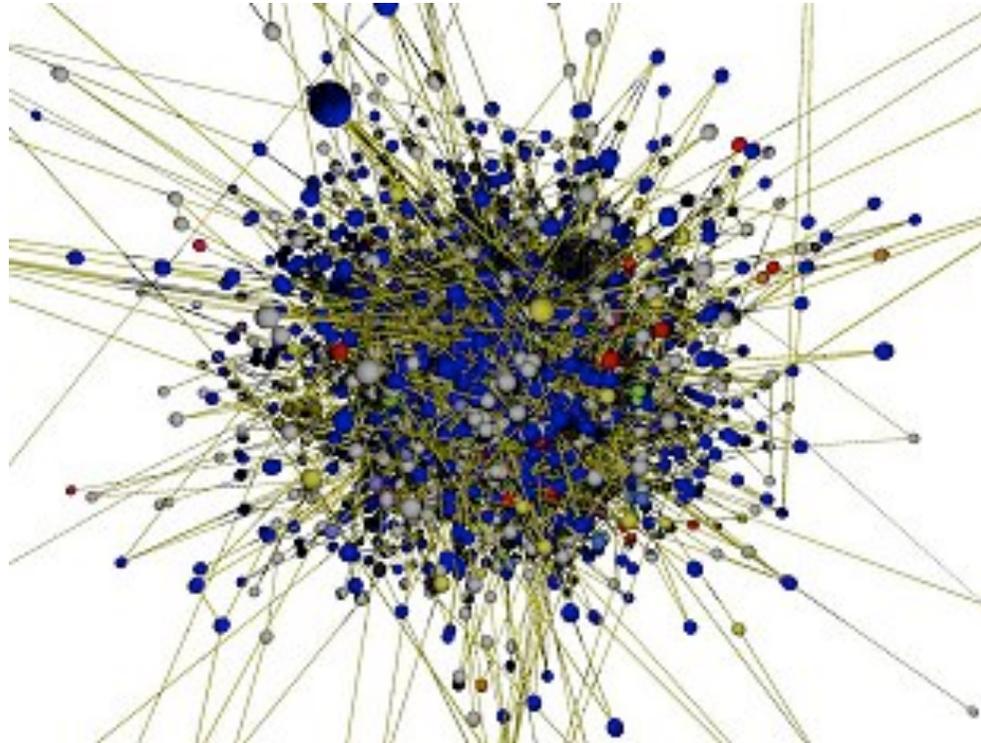
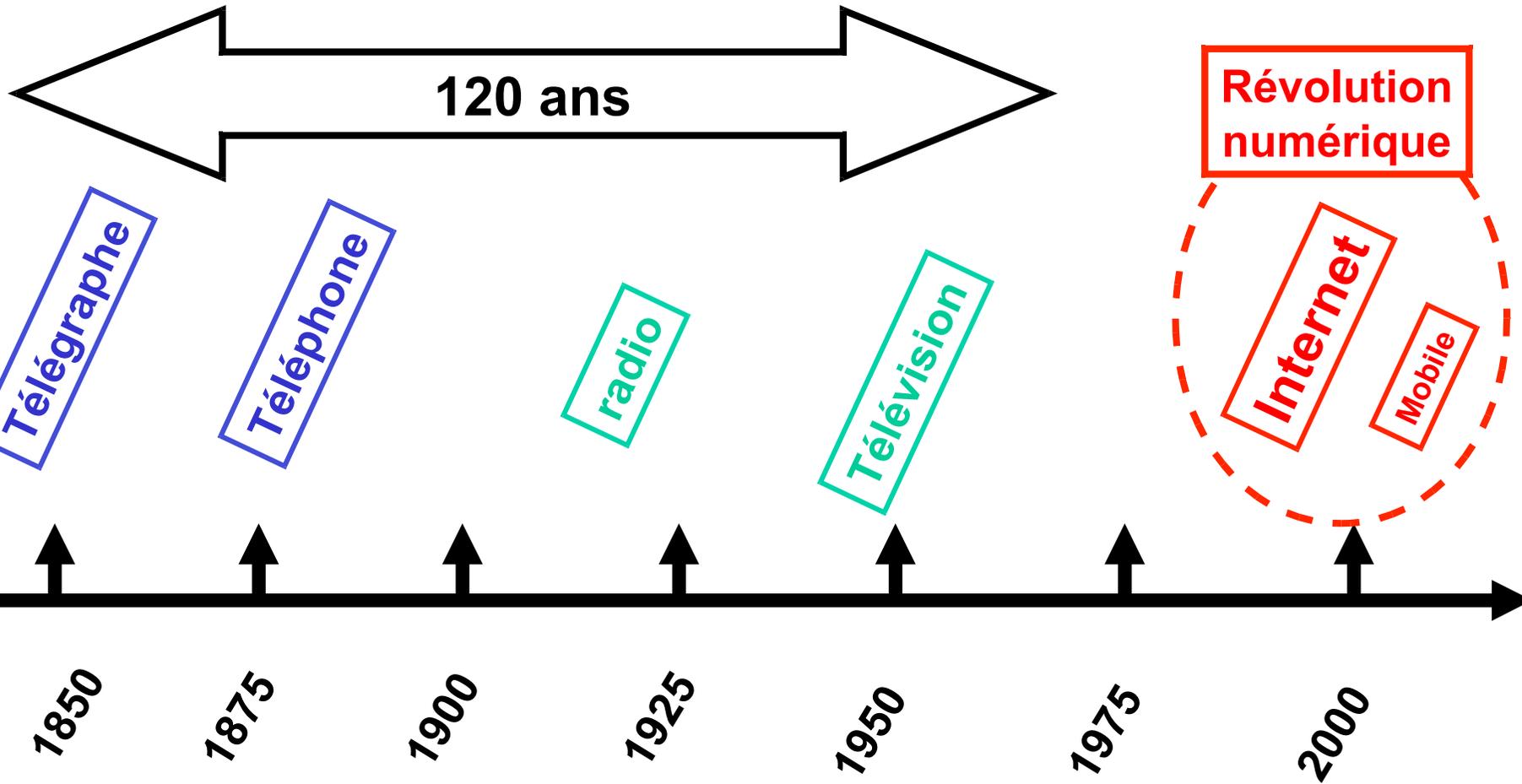


# Les télécommunications contemporaines, systèmes complexes ?



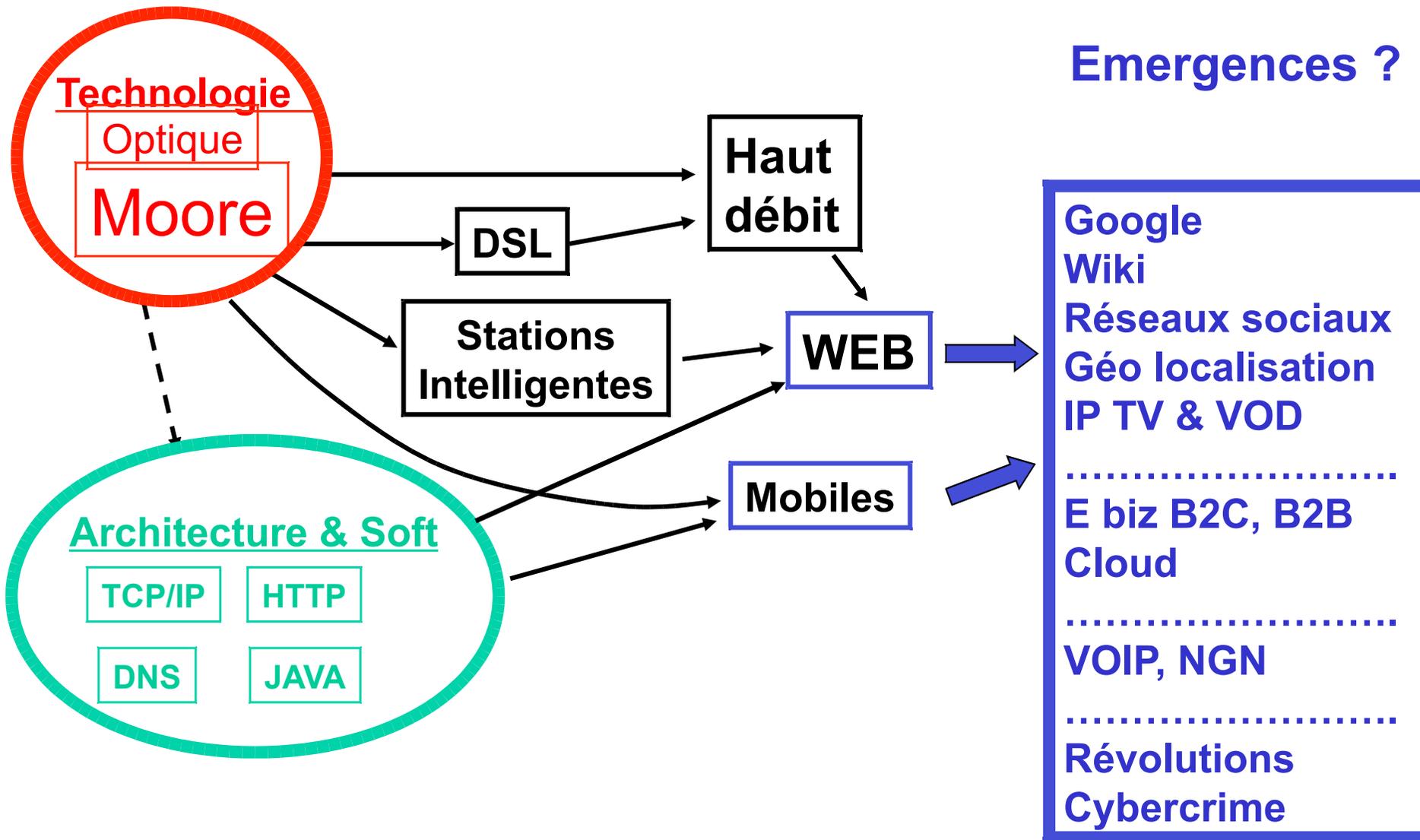
# Une accélération de l'histoire



# Telecom: quelques invariants

- **Les transmissions ont suivi les progrès de la physique (cuivre, radio, satellite, optique)**
- **Progressivement se sont dégagés des invariants applicables à toutes les générations de réseaux P2P:**
  - **Besoin d'un plan de numérotation et des fonctions d'aiguillage associées ;**
  - **Rendement économique croissant des tuyaux d'où l'intérêt de la concentration de trafic ;**
  - **Compromis économique entre gestion de la qualité de service, coûts et besoin de stratégie de contrôle de flux ;**

# Les facteurs de mutation et de rupture



# Merci Mr Moore!



**1995**

**2010**

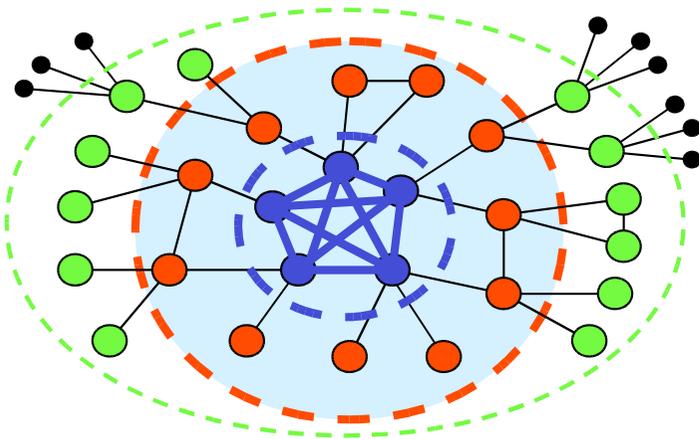
# Composantes de la complexité d'internet

- Routage de paquets indépendants;
- Pas de planification centralisée autre que la gestion des adresses (IPV4 puis IPV6) et des noms de domaine associés;
- Contrôle de flux hors réseau qui reste du domaine du « best effort »;
- La topologie du réseau résulte des accords de « peering » entre agents qui font que « **les riches deviennent plus riches** ». Résultats :
  - Graphe du réseaux des A.S. (systèmes autonomes) en structure de « petit monde »;
  - Routage auto-adaptatif selon des algorithmes de proche en proche « polynomiaux »;

# Deux cultures de réseaux

## RTC français

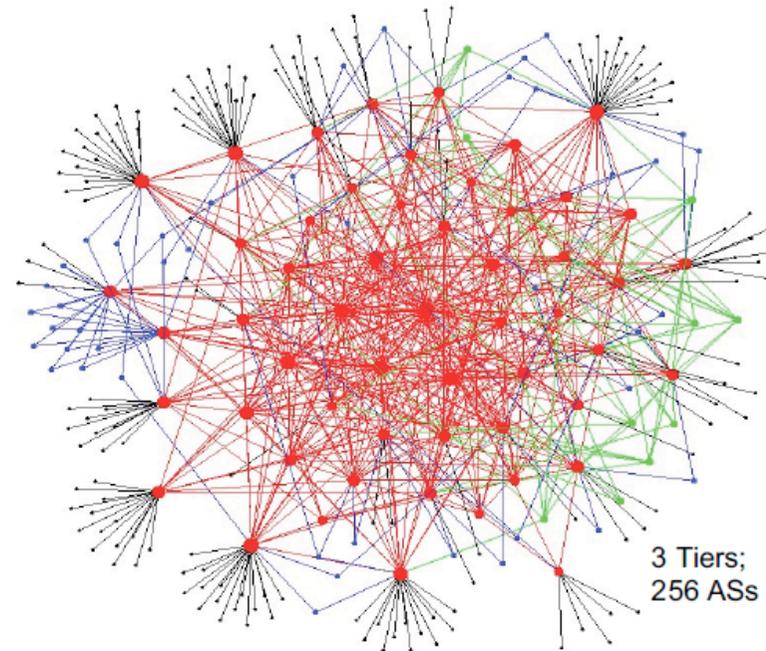
Graphe non hiérarchique  
limité à  
≈ 50 nœuds & arêtes



5	CTP
39	CTS
430	CAA
13 000	CL

## Internet

≈ 35 000 Autonomous Systems  
Table BGP ≈ 350 000



# Principes majeurs de TCP/IP

Applications: HTTP, SMTP, SIP..

TCP de bout en bout  
(intégrité, contrôle de flux)

IP

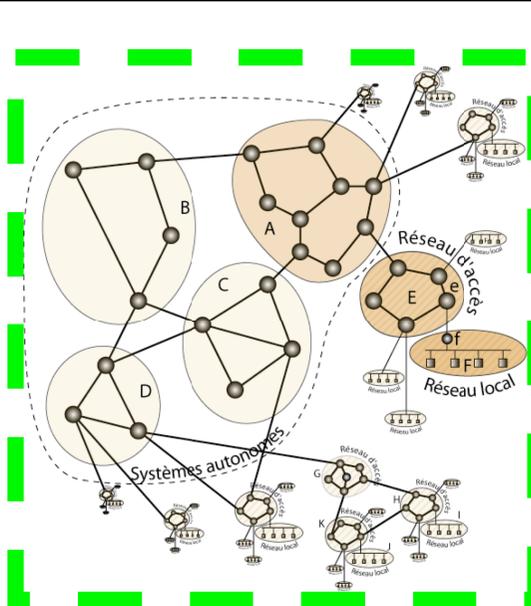
IP

## TCP:

- Établissement des communications
- Contrôle de congestion
- Séquencement des paquets
- CRC

## Réseau IP:

- Paquets
- Adressage IP
- Routage adaptatif
- Best Effort



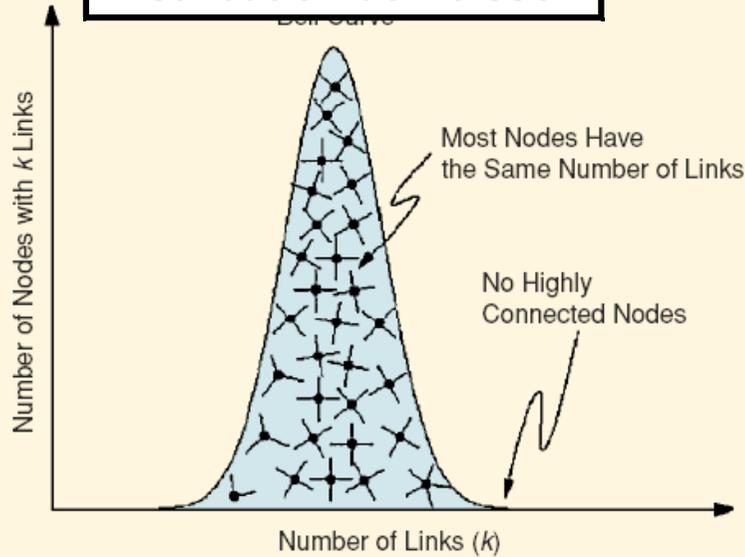
# Les grands graphes de terrain

Les grands graphes de terrain ont des caractéristiques communes, en particulier :

1. Un faible degré moyen et une forte hétérogénéité des degrés : distribution de puissance des degrés des sommets ;
  2. Des chemins courts entre tous les sommets. C'est la propriété du petit monde (associée à la distribution de puissance) ;
  3. Une structure fractale (ou sans échelle)
- une faible densité globale couplée à une forte densité locale : on parle de clustering ;

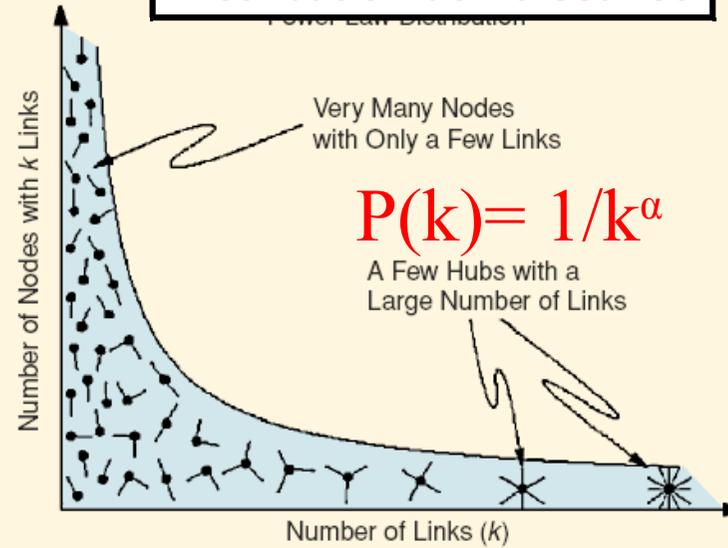
# Propriétés des graphes de terrain

## Distribution de Poisson

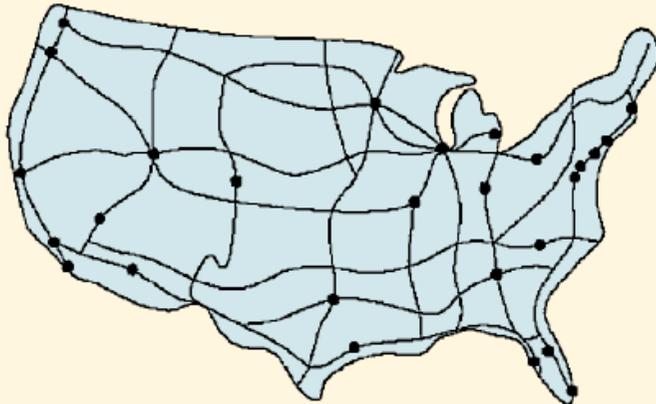


(a)

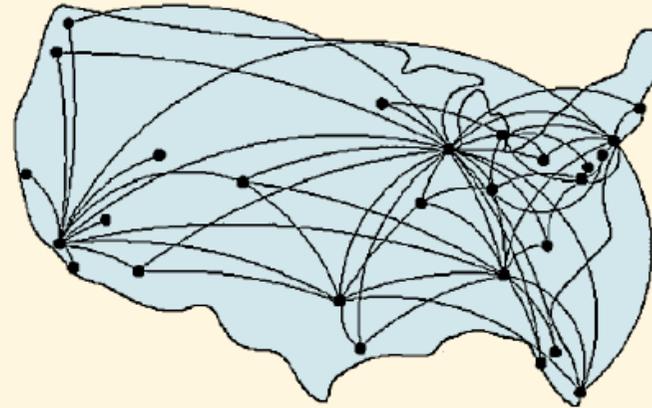
## Distribution de Puissance



(b)



(c)



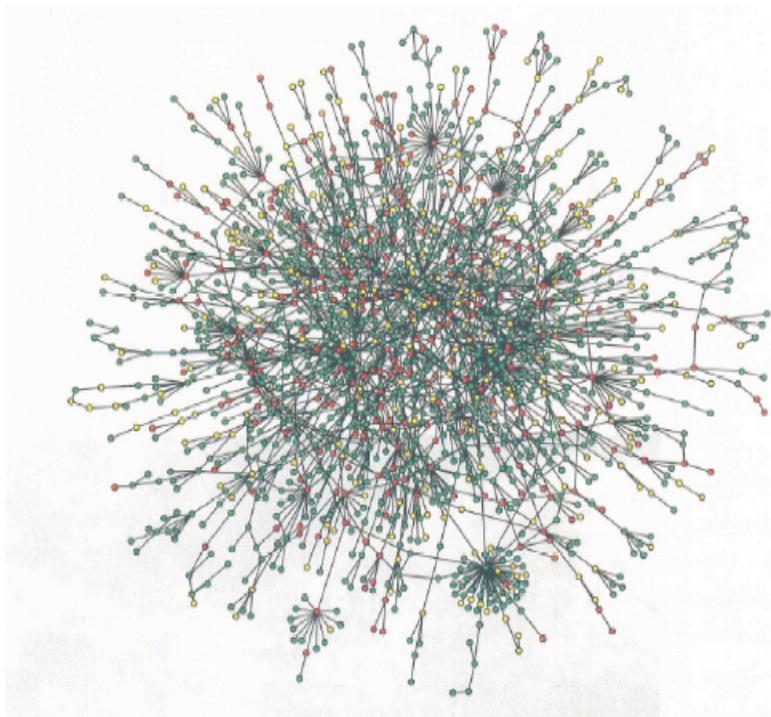
(d)

# Ex de Petit Monde

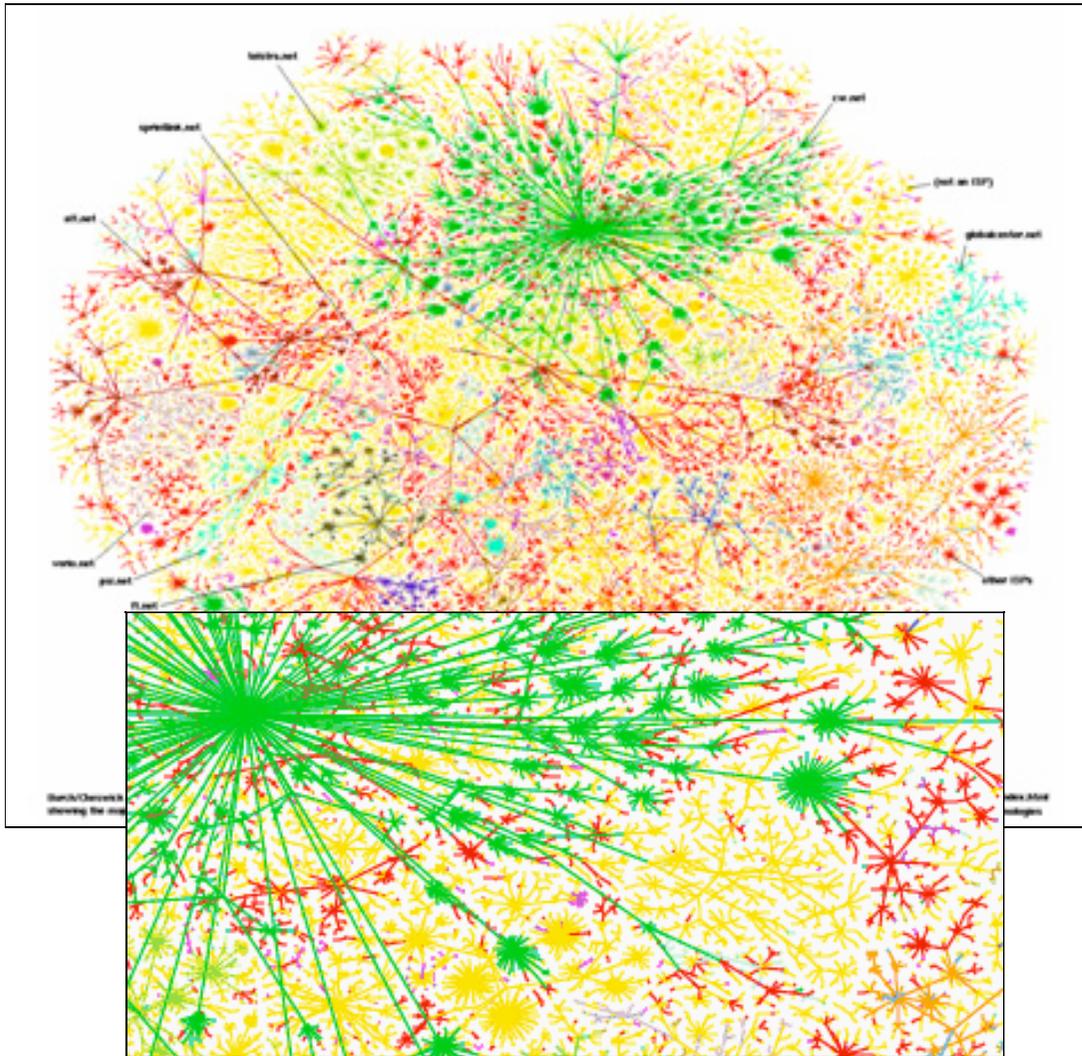
- **L (individus) = 6**  
(Milgram)
- **L (BGP) = 15**  
(réseau physique d'Internet)
- **L (WWW) = 21**  
(Liens hypertexte entre pages du WEB)

NB: **L=longueur caractéristique**

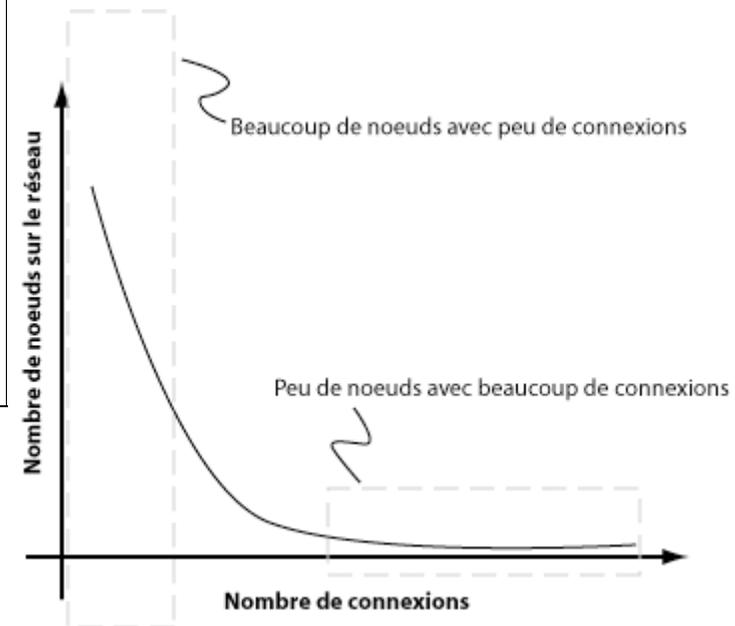
Routage Internet **BGP**:  
15 sauts maximum pour  
relier 2 AS, c.a.d.  $L=15$



# Structure fractale d'Internet



Structure de  
"réseaux sans  
échelle"  
("scale free")



# Dimensions d'Internet

## ■ Le réseau:

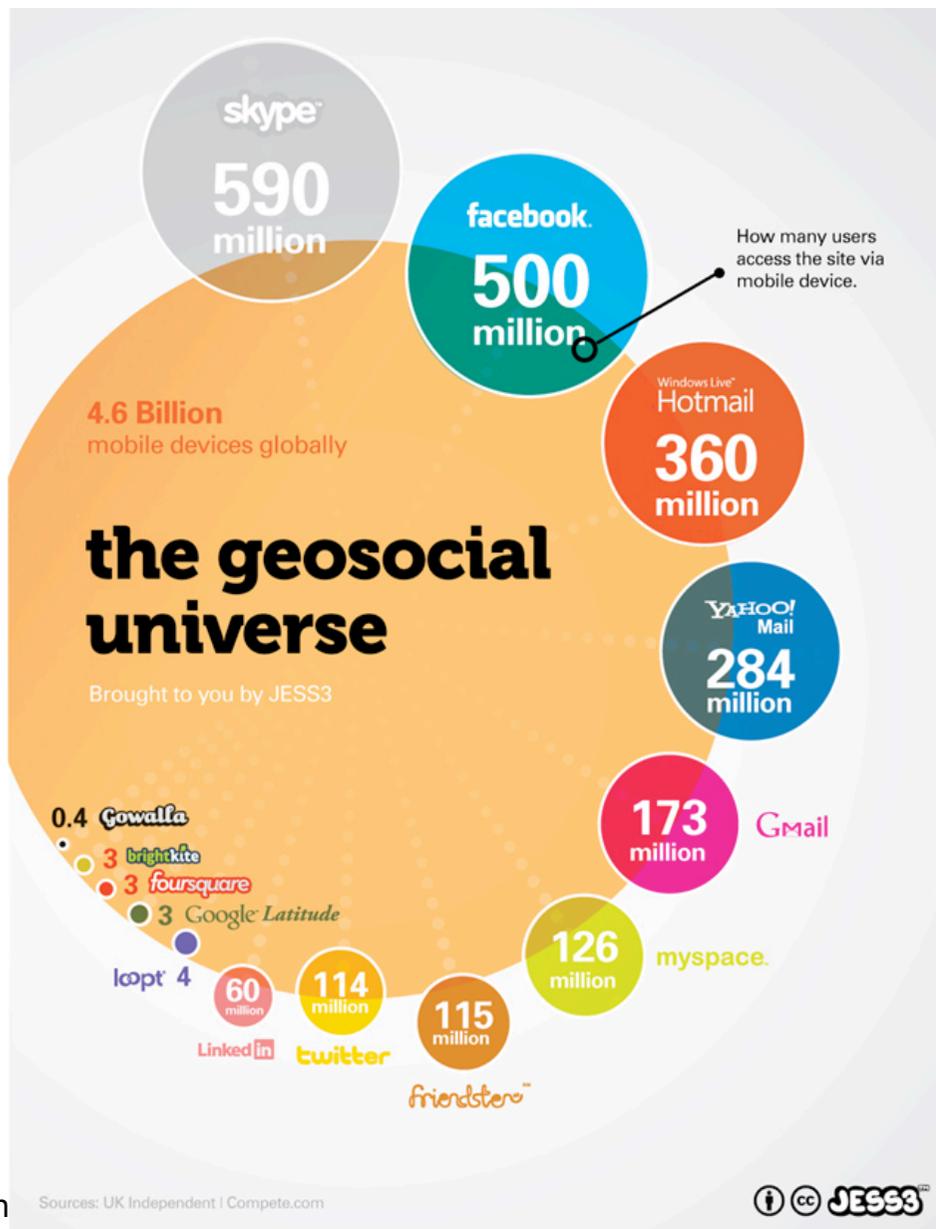
- 35 000 Autonomous System (**AS**) nodes
- 50 000 peering sessions
- 4 800 000 observed IPv4 addresses
- Tables de routage BGP  $\approx$  350 000 cases

## ■ Le WEB



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

# Dimensions d'Internet



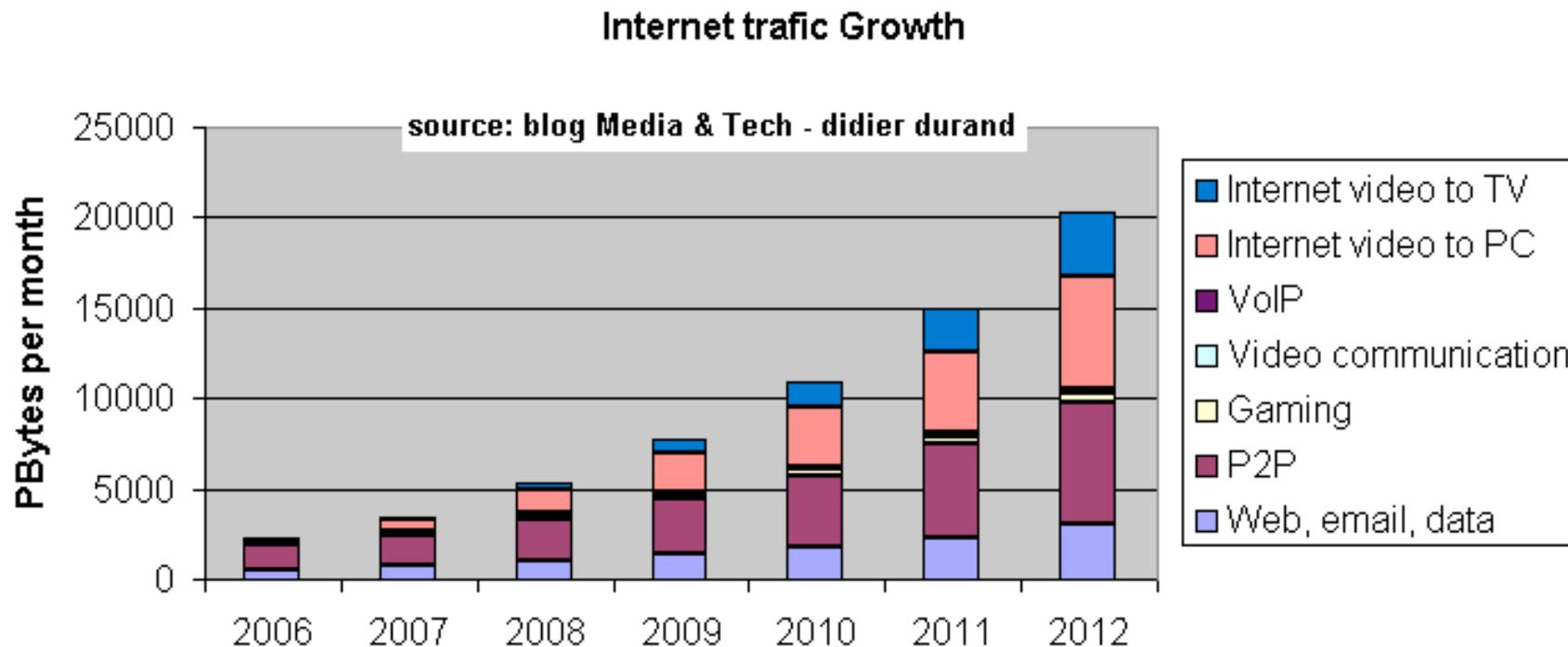
## Les réseaux sociaux et réseaux P2P

# **Les marchés émergents de l'internet**

- **Transition générale et convergence vers l'IP (voix, données, audiovisuel)**
- **Publicité en ligne (Google, Facebook)**
- **E-commerce**
- **IP TV (Vidéo en ligne)**
- **Cloud computing et SAS**
- **Plates formes mobiles et magasins d'applications (Apple, Android, μsoft)**
- **M2M et l'Internet des objets**

# 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" ?
- **Gestion du spectre mobile (LTE, dividende numérique)**
- **Le "business model" de croissance:**
  - Qui gagne et qui investit: les **Google, Apple, Facebook** ou les **TELCO's** et "autres plombiers" ?
  - Accords de peering ou répartition de revenus?
  - Neutralité d'Internet ?

(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**, permettant une gestion de 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: urgent**
  - **Neutralité du net**
- **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 (K.O.) technique ?**
  - **Faudra-t-il une gouvernance technique et financière plus centralisée?**

# Saturation imminente des adresses IP V4

