

Une brève histoire d'Arpanet/Internet et des contributions IRIA

1957-1982 : 25 années qui vont changer le monde

Gérard Le Lann — Membre des projets Arpanet et Cyclades

■ **Fil conducteur :**

De Joseph C. Licklider et Paul Baran à TCP/IP mis dans le domaine public

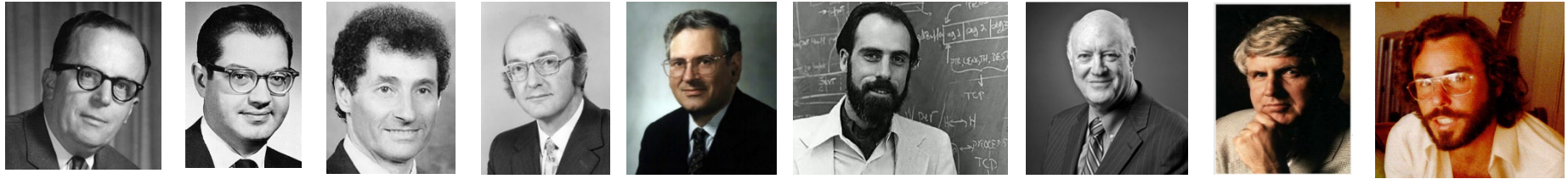
■ **Histoire vérifiable et vérifiée**

- Documents de référence, visioconfs et emails avec 1 précurseur et 5 pionniers nord-américains, et une historienne française
- Mise en lumière de faits historiques endogènes et exogènes dont l'importance fut souvent ignorée

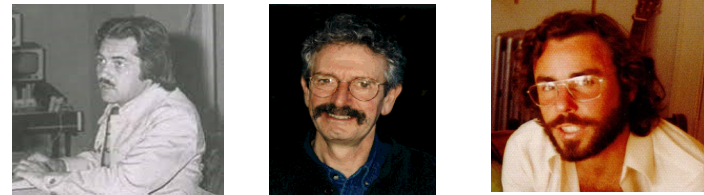
■ **Thème d'actualité**

- A l'origine de technologies essentielles aujourd'hui
- En 2022, environ 5 milliards d'humains utilisent Internet chaque jour
- USA, 2023, *a six episode podcast about the creation of the Internet*
(interviews en cours)

◊ Une brève histoire d'Arpanet/Internet 1957-1982

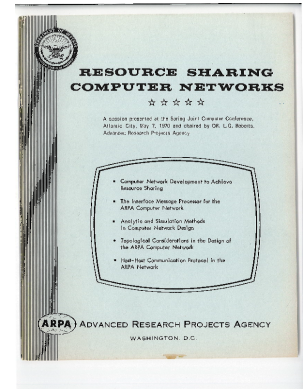
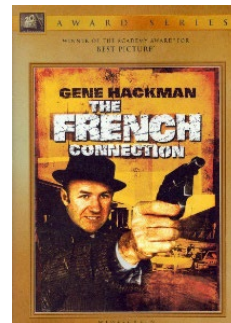


◊ Les travaux IRIA 1972-1977



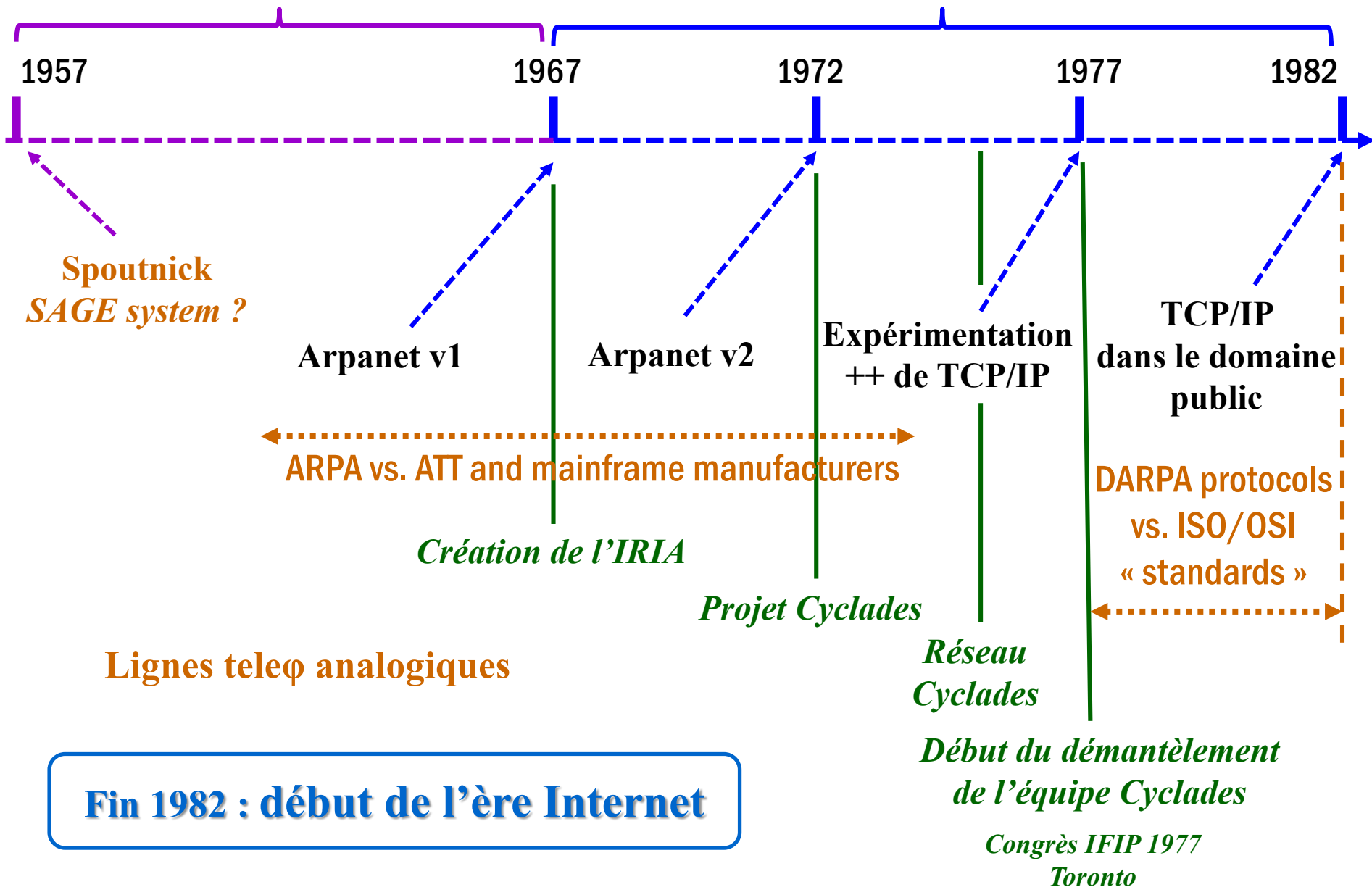
◊ Protocoles réseaux → Algorithmes distribués → Réseaux cyberphysiques (*with humans inside*)

Bonus :
mon 1^{er} contact (surréaliste)
avec les USA, aéroport
Boston Logan, avril 1973



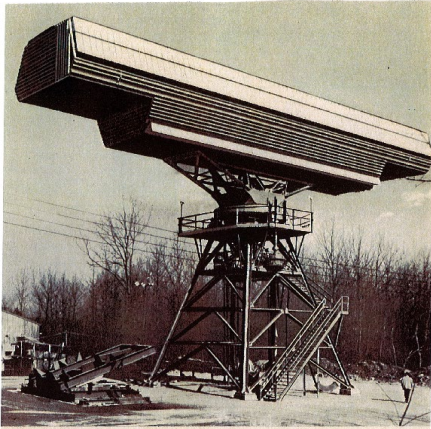
L'ère des précurseurs

L'ère des pionniers Arpanet/Internet



1957 – Le Big Bang

Guerre froide (USA-URSS)



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 revêtement de l'édifice mesure plus de 30 m de large. Les essais en cours à la station de Iowa décideront de son incorporation dans les mailles du réseau américain « SAGE » de défense anti-aérienne.

*Lancement du satellite Spoutnik
Réseau militaire (USAF) SAGE
inadapté ?*



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

Joseph C. Licklider

MIT, Lincoln Lab / MA

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 —

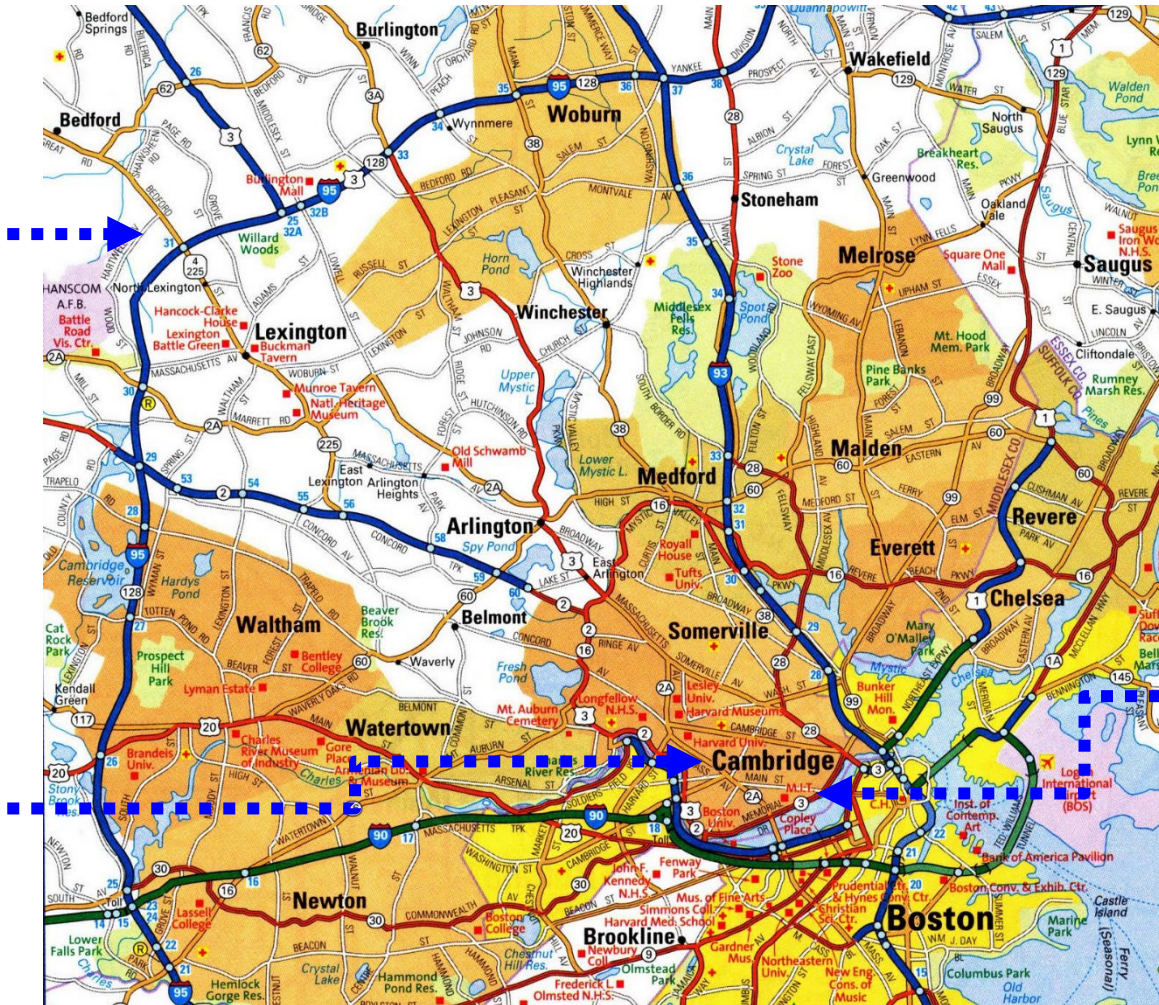
AZ QUOTES

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

Les lieux historiques

Essentiellement : Boston Technology Corridor
+ Los Angeles (Rand Corp) et Londres (NPL)

Lincoln Lab
(MIT staff
working on
Defense related
topics)



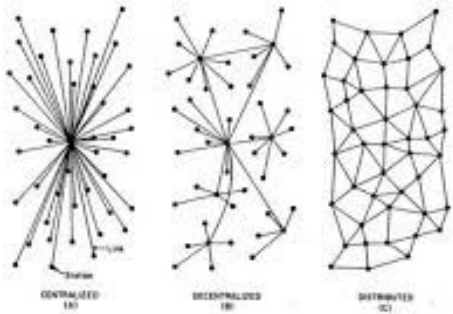
Bolt Beranek
& Newman
(MIT spin-off)

MIT

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
- ◇ Fragmentation des messages en (*universally standardized*) **message blocks** émis et reçus (réassemblage) par les hôtes (source, destination)
- ◇ **Block switching** // Store-and-forward // Hot-potato routing

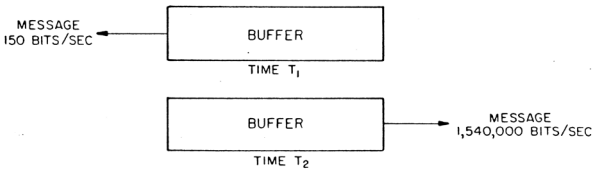
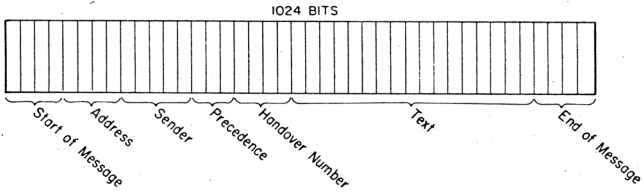
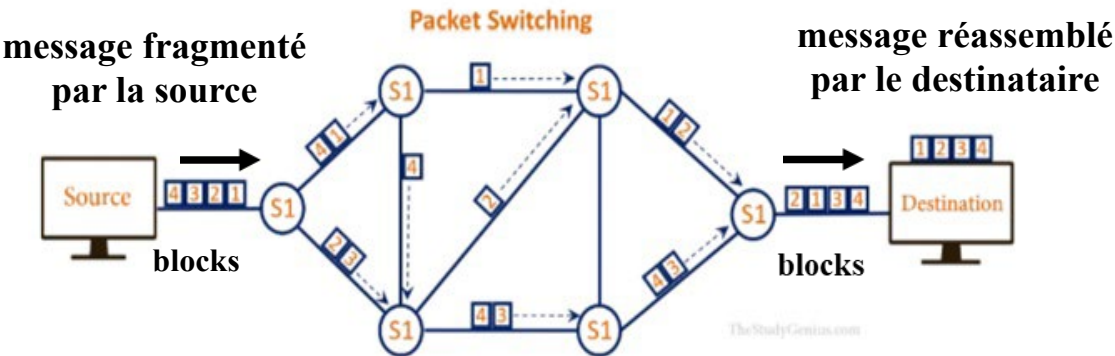


FIG. 10 - Message Block

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

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



*Principe de fragmentation/réassemblage ignoré
Modélisation des réseaux de files d'attente
(M/M/1, Jackson theorem,
mémoire infinie, sans perte, etc.)*

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

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

*Extraordinaire visionnaire. Anticipe et décrit les futurs réseaux généraux
d'ordinateurs en temps partagé, d'application duale (civile, militaire)*

- 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 fin 1965, sont posés les concepts fondateurs de ce qui deviendra le
paquet IP/datagramme — Rien sur le protocole inter-hôtes

1967-1972 : Arpanet v1



◇ 1967 : Larry Roberts, Directeur de l'IPTO (ARPA)

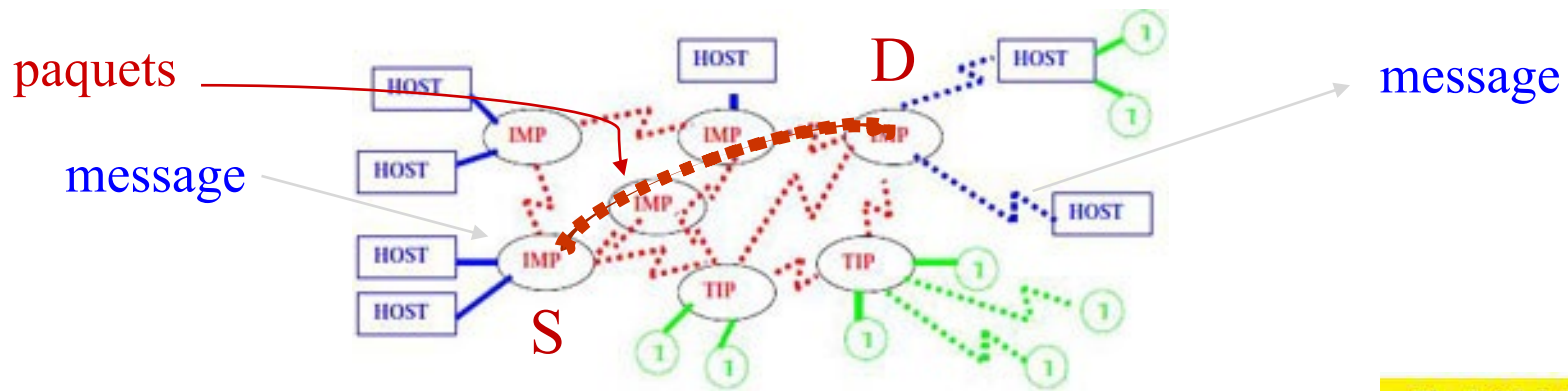
- Prend connaissance des travaux de P. Baran et D. Davies au Symposium “*Operating Systems Principles*”, Gatlinburg, TN
- **Lance le projet Arpanet** ► Appel d’offres pour un réseau “**pure packet-switching**” à la **Baran/Davies** pour hosts hétérogènes (**Licklider**)
- **Contrat** notifié à **BBN**
Autre concurrent en phase finale : System Development Corporation, spin-off de Rand Corp / choix à l’origine d’un “schisme” (rôle de P. Baran « minimisé » -- à tort -- par certains pionniers)

Participants : universités et centres de recherche

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

► Réseau de noeuds (Interface Message Processors, des Honeywell DDP-516) par BBN, qui dévie des concepts fondateurs :

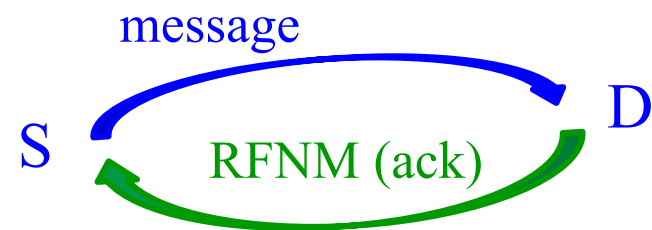
- Réseau fiable !
- Fragmentation/réassemblage par les IMP !



- Circuit virtuel entre **IMP S** (source) et **IMP D** (destinataire), qui assurent fragmentation/réassemblage
- *Pure packet switching* entre IMP intermédiaires (adaptive routing)

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

◇ **1970-71 : Design du protocole inter-hôtes NCP**
(contrôle d'erreur et de flux de bout-en-bout)



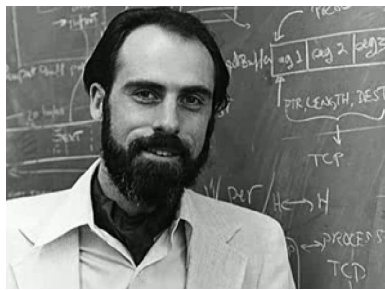
Un seul message en transit sur une connexion host/IMP-to-IMP/host
Déclenchement de timer (RTT) en cas de non réception de RFNM

Contributeurs : Steve Crocker et le Network Working Group (NWG)
Ne croient pas à la possibilité d'un réseau fiable

1972-1977 : Arpanet v2

◇ 1972-1973 :

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



+ SRI (Net Info Center), UCLA,
Univ. Hawaiï, ISI, Xerox Parc,...
Le barycentre Arpanet
bascule vers la côte ouest



— **Premières interconnexions de réseaux en mode « packet switching »**

■ Réseaux Ethernet, Packet Radio, par satellite avec la Norvège et la GB
(pays dotés d'IMP et de TIP) // **supervisé par Bob Kahn/DARPA** //

▶ Premiers travaux sur **paquet** pour **réseau de réseaux** hétérogènes interconnectés

— **Return to basics (1960s) → paquets émis et reçus par les hôtes**

▶ **paquets et messages peuvent être perdus, dupliqués, livrés dans le désordre**

■ DARPA décide de remplacer NCP (dysfonctionnements)

// **Premiers travaux par Steve Crocker, Vint Cerf et Alex McKenzie (BBN)** //

◇ 1973-1974 :

— 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

→ Solutions Arpanet en parallèle aux architectures et protocoles « propriétaires »

→ OS et I/O handlers seront modifiés en conséquence

— Principales innovations

■ Adressage, distinction *ports*, processus, machine, établissement de « connexion de bout-en-bout » (Inter Process Communications)

■ Modes *connectionless* et *connection-oriented* (émergence de IP, UDP et TCP)

■ Difficultés % contrôle d'erreur et de flux en mode *connection-oriented* (*pertes, duplicata, livraisons non FIFO*) ⇒ travaux ne convergent pas

▶ Mars 1973 : Présentation de mes travaux sur le “sliding window scheme” à Bob Kahn et Vint Cerf (à Rocquencourt)

▶ Juin 1973 : Invité par Vint Cerf, je rejoins son équipe à Stanford (intégration du “sliding window scheme” dans TCP)

V. Cerf, R. Kahn, 1974

Original publication on TCP

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_{11} , 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 acknowledgment 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 acknowledgment for a particular packet is received, the TCP will retransmit. It is our expectation that the most 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

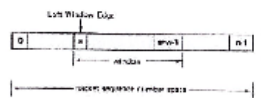


Fig. 10. The window concept

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. Generalized 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).

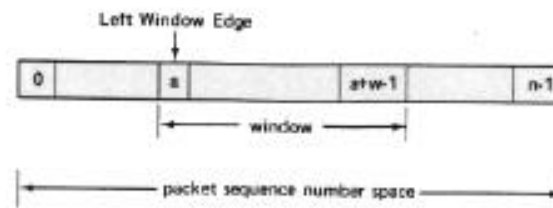


Fig. 10: The window concept

[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

Publication tardive / Dès 1975, mes travaux étaient centrés sur « Algorithmes Distribués »

Arpanet 1977

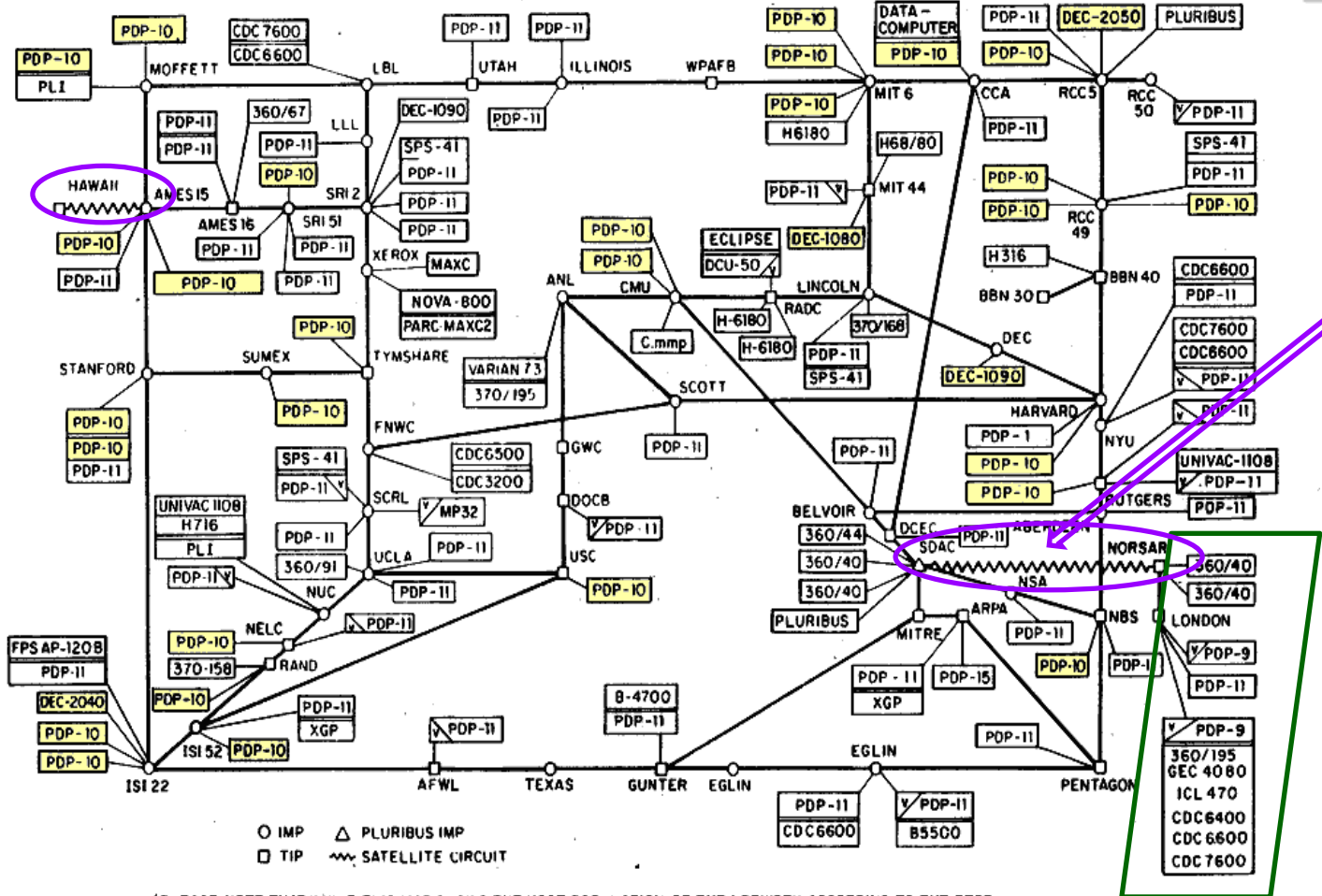
Une douzaine de constructeurs de mainframes et miniordinateurs (DEC, etc.)

Environ 400 hosts sous TCP

Source port		Destination Port	
Sequence number			
Acknowledgment number			
DO	RSV	Flags	Window
Checksum		Urgent pointer	
Options			

TCP segment header

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

1972-1977 : 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 : Mise en service du réseau Cyclades

- Principales contributions/participations :

- ▶ Réunions et conférences internationales

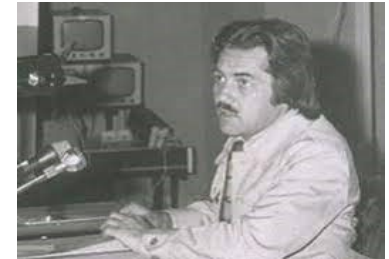
- ▶ Travaux sur *packet* * et IP / Contributeur à INWG :

poursuite des résultats établis par Baran/Davies et pendant Arpanet v1 /

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



rien sur TCP

◇ **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
- **1974-1977 : 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 »** (≈ segment TCP) et « **International end-to-end protocol** »

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

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

Après 1977, militera pour le modèle ISO-OSI
(hiérarchie de protocoles à 7 couches)

— 1972-1973 : Université de Rennes/Cyclades



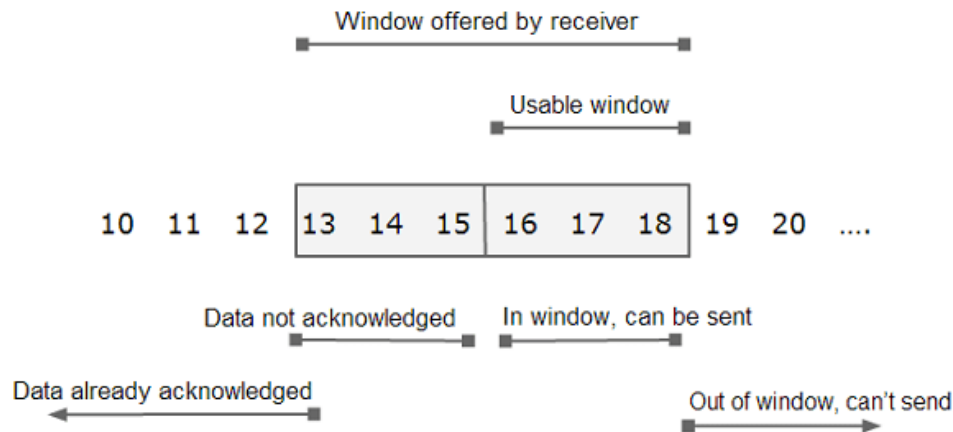
Simulation de NCP et ST-ST v1 (inter hosts)

- ▶ Découverte des causes des dysfonctionnements
- ▶ Découverte de l’algorithme “sliding window” :

Contrôle d’erreur et de flux de bout-en-bout, FIFO, sans perte ni répétition

Pas de type « additif » (≠ travaux Arpanet sur post-NCP)

⇒ Identifiants uniques et séquentiels pour paquets ∈ connexion donnée



— 1973-1974 : Université de Stanford/Arpanet

— 1974-1978 : IRISA (Rennes) / IRIA Rocquencourt en 1978

(1972-73) Simulation of Arpanet NCP and Cyclades Protocol in Simula-67

```

***/ 0 | 463449 | EF | 0 | 0 | U PURG LI | |
***/ 0 | 463419 | EF | 0 | 0 | U PURG LI | |

***/ 0 | 466796 | EF | 34 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 466793 | EF | 39 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/

***/ 0 | 467000 | EF | 34 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/

53/ 0 | 467456 | EF | 37 | 18 | D ETAB LI | RECU I
***/ 0 | 467576 | EF | 39 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 468505 | EF | 39 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 468542 | EF | 39 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/

***/ 0 | 469433 | EF | 30 | 0 | U PURG LI | 0/ 0/
***/ 0 | 469551 | EF | 30 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/

62/ 0 | 469728 | EF | 2 | 6 | D PURG LI | RECU I

67/ 0 | 472767 | EF | 27 | 7 | D ETAB LI | RECU I
***/ 0 | 473134 | EF | 29 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/

82/ 0 | 474574 | EF | 2 | 6 | D PURG LI | RECU I
***/ 0 | 474543 | EF | 39 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 475285 | EF | 39 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/

88/ 0 | 476027 | EF | 36 | 13 | D ETAB LI | RECU I
***/ 0 | 476625 | EF | 38 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 477414 | EF | 3 | 0 | U PURG LI | |

71/ 0 | 478589 | EF | 2 | 6 | D PURG LI | RECU I

73/ 0 | 479635 | EF | 32 | 7 | D ETAB LI | RECU I
***/ 0 | 479873 | EF | 39 | 9 | U ETAB LI | 0/ 0/

***/ 0 | 484255 | EF | 44 | 15 | D ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 484120 | EF | 44 | 15 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 485400 | EF | 44 | 15 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 57 | 485990 | EG | 0 | 0 | U FERR LI | | L687
***/ 57 | 486000 | EG | 0 | 0 | U FERR LI | |
***/ 0 | 486018 | EG | 44 | 15 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 486137 | EG | 44 | 15 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 486243 | EG | 44 | 15 | U ETAB LI | 0/ 0/

***/ 0 | 486992 | EG | 44 | 15 | U ETAB LI | 0/ 0/
57/ 0 | 486995 | EA | 0 | 0 | D TIMEOUT LI | 0/ 0/

***/ 58 | 487155 | EB | 37 | 12 | U ETAB LI | EMIS I
58/ 58 | 487176 | EB | 37 | 12 | D ETAB LI | EMIS I

***/ 0 | 488740 | EB | 37 | 12 | U ETAB LI | 0/ 0/

***/ 84/ A3 | 489456 | EB | 0 | 0 | D TIMEOUT LI | |
61/ 62 | 489489 | EB | 0 | 0 | D PURG LI | EMIS I XL6R

61/ 0 | 470456 | EA | 1 | 0 | D TIMEOUT LI | |
***/ 63 | 472540 | EB | 47 | 7 | U ETAB LI | 0/ 0/
63/ 63 | 472556 | EB | 47 | 7 | D ETAB LI | EMIS I

***/ 0 | 473722 | EB | 27 | 7 | U ETAB LI | 0/ 0/
63/ 65 | 474540 | EG | 0 | 0 | D TIMEOUT LI | |
65/ 65 | 474576 | EG | 0 | 0 | D PURG LI | EMIS I XL6R

***/ 0 | 474689 | EG | 27 | 7 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 474951 | EG | 27 | 7 | U ETAB LI | 0/ 0/

65/ 0 | 475340 | EA | 0 | 0 | D TIMEOUT LI | |
***/ 67 | 476172 | EG | 36 | 13 | D ETAB LI | 4/ 0/
67/ 68 | 476172 | EG | 36 | 13 | D ETAB LI | EMIS I

***/ 0 | 476302 | EG | 36 | 13 | U ETAB LI | 0/ 0/
***/ 0 | 476928 | EG | 36 | 13 | U ETAB LI | 0/ 0/

67/ 73 | 478172 | EG | 0 | 0 | D TIMEOUT LI | |
73/ 73 | 478228 | EG | 0 | 0 | D PURG LI | EMIS I XL6R

75/ 0 | 479472 | EA | 0 | 0 | D TIMEOUT LI | |
***/ 72 | 479278 | EG | 32 | 7 | U ETAB LI | |
72/ 73 | 479278 | EG | 32 | 7 | D ETAB LI | |
***/ 0 | 479578 | EB | 32 | 7 | U ETAB LI | |

```

Fig. 2. Example of output.

Packets may be lost, retransmitted, and duplicated. Delays are variable and unbounded.

→ No FIFO delivery

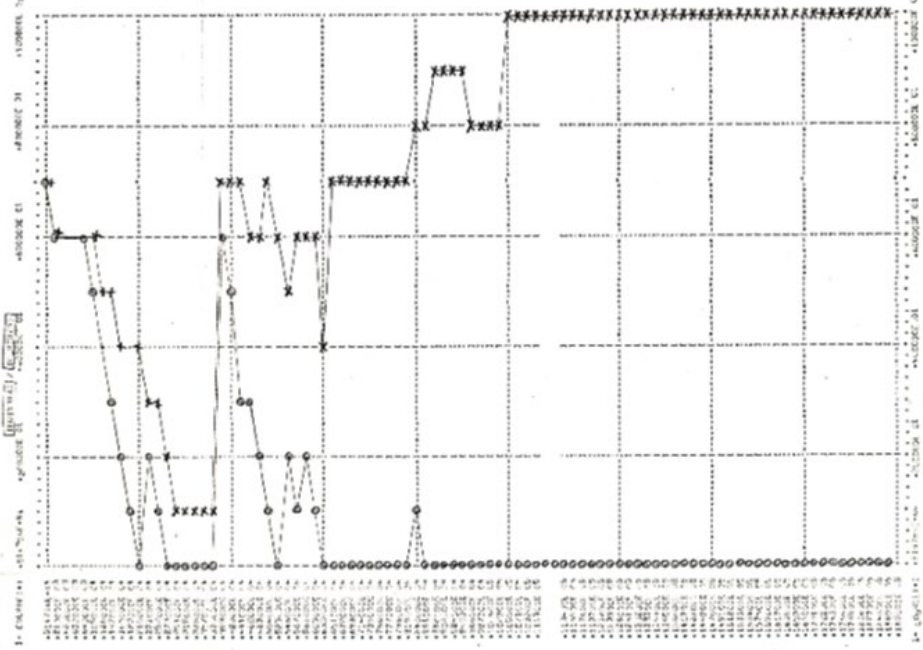
FIFO delivery achieved via the sliding window scheme

← Error control

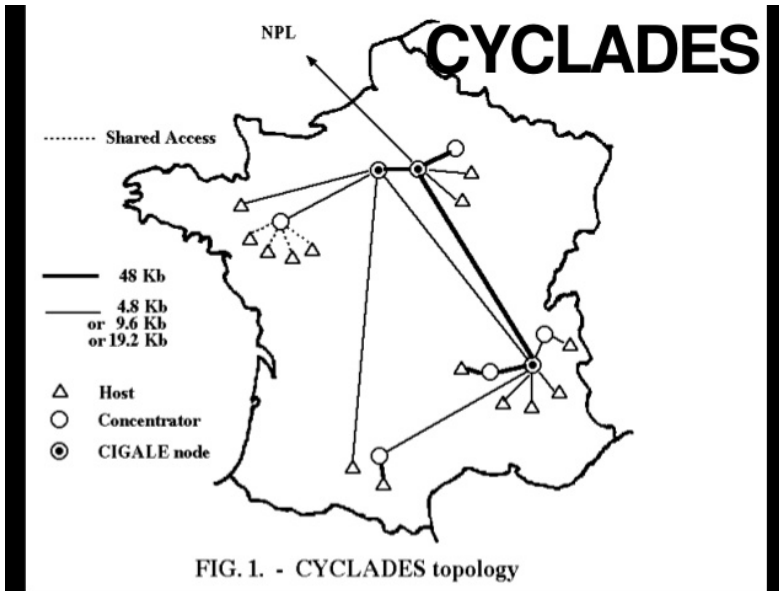
↓ Flow control

Sequences of events in virtual time
 → causal relationships
 → causes of malfunction

End port buffers occupancy
 → Overflows and loss of synchronization



Réseau Cyclades 1977



Fictionnel

En 1977, 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.

By 1976, 75% of all ARPANET traffic was electronic mail.

Bilan

- 0 utilisateur, hors membres de Cyclades, ingénieurs de la CII, et quelques 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:

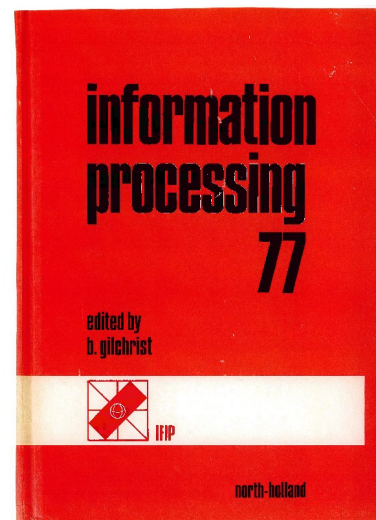
*Packet Networks-Issues and Choices ***

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 : Jean Le Bihan quitte Cyclades / Lance le projet-pilote SIRIUS (Bases de Données Distribuées), logé à l'ADI (La Défense)
- ▶ 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 de 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 Directeur de l'IRIA
- ▶ 1980 : L. Pouzin hébergé au CNET

Depuis \approx 2010, une incompréhensible falsification de l'Histoire

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

Exemples :

- L. Pouzin a inventé le datagramme
- Les pionniers nord-américains ont copié Cyclades pour faire Arpanet *



Il ne peut exister de sources plus fiables que les déclarations de L. Pouzin lui-même, lors d'interviews destinées à lectorat scientifique (donc à des « connaisseurs »).

Exemples :

- Revue de la Société Informatique de France, n° 1024 (2015), page 76 : « J'avais déjà 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, interviews par D. Leloup : « Je ne revendique certainement pas d'avoir inventé Internet, ni même les datagrammes ».

* Une uchronie, parfaite illustration de « Le plagiat par anticipation », Pierre Bayard, 2009.

◆ **Dissémination et expérimentations ++ de TCP/IP**

- Et de variantes : calcul du RTT, calcul des « crédits » (destination host buffers)
- USA, Norvège, GB, ... (principaux travaux à l'INWG / puis IFIP TC6 et IETF)

◆ **Initiatives anti DARPA**

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

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

L. Pouzin et H. Zimmermann sont contributeurs

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

◆ **Mi 1982, DARPA et DCA (Defense Communications Agency) annoncent :**

- **Le *switch day* (NCP remplacé par TCP) est fixé au 1^{er} janvier 1983**
- **Création de Milnet (Arpanet « militaire »)**

Internet aujourd'hui / Tous appareils / Tous usages

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

TIME SPENT PER DAY ON THE INTERNET

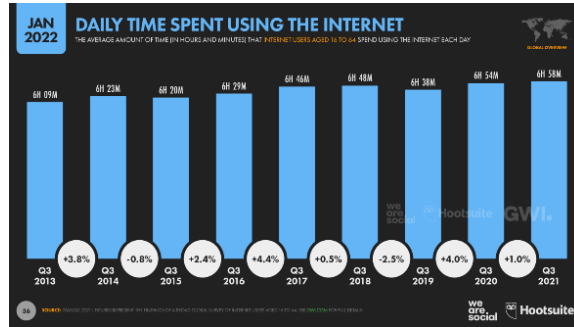
AVERAGE NUMBER OF HOURS SPENT USING THE INTERNET PER DAY VIA ANY DEVICE (SURVEY BASED)



2017

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

LANE GRAPHICS

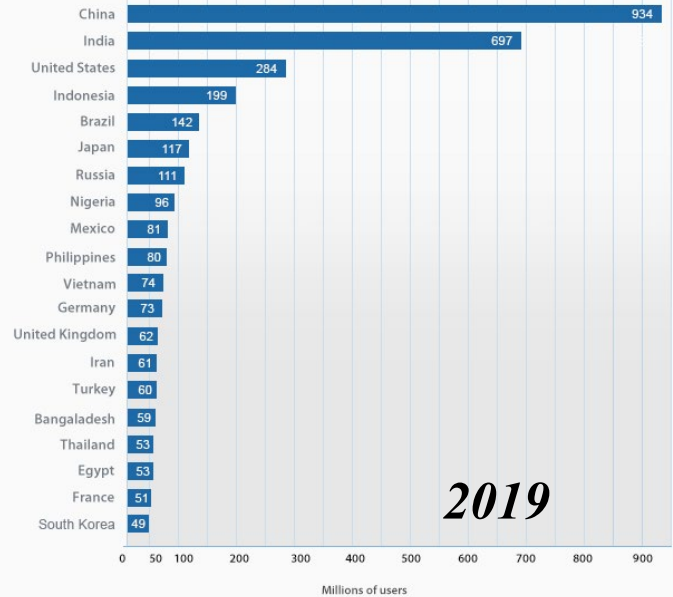


USA

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

Internet Traffic Statistics:

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



2019

C connexions TCP par jour par utilisateur
(moyenne pondérée par temps de connexion)

⇒ sliding window scheme activé

≈ 5 C milliards de fois par jour en 2022 !

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.

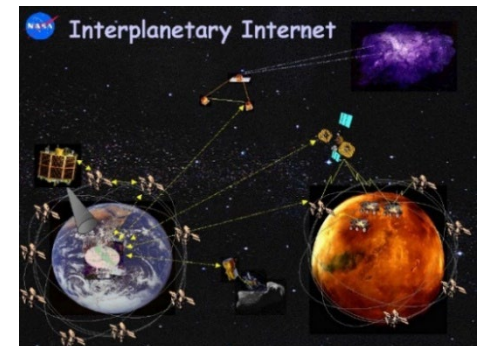
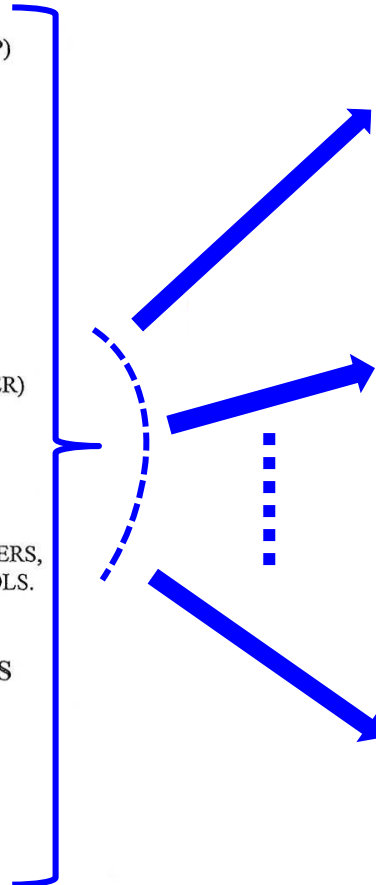
BBN BUILT THE FIRST INTERNET GATEWAY, NOW KNOWN AS A ROUTER, TO LINK NETWORKS TOGETHER. IN SUBSEQUENT YEARS, RESEARCHERS AT MIT AND USC-ISI, AMONG MANY OTHERS, PLAYED KEY ROLES IN THE DEVELOPMENT OF THE SET OF INTERNET PROTOCOLS.

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

**Fertilisation croisée
avec autres innovations**

Protocoles Réseaux \Leftrightarrow Algorithmes Distribués

D'un point de vue algorithmique, le but poursuivi avec TCP (et tout protocole à acquittement) est plus ambitieux. **Soit X émis par S , reçu et acquitté par D .**

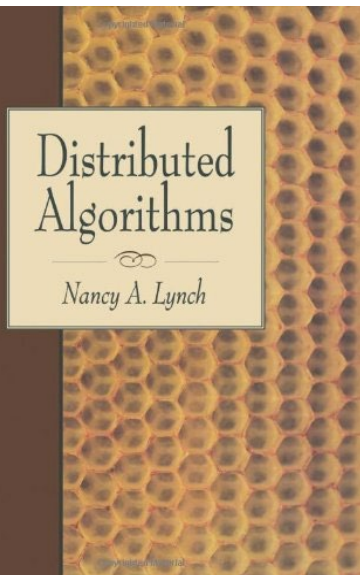
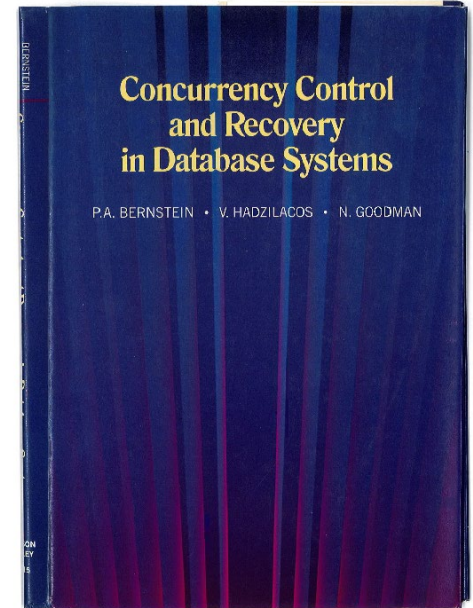
Proposition Ψ : $X_D = X_S$ avant toute lecture chez S et D

$\Leftrightarrow \Psi \equiv$ Atomic write/broadcast /
Consistent multicopied (distributed) data

**Domaines majeurs de recherche
théorique et appliquée (1977--...)**

- Proposition $\Phi(S)$: S sait que D a reçu X
- Proposition $\Phi(D)$: D sait que S sait que D a reçu X

\Leftrightarrow Il y a consensus entre S et D lorsque
 $\Phi(S)$ et $\Phi(D)$ sont toutes deux vraies



Le temps dans Internet ?

Soit N blocs mémoire en intrication quantique. Tout changement d'état d'un bloc est le même changement, instantané, des états des $N-1$ autres blocs. Idéal pour TCP ou données distribuées ...

En Informatique, toute transition d'état « prend du temps », qu'il faut pouvoir compter (RTT, ...)



Modèle système approprié pour refléter la réalité physique ?

~~Synchrone~~

Asynchrone



Modèle de temps pour pouvoir prouver (*safety and liveness*) ?

Asynchrone temporisé (*timed asynchronous*) ←

Temps newtonien pour Internet terrestre

Temps en modèle relativiste pour Internet interplanétaire

Risques Cyber {surveillance, attaques, ...}

- **Privacy?** (passive adversaries):

Personal data collected without consent, resold, processed, disclosed, ...



Big Browsers are watching you...



GDPR???

- **Cybersecurity and Safety?** (active adversaries):

Safety compromised by faults, internal/external cyberattacks (masquerading, Sybil attacks, man-in-the-middle attacks, message/data falsification & destruction, injection of bogus data, intrusions, replay attacks, DoS)...



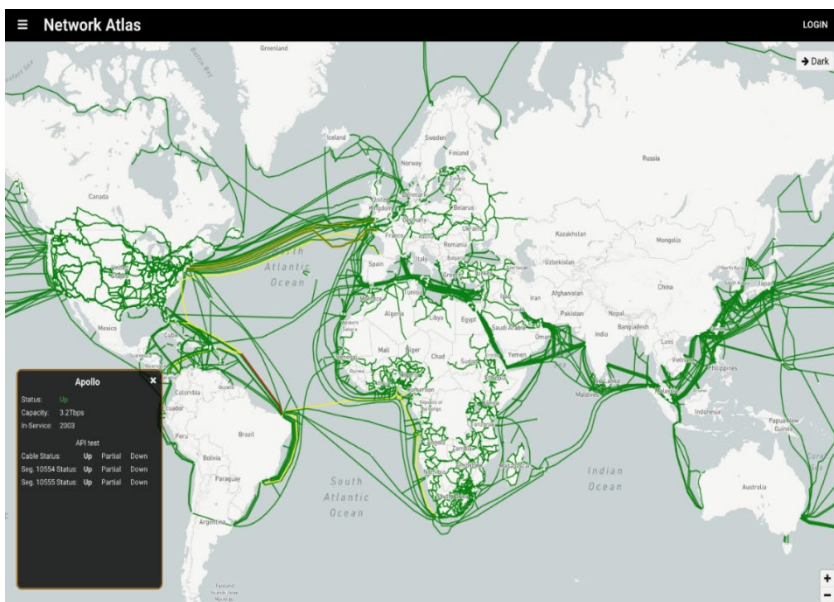
Particularly worrying with
**Connected Autonomous Cars:
Smartphones-on-wheels can kill!**



Tesla car on Autopilot
Highway 101 (CA), 2018

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



Starlink for Internet 100% owned by E. Musk

iOS, Android, Windows, ...

The inevitable underlying workhorses of Cloud and Edge Computing

US Cloud Act

TSMC in Taiwan (soon in the USA)

Et maintenant ...

Humans

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

Humans and avatars

- Within virtual networks (multiverse)
- .../...

Vortex numérique



Networks with Humans Inside

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

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

Distributed Systems--Towards a Formal Approach, 1977

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

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://hal.inria.fr/hal-03684098>