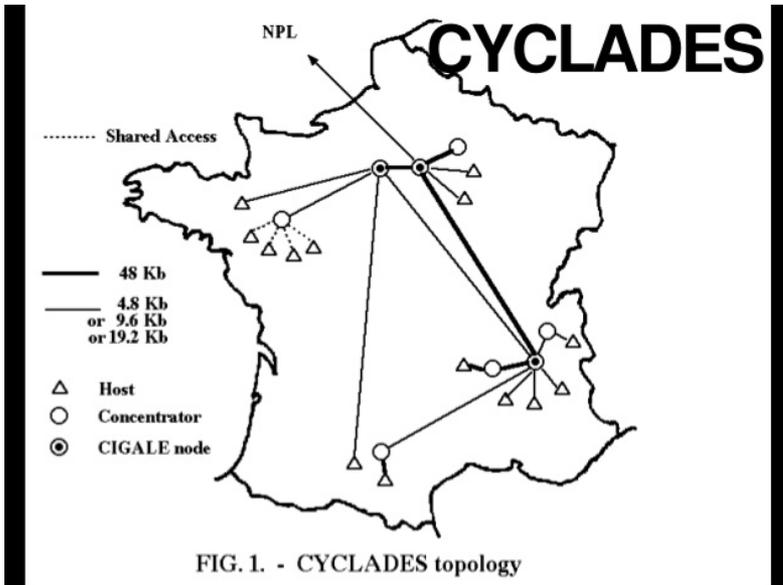
- **1972 : Spécifie le protocole ST-ST v1, inspiré de NCP**
- **1973-1974 : Spécifie ST-ST v2**
(intégration du sliding window scheme) / jamais implémenté
- **1974-1976 : Supervise les travaux de la CII, et les démonstrations**
(connexions temporaires avec d'autres réseaux, via lignes tel PTT)
- Principales contributions/participations jusqu'en 1977
 - ▶ Réunions INWG et conférences internationales
 - ▶ **Travaux sur « Lettergram »** (≈ fragment TCP) et « **International end-to-end protocol** » (pour *remplacer* TCP)

Participation aux travaux conduits aux USA et en GB (UCL)

The Cyclades Experience-Results and Impacts. IFIP Congress 1977: 465-469

Après 1976, militera pour le modèle ISO-OSI
(hiérarchie de protocoles à 7 couches)

Réseau Cyclades 1976



Fictionnel

En 1976, pale copie de Arpanet v2

3 nœuds ● (IRIA, CII, IMAG)

- ▶ routage adaptatif ???
- ▶ 0 connexion en packet switching avec d'autres réseaux

Unique connexion externe permanente :
IRIA-MIT via ligne louée aux PTT.

Grâce à laquelle nous pouvions échanger emails et fichiers avec la communauté Arpanet, via le Centre de calcul (Multics) du MIT.

Bilan

- ▶ 0 utilisateur, hors membres de Cyclades, ingénieurs de la CII, et des universitaires à Grenoble et à Rennes (performances en cause ?)
- ▶ 0 retombées industrielles (tentatives de la CII restées sans suite)

IFIP Congress, Toronto, August 8-12, 1977 (ordre des pages)

Thèmes autres que « networks/packet-switching, etc. »

Gérard Le Lann:

Distributed Systems - Towards a Formal Approach

Jacques-Louis Lions:

Numerical Methods for Variational Inequalities

Applications in Physics and in Control Theory

Thèmes « networks, packet-switching, etc. »

Paul Baran:

Some Perspectives on Networks-Past, Present and Future

Hubert Zimmermann:

The Cyclades Experience-Results and Impacts

C. Ian McGibbon, Howard Gibbs:

DATAPAC - A Phased Approach to the Introduction of Public Packet-Switched Network

Louis Pouzin:

*Packet Networks-Issues and Choices ***

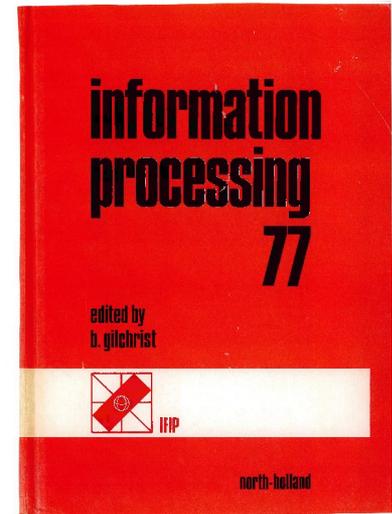
Lawrence G. Roberts:

Packet Network Design-The Third Generation

Leonard Kleinrock:

Performance of Distributed Multi-Access Computer-Communication Systems

**** Des représentants des PTT et J.L. Lions assistent à cette présentation**



La fin de Cyclades

- ▶ 1976 : Fin des travaux sur le réseau / Louis Pouzin lance les projets-pilotes, logés à l'Agence de l'Informatique (tour de La Défense, Paris)
- ▶ 1977 : **Présentation au Congrès IFIP 1977 par L. Pouzin** suivie de plaintes adressées à la DIELI (Direction générale de l'industrie ; Direction industries électroniques, informatique)
 - ⇒ **La DIELI demande à André Danzin (Directeur de l'IRIA) de faire savoir à L. Pouzin qu'il doit céder sa place à H. Zimmermann à la tête du projet Cyclades**
- ▶ 1979 : H. Zimmermann quitte Cyclades / Après un passage au CNET (PTT), rejoint l'équipe Chorus de l'IRIA (J.S. Banino)
- ▶ 1980 : J.L. Lions nommé Président de l'INRIA (nouveau nom de l'IRIA)
- ▶ 1980 : **L. Pouzin hébergé au CNET (les PTT !) ...**

Depuis ≈ 2010, une incompréhensible falsification de l'Histoire

Les interviews destinées aux médias « grand public », sollicitées pour la plupart, les auto-interviews (modifiées a posteriori) et les ouvrages co-signés par des thuriféraires inconnu(e)s dans la communauté Arpanet/Internet sont de peu d'intérêt (ni croisement, ni vérification des sources).

◆ ◆ ◆ **Exemples de contre-vérités** ◆ ◆ ◆

« **Comment j'ai inventé le Datagramme** » Interview de L. Pouzin par lui-même.
Extrait (1^{ère} parution dans open-root, modifiée récemment) :

Je ne connais pas d'antécédent du datagramme, ni en description ni en réalisation.

« **L. Pouzin n'a pas inventé Internet, mais, sans lui, Internet n'existerait pas** »

Interview sollicitée, L'Express, octobre 2019

◆ ◆ ◆ **Mais** ◆ ◆ ◆

Valérie Schafer, ex-CNRS, professeure d'Histoire contemporaine, Université du Luxembourg / *Le Monde des Sciences, interview par D. Leloup, 30 mars 2021*

« L'idée que les Américains auraient, en intégrant du datagramme, repris un truc totalement inventé en France, est fausse. »

Fin 2019, la commémoration du cinquantenaire de la mise sous tension du réseau Arpanet a fait resurgir des **vieilles frustrations et revendications franco-françaises** qui sont allées jusqu'à prétendre que, sans de mauvaises décisions industrielles imputables à Valéry Giscard d'Estaing, *Internet aurait pu être français*, notamment grâce à « *l'invention du datagramme* » revendiquée par **Louis Pouzin**. Des revendications similaires auraient pu être exprimées par les **Britanniques et notamment par Donald Davies** si sa modestie ou sa disparition prématurée l'en avaient empêché. ✱ Le fait de **répéter sans cesse et de façon obsessionnelle** que « *Cyclades a été abandonné par le gouvernement français en 1974 au profit du Minitel* » ou que « *Bob Kahn et Vinton Cerf ont tenté de mettre en œuvre ce concept de datagramme dans le réseau Arpanet à partir des travaux de Cyclades* » n'en fait pas une vérité.

✱ **Internet pioneers airbrushed from history**, The Guardian, 25 Jun 2013, Roger Scantlebury, Peter Wilkinson, Former NPL engineers (**à propos du QE Prize 2013**)
https://www.theguardian.com/technology/2013/jun/25/internet-pioneers-airbrushed-from-history?CMP=twt_gu

⇒ **Donald Davies aurait pu/dû recevoir ce prix.**

Ainsi que Hubert Zimmermann.

Mais D. Davies et H. Zimmermann nous ont quittés avant 2013...

◆ ◆ ◆ Autre exemple de contre-vérité ◆ ◆ ◆

« Les pionniers nord-américains ont copié Cyclades pour faire Arpanet »

Les sources les plus fiables sont les **déclarations de Louis Pouzin lui-même, lors d'interviews destinées à des lecteurs « avertis »** (qui pourraient connaître le sujet).

➔ **Surprenantes et édifiantes contradictions. Exemples :**

- Revue de la Société Informatique de France, n° 1024 (2015), page 76 :
« **J'avais déjà (1972) pris l'option datagramme, parce que j'avais étudié à fond les expériences menées au National Physical Lab, et je connaissais assez bien le réseau de paquets de l'ARPA. C'était un service à circuit virtuel, mais son fonctionnement à l'intérieur, c'était du datagramme** ».
- Le Monde des Sciences, 31 mars 2021, interview par D. Leloup :
« **Je ne revendique certainement pas d'avoir inventé Internet, ni même les datagrammes** ».

Rappels : En 1961, Paul Baran invente la fragmentation et le « message block », qui sera appelé :

- « **packet** » en **1965**—**Donald Davies** (NPL) est l’inventeur du mot,
- « **datagram** » à compter de **1973**—**Halvor Bothner-By**, ingénieur norvégien (CCITT) est l’inventeur du mot.

“Baran invented the concept of packet switching while a young electrical engineer at RAND when he was asked to perform an investigation into survivable communications networks for the US Air Force, .../...

His results were first presented to the Air Force in the summer of 1961 as briefing B-265, then as paper P-2626, and then in 1964 as a series of eleven amazingly thorough, comprehensive papers titled On Distributed Communications.”¹²

In B-265, such a network is proposed and partially specified as early as 1961, years before anyone had thought of ARPANET or the NPL Mark I.”¹²

¹² https://www.livinginternet.com/internet/i/iw_packet_inv.htm

Dans le rapport Rand P-2626, on trouve le format du message block, comportant les adresses source et destination, la partie “text”, un indicateur de “precedence” (numéro du bloc dans le message) et le nombre de nœuds visités (“handover number”). Cet entier qui mesure la longueur du chemin parcouru par un block annonce les mesures de délais/durées de séjour d’un paquet dans un réseau. Extraits :

it as a universal standard. A universally standardized message block would be composed of perhaps 1024 bits. Most of the message block would be reserved for whatever type data is to be transmitted, while the remainder would contain housekeeping information such as error detection and routing data, as in Fig. 10.

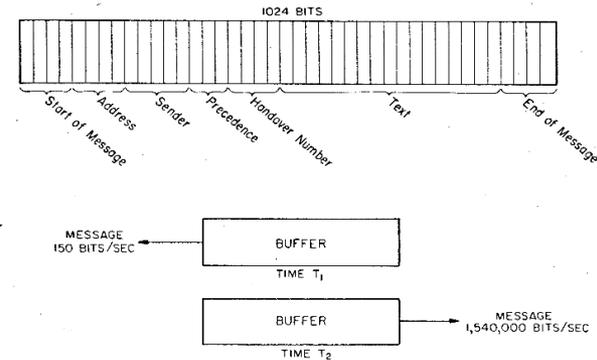


FIG 10 — Message Block

« Les pionniers nord-américains ont copié Cyclades pour faire Arpanet » ???

Une évidente uchronie !

Cyclades avait 5 ans de retard sur Arpanet ...

... et Louis Pouzin 12 ans de retard sur Paul Baran.