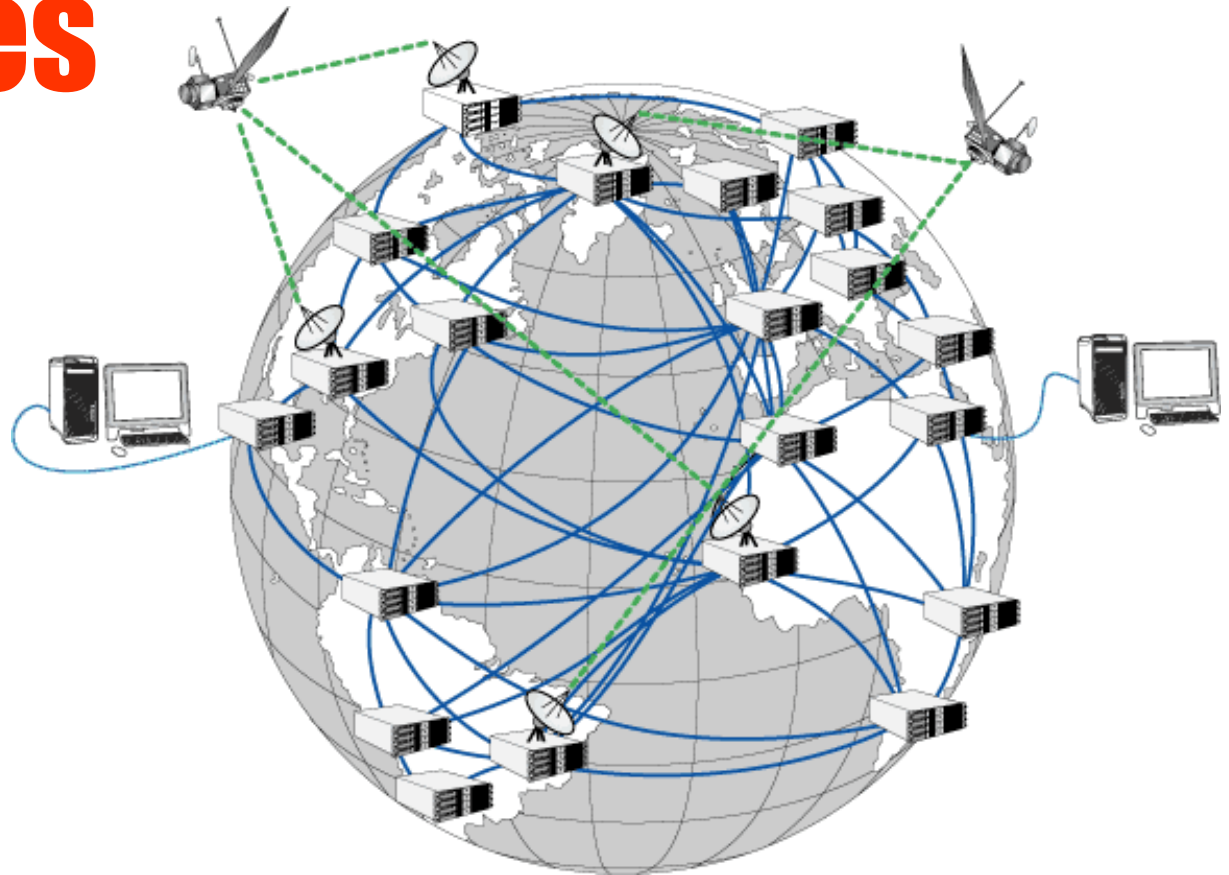


Télécom: des réseaux jacobins aux réseaux auto organisés



Sommaire

Page

- 1.** Introduction: télécom, cultures et sciences ; 4
- 2.** Quelques principes de base des télécom ; 12
- 3.** Les réseaux "jacobins" en très très bref ; 17
- 4.** Internet, l'entrée des télécom dans le monde de la complexité ; 26
- 5.** Et après ? 47

Annexes

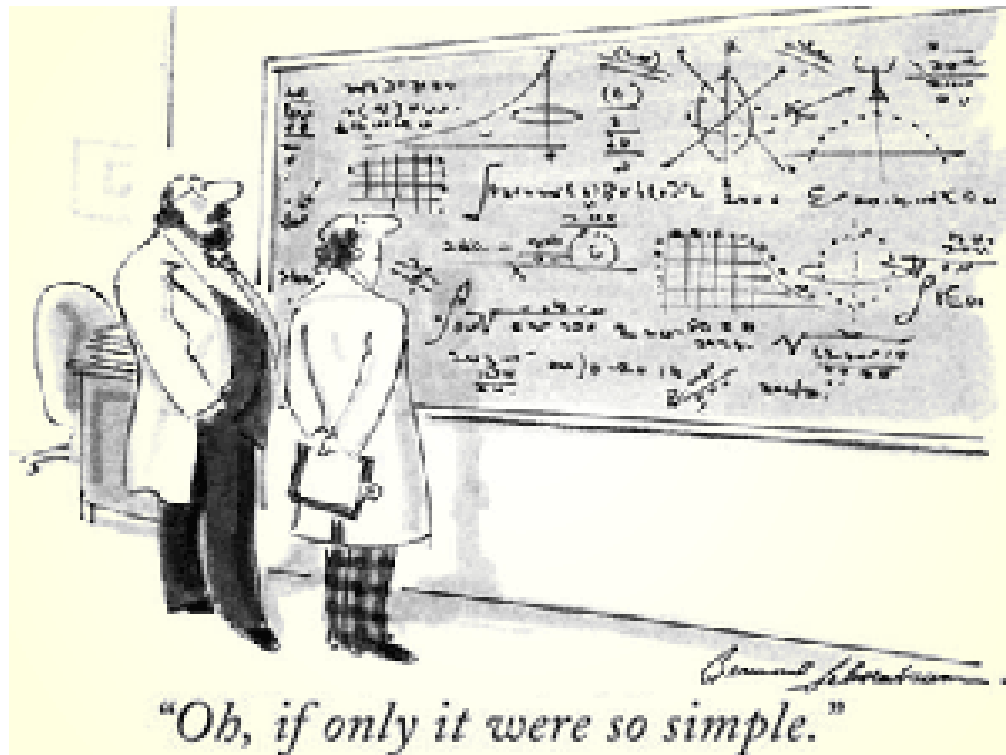
53

Avant propos

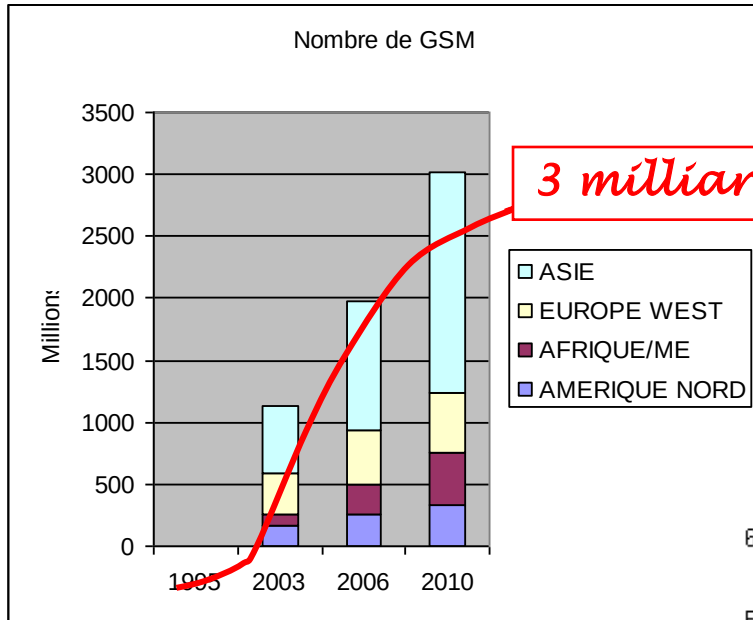
- Les réseaux de télécom des opérateurs sont de plus en plus compliqués. Cependant la conception et la gestion de ces réseaux (y compris les mobiles actuels) ne peuvent pas être qualifiées de complexe selon la conception moderne.
- Internet apporte de ce point de vue une véritable révolution non seulement technologique mais culturelle. Et sa conception technique aussi bien que son mode de gestion méritent d'être qualifiées de complexe (auto organisation, émergences induites).
- **Cette présentation n'est pas un cours technique. Il s'agit d'exposer aussi simplement que possible les mécanismes de base d'Internet, comparés à ceux des réseaux traditionnels (en insistant sur les aspects moins bien connus du réseau), afin d'en bien souligner les aspects de complexité.**

1. Introduction

- Les cultures télécom
- Science et télécom

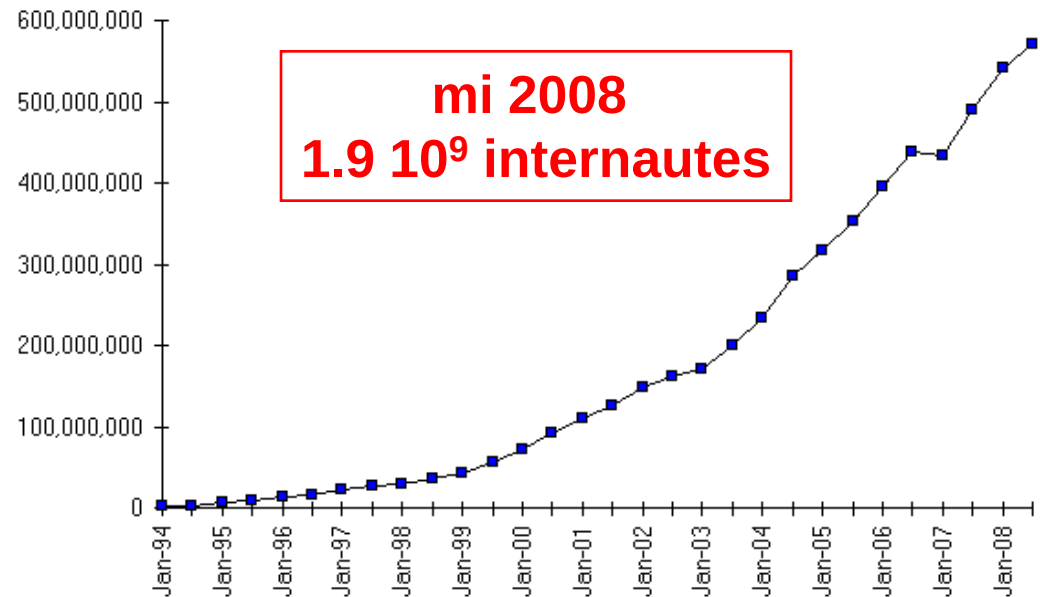


Les télécom modernes dans le monde

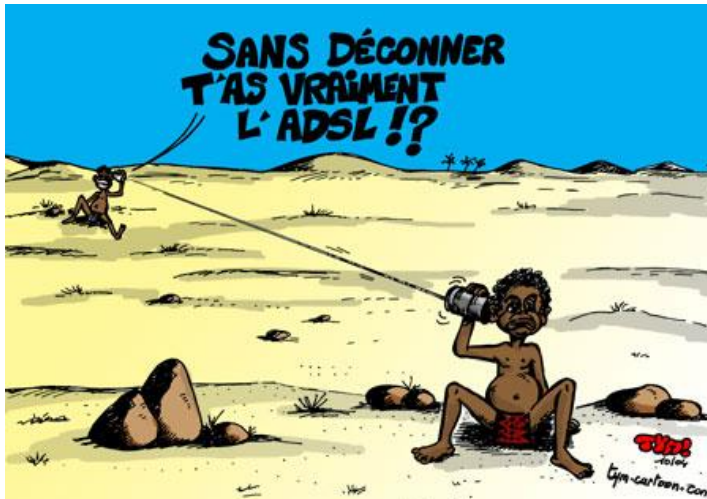


En 2010 ~50% de la population mondiale disposera d'un téléphone mobile

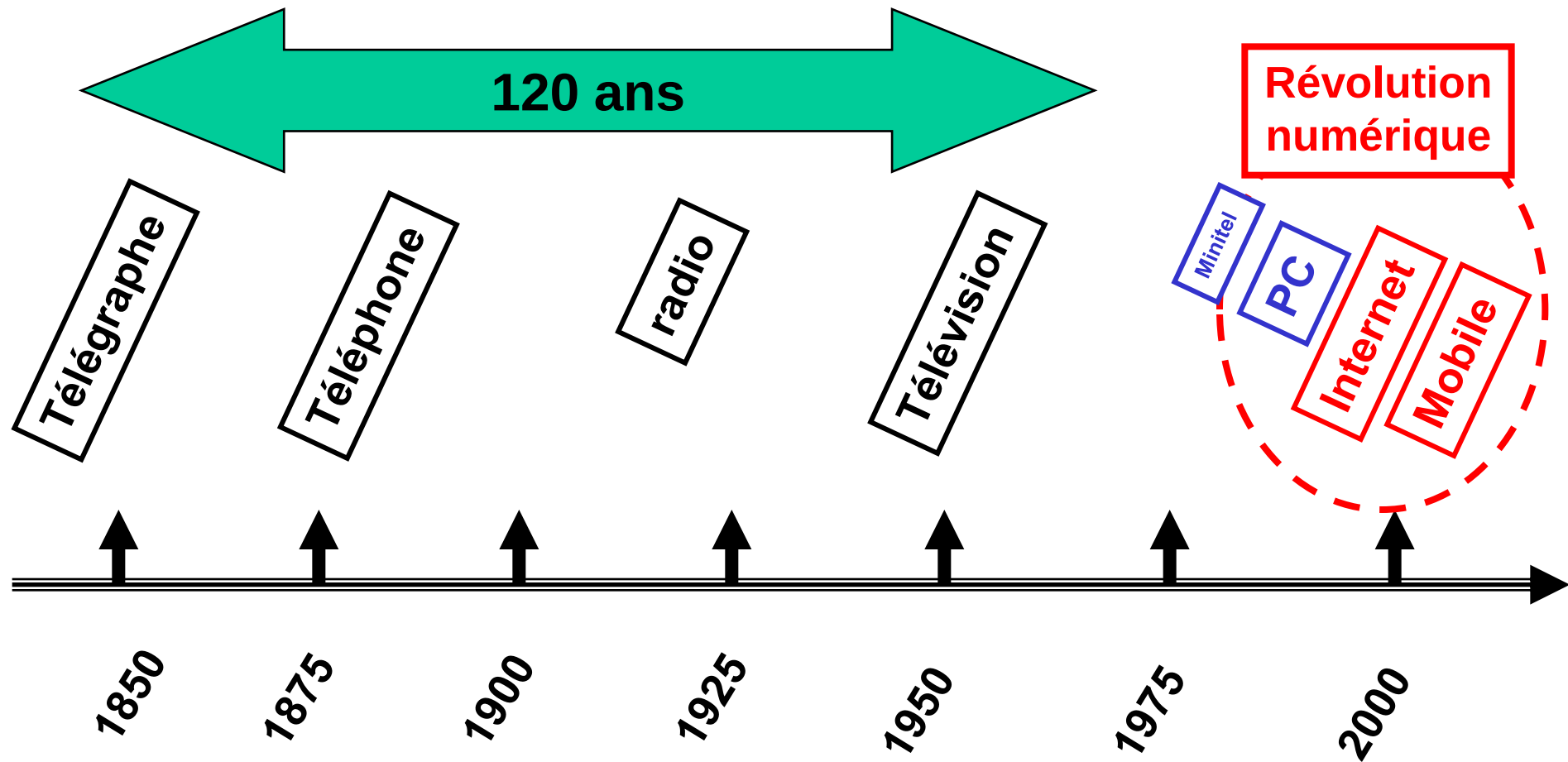
Croissance du nombre de serveurs



Source: Internet Systems Consortium (www.isc.org)



Une accélération de l'histoire



Télécom : plusieurs cultures

■ Jacobine

- Télégraphe, Telex, Fax
- Téléphone, RNIS
- Transmissions de données: X25, Frame Relay, ATM
- Mobiles (GSM, UMTS)

■ Contrôlable (réseaux de diffusion)

- Radiodiffusion Terrestre (Radio, TV)
- Satellite

■ Californienne et libertaire

- LAN (Ethernet, WiFi, WiMax, réseaux “ad hoc”)
- Internet
- Réseaux sociaux, P2P, virus, hackers

■ Militaire

- Radar
- GPS

Télécom : plusieurs cultures

Christian HUITEMA "Et Dieu créa l'**INTERNET**",
@Eyrolles, 1995

Page 55

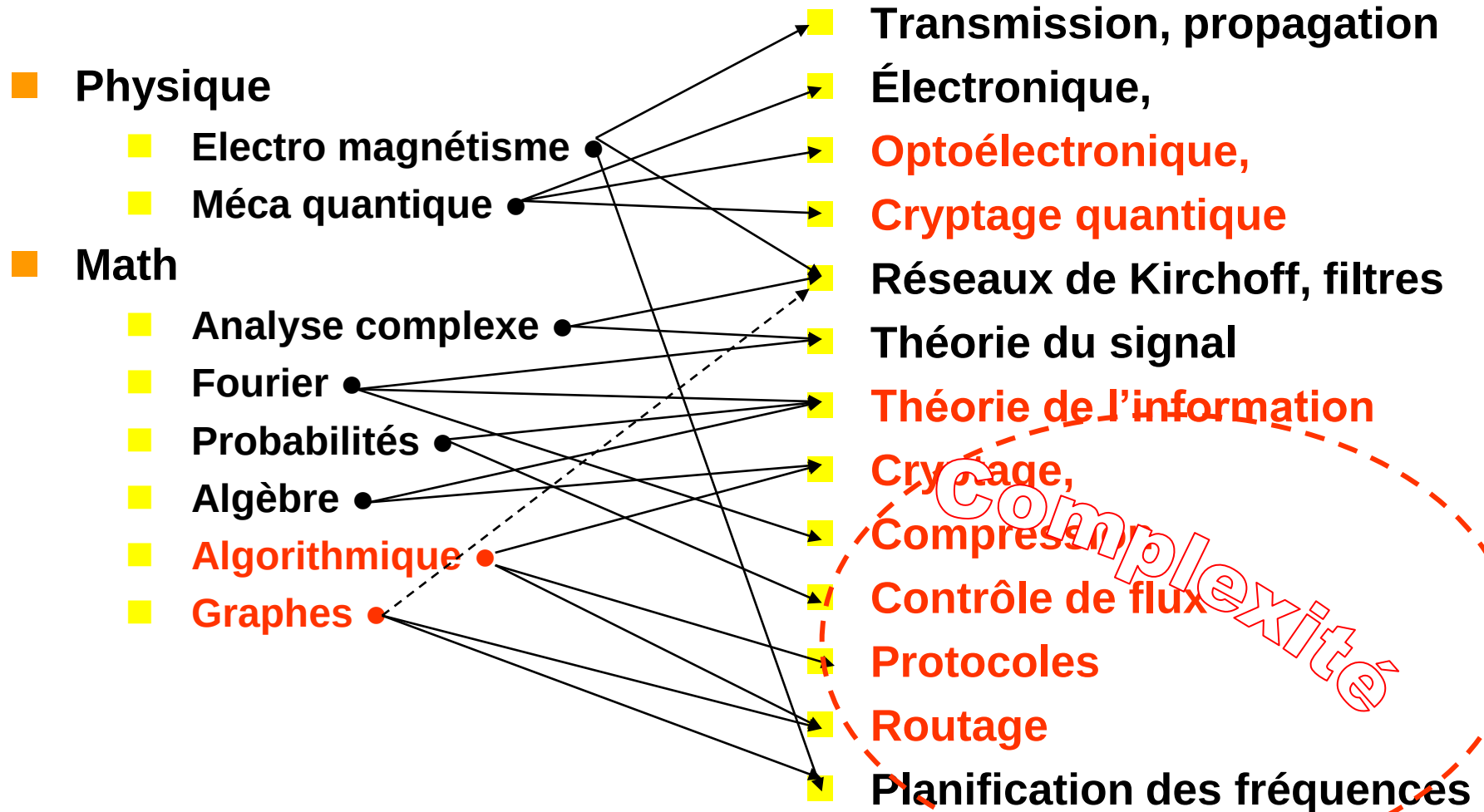
*“Pour réussir des recherches en réseau, disait **Bob Kahn (1)**, il importe d’étudier à fond ce que font les PTT. Il importe même de le faire très sérieusement, afin de bien comprendre leurs décisions. Et il faut ensuite faire exactement le contraire”.*

Page 59

“Les opérateurs classiques de télécom sont en général des gens assez conservateurs. Leur application phare, la téléphonie, a été conçue au XIX^{eme} siècle “.

(1) co-inventeur avec Vinton Cerf du protocole TCP/IP. A noter qu’il a commencé sa carrière aux Bell Labs

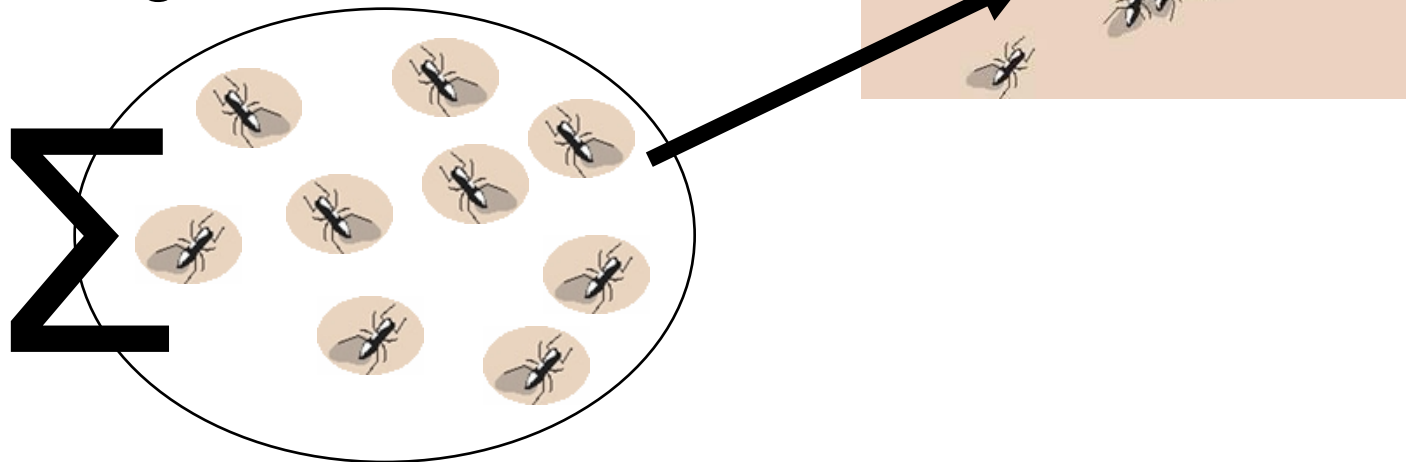
Sciences et telecom: **complexité**



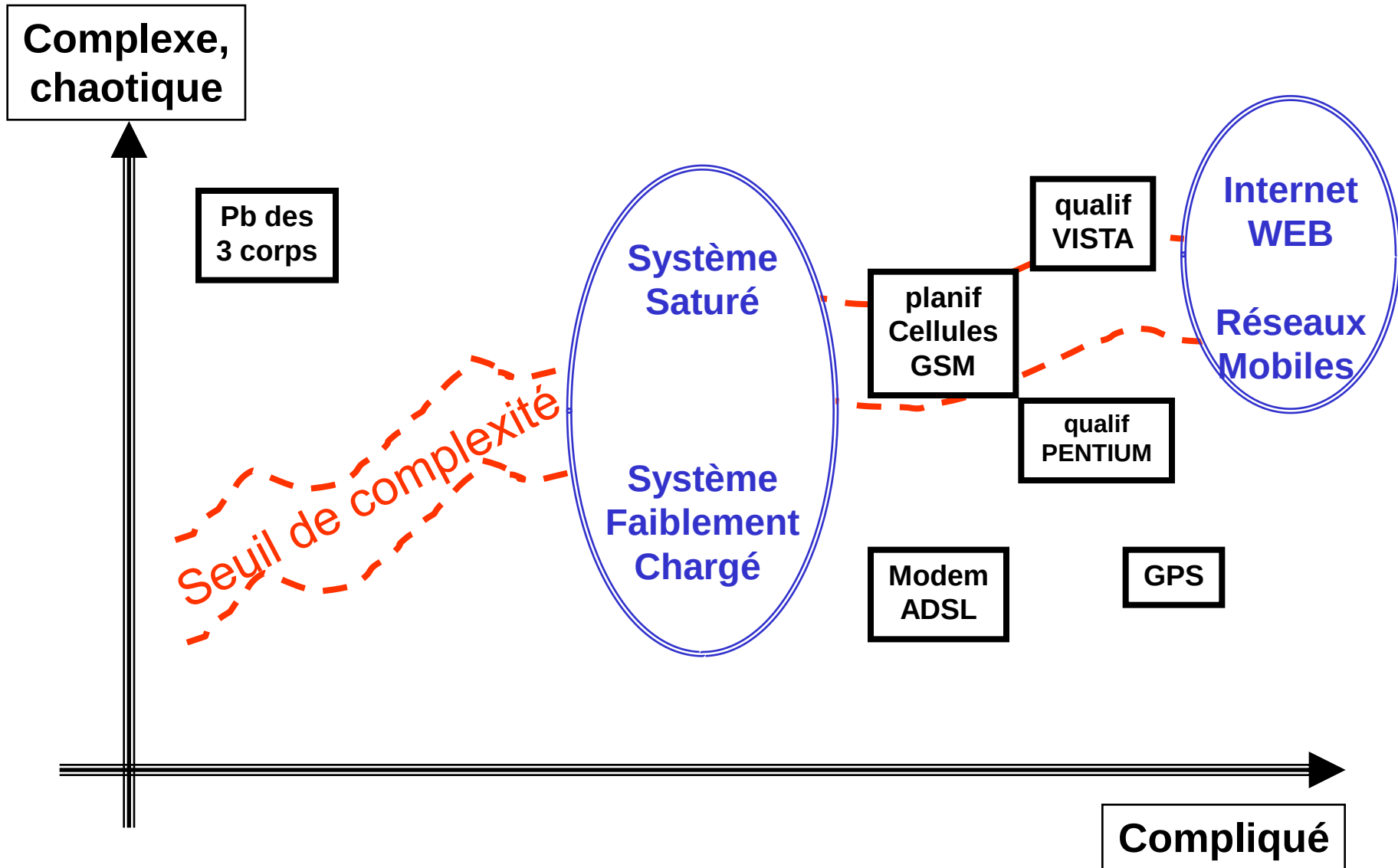
Complexité: notion complexe!

■ Quelques dimensions de la complexité:

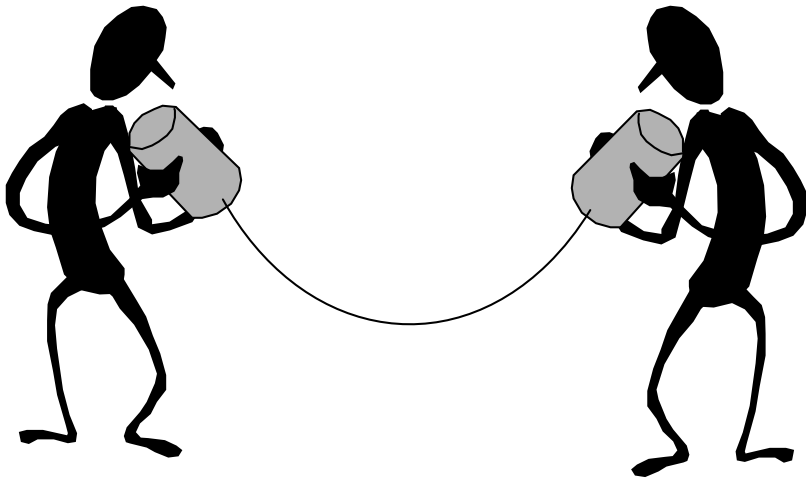
- Combinatoire
- Désordre
- Chaos
- Algorithmique
- Auto organisation
- Émergence



Compliqué ou complexe ?



2. Quelques principes de base des télécom



Invariants télécom

Trois fonctions de base sont à assurer quel que soit le type d'information véhiculée (voix, messages, données, vidéo, etc..) et la technologie et génération de réseau :

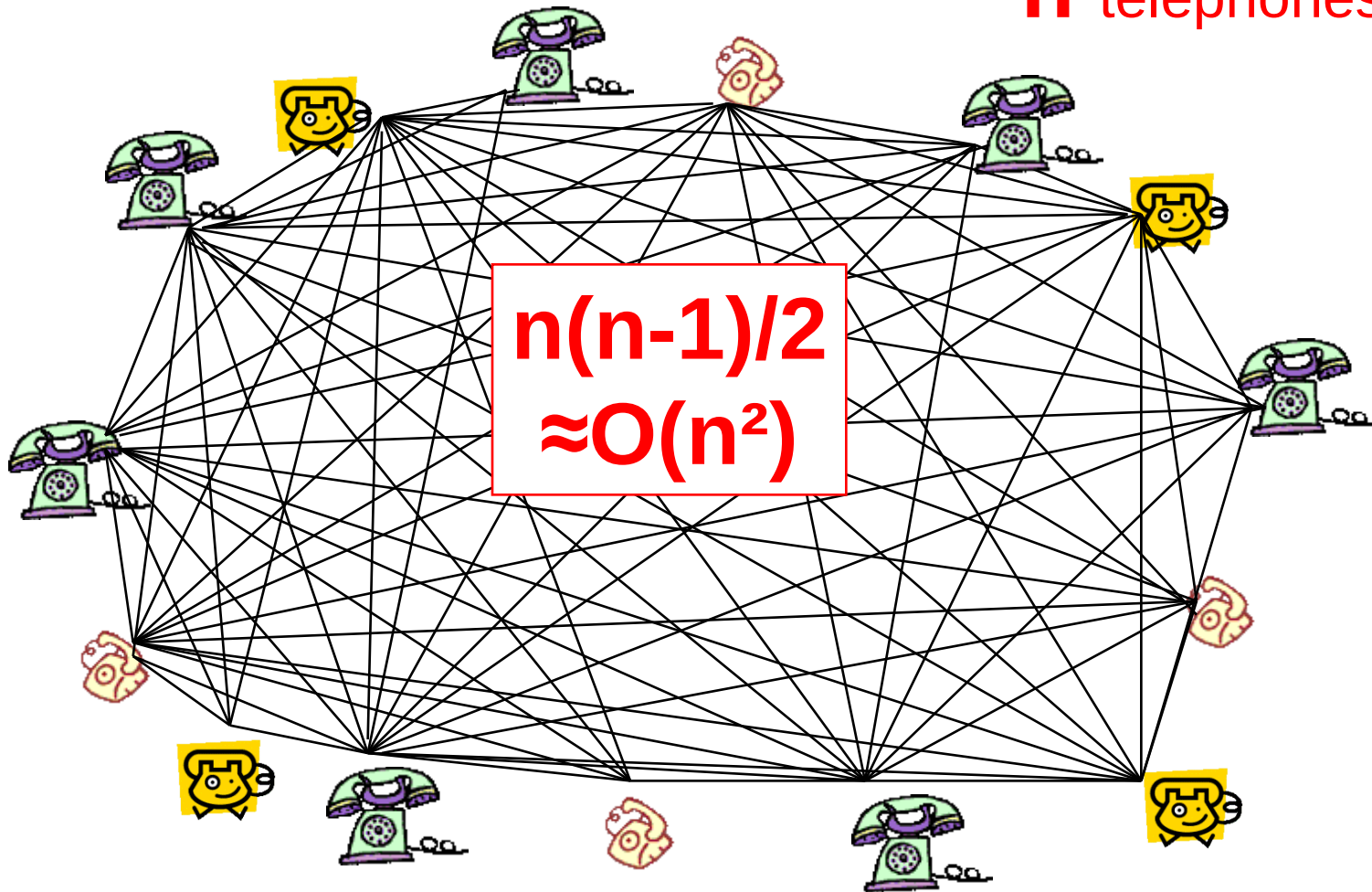
- 1. Transmission physique (cuivre, optique, radio) avec de plus en plus, numérisation et compression des signaux ;**
- 2. Aiguillage des informations (3 familles principales) :**
 - ☐ Commutation
 - ☐ Routage de proche en proche
 - ☐ Accès multiple des LAN et cellules radio mobiles
- 3. Gestion du trafic (2 options principales) :**
 - ☐ Délestage
 - ☐ Contrôle de flux à l'entrée

A58

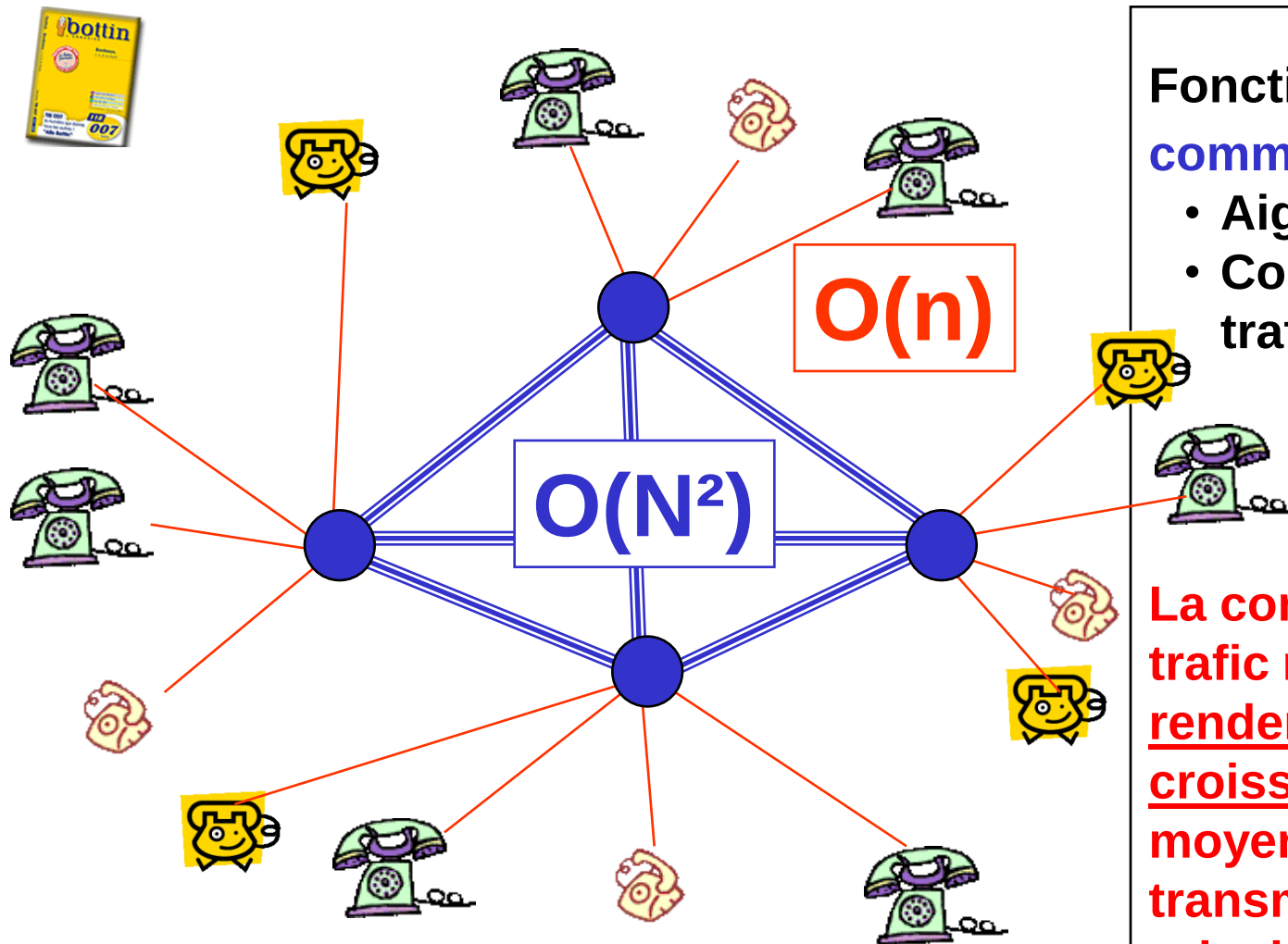
A59

Combinatoire des réseaux

n téléphones



Réduction de la combinatoire



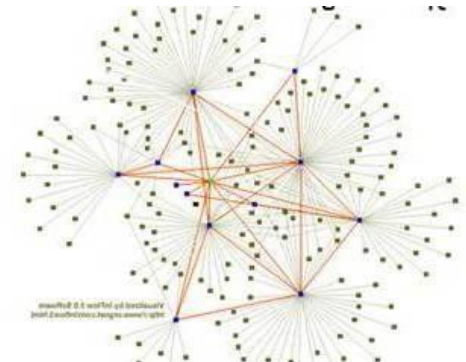
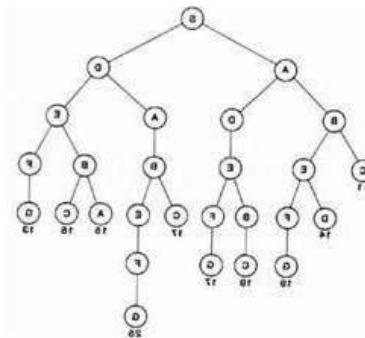
Fonctions des **N**
commutateurs :

- Aiguillage
- Concentration de trafic

La concentration de trafic met à profit le rendement croissant des moyens de transmission (même principe que les HUBs en aviation)

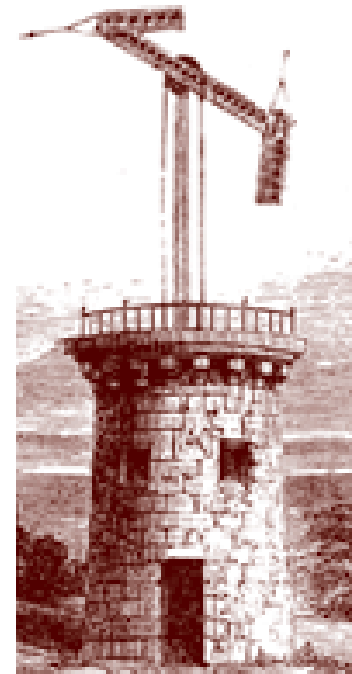
Télécom: plusieurs cultures

	Téléphonie	Internet
Aiguillage	Commutation	Routage
Élaboration des normes et standards	ONUsienne	IETF + Baba
Structure et topologie	Hiérarchique	Distribuée
Mode de gestion et de planification	Centralisée	Auto gérée
Routage	Centralisé	Auto-adaptatif
Contrôle de flux	Réseau	Applications
Qualité de service	Garantie	Non gérée
Facturation à la consommation	Oui	Difficile
Business model	Répartition de taxes	Peering
Complexité globale	FAIBLE	ELEVÉE



3. Les réseaux "jacobins" en très très bref

- Le réseau téléphonique (et RNIS)
- Les mobiles



Les réseaux téléphoniques

- Le réseau téléphonique a évolué de façon continue depuis l'invention de Graham Bell il y a environ 130 ans.
- Étapes majeures:
 - Automatisation (1920-1960)
 - Numérisation (années 1970) et structure **TDM** (Time Division Multiplexing)
 - Réseaux Intelligents **RI** (1980's) et **RNIS**
 - Réseaux mobiles (1980-1990's)
- Invariants: structure hiérarchique, planification et gestion centralisées

A63

Numérotation hiérarchique mondiale

Z P EZ AB PQ MCDU

N° local
Millier
Centaine
Dizaine
Unité

Continent

Pays

Mobiles

Opérateur
Mobile A

Opérateur
Mobile B

Pays

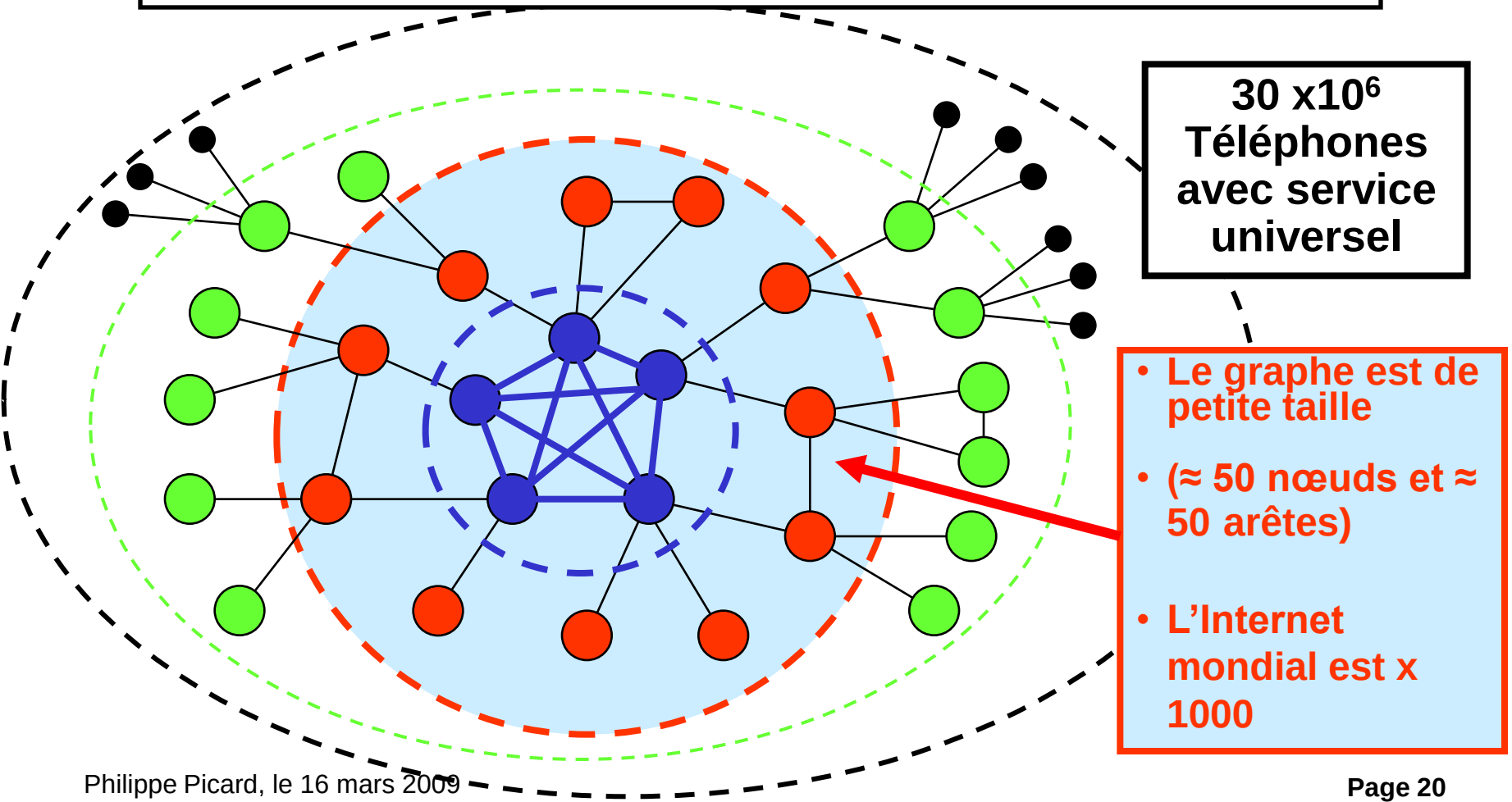
Fixe

Région

La numérotation téléphonique mondiale a une structure hiérarchique utilisée pour le routage (y compris pour les mobiles)

Le RTC français est très hiérarchisé

5	CTP	Centres de transit principal
39	CTS	Centres de transit secondaire
430	CAA	Centres à Autonomie d'Acheminement
13 000	CL	Centres Locaux et URA (NRA)



Le téléphone cellulaire



So, Where are we exactly?

GSM $\equiv$ RNIS

+ 3 PB essentiels:

- 1. Gestion du spectre**
- 2. Accès multiple dans les cellules**
- 3. Gestion de la mobilité:**
 - Localisation
 - Hand Over
 - Roaming

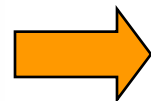
Complicqué ou complexe ?

Principe cellulaire du GSM



Frequency reuse factor = 7

- Division en cellules
- Deux plages de fréquences identiques sont distantes de 2 cellules (→ motif de 7 cellules)
- Méthode d'accès multiple:
 - FDMA : 124 canaux radio et
 - TDMA : 8 IT



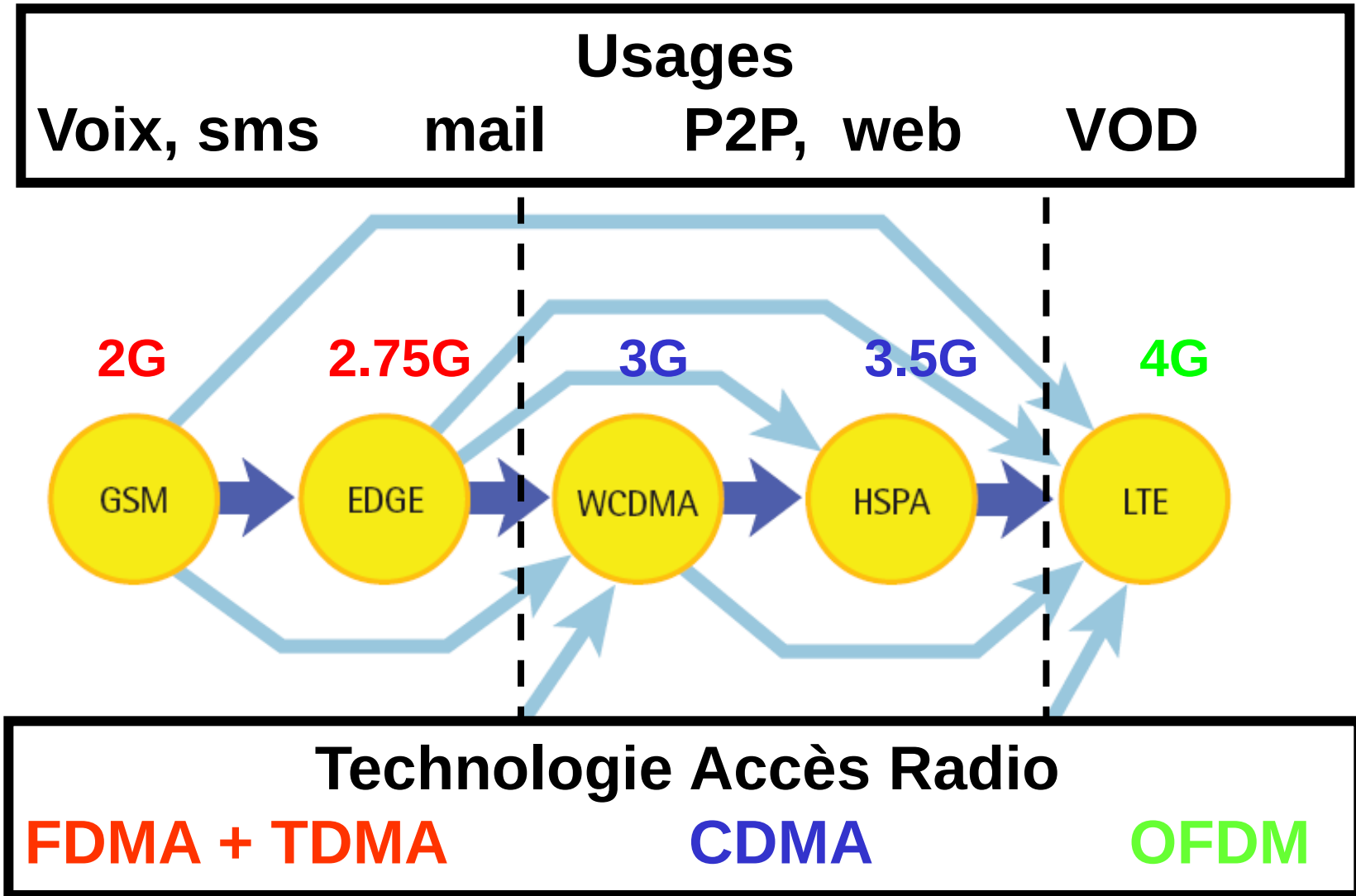
Capacité moyenne d'une cellule:

$$(124 \times 8) / 7 \approx 140 \text{ Erlangs}$$

A66

En milieu dense l'augmentation du trafic conduit à multiplier les cellules par "**scissiparité**"

Les générations de mobiles : 3G, 4G, etc..

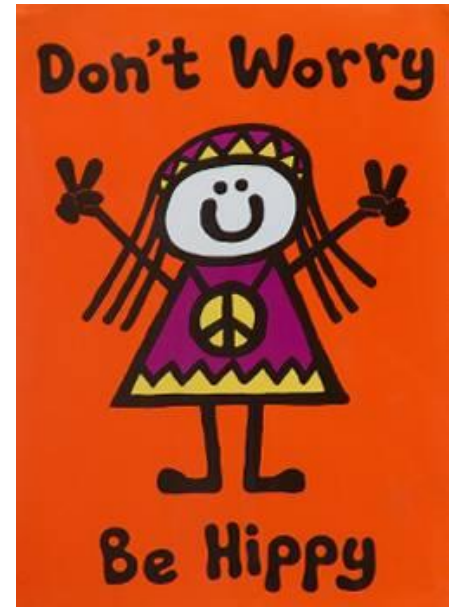


Réseaux mobiles et complexité

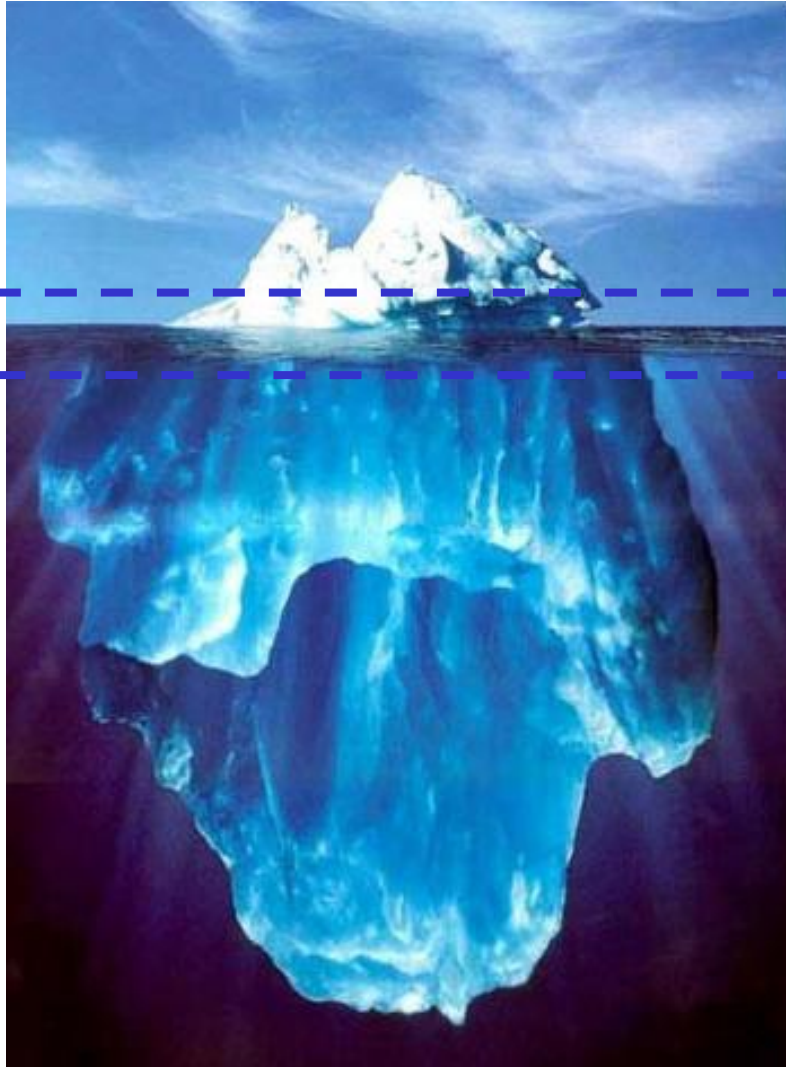
- Les réseaux mobiles des opérateurs, cellulaires et hiérarchisés, représentent un aboutissement technologique de la filière des réseaux "jacobins".
- La complexité des réseaux mobiles, s'il y a, est concentrée au niveau de la gestion des cellules radio (et des mécanismes de "hand over").
- Une nouvelle famille de réseaux mobiles pourrait voir le jour: les réseaux ad hoc, LAN sans fil gérés à la mode Internet par agrégation autogérée. Ces réseaux auront un comportement complexe.

4. Internet, l'entrée des télécom dans le monde de la complexité globale

- **Comment marche le réseau ?**
- **Les structures complexes associées**



Internet



APPLICATIONS

Intelligence collective
VOD, IP TV
Myspace, Facebook, Viadeo
SPAM, Virus
Web 2.0, blogs
VoIP, TOIP, m@il,
Domaines, Google

A67

TCP, DNS

TRIPAILLE

IANA, RIR
Adresses IP
IPV4, IPV6
ASN
IXP
Routage (RIP, RIP II, OSPF, IGRP,
EGP, BGP4, etc.)
xDSL, FTTH, GPRS, UMTS
LAN, WAN, mobiles, etc.

Internet: les mécanismes clé (1)

- Le réseau véhicule l'information en paquets, **(datagrammes) aiguillés un à un** par les routeurs: mécanisme **Internet Protocol, IP** ;
- Le contrôle (congestion, erreurs) est réalisé de bout en bout par **TCP**, le **Transmission Control Protocol** ; A68
 - **Le réseau ne fait pas de contrôle de flux** et ne peut garantir une qualité de service. En cas de congestion il y a délestage du réseau par élimination des datagrammes trop vieux !
 - Le contrôle de flux de **TCP** est basé sur le mécanisme **AIMD** (boucle stabilisée) A69

Internet: les mécanismes clé (2)

■ Construction et routage : **auto organisation**

- Internet est un conglomérat de réseaux, les **AS** ("Autonomous Systems"). A70
- Routage inter **AS** unique (**BGP**) sur l'ensemble du réseau mondial. Le cœur du fonctionnement du réseau mondial est auto adaptatif. A71
- Croissance du réseau sur la base d'accords de **peering** mais pas de planification mondiale.

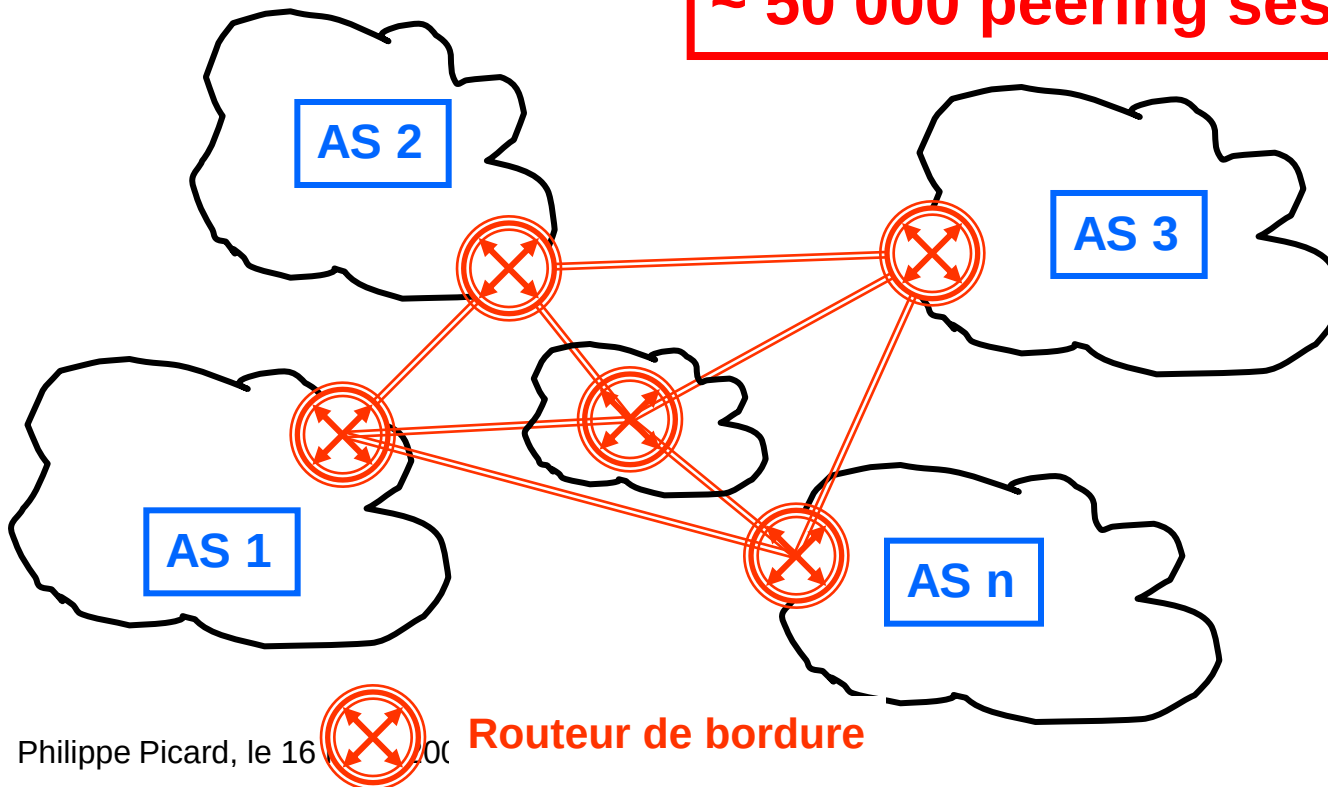
■ Gestion "américano mondiale" des adresses:

- Adressage IP V4 en attendant IP V6
- Attribution des noms de domaine

2 niveaux de Routage IP

1. **EGP: Exterior Gateway Protocol**
2. **IGP: Interior Gateway Protocol**

~ 18 000 AS (sommets dans BGP)
~ 50 000 peering sessions (arêtes)



Dimensions d'Internet ?

■ Le réseau (début 08)

- 18 700 Autonomous System (**AS**) nodes
- 51 500 peering sessions
- 4 800 000 observed IPv4 addresses
- Tables de routage BGP $\approx$ 300 000 cases

■ Le WEB



- 186 millions de sites au 06-01-2009
- Selon Google, 10^{12} pages

La gestion des ressources d'adresses

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



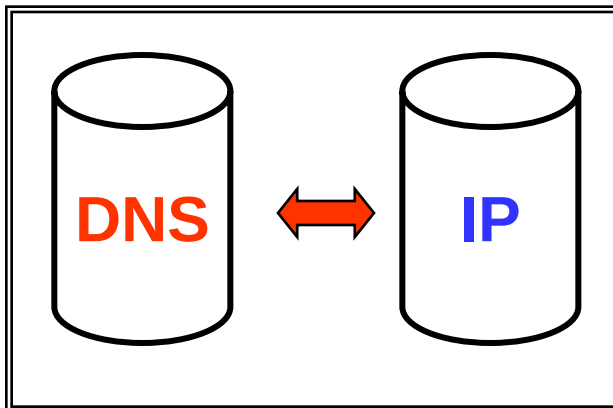
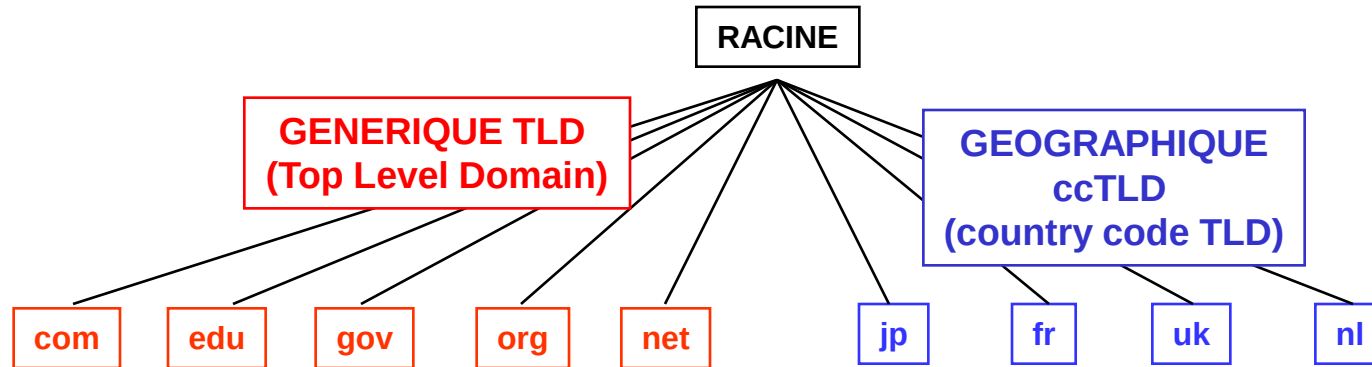
Adressage IP

- En IP V4, adresses de 32 bits notées avec 4 groupes de chiffres XXX.YYY.ZZZ.AAA
- IPV4 permet 2^{32} adresses ($\approx 10^{32/3}$) A72
- En fait, les 32 bits sont partitionnés en deux:
 - Une partie pour le N° du réseau d'appartenance (Autonomous System ou **AS**)
 - Une partie pour le N° de l'ordinateur connecté A73
- En IP V6, 16 octets (128 bits): 2^{128} adresses
~ $2 \cdot 10^{20}$ adresses par cm^2 du globe terrestre!

IPV6 sera indispensable pour les futures applications M2M (RFID, domotique, etc.) qui pourront atteindre des milliards d'objets connectés!

IP et Domain Name Server (DNS)

Les applications TCP accèdent à l'adresse IP via le **serveur de nom de domaine**. La gouvernance des **DNS** est associée à la gestion des adresses IP.



Chaque domaine dispose au moins d'un serveur de noms (liste des noms des hôtes et de leur adresse IP. Une application appelée « **solver** » recherche l'adresse **IP** correspondant au **DNS** contenu dans le service demandé (par exemple:

www.mountvernon.fr ⇔ **62.193.202.74**

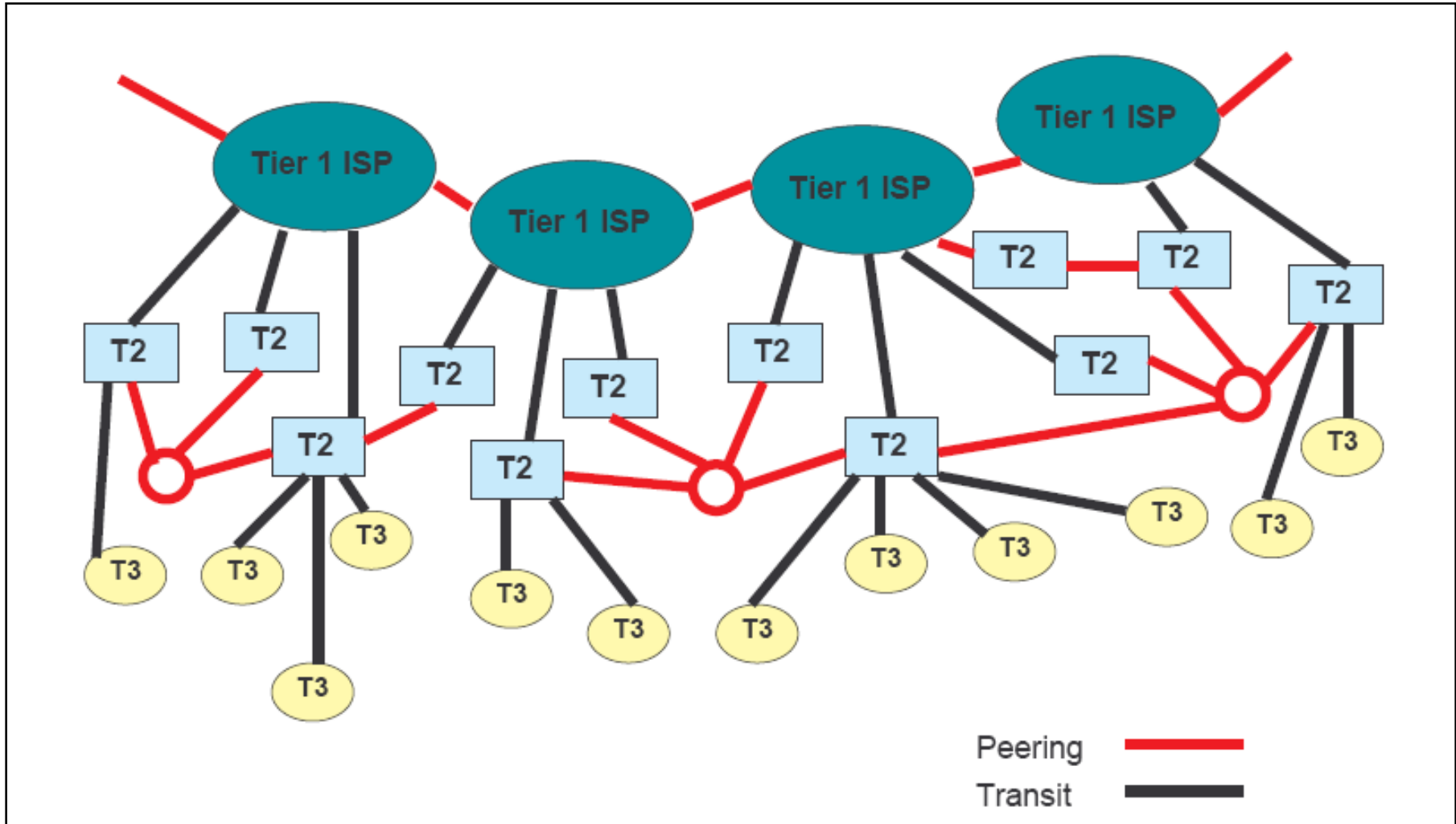
Des caches existent sur le portail de l'ISP et même sur chaque station.

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

Les accords de trafic d'Internet

- Deux modes, très différents du mode traditionnel des TELCO's :
 - "Peering": échange de trafic entre abonnés de deux réseaux sans flux monétaire (**Bill and Keep – Sender Keep All - SKA**). Pas d'engagement de router le trafic vers d'autres réseaux
 - "Transit": facturation selon un certain nombre de critères
 - Taille du réseau
 - Déploiement géographique
 - "qualité" des clients

Les AS sont hiérarchisés



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

Le cœur du trafic d'Internet (Tier 1 & 2)

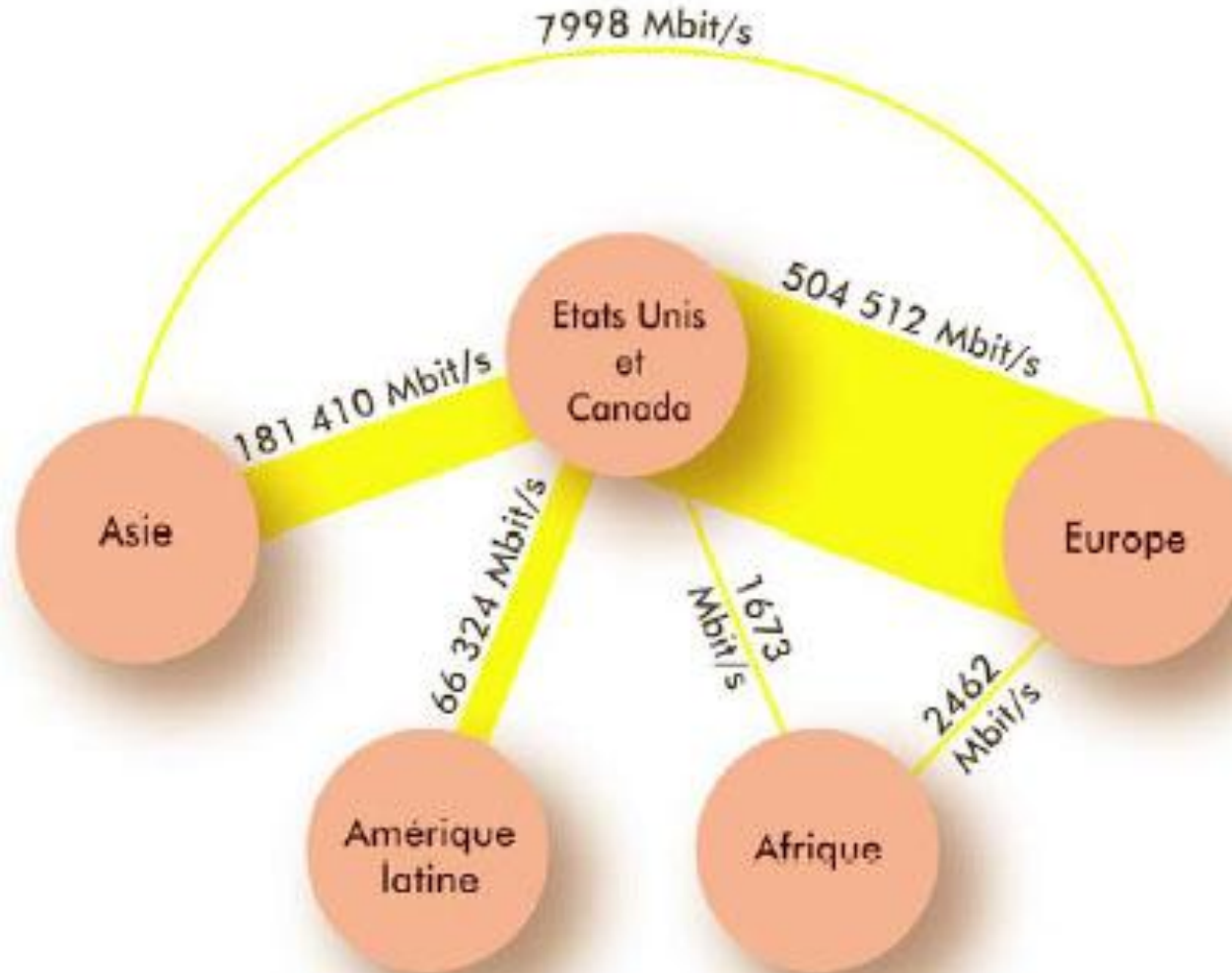
Tier 1 (+/- autoproclamés)

Nom	N° AS	degré
AT&T	7018	1382
Global Crossing	3549	499
Level 3 communications	3356	
NTT Communications (Verio)	2914	254
Qwest	209	828
Sprint	1239	880
Verizon Business (formerly UUNET)	701	1452
SAVVIS	3561	

Principaux Tier 2

- **PCCW Global** (formerly Beyond the Network Access (BTN)) AS3491 (Buys transit from Global Crossing AS3549)
- **France Télécom** AS5511 (buys transit from Sprint, AS1239)
- **Tiscali International** AS3257 (buys transit from Sprint, AS1239)
- **Tele2** (formerly SWIPNet) AS1257 (buys transit from Sprint, AS1239)
- **Telecom Italia** Sparkle (Seabone) AS6762 (buys transit from Sprint, AS1239)
- **nLayer** AS4436 (buys transit from GBLX/AS3549)
- **Interoute** AS8928 (buys tansit from Sprint/AS1239 and Tiscali/AS3257)
- **TeliaSonera** AS1299 (AS701 paid transit)

Un monde très "américano centré"



Dimensions du
back bone
intercontinental
d'Internet

Source: ITU

La complexité d'Internet

■ Il faut distinguer trois dimensions:

- **La structure topologique**, résultant de la construction progressive du réseau, sans planification centralisée, mais sur la base des accords de "**peering**". Plus un noeud possède d'arcs entrants, plus de nouveaux noeuds auront tendance à se lier à lui.
- **Les mécanismes de routage**, auto adaptatifs, permettant de relier deux objets disposant d'une adresse IP avec une distance ≤ 15 (**algorithmes gloutons**)
- **Le contrôle de flux** réalisé par TCP avec le mécanisme de contre réaction **AIMD**

Rappel 1 : graphes complexes

■ Trois propriétés liées de graphes complexes caractérisent Internet :

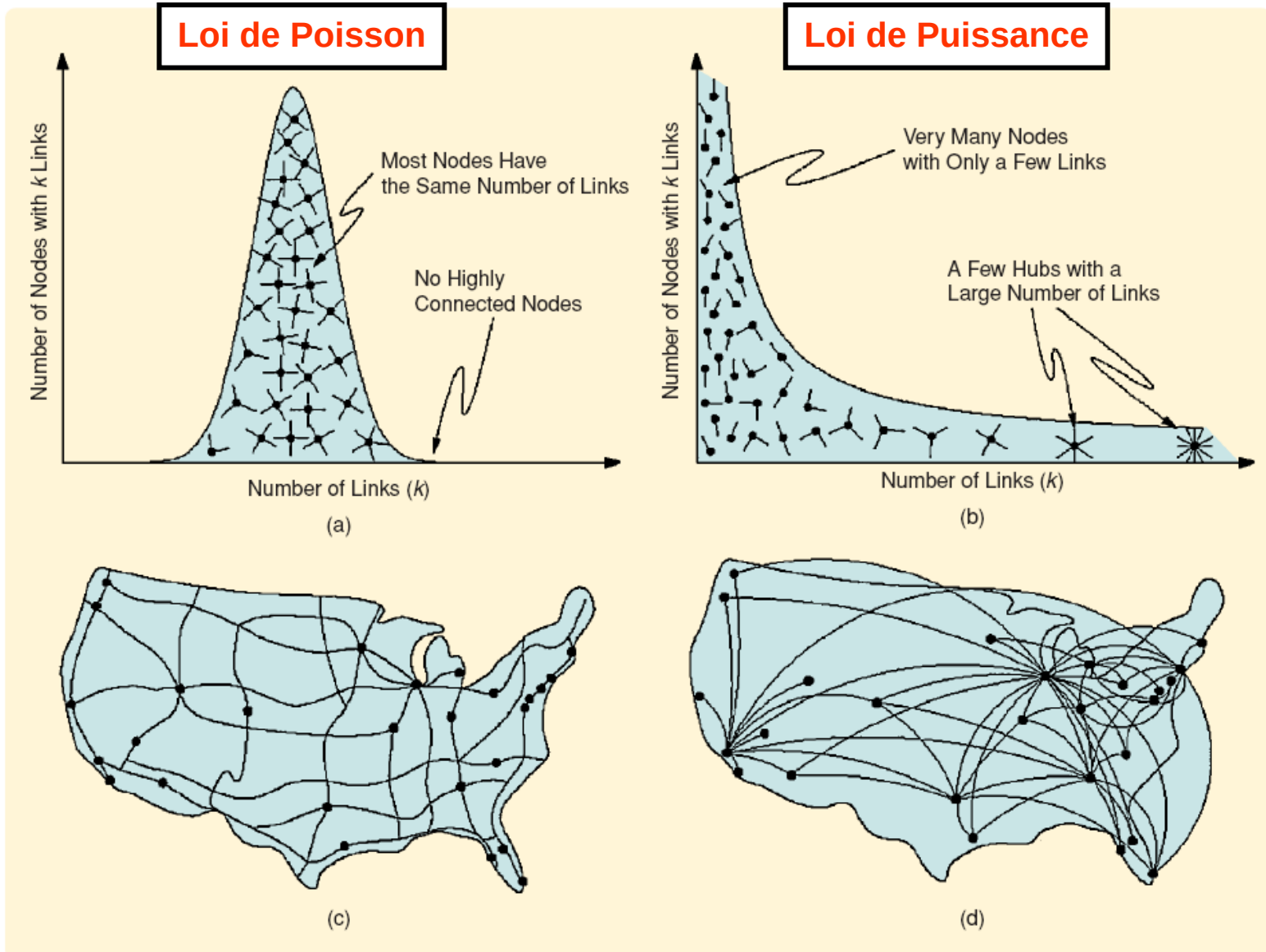
1. Modèle du Small World : diamètre $(1) \leq d$;
2. Distribution des degrés (2) des nœuds selon une loi de puissance ;
3. Invariance d'échelle (structure fractale) ;

■ Ces propriétés résultent du mode de gestion et de croissance progressive d'Internet

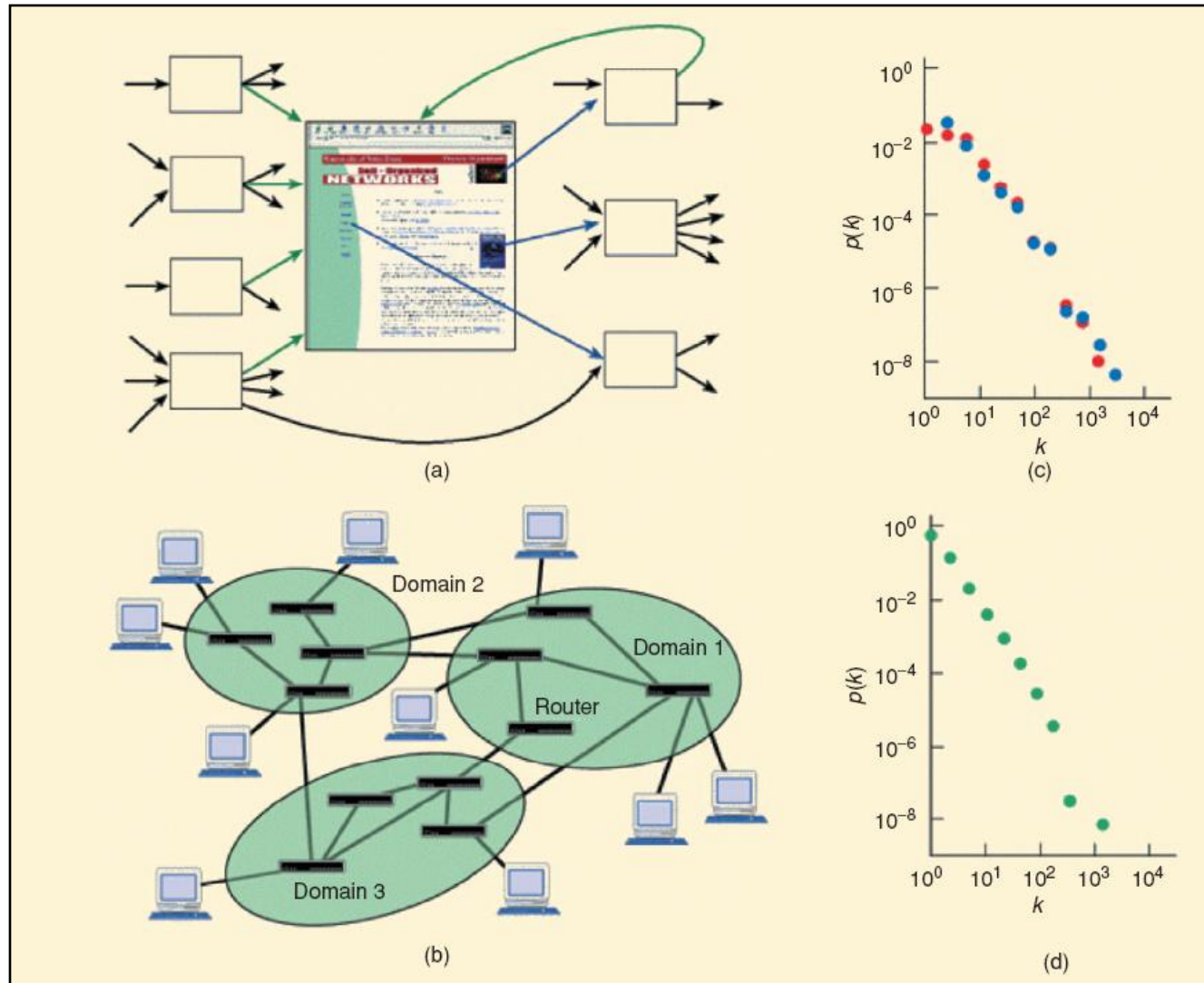
(1) : diamètre d'un graphe : la plus grande distance entre deux sommets

(2) : degré d'un noeud : nombre d'arêtes connectées sur ce noeud

Rappel 2 : loi de puissance (selon Barabasi)



Rappel 2 : loi de puissance (Selon Barabasi)



WEB_{in}

WEB_{out}

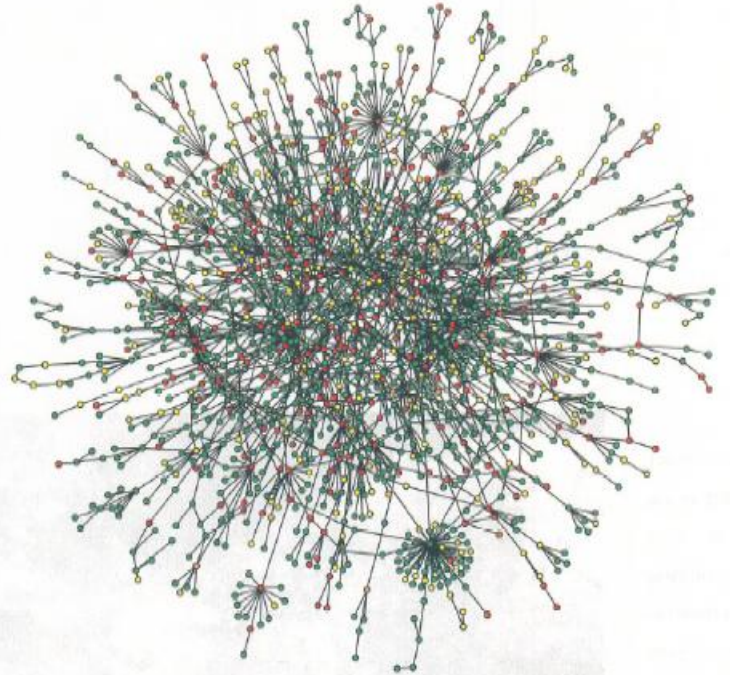
Routeurs

Le Small World et Internet

- d (individus) = 6
- d (IP) = 15
- d (WWW) = 21

La structure **Small World** et la **Loi de Puissance** résultent des mécanismes de peering pour l'IP et du principe "the Rich get Richer" pour le WEB

Routage Internet **BGP**:
15 sauts maximum pour
relier 2 AS, cad $d=15$



Loi de puissance d'Internet

	Internet	Actors	Co-auth	Protein	Web
n	228263	392340	16401	2113	325729
m	320149	15038083	29552	2203	1090108
α	2.3	2.2	2.4	2.4	2.3

Selon le projet Web-Mopt (ENST août 2005) :

- Graphes de n sommets, m arêtes
- Le coefficient de puissance α est similaire pour des graphes relatifs à des domaines très divers

Nombre de nœuds sur le réseau

Beaucoup de nœuds avec peu de connexions

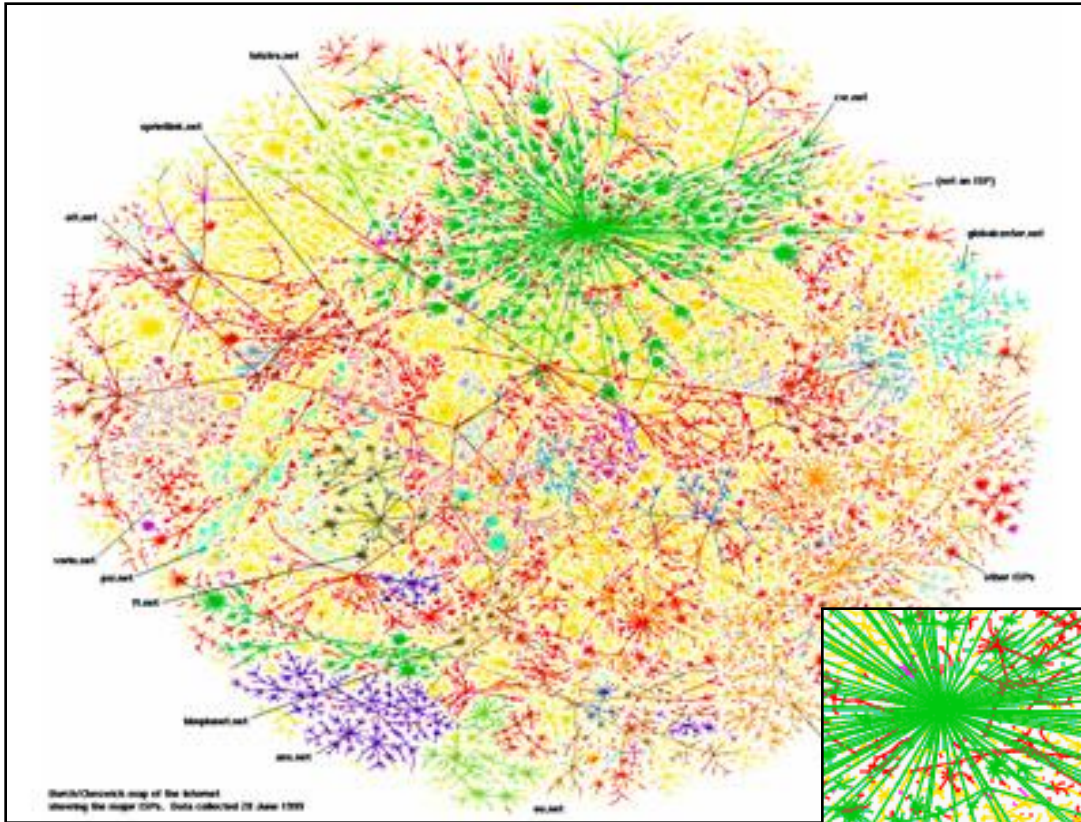
Loi de puissance $P(k) = 1/k^\alpha$

Peu de nœuds avec beaucoup de connexions

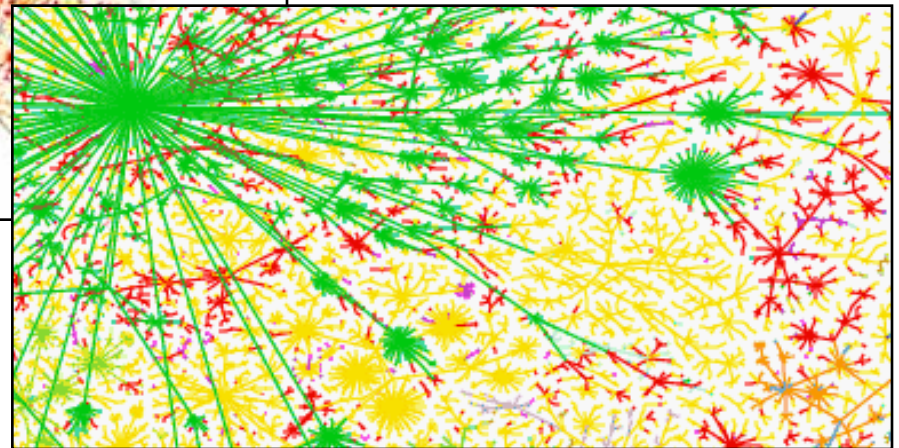
Nombre de connexions

k

Structure fractale d'Internet



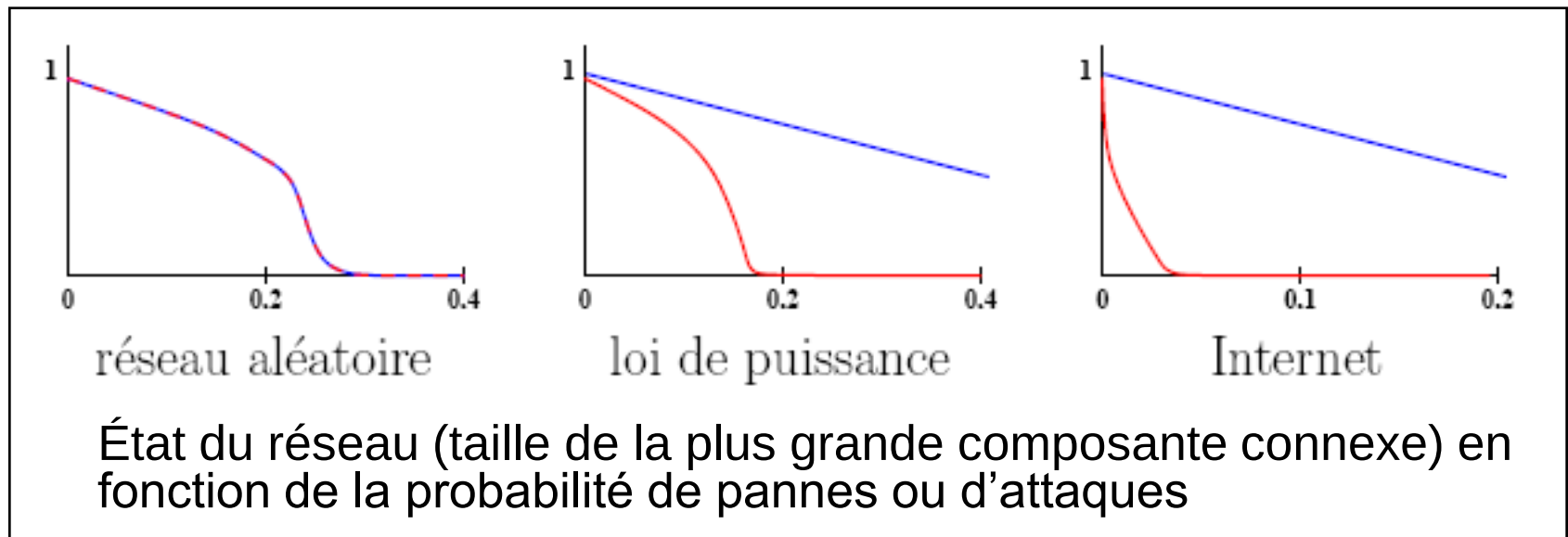
Internet a une structure de "réseaux sans échelle" résultant de la loi de puissance de la distribution des nœuds.



Impact sur la résilience d'Internet

■ On distingue :

- **Panne** = suppression de sommets au hasard.
- **Attaque** = suppression de sommets choisis (par exemple des sommets d'AS de niveau 1).



**Internet est résistant aux pannes
et sensible aux attaques**

Émergences grâce à Internet

■ L'intelligence collective

- Google et autres moteurs de recherche
- Wiki, Blogs

■ La cyber criminalité

- Spam, arnaques, usurpation, virus, hacking , PornoWeb

■ Réseaux sociaux (WEB2)

- Facebook, Viadeo, Myspace
- MSN, Skype

■ Divers: jeux

■ Nouvelle donne de gestion des droits de propriété intellectuelle (DRM) :

- Téléchargements (gratuits ou commerciaux)
- P2P
- VOD et IPTV (U tube, TV direct, etc.)
- Loi ADOPI

Une nouvelle économie des réseaux

■ Internet

- Tarifs des tuyaux +/- forfaitaires (distance, volume)
- Pseudo gratuité + publicité pour les contenus
- Inter médiation pour le B2C

■ Plusieurs hypothèses tentent de modéliser la valeur d'usage des réseaux:

Type de réseau	Auteur	Loi
Diffusion	Sarnoff	n
Peer to peer	Odlyzko	$n \log(n)$
	Metcalf	n^2
Communautés	Reed	2^n

Sommaire

5. Et après?

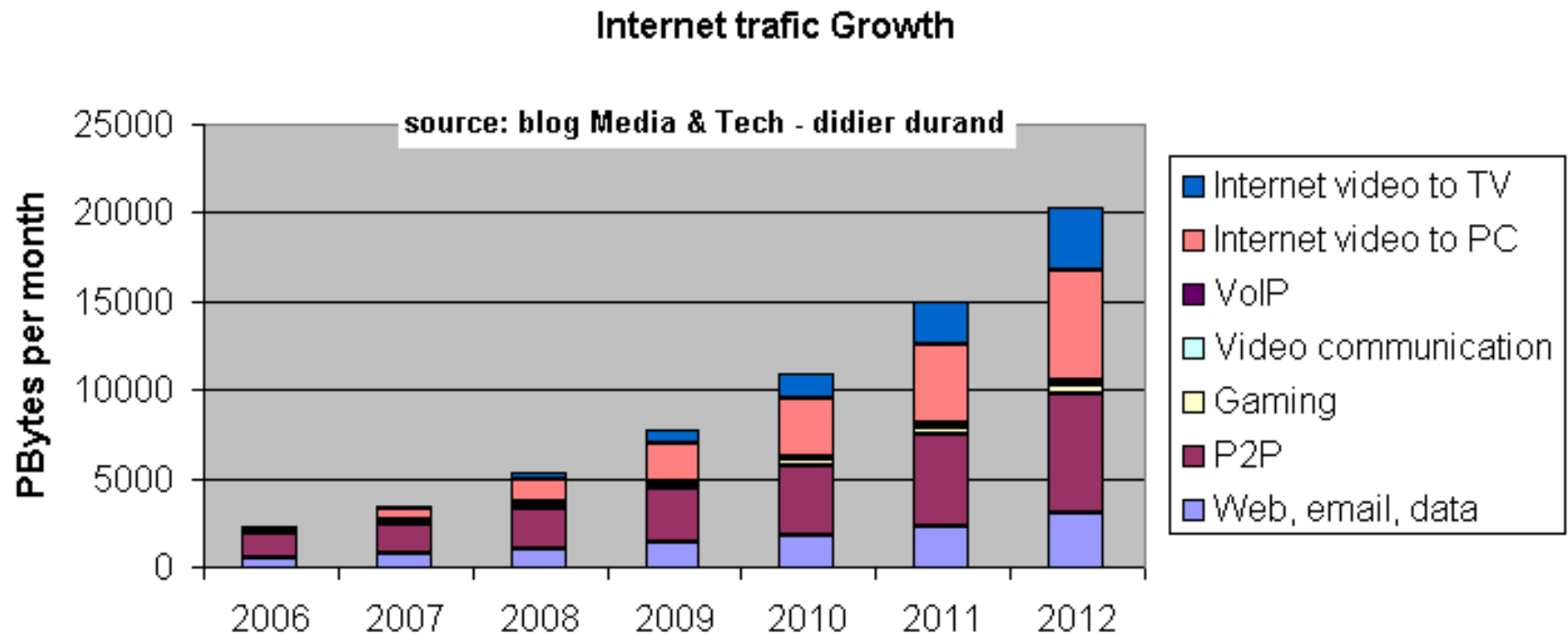
- les télécom traditionnelles vers le NGN
- Internet: grandes interrogations et crise de croissance



Les grands problèmes du jour (1)

■ Aptitude d'Internet à la croissance ?

- Le nombre d'objets (M2M, RFID, etc..)
- Le trafic (Gb/s x Erlangs) dû au débit vidéo (VOD, IPTV) et au P2P



Les grands problèmes du jour (2)

■ QoS vs "best effort" :

- modèle **NGN/IMS (1)** des TELCO's ou l'Internet actuel "best effort" ?

A78

■ Le "business model" de croissance.

- Qui gagne et qui investit: les "Google" ou les TELCO's et "autres plombiers" ?
- Accords de peering ou répartition de revenus?

(1) **NGN/IMS**: nouvelle génération des réseaux des TELCO's assurant la convergence fixe/mobile & multimédias, basés sur une technologie dérivée de l'IP, le **MPLS**, **A80** permettant une gestion de la qualité de service (**QoS**)

Les grands problèmes du jour (3)

- **Le modèle Internet est-il pérenne ?**
 - Routage pur ou généralisation du MPLS ?
 - Les failles de sécurité (DNS, BGP)
 - La migration IPV6: quand?
- **Par analogie avec les marchés financiers:**
 - Les lois actuelles d'autogestion (routage, peering, sécurité etc.) permettront-elles de maîtriser la croissance d'Internet ou va-t-on vers un chaos technique ? (**Sciences et Vie, décembre 2008**)
 - Faudra-t-il une gouvernance technique et financière plus centralisée?

Conclusion: quel modèle futur, réseaux jacobins ou auto organisés ?



ANNEXES

	N°
Quelques références	54
Terminologie	55
Invariants des télécom	
Evolution des techniques de commutation	58
Contrôle de flux	59
Numérisation TDM	63
Le SS7	64
Le GSM	65
Internet	
TCP	67
Routage	70
Adressage	72
Exemples de réseaux Tier 1	74
Le NGN des TELCO's	78

Quelques références

■ Lectures:

- **Tout sur les réseaux et Internet**
(commentCamarche.net, DUNOD)
- **Au-delà des Ponts de Königsberg: Théorie des Graphes**, VUIBERT
- **Science et Vie**, Décembre 2008

■ Sites:

- INRIA
 - http://interstices.info/jcms/c_8839/reseaux
- Collège de france
 - http://www.college-de-france.fr/default/EN/all/inn_tec2007/index.htm
- **Albert-László Barabási**
 - <http://www.barabasilab.com/pubs.php>

Terminologie 1

Sigle	Définition	domaine				
		Fixe	Mobiles	Internet	NGN	Divers
3GPP	3rd Generation Partnership Project est une coopération entre organismes de standardisation régionaux en Télécommunications tels l'ETSI (Europe), ARIB/TTC (Japon), CCSA (Chine), ATIS (Amérique du Nord) et TTA (Corée du Sud), visant à produire des spécifications		x		x	
3PLAY	Triple Play, service multiple d'accès à Internet (voix, data, télévision) des opérateurs			x	x	
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line, technologie de transmission numérique haut débit sur paires symétriques	x		x	x	
AFRINIC	registre régional d'adresses IP desservant l'Afrique			x		
AIMD	Additive Increase, Multiplicative Decrease, mécanisme de contrôle de flux de TCP			x		
ARIN	registre régional d'adresses IP desservant le Canada, de nombreuses îles des Caraïbes et de l'Atlantique Nord, ainsi qu'aux États-Unis			x		
AS	Autonomous System, Réseau IP interconnecté à Internet			x		
ATM	Asynchronous Transmission Mode, multiplexage numérique des années 80/90, supplanté par IP MPLS	x				
BGP	Border Gateway Protocol, protocole de routage entre AS			x		
CATV	Cable TV (réseau de télévision par câble)	x				
CDMA	Code Division Multiple Access, technologie de codage à étalement de spectre utilisée en UMTS		x			
CDN	Content Delivery Network, service d'infrastructure Internet comprenant transport, hébergement et cache					
DATAGRAM	Paquet acheminé dans Internet avec les mécanisme IP (par opposition à Circuit Virtuel en			x		
DNS	Domain Name Server, serveur de correspondance entre nom de domaine et adresse IP			x		
DRM	Digital Right Management, outil de gestion des droits d'auteur pour un contenu protégé			x		
DSLAM	Digital Subscriber Line Acces Multiplexor réalise l'interface entre les lignes ADSL et le réseau d'accès	x		x	x	
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution: extension du GSM/GPRS permettant de multiplier par 3 le débit binaire		x			
ERLANG	Unité d'intensité de trafic téléphonique, du nom du créateur de la première modélisation de trafic télécom					x
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (ETSI), est l'organisme de normalisation européen du domaine des télécommunications.	x	x		x	
FDMA	Frequency Multiple Access: mécanisme de contrôle des accès GSM par partage de canaux de fréquence	x	x			
GPRS	General Packet Radio Service: extension du GSM permettant la communication de données en mode IP		x	x		

Terminologie 2

Sigle	Définition	Domaine				
		Fixe	Mobiles	Internet	NGN	Divers
GPS	Global Positioning System, système de géopositionnement par satellite					x
GSM	Global System for Mobile communications, norme de téléphonie mobile adoptée dans les années 80, entièrement numérique		x			
HANDOVER	Service permettant le rétablissement successif des connexions logiques entre le mobile et la BS la plus proche		x			
HSPA	High Speed Downlink Packet Access, extension de l'UMTS vers les hauts débits		x			
P2P	Peer to Peer, mode symétrique sur Internet pour l'échange de contenu (MP3, Vidéo, etc.)			x		
QoS	Quality Of Service: garantie de paramètres de qualité de service dans les réseaux IP			x	x	
RTC	Réseau Téléphonique Commuté					
RFID	Radio Frequency IDentification est une méthode pour mémoriser et récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes »			x		x
RI	Réseau Intelligent: introduction de serveurs informatiques dans les réseaux télécom classiques. Au cœur du RNIS et du GSM	x	x			
IANA	Internet Assigned Numbers Authority, organisation dont le rôle est la gestion de l'espace d'adressage IP d'Internet			x		
ICANN	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) est une autorité de régulation de l'Internet (supervision IANA et attribution des noms de domaine)			x		
IETF	Internet Engineering Task Force. Comité de réflexion concernant les normes à utiliser pour les échanges sur Internet.			x		
IMS	IP Multimedia Subsystem, architecture applicative des réseaux NGN				x	
IP	Internet Protocol: mécanisme de base d'échange des paquets sur Internet			x		
IP TV	Internet Protocol Television, distribution de TV par Internet			x		
IT	Intervalle de Temps: groupe de bits (en général octet) dans une trame numérique	x				
ITU	International telecommunication Union, organisation de l'ONU régulant les télécom (normes, fréquences)					x
LACNIC	Regional Internet Registry (RIR) pour l'Amérique latine et les Caraïbes			x		
LAN	Local Area Network, popularisé dans les années 80 avec Ethernet (et feu FDDI)	x		x		
LTE	Long Term Evolution, nom d'un projet au sein du 3GPP qui vise à produire la future norme de réseau mobile de quatrième génération (4G).		x			
M2M	Machine To Machine			x		
MPLS	MultiProtocol Label Switching: mécanisme ajouté à IP pour assurer une gestion de QoS			x	x	

Terminologie 3

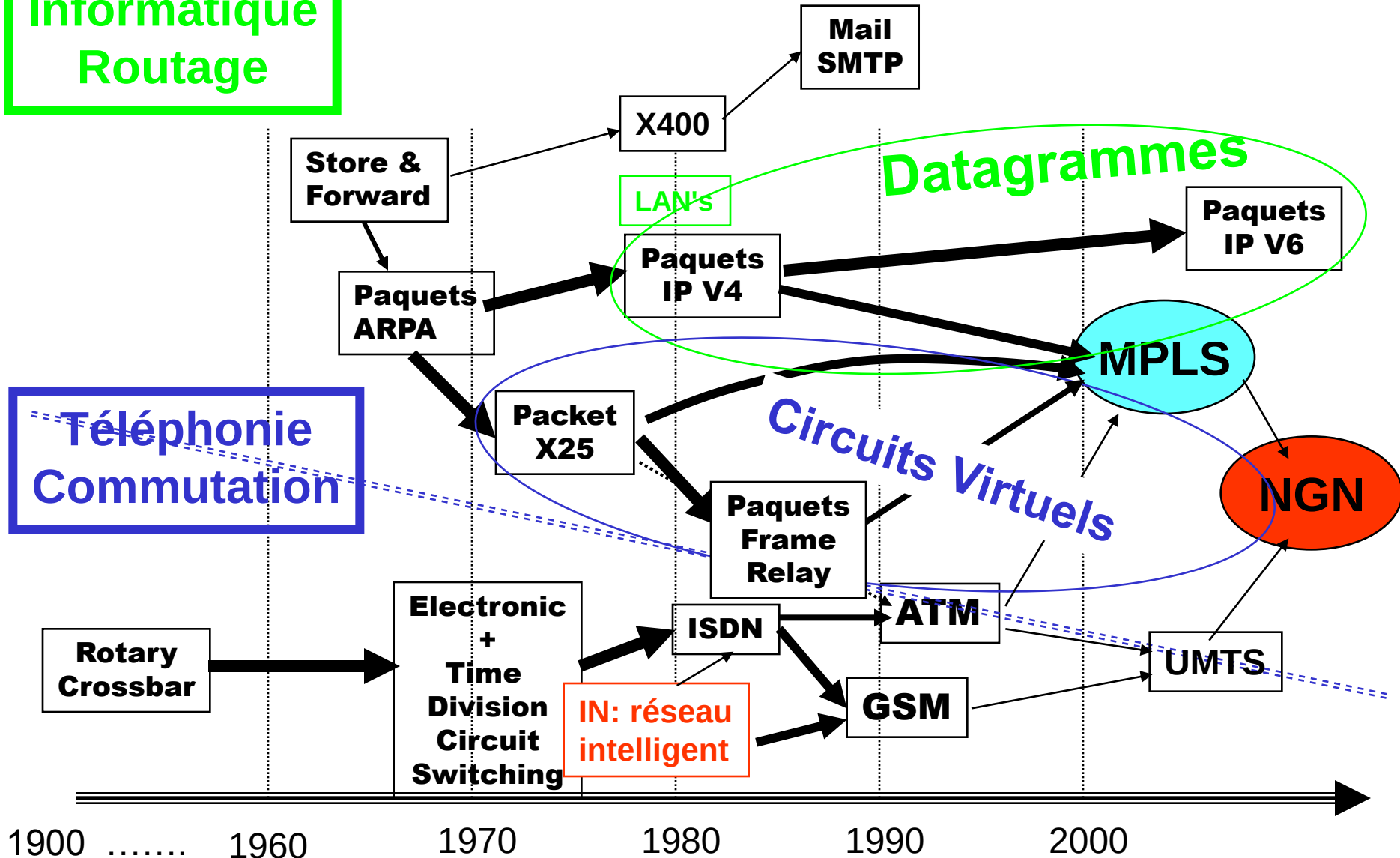
Sigle	Définition	Domaine				
		Fixe	Mobiles	Internet	NGN	Divers
NGN	New Generation Network, réseaux des TELCO's basés sur IP et l'architecture IMS				x	
NRA	Noeud de Raccordement d'Abonnés, point de raccordement du RTC analogique, utilisé pour l'accès ADSL	x				
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing) codage de signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales sous forme de multiples sous-porteuses. Pour les mobiles 4G		x			
OSPF	Open Shortest Path First, protocole de routage IP interne de type protocole à état de liens: utilisé pour le routage interne aux AS et basé sur l'algorithme de Dijkstra			x		
RIPE	RIPE-NCC (Réseaux IP Européens - Network Coordination Center) est un registre régional d'adresses IP			x		
RIR	Regional Internet Registry) est un organisme qui alloue les blocs d'adresses IP (adressage IPv4 et IPv6) dans sa zone géographique.			x		
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services: extension numérique du RTC	x				
ROAMING	– itinérance en français – décrit la faculté de pouvoir appeler ou être appelé quelle que soit sa position géographique		x			
SMS	Short Message Service, service générique du GSM exploitant la capacité du canal de signalisation		x			
TCP	Transport Control Protocol,			x		
TDM	Time Division Multiplexing: technologie introduite dans les années 70 pour la transmission téléphonique	x				
TDMA	Time Division Multiple Access: mécanisme de gestion des accès GSM par partage temporel		x			
TOIP	Telephony Over IP			x	x	
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System: 3G des réseaux mobiles basé sur des cellules radio en technologie CDMA		x			
URA	Unité de raccordement analogique dans le RTC	x				
VOD	Video On demand			x		
VOIP	Voice Over IP			x	x	
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access Evaluation, Multiplexage par code large bande. Variante du CDMA utilisée aux USA		x			
WDM	Wavelength Division Multiplexing: technologie de multiplexage sur fibres optiques	x			x	
WIFI	Wireless Fidelity: technologie de réseau local sans fil IEEE 802.11		x	x		
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, technologie de LAN sans fil haut débit		x	x		
X25	Recommandation ITU de 1976 spécifiant le service de circuit virtuel en mode paquets, basé par exemple de TRANSPAC	x				

L'évolution des technologies de commutation/routage

Informatique

Routage

~~Téléphonie~~ Commutation



Congestion et Contrôle de flux

- Les contrôle de flux concernent tous les réseaux avec une capacité limitée:

- Route: bison futé, feux d'accès aux autoroutes,
- Contrôle aérien
- Électricité: délestage
- Etc.

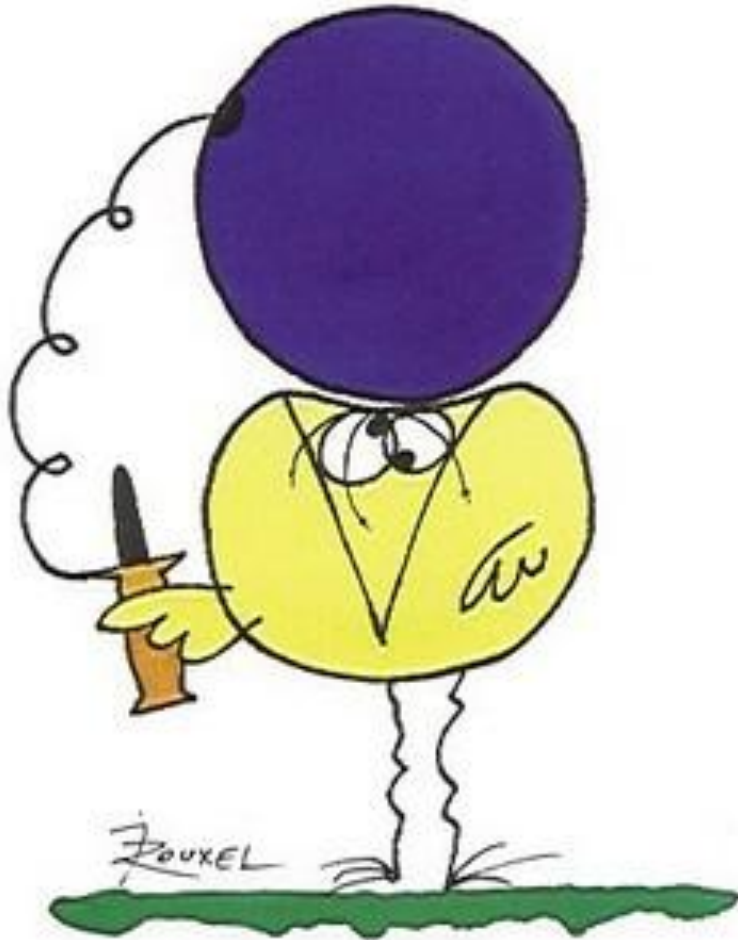


- Les Télécom ont pas mal de latitude:

- Contrôle d'entrée:
 - Avec perte (téléphone, GSM, Ethernet)
 - Avec attente (call centers, messagerie)
 - Ralentissement du débit par le réseau (X25)
- Délestage du trop plein dans le réseau
 - Datagrammes dans Internet
- Ralentissement du débit par l'application (TCP)
 - Mécanisme AIMD



Le contrôle de flux avec perte!



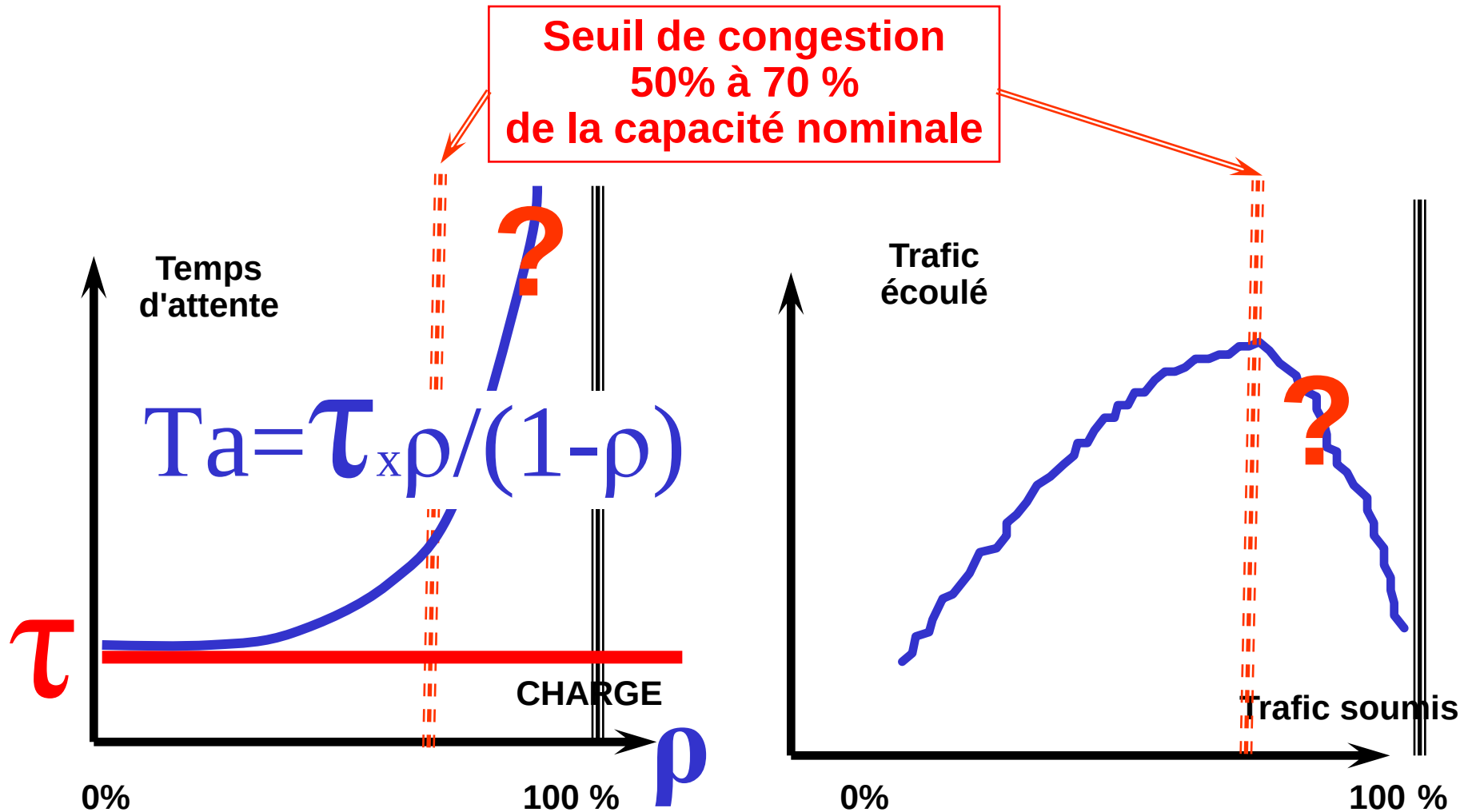
Les premières modélisations du trafic télécom ont été conçues par **A. K Erlang** (1920) avec un profil de trafic simple (distribution de **Poisson**)

L'**Erlang** est l'unité d'intensité de trafic en téléphonie

EN ESSAYANT CONTINUUELLEMENT
ON FINIT PAR RÉUSSIR. DONC:
PLUS ÇA RATE, PLUS ON A
DE CHANCES QUE ÇA MARCHE.

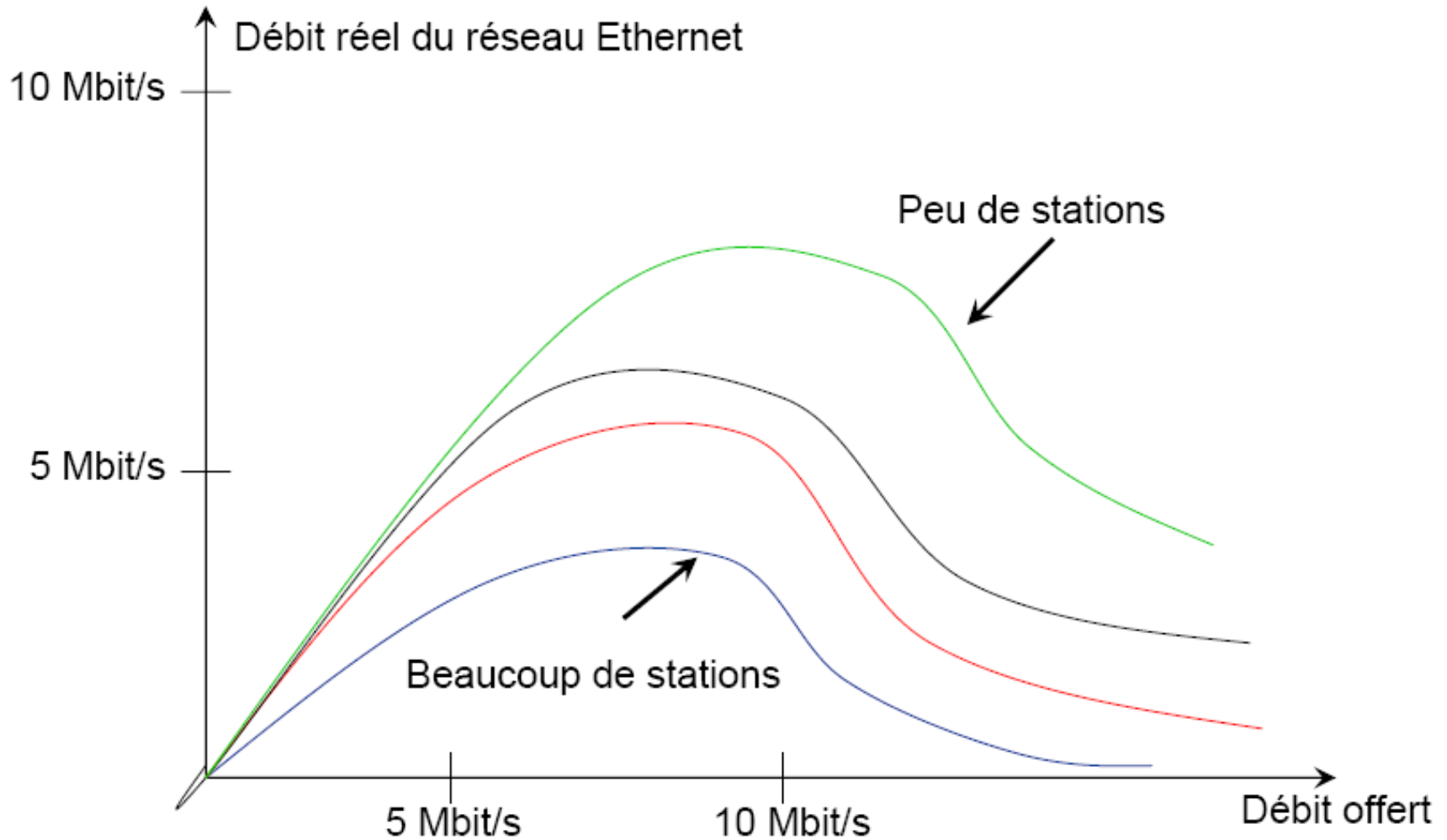
Faux et vrai!!!

La congestion des systèmes avec attente

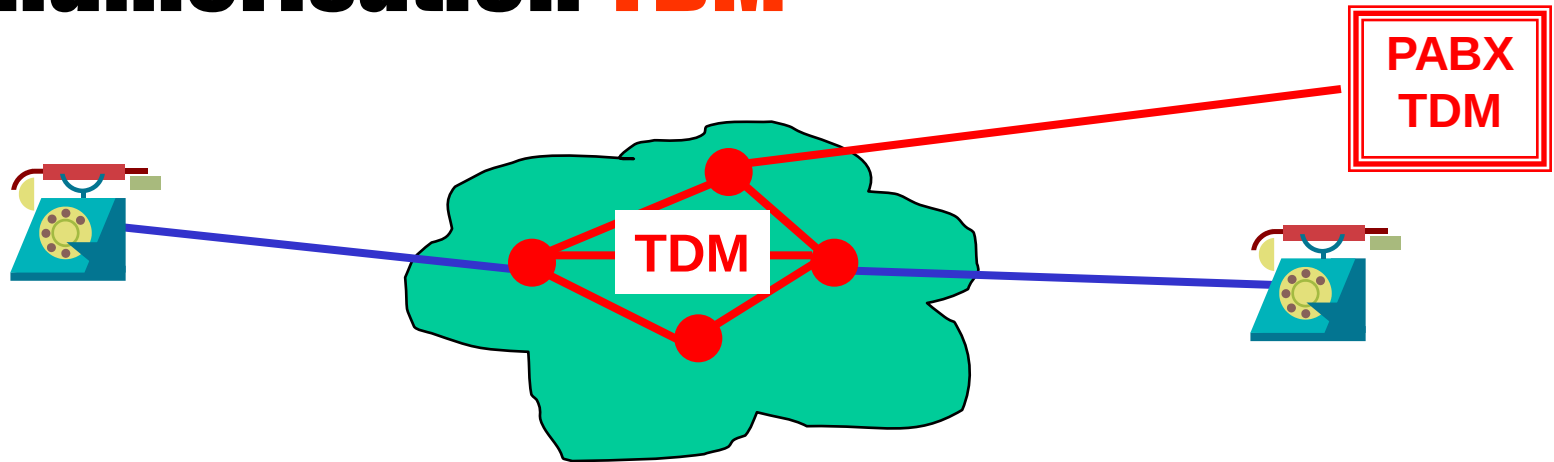


Au-delà du seuil de congestion les systèmes compliqués deviennent chaotiques

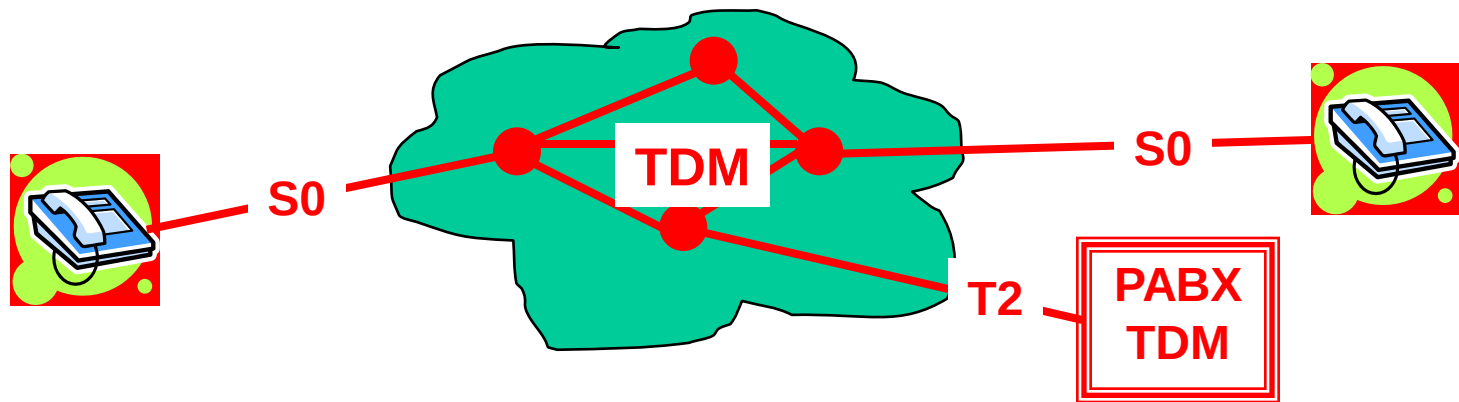
Contrôle de flux dans Ethernet



La numérisation TDM

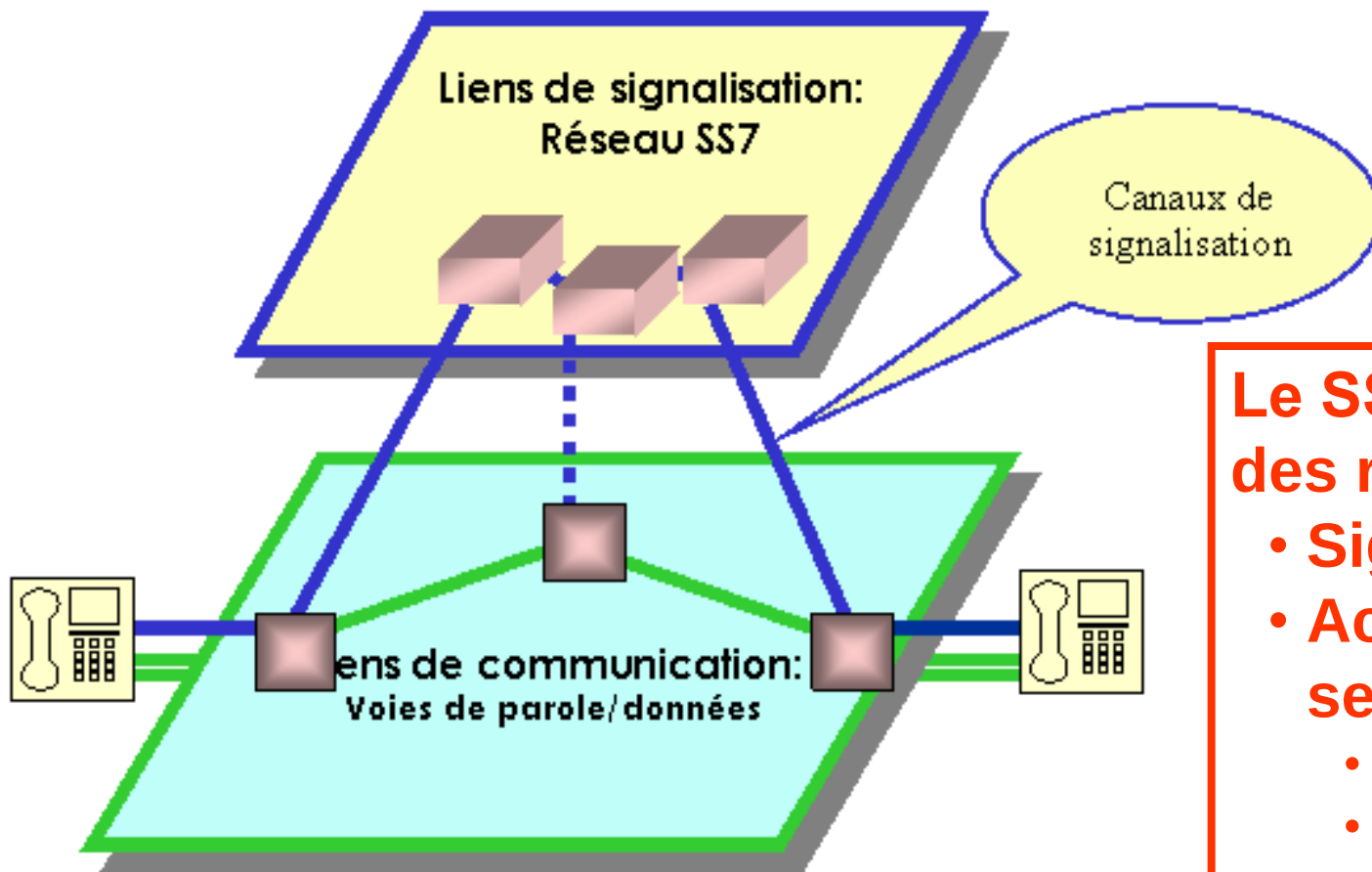


Dans le RTC: le local est **analogique**; les CODEC sont dans le réseau; cependant, les PABX sont connectés en T2



Dans le RNIS (et le GSM) la communication est tout **numérique**; les CODEC sont dans les équipements d'extrémité (postes S0, PABX, etc.)

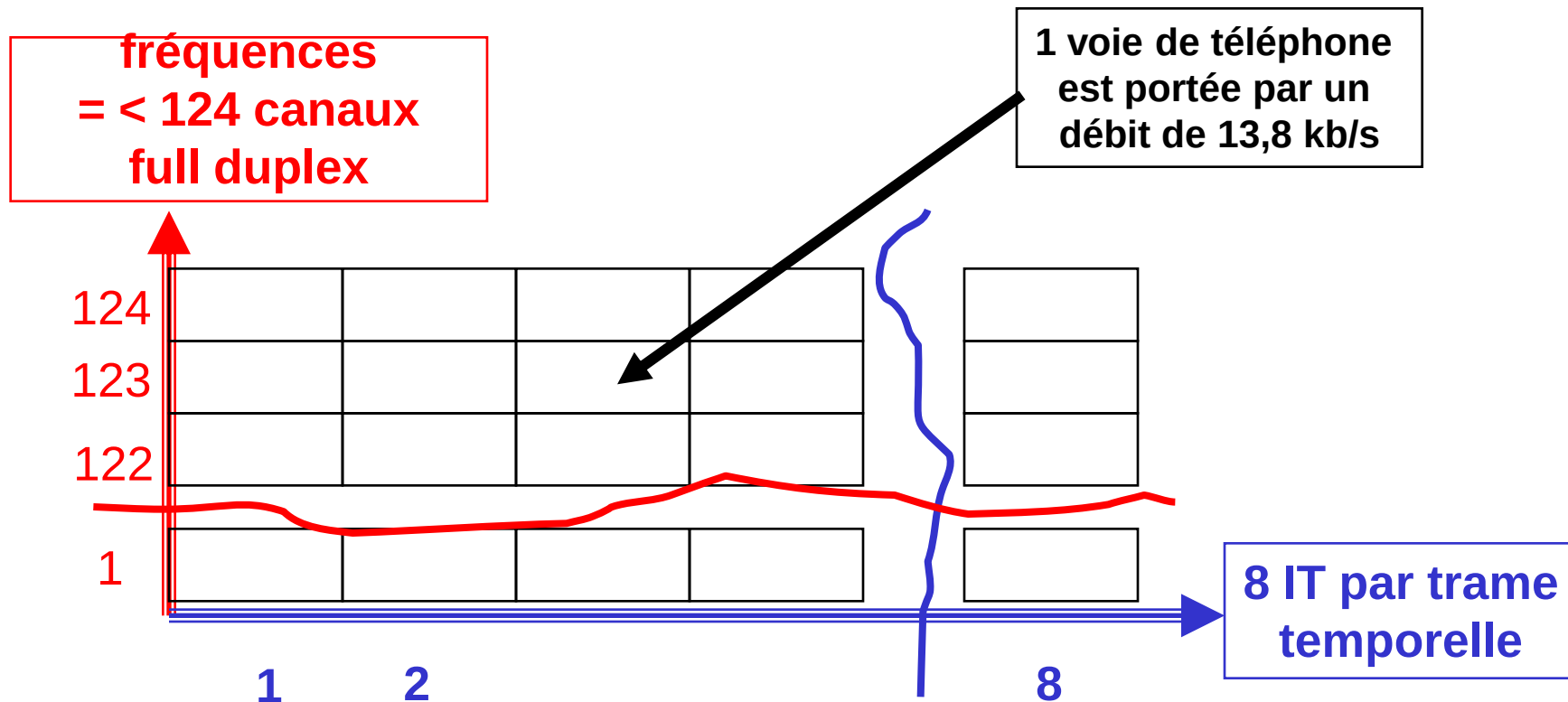
Le **SS7** au cœur du RTC, du RNIS et du GSM



Le SS7, au cœur des réseaux:

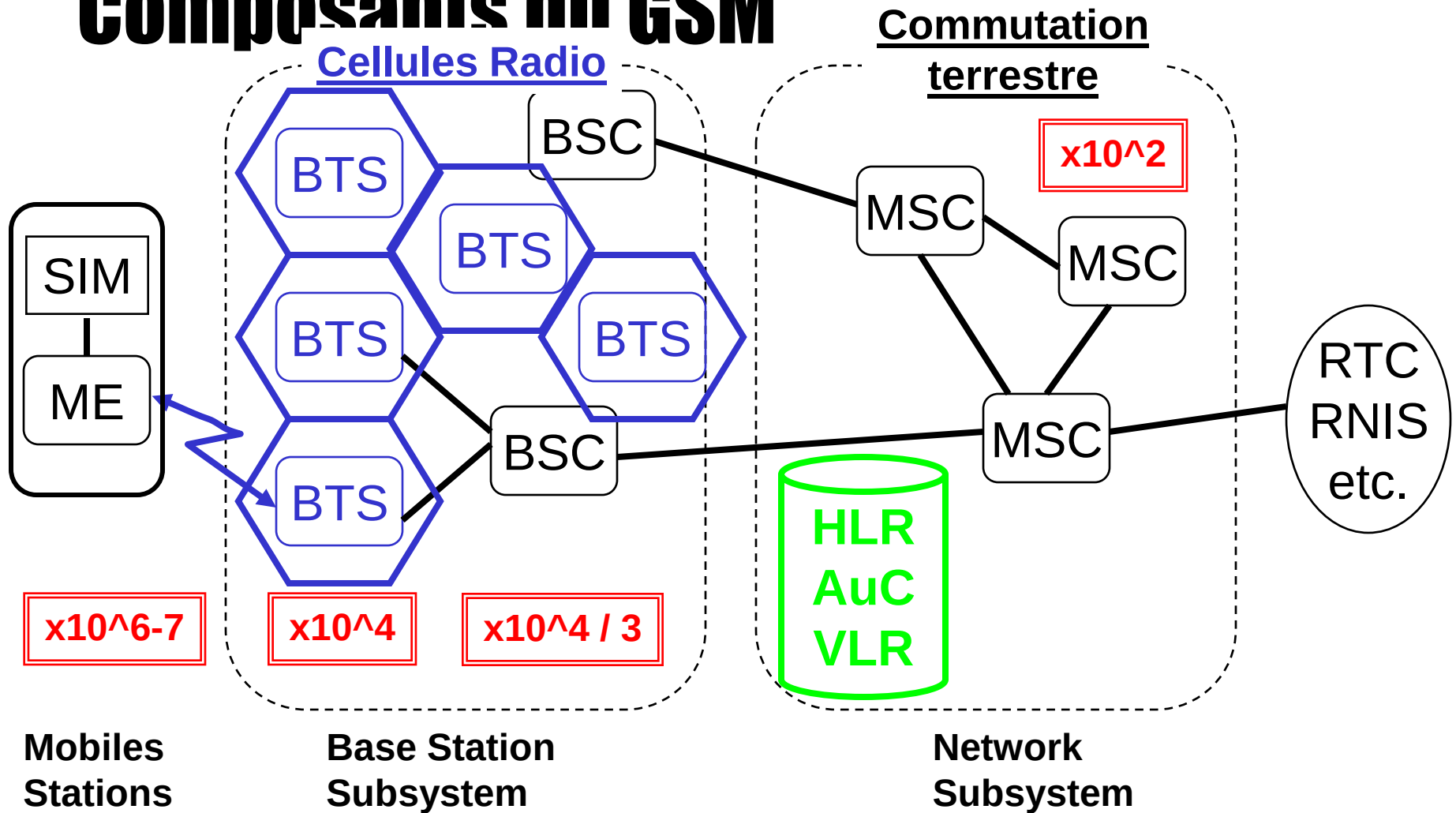
- **Signalisation**
- **Accès aux serveurs:**
 - RI
 - Messagerie vocale
 - SMS
- **GSM**
- **Etc.**

Capacité des cellules en GSM



Jusqu'à $8 \times 124 = 992$ canaux logiques théoriques; 1/7 avec le plan de fréquences soit ~ 140 canaux par cellule.

Composants du GSM



BTS	Base Transceiver Station	VLR	Visitors Location Register
BSC	Base Station Controller	AuC	Authentication Center
MSC	Mobile Service Switching Center	HLR	Home Location Register

Exemples d'applications sur TCP

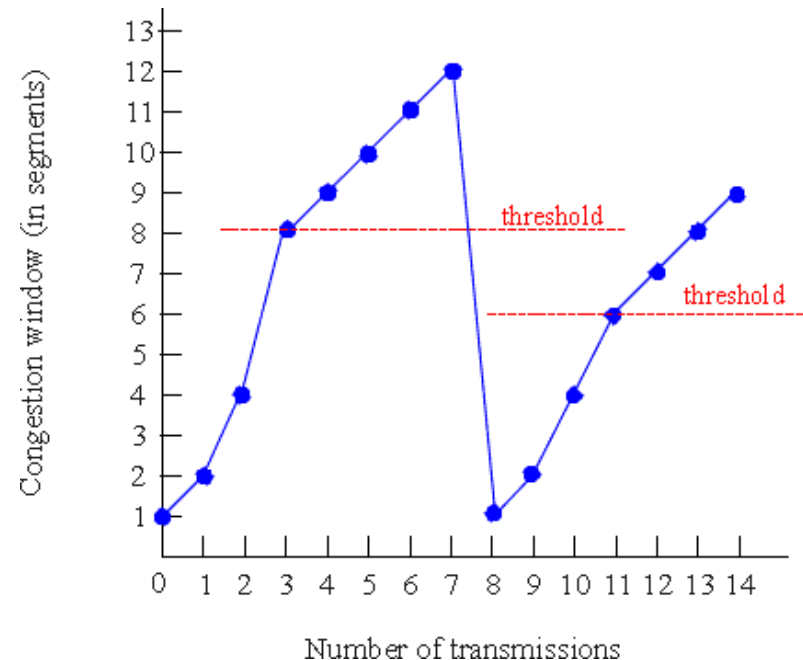
- Adresses, routages
 - DNS, BGP, SIP
- Transferts de fichiers
 - FTP, Telnet
- Sécurité
 - SSH, PKI, IPsec
- Mail
 - SMTP, POP3, IMAP
- WEB
 - HTTP, WAP
- VOIP
 - H323, SIP, MGCP
- Etc.

Fonctions de TCP

- Initialisation et terminaison des communications
- Gestion des paquets
 - Découpage des messages en paquets à l'émission
 - Remise en ordre des paquets et contrôle d'erreur à la réception
- Multiplexage de plusieurs flots
- Contrôle de flux (mécanisme de fenêtre **W** glissante)

AIMD : contrôle de flux dans TCP

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

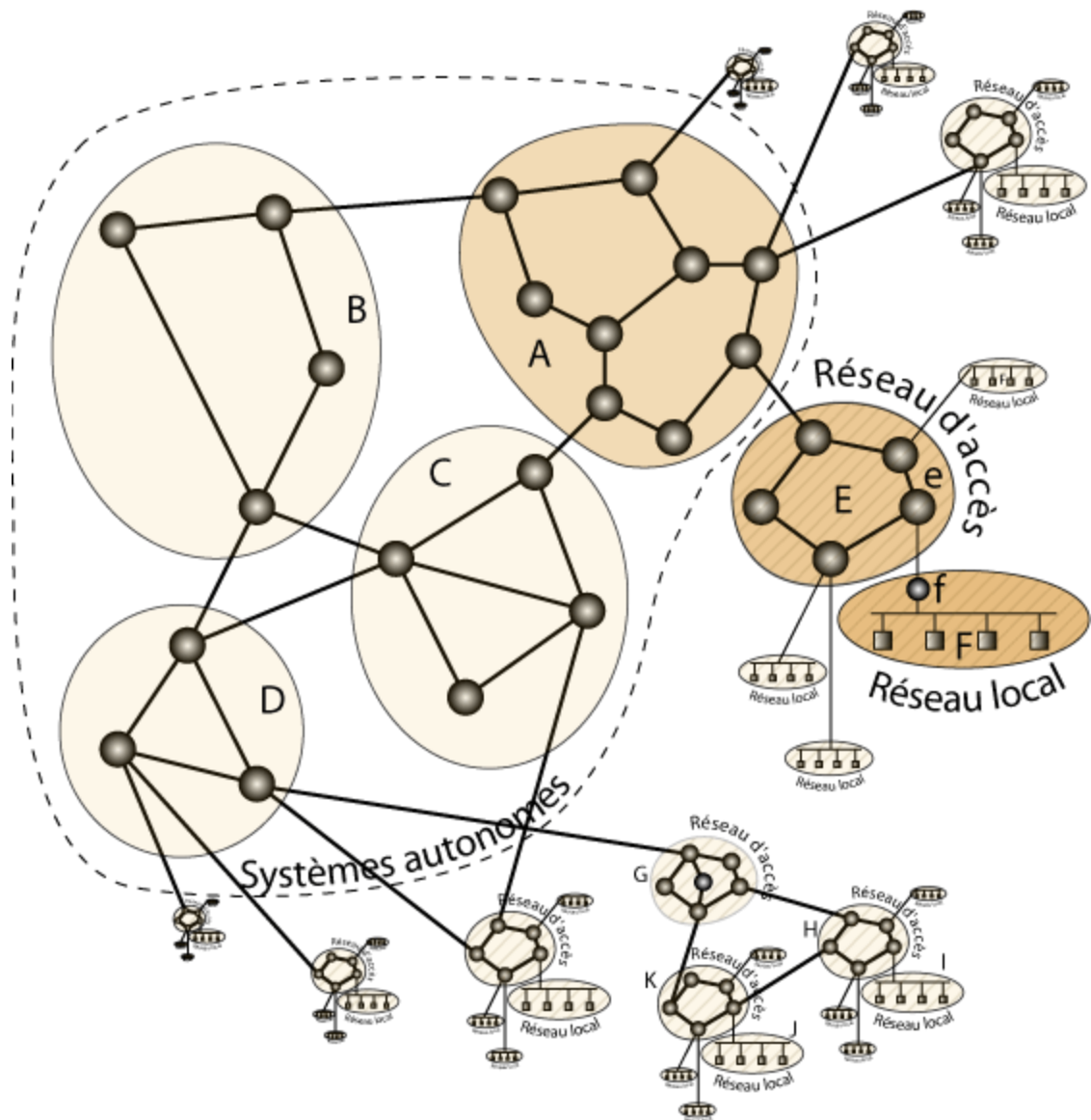


AIMD: Additive Increase, Multiplicative Decrease

Routage IP: 2 niveaux logiques

1. Entre les **AS**
(**Autonomous Systems**)
2. Internes aux **AS**
(FAI, intranet, etc.)

La "tripaille complexe" de transmission LAN et WAN est occultée par la couche IP qui permet un transport de bout en bout entre deux appareils quelconques et piloté par TCP.
NB: un réseau GPRS est assimilable à un AS



Routage IP: 2 familles d'algorithmes

	Etat de lien	Vecteur
IGP	OSPF Dijkstra	RIP
EGP		BGP Ford Bellmann

Si N désigne le nombre de noeuds du graphe et A le nombre d'arcs:

- L'algorithme de **Dijkstra** est en $O((N+A) \times \log A)$, c'est-à-dire $O(N^2 \times \log N)$ pour un graphe dense
- L'algorithme de **Ford Bellmann** est en $O(N \times A)$, c.a.d $O(N^3)$ pour un graphe dense

Ces algorithmes sont dits **gloutons** (optimisation par étapes)

Exemple d'adresse IP: groupe **Amen**

Selon <http://www.ripe.net/>



- Mountvernon.fr (62.193.202.74) fait partie du groupe d'adresses N° 1 de **Amen**

Amen est un ISP, N° AS 28677

- 3 groupes d'adresses attribués à **Amen**:

IPV4

1. 62.193.192/18

Cad (de 62.193.192.0 à 62.193.207.255)

2. 85.10.128/18

IPV6

3. 2a02:02b8::/32

Adressage IP CIDR

IPv4 CIDR Chart		RIPE NCC		
IP Addresses	Bits	Prefix	Subnet Mask	
1	0	/32	255.255.255.255	
2	1	/31	255.255.255.254	
4	2	/30	255.255.255.252	
8	3	/29	255.255.255.248	
16	4	/28	255.255.255.240	
32	5	/27	255.255.255.224	
64	6	/26	255.255.255.192	
128	7	/25	255.255.255.128	
256	8	/24	255.255.255.0	
512	9	/23	255.255.254.0	
1 K	10	/22	255.255.252.0	
2 K	11	/21	255.255.248.0	
4 K	12	/20	255.255.240.0	
8 K	13	/19	255.255.224.0	
16 K	14	/18	255.255.192.0	
32 K	15	/17	255.255.128.0	
64 K	16	/16	255.255.0.0	
128 K	17	/15	255.254.0.0	
256 K	18	/14	255.252.0.0	
512 K	19	/13	255.248.0.0	
1 M	20	/12	255.240.0.0	
2 M	21	/11	255.224.0.0	
4 M	22	/10	255.192.0.0	
8 M	23	/9	255.128.0.0	
16 M	24	/8	255.0.0.0	
32 M	25	/7	254.0.0.0	
64 M	26	/6	252.0.0.0	
128 M	27	/5	248.0.0.0	
256 M	28	/4	240.0.0.0	
512 M	29	/3	224.0.0.0	
1024 M	30	/2	192.0.0.0	
2048 M	31	/1	128.0.0.0	
4096 M	32	/0	0.0.0.0	

K = 1,024 • M = 1,048,576

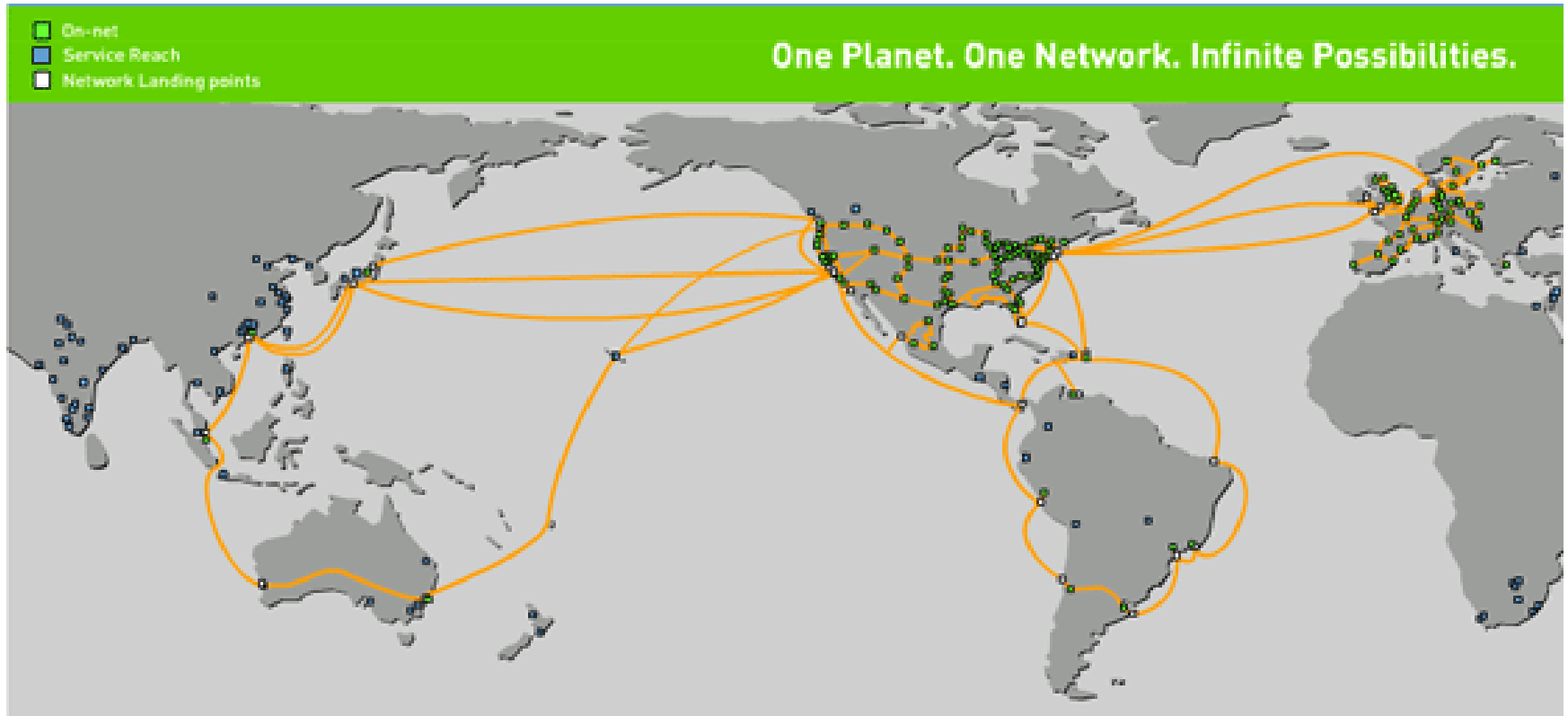
Contact Registration Services:
hostmaster@ripe.net • lir-help@ripe.net

www.ripe.net

La notation **CIDR**:

- S'écrit X.Y/n où n est le nombre de bits caractérisant le N° d'AS
- permet de créer des AS avec un nombre variable de host
- Facilite le routage BGP par l'agrégation de routes

Exemple de réseau de Tier 1: Global Crossing



Exemple de réseau de Tier 1: Qwest

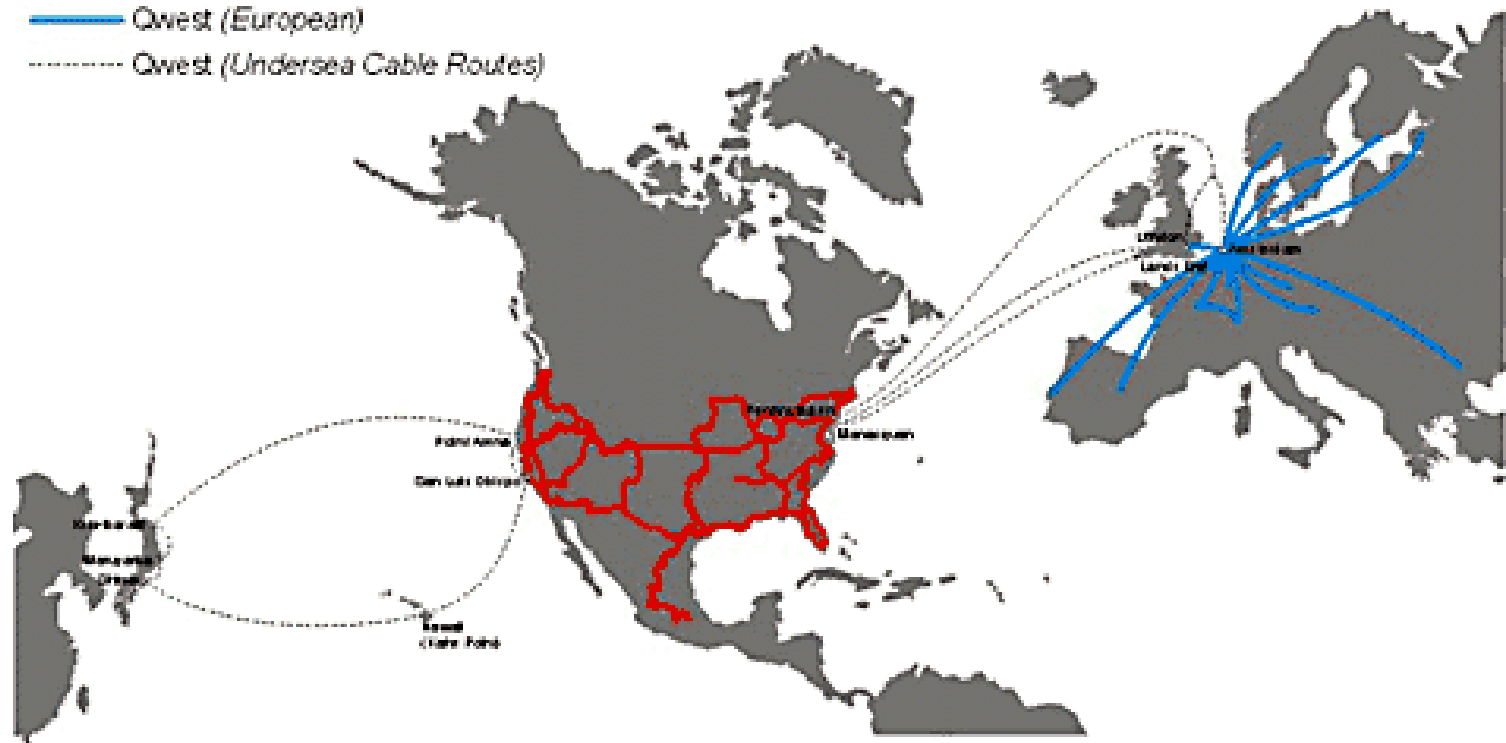
Qwest Global Data Network

- US, Mexico, Europe & Japan

— Qwest (US & Mexico)

— Qwest (European)

----- Qwest (Undersea Cable Routes)



Les IXP

- **Le transit est également facilité par des IXP (Internet Exchange Point) assurant le peering entre FAI.**
- **Ces IXP permettent des liaisons directes entre les AS des FAI en évitant le recours aux transit via les Tier1 ou 2**
- **Les IXP sont souvent gérés par des organisations coopératives ou publiques.**

Les CDN, courts-circuits du BGP

- Pour accélérer l'usage du réseau, les CDN (**Content Delivery Networks**) combinent transport, hébergement et duplication de serveurs).
- Les plus connus:
 - Akamai (prétend traiter 25% du trafic WEB avec MSN et Google)
 - Limelight
 - CDN network

Le NGN des TELCO's

■ Les TELCO's préparent tous leur migration vers le NGN. Objectifs :

- Réseau unifié multiservices (fixe et mobile, voix, data, audiovisuel, etc.)
- Maîtrise de la QoS (qualité de service)

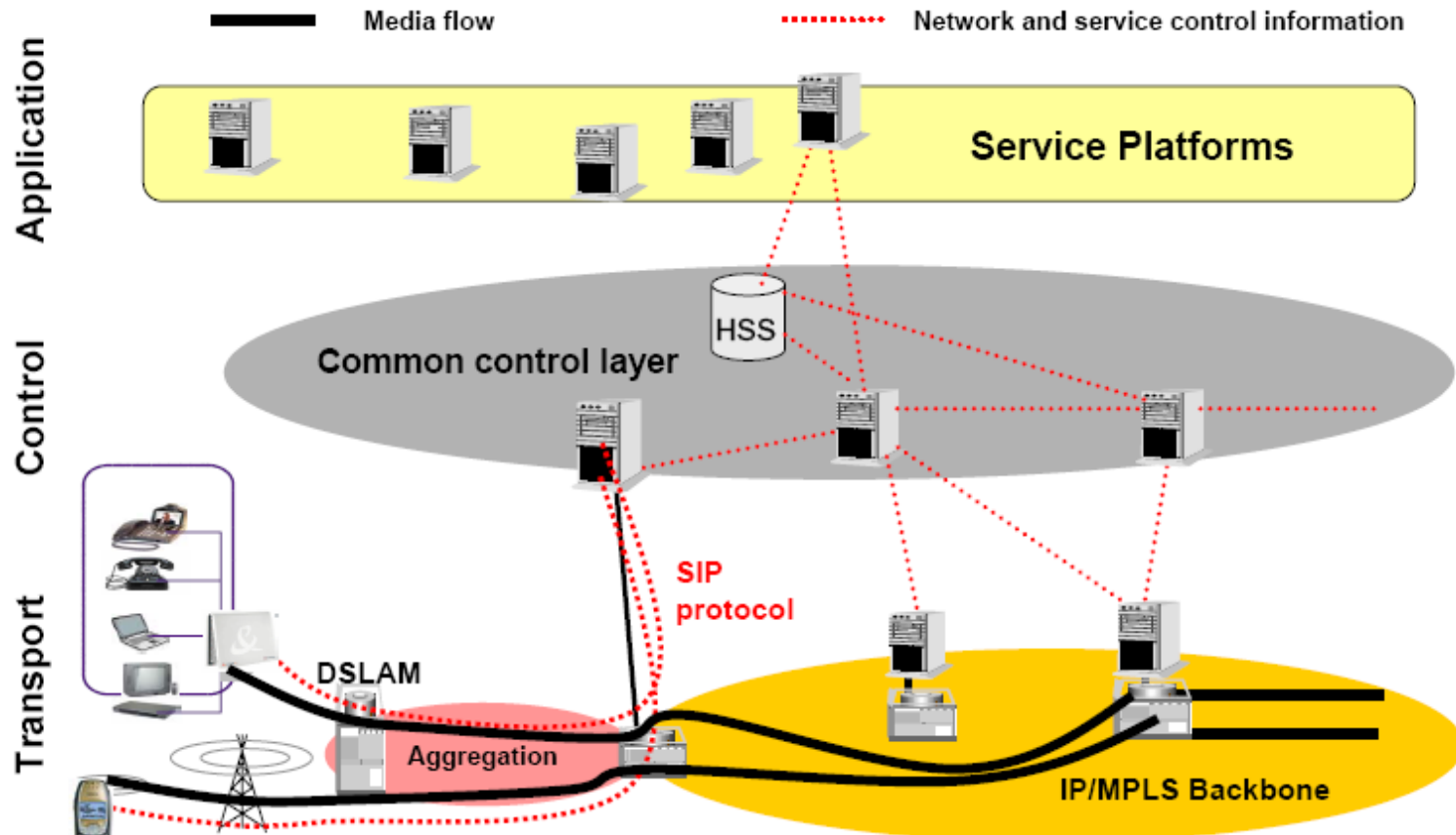
■ Technologies

- Cœur du réseau basé la technologie **MPLS** (IP amélioré)
- Transmission et multiplexage optique (WDM)
- Architecture applicative IMS

■ Construction et gestion centralisées

Le NGN des opérateurs: IP/MPLS

Evolution in network and service architecture



→ NGN/IMS makes possible a common control layer for Fixed and Mobile network and multimedia services and paves the way towards a new generation of convergent fixed-mobiles services

14

MPLS: principes

