

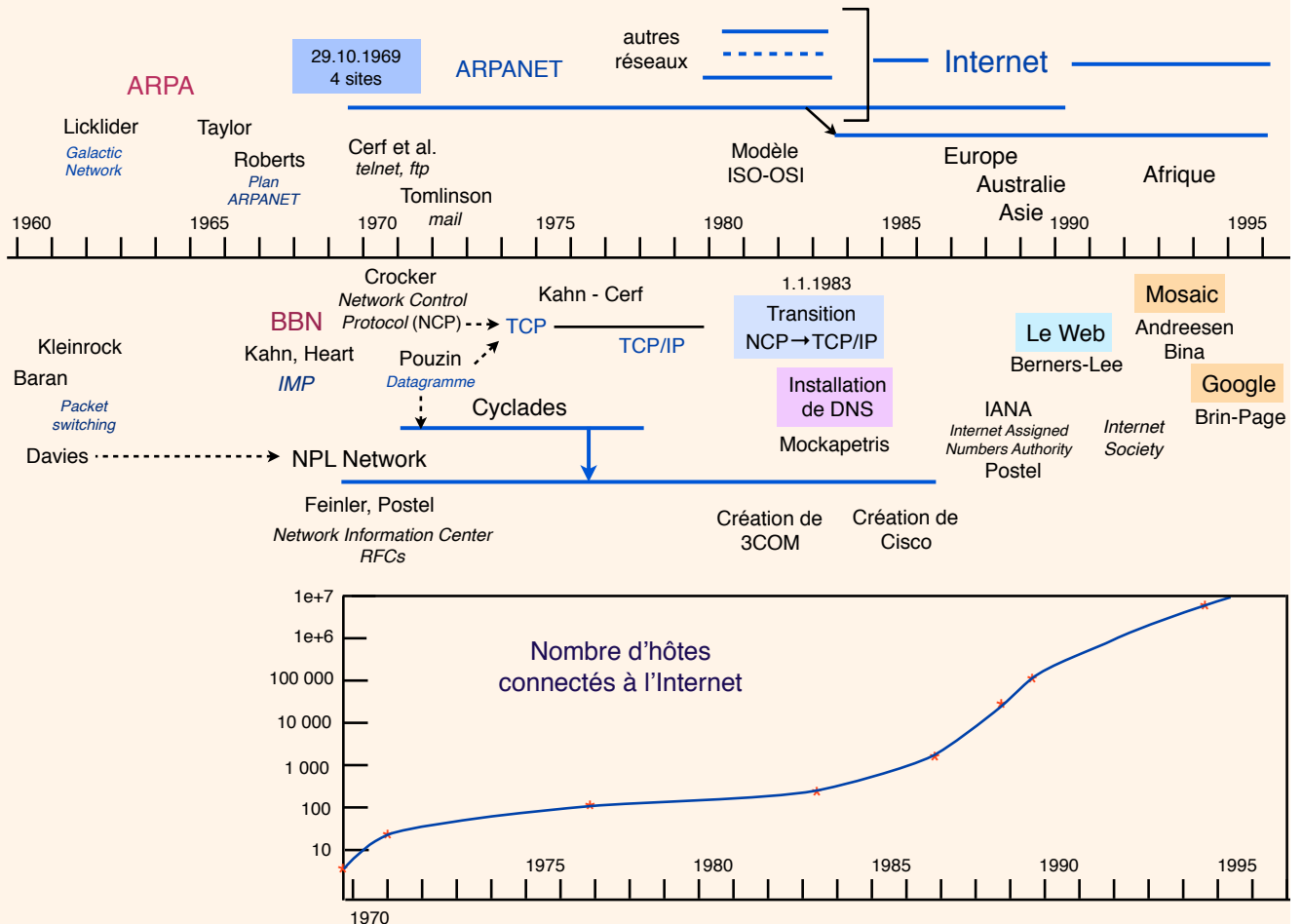
# Éléments d'histoire de l'informatique

Sacha Krakowiak

Université Grenoble Alpes & Aconit

## 10. Brève histoire de l'Internet

CC-BY-NC-SA 3.0 FR



# Le rôle de l'ARPA

## ❖ *Advanced Research Projects Agency*

Créée en février 1958, après le lancement du *Sputnik*

Initialement centrée sur le spatial...

... jusqu'à la création de la NASA en fin 1958

Forte présence dans l'informatique (*Information Processing Techniques Office*, IPTO)

## ❖ Une vision prospective

J. C. R. Licklider (Directeur de l'IPTO, 1962-64) : *Galactic Network*, la symbiose homme-ordinateur (projet MAC au MIT, NLS au SRI, ...)

Ivan Sutherland (Directeur de l'IPTO, 1964-66) : interaction homme-machine

Robert «Bob» Taylor (Directeur de l'IPTO, 1966-69) : connecter les ordinateurs via une interface uniforme ; lance l'ARPANET

# La commutation par paquets

## ❖ Paul Baran (RAND) 1965

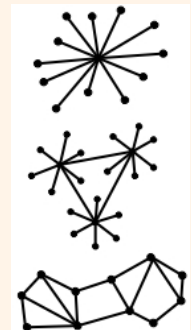


CC-BY-SA Internet Society  
<http://internethalloffame.org/inductees/paul-baran>

Un réseau redondant, survivant aux attaques

Messages fragmentés en «blocs»

Une tentative manquée avec ATT



## ❖ Donald Davies (NPL, UK) 1966



CC-BY-SA Internet Society  
<http://www.internethalloffame.org/inductees/donald-davies>

Un réseau expérimental (1970 - 86)

Utilise une architecture à deux niveaux

Introduit le terme de «paquet»

### Avantages

- Rapidité
- Meilleure utilisation des ressources
- Tolérance aux fautes

## ❖ Leonard Kleinrock (MIT puis UCLA)



CC-BY-SA Internet Society  
<http://internethalloffame.org/inductees/leonard-kleinrock>

Analyse théorique de la commutation par paquets (1961)

Modélisation et mesures dans les réseaux

# Les débuts de l'ARPANET

## ❖ Un directeur de projet

Lawrence «Larry» Roberts  
recruté au MIT  
plan pour l'ARPANET en 1966



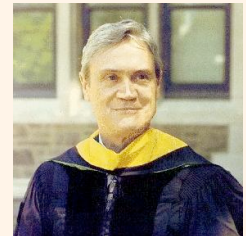
Larry Roberts

Internet Pioneers  
<https://www.ibiblio.org/pioneers/credits.html>

## ❖ Un schéma de conception

Commutation par paquets  
Architecture à deux niveaux

un sous-réseau de communication  
suggéré par Wesley Clark

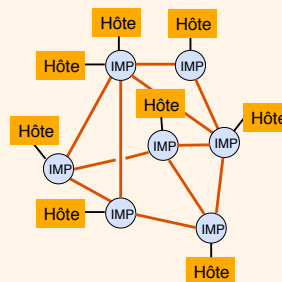


Wesley Clark

CC-BY-SA 4.0 Living Internet  
by [William Stewart](#)

## ❖ Un partenaire industriel : Bolt, Beranek & Newman (BBN)

Contrat pour la construction des IMPs  
Robert «Bob» Kahn (détaché du MIT)  
Frank Heart, responsable technique



## L'architecture à deux niveaux

- ❖ Les hôtes sont déchargés de la gestion des communications
- ❖ La panne d'un hôte ne compromet pas le réseau
- ❖ Chaque hôte ne connaît qu'une seule interface
- ❖ Le réseau est facilement extensible ou modifiable
- ❖ L'administration du sous-réseau des IMPs est confiée à une entité séparée

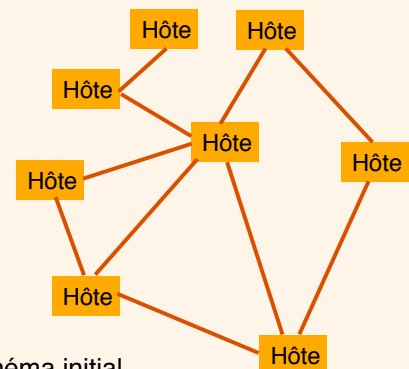


Schéma initial

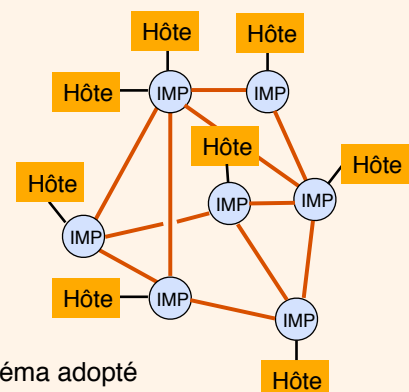


Schéma adopté

## Le sous-réseau de communication (1)

### ❖ Une réalisation rapide

Bolt Beranek & Newman  
janvier - septembre 1969  
IMP : Honeywell DDP-516  
Communication : ligne  
téléphonique + modems

50 Kbit/s

Interface avec les hôtes

partie commune, partie spécifique

### ❖ Des principes de bonne ingénierie

Un système de communication indépendant des hôtes

fonctionnement autonome du sous-réseau

Le protocole hôte-hôte est indépendant du sous-réseau

De bonnes performances (temps de transit < 0,5 s)



L'équipe de BBN responsable des IMP

Truett Thatch, Bill Bartell (Honeywell), Dave Walden, Jim Geisman, Robert Kahn,  
Frank Heart, Ben Barker, Marty Thrope, Will Crowther, Severo Ornstein

CC-BY-SA 4.0 Living Internet  
by [William Stewart](#)

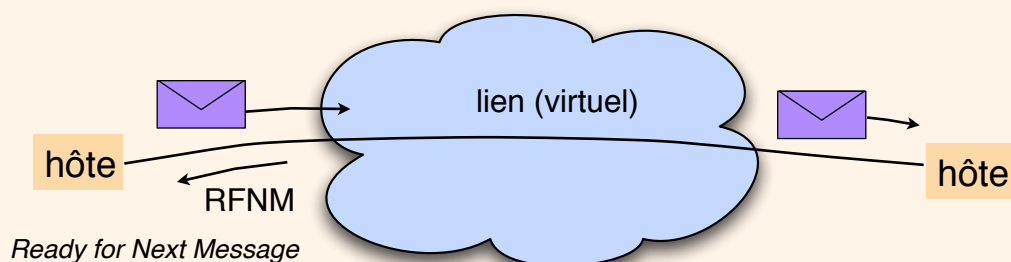
©Dave Walden



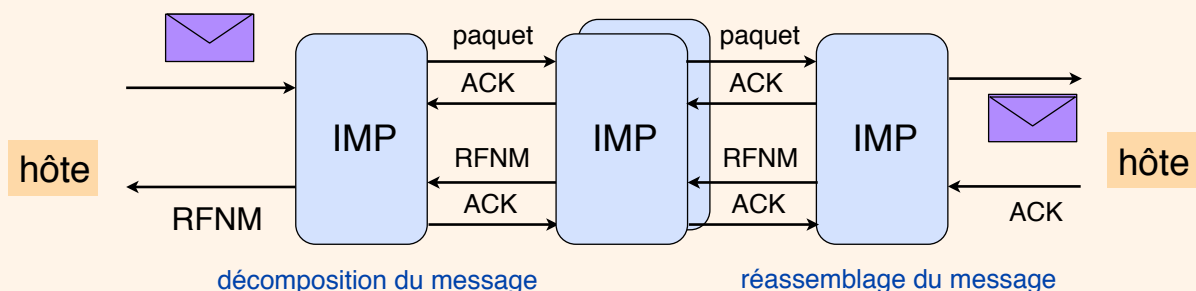
Frank Heart et l'IMP

## Le sous-réseau de communication (2)

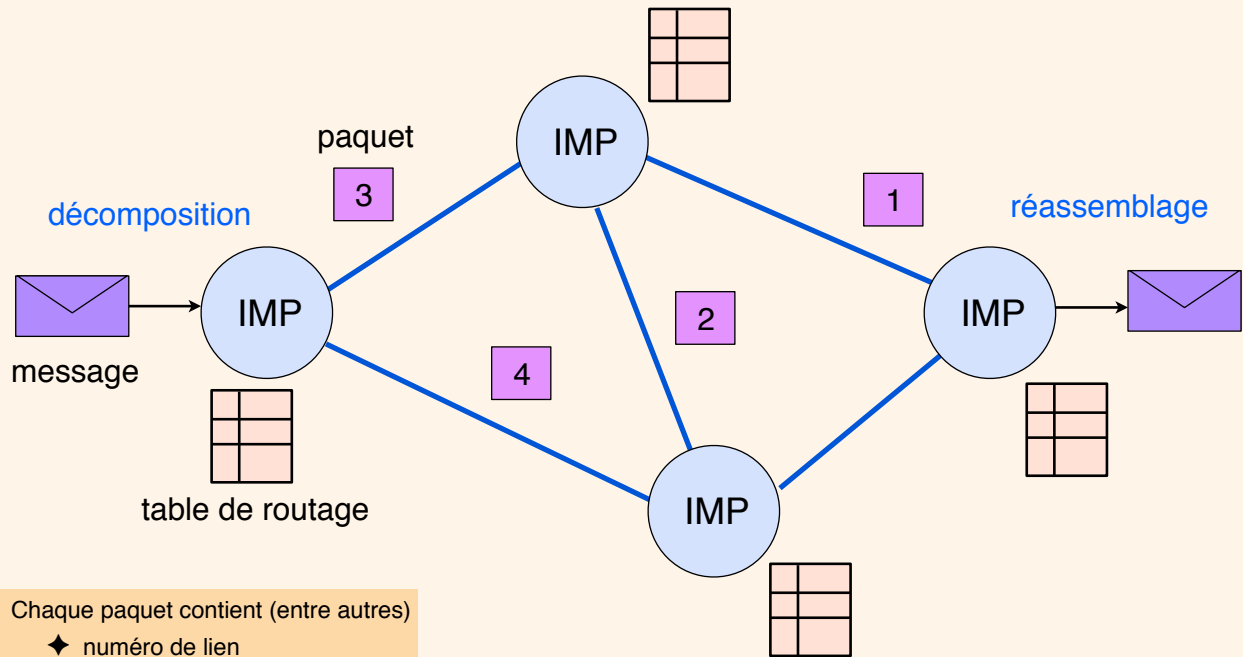
### Vue des hôtes



### Vue interne



## Le sous-réseau de communication (3)



Chaque paquet contient (entre autres)

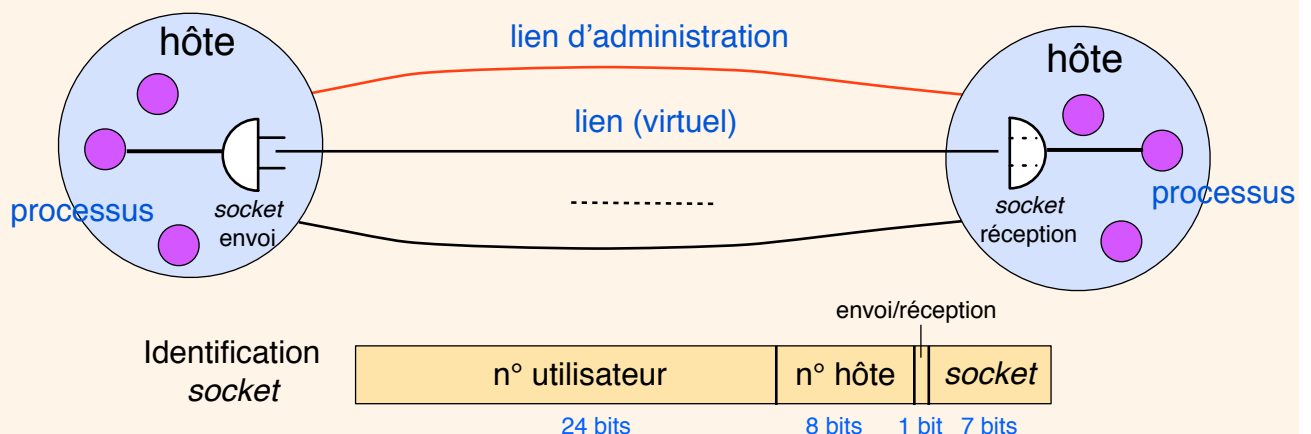
- ◆ numéro de lien
- ◆ numéro de message
- ◆ numéro de paquet
- ◆ adresse source
- ◆ adresse destination

## Le protocole hôte-hôte

### ❖ Liaison et désignation

Protocole : ensemble de règles pour organiser la communication sur un réseau

Interface : opérations permettant d'utiliser un protocole



### ❖ Interface et protocole

Opérations de création de lien, connexion, déconnexion, envoi et réception de messages, contrôle de flux

NCP (S. Carr, S. Crocker, V. Cerf, 1970) : *Network Control Program*

Suppose un sous-réseau sans erreur (pas de contrôle de bout en bout)

# Les débuts de l'ARPANET

## ❖ Septembre 1969

IMP n° 1 livré à UCLA

## ❖ Octobre 1969

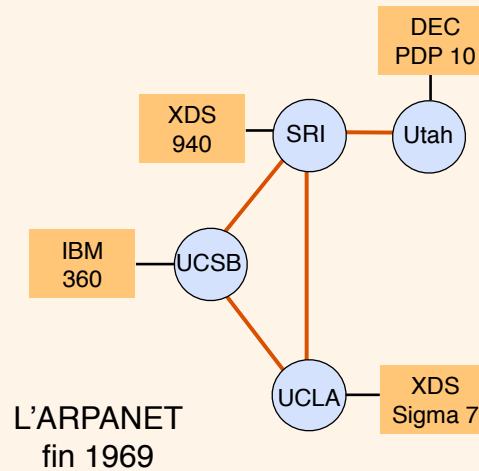
IMP n° 2 livré à SRI  
premier échange UCLA-SRI  
(login)

## ❖ Décembre 1969

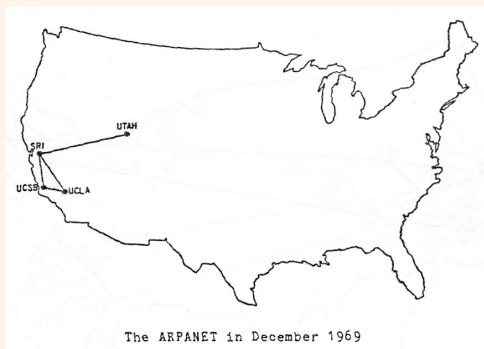
4 hôtes connectés

## ❖ Décembre 1970

13 hôtes connectés

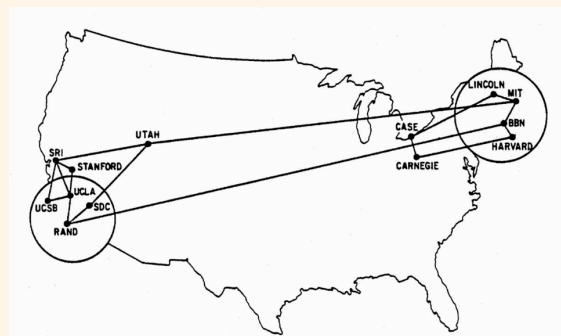


## Développement de l'ARPANET



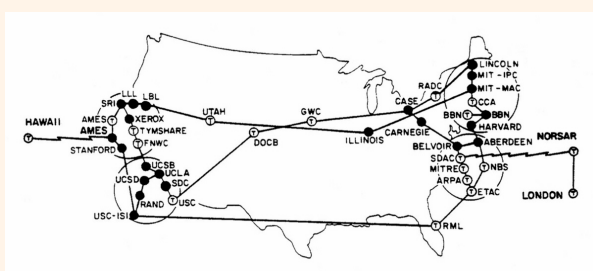
©BBN/DARPA

Décembre 1969



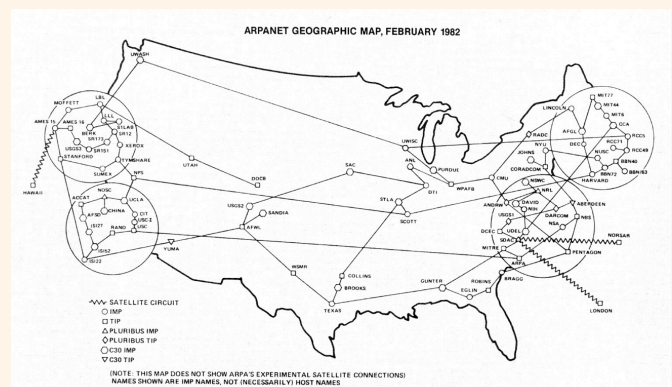
©BBN/DARPA

Décembre 1970



©BBN/DARPA

Septembre 1973



©BBN/DARPA

Février 1982

# Cyclades, un précurseur 1971-1978

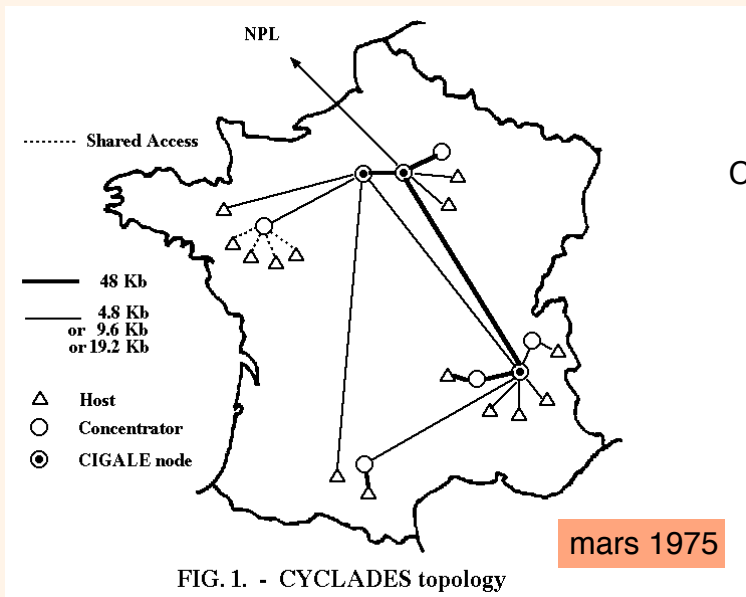


Louis Pouzin

CC-BY-SA 3.0  
Internet Society

## Chronologie

- ◆ 1971 : début du projet
- ◆ 1973 : 3 sites INRIA, CII, IMAG
- ◆ 1975 : 25 sites (Rome, Londres)
- ◆ 1978 : arrêt, au profit de Transpac



Le nœud IMAG

©IMAG

# Cyclades, une occasion manquée

## ❖ Un combat inégal...

Forte opposition de la Direction Générale des  
Télécommunications

Primauté de la notion de circuit virtuel

Développement de Transpac (X25)

Une retombée : le Minitel

peu avancé sur le plan technique...

... mais pionnier sur le plan des usages



Minitel-1  
1982

## ❖ Des innovations, reprises par l'Internet (TCP/IP)

Le datagramme

"A self-contained, independent entity of data carrying sufficient information to be routed from the source to the destination computer without reliance on earlier exchanges between this source and destination computer and the transporting network."

— [RFC 159](#)

Le contrôle de flux

Mécanisme de la fenêtre glissante



## De NCP à TCP/IP

### ❖ Idée de base : réunir plusieurs réseaux (*internetwork*)

NCP inadéquat

### ❖ 1972 : principes énoncés par Bob Kahn (BBN → ARPA)

Les réseaux connectés restent indépendants et ne sont pas modifiés

Transmission des paquets en *best effort* (pas de garanties)

Les réseaux sont connectés par des «boîtes noires» (sans état)

Pas de contrôle global des réseaux interconnectés

mais contrôle de bout en bout sur les communications

schéma global d'adressage

### ❖ 1973 : Bob Kahn et Vint Cerf lancent la conception d'un nouveau protocole

TCP : *Transmission Control Protocol*

V. G. Cerf, R. E. Kahn. A Protocol for Packet Network  
Intercommunication, *IEEE Transactions on Communications*, 22:5, 1974



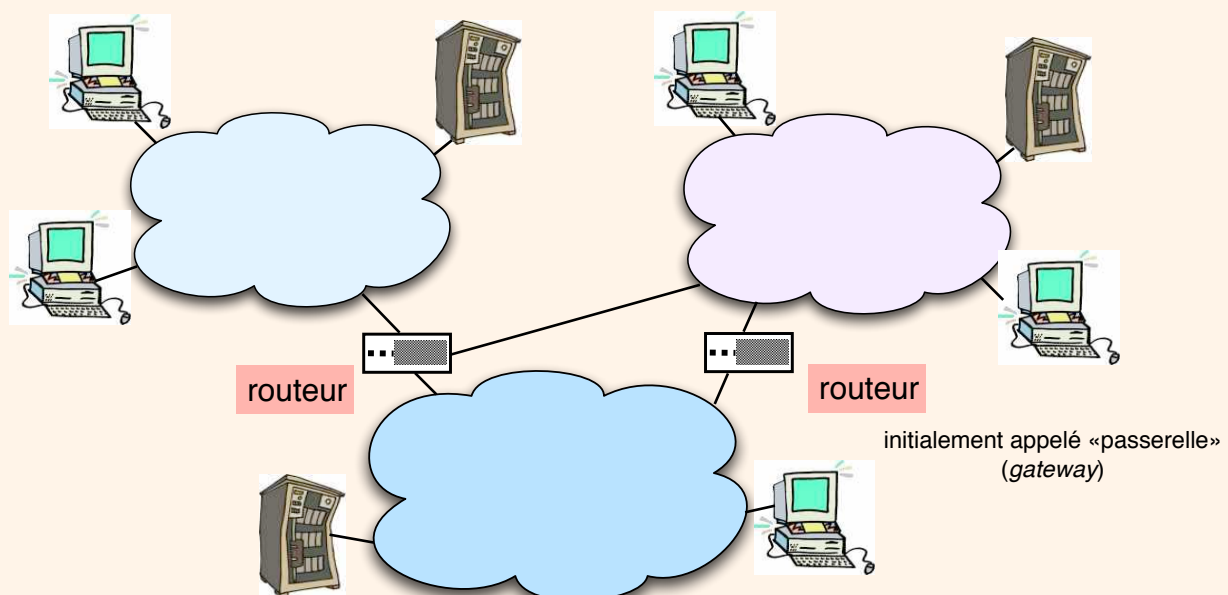
Vint Cerf



Bob Kahn

CC-BY-SA Internet Society

## L'interconnexion des réseaux



### Principes

Un schéma global d'adressage  
Une méthode pour gérer différentes  
tailles de paquets

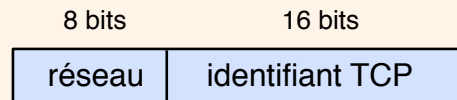
Un protocole global entre processus,  
indépendant des routeurs



# L'interconnexion des réseaux

## ❖ La vision de l'adressage en 1974...

Un espace global (inter-réseaux) d'«adresses TCP»



*«The choice for network identification (8 bits) allows up to 256 networks. This size seems sufficient for the foreseeable future»*

Le numéro de réseau sert pour le routage

L'interprétation de l'identifiant TCP est à la charge de chaque réseau  
doit permettre de déterminer l'hôte et la porte de destination (porte = point de connexion utilisé par un processus)

## ❖ Acquittement et contrôle de flux

TCP transmet un flot d'octets (messages), découpé en paquets

L'hôte destinataire acquitte les paquets (retransmis après délai de garde)

Un mécanisme de fenêtre assure le contrôle de flux

asservir le débit de l'émetteur à la capacité de réception du destinataire

# La séparation TCP/IP (1978)

## ❖ TCP n'est pas adapté à toutes les situations

Très bon pour accès à distance (*telnet*) et transfert de fichiers (*ftp*)

Mais moins bon pour d'autres applications (voix, ...)

on souhaite traiter directement les pertes de paquets

## ❖ Séparation entre protocole de bout en bout et transfert de paquets

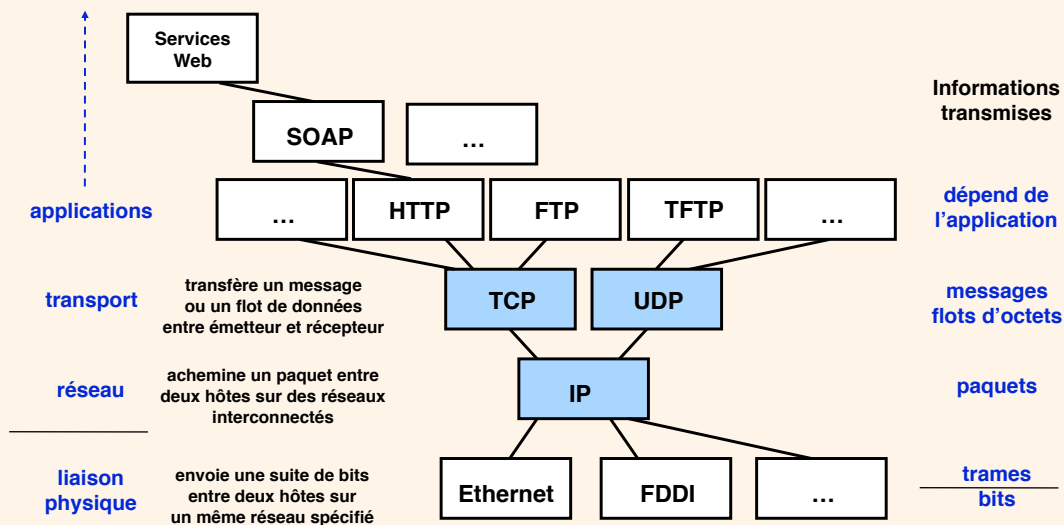
IP (*Internet Protocol*) : transporte des datagrammes entre hôtes source et destination, **sans garanties** (ordre, perte)

d'où protocole simple et robuste

TCP (*Transmission Control Protocol*) : transporte un flot d'octets entre deux portes, en mode connecté, avec garanties (contrôle d'erreur, ordre respecté, contrôle de flux, contrôle de congestion)

UDP (*User Datagram Protocol*) : transporte des datagrammes entre deux portes, sans garanties (comme IP)

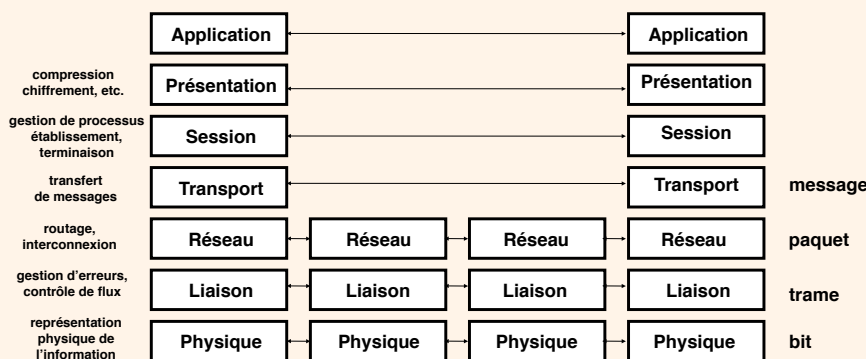
# IP, clé du succès



HTTP : HyperText Transfer Protocol : protocole du Web  
TFTP, FTP : (Trivial) File Transfer Protocol : transfert de fichiers  
TCP : Transmission Control Protocol : transport en mode connecté  
UDP : User Datagram Protocol : transport en mode non connecté  
IP : Internet Protocol : Interconnexion de réseaux, routage

# TCP/IP vs ISO/OSI

## Open Systems Interconnection (OSI)

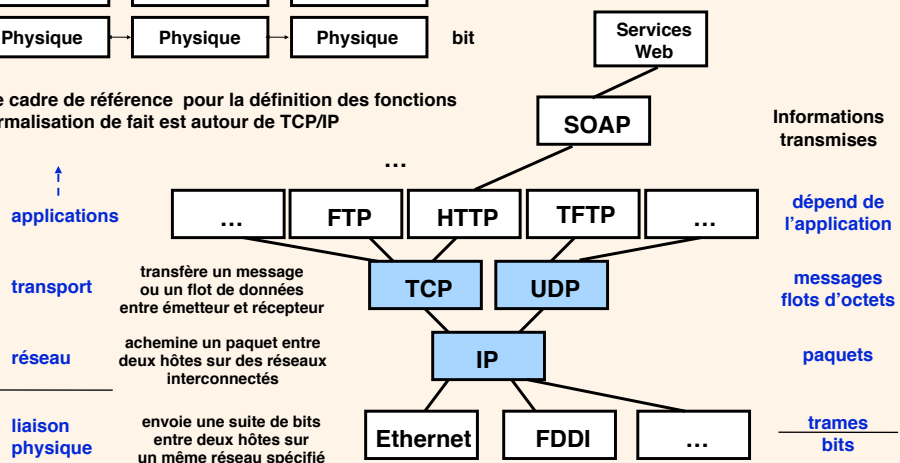


"We reject *kings*, presidents and voting. We *believe* in rough consensus and *running code*"

David Clark

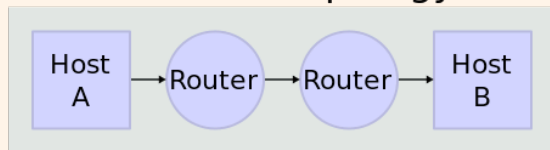
Internet

Les protocoles OSI servent plutôt de cadre de référence pour la définition des fonctions que de normes de réalisation. La normalisation de fait est autour de TCP/IP

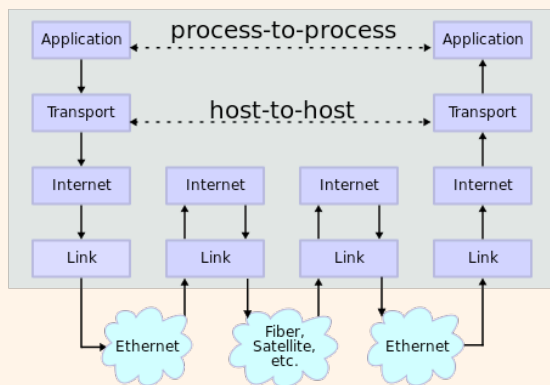


# Les protocoles en couches

## Network Topology



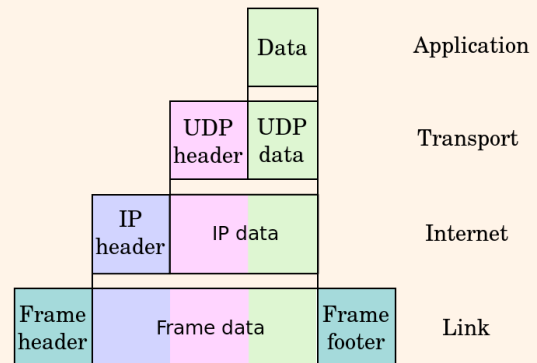
## Data Flow



CC-BY-SA 3.0 by : [en>User:Kbrose](#)

## Deux principes de base

- ◆ Le principe «de bout en bout»
- ◆ «Émetteur intelligent, récepteur bête»



CC-BY-SA 3.0 by : [en>User:Cburnett](#)

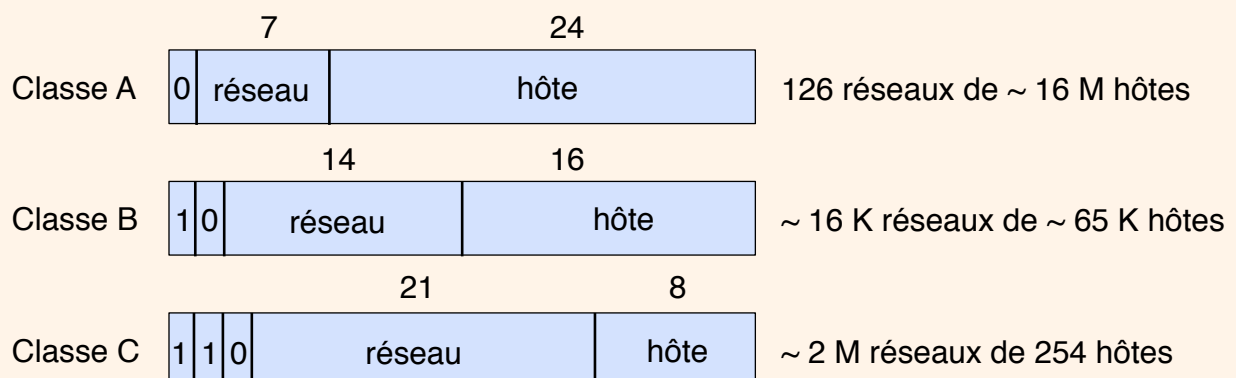
## Les adresses IP : première version (1978)

### ❖ Objectif : hiérarchiser l'espace de désignation...

... pour un routage plus efficace

adresse IP ::= <adresse de réseau><adresse d'hôte dans le réseau>

### ❖ Trois classes de réseaux (en fait 5)



### ❖ Schéma trop rigide, remplacé en 1993

# Les défis de la croissance

1985 : 1 000 hôtes  
1990 : 100 000 hôtes  
1995 : 10 millions d'hôtes

## ❖ Espace des noms

Structuration des noms  
Organisation de l'annuaire

## ❖ Espace des adresses

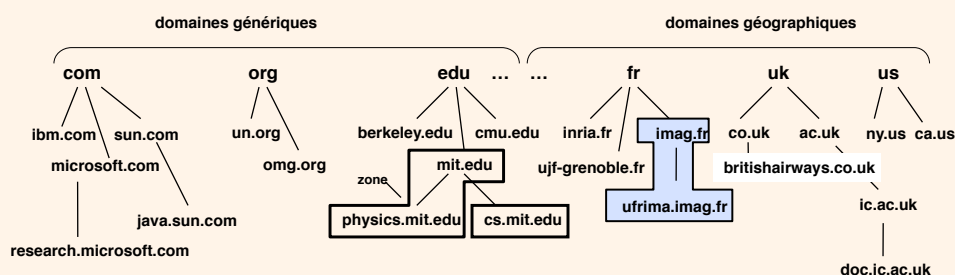
Les limites de l'adressage par classes

## ❖ Congestion

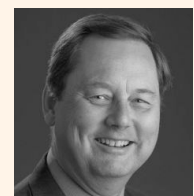
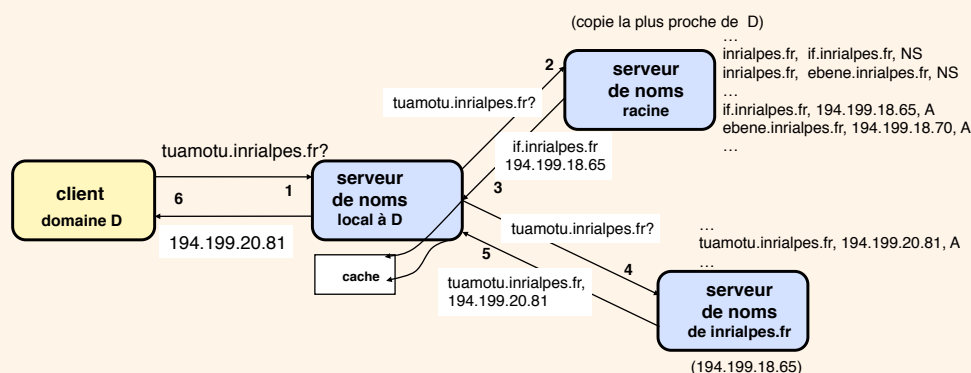
Saturation des ressources (routeurs, lignes) face à la surcharge

# L'espace des noms

## ❖ Une organisation en domaines



## ❖ Un service d'annuaire réparti : *Domain Name System* (1983-84)



Paul Mockapetris  
CC-BY-SA Internet Society

# L'espace des adresses

Une solution pour le long terme : IPv6  
En attendant, des techniques pour améliorer IPv4

## ❖ IPv6

Adresse IP sur 128 bits

## ❖ CIDR (*Classless InterDomain Routing*)

Allocation de sous-réseaux par tranches d'adresses contiguës

Utilisation de masques

192.168.100.0/22 représente 1024 adresses  
de 192.168.100.0 à 192.168.103.255

## ❖ NAT (*Network Address Translation*)

Permet aux hôtes d'un réseau local de partager une adresse IP

Réalisé par une table dans le routeur

# Traiter la congestion

## ❖ Rappel

Contrôle de flux : adapter le rythme d'envoi aux capacités du récepteur

Contrôle de congestion : éviter l'écroulement du réseau

Dans TCP, les deux utilisent des fenêtres

## ❖ Contrôle de congestion dans TCP (1987)

Ce n'est pas un mécanisme de **prévention**, mais de **réaction** à une situation de surcharge

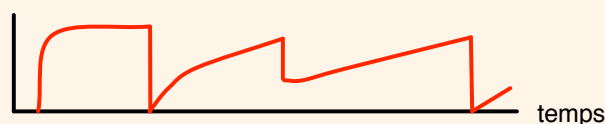
Un émetteur **estime** la charge du réseau par la fréquence des *timeout*

si congestion détectée, diviser par 2 la taille de la fenêtre

sinon, augmenter progressivement cette taille

augmentation rapide quand on part de zéro

taille de la fenêtre  
de congestion



## De l'ARPANET à l'Internet

- ❖ Passage de NCP à TCP/IP

le 1er janvier 1983

Internationalisation progressive

- ❖ Division de l'ARPANET (1983)

une partie recherche (ARPANET)

une partie militaire (MILNET)

- ❖ Adoption de DNS (1984)

- ❖ Arrêt de l'ARPANET en 1990

- ❖ Prise en charge progressive de l'infrastructure par d'autres organismes

BITNET, NSFNET, CSNET, ...

Puis attribuée à des opérateurs privés

Dorsale (haut débit) privatisée en 1995

## La gouvernance de l'Internet

- ❖ L'*Internet Activities Board* (IAB, 1983)

l'IAB coordonne les activités techniques et la normalisation

l'IETF (*Internet Engineering Task Force*) pilotée par l'IESG  
(*Internet Engineering Steering Group*) s'occupe de l'évolution  
technique et des standards

organisation en groupes de travail

l'IRTF (*Internet Research Task Force*) a un rôle de prospective

- ❖ L'*Internet Society* (ISOC, 1991)

L'IAB devient l'*Internet Architecture Board* (1992)

- ❖ L'*Internet Assigned Numbers Authority* (IANA)

Documentation, RFCs (*Requests for Comments*)

- ❖ L'ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*) (1993)

Gère les noms de domaine ; délègue à des organisations locales



## La recherche d'information... avant le Web (fin des années 1980)

### ❖ Archie

le premier moteur de recherche ?  
repose sur la recherche dans un ensemble de fichiers répartis

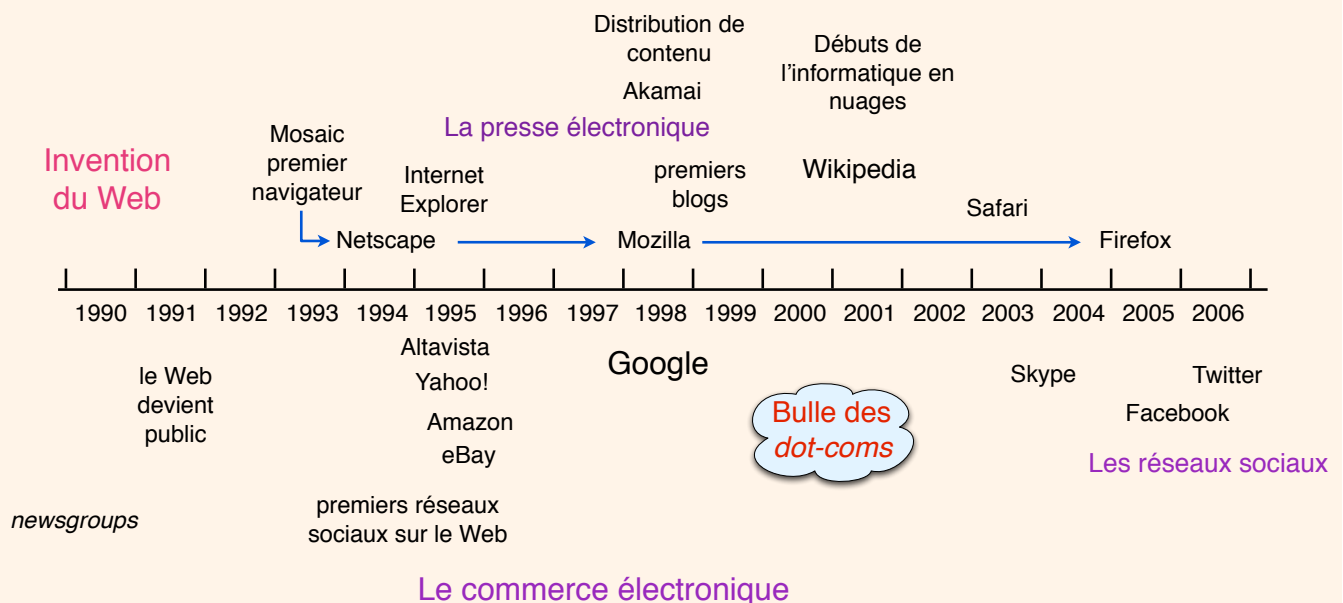
### ❖ Wais (*Wide Area Information Server*)

un outil de consultation de bases de données documentaires  
indexées  
fonctionne en client-serveur  
retourne une liste ordonnée de documents pertinents à la requête

### ❖ Gopher

un protocole de recherche de documents  
utilise Wais et Archie  
organise l'information de manière hiérarchique

## L'Internet s'ouvre au grand public



# Naissance du World Wide Web

## ❖ Un besoin d'utilisateurs ...

Des physiciens du CERN (Centre Européen de Recherche Nucléaire) souhaitent partager des données réparties dans le monde (sur des machines hétérogènes)

En 1990, Tim Berners-Lee (avec Robert Cailliau) propose un outil à base de liens hypertexte, le World Wide Web

En 1991, le système est ouvert à tous sur l'Internet, mais ses principaux utilisateurs restent des physiciens




## ❖ Le début de l'essor

1993 : Le premier navigateur graphique, Mosaic, est créé à l'université d'Illinois par Marc Andreessen et Eric Bina

1994 : Mosaic est à la base de la création de  Netscape®

Première conférence internationale sur le Web

Création du World Wide Web Consortium 

# Brève histoire du développement du Web

## ❖ Les outils de base

Navigateurs :

Netscape (1994), Internet Explorer (1995), Mozilla (1998) et Firefox (2005), Safari (2003), Chrome (2008), ...

Moteurs de recherche et annuaires :

AltaVista (1995), Yahoo! (1995), Google (1998), Exalead (2006), Bing (2009)

Construction de sites : des centaines, beaucoup de libres, PHP-MySQL, ...

Un langage : Java (Sun, 1995) - dépasse beaucoup le cadre du Web

## ❖ Les applications

Commerce électronique

Services : Transports, voyages, banque, météo, ...

Administration : Impôts, information, inscriptions, ...

Diffusion de contenu : Presse, agences, radio, vidéo, publication scientifique, bibliothèques, ...

Réseaux sociaux : TheGlobe, Geocities (1994), ... Facebook (2005), Twitter (2006)

2001 : la bulle des «dot-com»

# Quelques défis pour l'Internet

## ❖ La sécurité

«le» défi majeur

## ❖ Les aspects sociétaux

vie privée, censure, propriété, ...

## ❖ La croissance

transition vers IPv6

## ❖ La mobilité

accès mobile

«l'Internet des objets»

## Ils/elle ont fait l'ARPANET

CC-BY-SA Internet Society

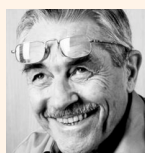
### Les pionniers



Roberts  
Le directeur  
du projet



Baran



Pouzin

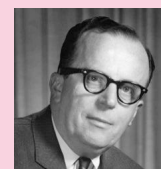


Davies



Kleinrock

### Les stratégies



Licklider

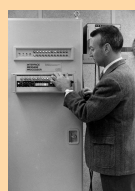


Taylor

### Les réalisateurs



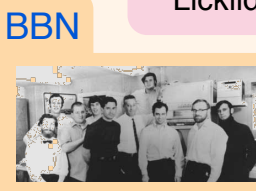
Feinler



Heart



Kahn



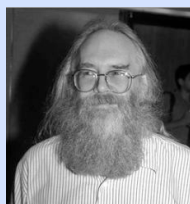
Tomlinson



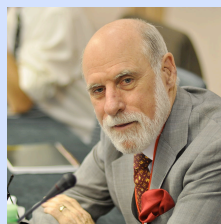
### Universités



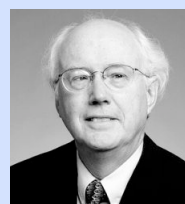
Crocker



Postel



Cerf



D. Clark



Mockapetris



Cohen