

Linked

*How Everything Is Connected to Everything Else & What It Means for Business,
Science & Everyday Life*

Résumé du livre de Albert Barabasi

Références : Plume Book, the Penguin Group

ISBN 0-452-28439-2

Résumé

- **Linked** montre que les réseaux sociaux, le web, le commerce et l'économie...
 - ont les mêmes propriétés,
 - peuvent être quantifiés et décrits avec les mêmes lois mathématiques,
- La compréhension de la science des réseaux est une avancée importante qui trouve des applications dans de multiples champs, et notamment permet de contribuer à développer des stratégies gagnantes:
 - éradiquer la progression des virus & épidémies
 - combattre le terrorisme
 - comprendre les interactions de notre économie & anticiper les phénomènes en cascade
 - ...

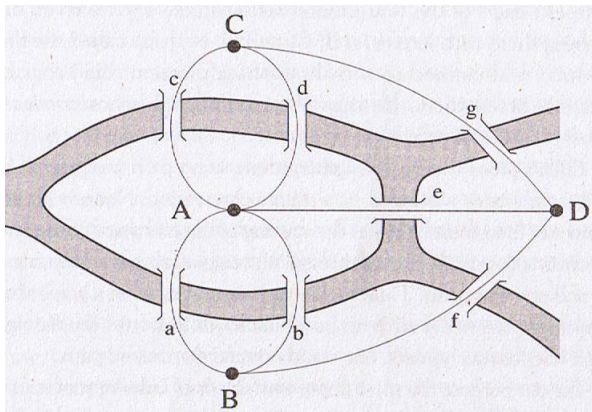
Plan du livre « Linked »

- 1er lien : Introduction
- 2ème lien : l'univers aléatoire
- 3ème lien : 6 degrés de séparation
- 4ème lien : « small worlds »
- 5ème lien : connecteurs
- 6ème lien : la loi des 80/20
- 7ème lien : les riches deviennent + riches
- 8ème lien : l'héritage d'Einstein
- 9ème lien : le talon d'Achille
- 10ème lien : virus, épidémies, innovations
- 11ème lien : l'internet émergeant
- 12ème lien : le web fragmenté
- 13ème lien : la carte de la vie
- 14ème lien : l'économie en réseau
- 15ème lien : le web sans l'araignée

1 & 2 : théorie des graphes & univers aléatoire

➤ 18ème siècle : **Leonhard Euler** invente la théorie des graphes & réseaux

- pour résoudre le problème des ponts de Königsberg
- Réseau = ensemble de nœuds connectés par des liens



➤ Trouver un chemin passant une seule fois sur chacun des ponts :

- Avec les 7 ponts d'origine : pas de solution
- Après la construction d'un 8^o pont : solution possible

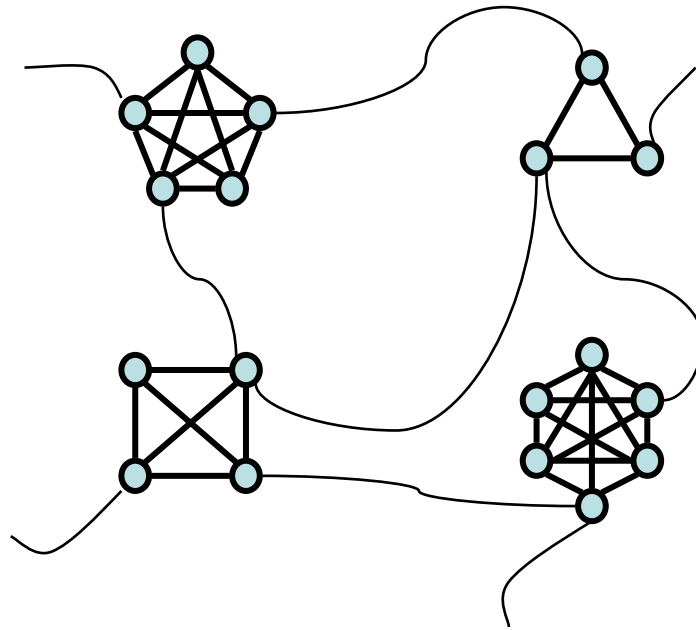
➤ 20ème siècle : **Paul Erdos** et **Alfred Renyi**

- décrivent les lois de réseaux dont les nœuds et liens sont distribués aléatoirement (selon une loi de Poisson ou courbe en cloche: la moyenne est la norme)

3 : 6 Degrés de séparation

- L'humanité est un « small world »
 - 6 milliards d'individus
 - chaque individu n'est séparé de tout autre que par 6 liens
- Même effet « small world » dans beaucoup d'autres réseaux:
 - Le Web (pages, 19 degrés de séparation) ; Internet (routeurs, 10)
 - Les acteurs de cinéma « the oracle of Kevin Bacon »
 - La communauté scientifique (le nombre Erdos)
 - Actionnariat des sociétés
 - Biologie cellulaire, neurologie
- La plupart des réseaux étant fortement interconnectés, la distance moy. entre nœuds est généralement courte

4 : « Small Worlds »



Source: Mark Granovetter

- **Réseau social** = sous-groupes (ou grappes) fortement interconnectés (et fragmentés).
- **Liens faibles** relient les sous-groupes (pont vers le monde extérieur)
- Liens faibles déterminants pour :
 - trouver un emploi
 - diffuser une rumeur
 - trouver de l'information
 - toute activité sociale

- **Réseau aléatoire** dont les liens sont établis complètement au hasard ne peut être constitué de sous-grappes fortement interconnectées

5 : Connecteurs (hubs)

- **Connecteurs** (nœuds avec un nb exceptionnellement élevé de liens)
- propriété fondamentale de la plupart des réseaux & des systèmes complexes
 - réseaux sociaux : nb très réduit d'individus ayant beaucoup d'amis (Malcolm Gladwell)
 - réseau physique Internet : quelques routeurs centraux..
 - sites www : voir ci-contre...

⇒ **Les connecteurs dominent la structure et le fonctionnement des réseaux**

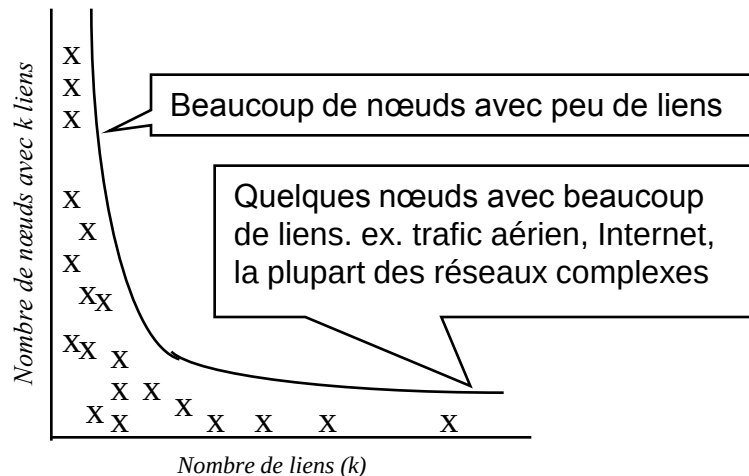
Sites WWW connecteurs	Rang mondial en nb de liens dirigés vers eux
yahoo.com	1
msn.com	2
google.com	3
ebay.com	9
microsoft.com	10
amazon.com	15
aol.com	18
bbc.co.uk	29
dell.com	53
nytimes.com	89

6 : loi des 80/20 ou de Pareto ou de puissance

➤ Loi de Pareto : 80% / 20%

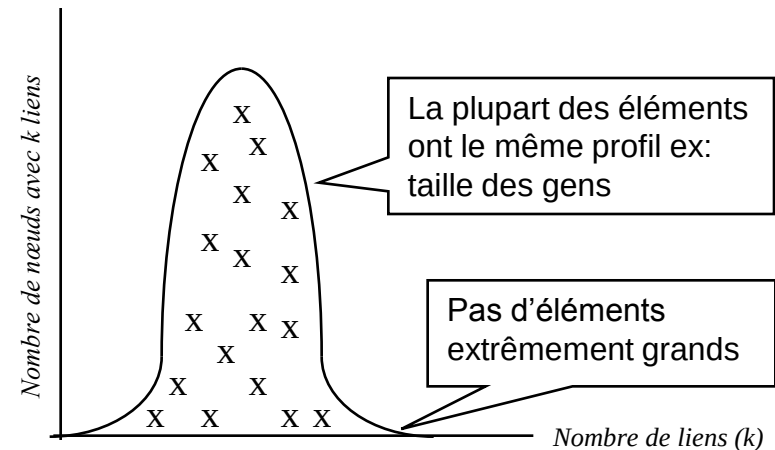
- Début 20ème s. : terrains / propriétaires ; profits / employés...
- Distribution des liens = loi de puissance

⇒ **Nb de liens de qqs nœuds énormes
Vs majorité des nœuds**



➤ Courbe en cloche

- Caractérise la plupart des phénomènes que l'on retrouve dans la nature
- S'applique rarement aux réseaux



7 : Les riches deviennent plus riches

- Les connecteurs dans les réseaux « invariants d'échelle » sont engendrés par 2 facteurs
 - croissance du réseau
 - avantage aux 1ers entrants qui ont eu le temps d'acquérir des liens
 - attachement préférentiel
 - les nouveaux entrants préfèrent se connecter aux nœuds déjà les plus connectés
 - les nœuds les plus connectés capturent un nombre disproportionné de liens au détriment des derniers entrants (« effet Matthieu »)
 - les « riches deviennent plus riches »
 - ex: Sites web ; acteurs dans les films

⇒ **la prime aux premiers entrants semble donc déterminante...**

8 : L'héritage d 'Einstein

- ...Mais apparition d'entrants tardifs qui accèdent du jour au lendemain au statut de connecteur ex : Google, lancé en 1997
- ➔ introduction d'un critère d 'adaptabilité (« fitness ») propre à chaque nœud par Ginestra Bianconi (2000)

- dans un réseau « fit get rich », les nœuds les plus adaptables croissent plus vite...

Part de marché dans la micro-informatique	
Compaq	13%
Dell	11%
Hewlett-Packard	7%
IBM	7%
Fujitsu-Siemens	4%
Autres	58%
Total	100%

- ... il arrive que des nœuds particulièrement adaptés phagocytent les autres nœuds ex: Microsoft
- ils attirent à eux l'essentiel des connections, formant un réseau de topologie étoile ou « hub & spokes » (« winner-takes-all »)

Part de marché dans les systèmes d'exploitation	
Windows	86%
MacOS	5%
DOS	3,8%
Linux	2,1%
Autres	3,1%
Total	100%

9 : Le « talon d'Achille »

➤ **Expériences sur Internet** (et réseaux invariants d'échelle) :

- Si l'on enlève $< 80\%$ des nœuds, le réseau continue à fonctionner
 - ⇒ attaques aléatoires : les connecteurs permettent au réseau de fonctionner,
 - ⇒ attaques ciblées sur les plus gros connecteurs : vulnérables
- ⇒ Les réseaux invariants d'échelle sont très fragiles en cas d'attaques coordonnées dirigées contre leurs connecteurs

➤ **Interruptions en cascade des réseaux** (Duncan Watts), exemples :

- réseaux de transport électrique : pannes de courant dans l'ouest des USA (1996)
- crise économique en Asie du SE (1997) partie d'une banque moyenne
- ces cascades n'arrivent pas instantanément : les interruptions sont d'abord peu visibles avant qu'un raz de marée n'intervienne

10 : virus, épidémies, innovations

➤ **Déploiement de virus et d'épidémies**

- ces virus ou épidémies ne s'éteignent pas si leur taux de transmission est $>$ au « seuil critique »
- idem pour les innovations

➤ **Si réseaux invariants d'échelle** : pas de seuil critique

- le traitement sélectif des connecteurs les plus connectés est le meilleur vecteur de limitation de la diffusion d'un virus ou d'une innovation

➤ La théorie des réseaux explique l'explosion soudaine du sida, une maladie pourtant assez difficile à attraper

⇒ 40 des 248 patients atteints du sida en 1982 avaient eu des rapports avec le connecteur appelé « Patient 0 »

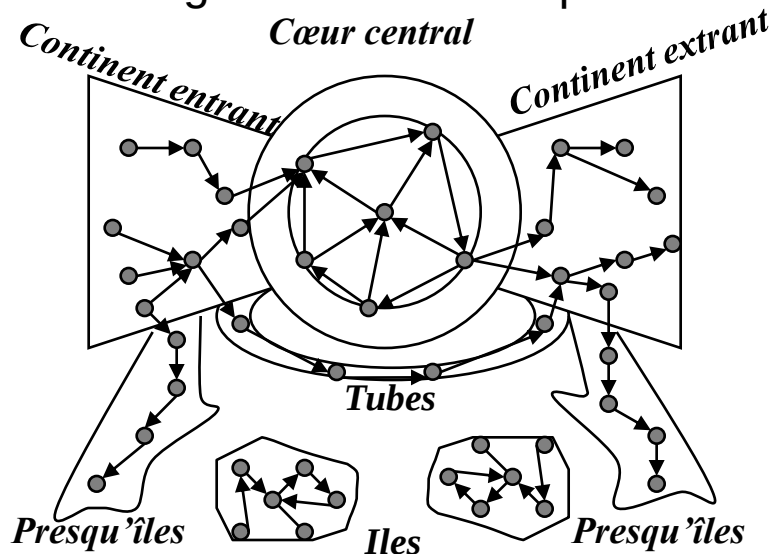
11 : l'Internet émergeant

- Etude en 1999 : la connectivité des routeurs formant l'ossature de l'internet suit une loi de puissance
 - l'internet est donc un réseau invariant d'échelle
 - il possède les mêmes vulnérabilités et robustesse que les autres réseaux invariants d'échelle

- La technologie de hiérarchisation des sites web par Google est basée sur une distribution en loi de puissance
 - le nombre de liens d'un site web avec un Google de 5 est dix mille fois plus grand que le nombre de liens d'un site web avec un Google de 1

12 : le web fragmenté

- A l'inverse de l'infrastructure Internet, le web est un réseau dirigé:
 - chacun de ses liens est unidirectionnel
 - sa topologie ressemble à un nœud papillon
 - Google ne référence que 20% des $5 \cdot 10^9$ sites web



- Cœur : les sites très populaires
- Continents entrants : pointent vers le cœur
- Continents sortants : le cœur les référence
- Presqu'îles : peu connectés au reste mais connectés entre eux
- Îles : la grande masse des sites non reliés

13 : La carte de la vie

- Le génome humain (ADN) a été décrypté en 2000 et cette découverte a mis en évidence :
 - le comportement d'un système vivant ne peut être réduit à ses composants moléculaires
 - chaque cellule a un métabolisme, un réseau de réactions biochimiques qui ont également une architecture de réseau « invariant d'échelle »
 - la compréhension des réseaux cellulaires permet de réaliser des avancées dans le traitement du cancer, Parkinson, sida...
- ⇒ Pour Barabasi la théorie des réseaux devrait apporter une contribution déterminante à la biologie moléculaire

14 : l'économie en réseau

- **L'organisation post-Fordienne de l'entreprise est inadaptée**
 - Par ses goulots d'étranglement et rigidités
 - Aux innovations rapides et bouleversements des marchés
- Être compétitif requiert :
 - une organisation articulée autour de réseaux invariants d'échelle / small worlds
 - développement alliances, externalisation, croissance liens fournisseurs / clients
 - Ex. Silicon Valley, modèle coréen, Italie du nord et du centre...
- Approche traditionnelle : recherche du meilleur produit au meilleur prix pour bénéfice immédiat
- ⇒ **Approche Réseau : co-investissement client fournisseur et co-crédation / co-partage de valeur et de respect mutuel sur le long terme (cf. Manfred Mack)**

15 : le web sans l'araignée

- ⇒ Il n'y a pas de contrôleur central unique qui piloterait l'ensemble de la toile & dont l'élimination briserait la toile
- ⇒ Ex : La cartographie du réseau Al Qaida indique une topologie auto-organisée & distribuée, d'un type peu étudié
 - structuré avec une hiérarchie de chefs (connecteurs)
 - Cartographie des interconnexions entre les 19 terroristes du 9/11 et les 15 personnes avec lesquelles ils étaient en contact
 - Réseau « aristocratique » avec une hiérarchie de connecteurs
 - les 2 plus importants « connecteurs » sont Mohammed Atta (16 liens seulement) suivi par Marwann Al-Shehhi (14 liens) etc.
 - jusqu'aux soldats périphériques
 - la topologie résultante est donc celle d'un réseau auto-organisé
- Indices pour contrôler le terrorisme
 - atteindre suffisamment de connecteurs jusqu'au point critique de fragmentation
 - afin de provoquer des ruptures en cascade

Règles & exemples

- Effet « **small world** »
 - 6 degrés de séparation (humanité)
 - Bacon nb 1 : I Adjani, A Tautou
 - Web (pages) : 19 degrés de séparation
- Réseau social : sous-groupes fragmentés reliés par **liens faibles**
- **Connecteurs** : caractéristique fondamentale de la plupart des réseaux complexes
- **Loi de Pareto** (80/20) / loi de puissance
 - **Importance des liens faibles** pour trouver un emploi...
 - Yahoo, Amazon
 - Trafic aérien (hubs), Internet (serveurs), web (sites principaux), hiérarchisation des sites par Google, la plupart des réseaux complexes

Conclusions : règles & exemples (suite)

- Connecteurs proviennent de la **croissance** du réseau & de la règle de **l'attachement préférentiel**
- **Talon d'Achille**: risques sur les plus gros connecteurs
- **Traitement sélectif des connecteurs**
- Le web est un réseau dirigé fragmenté (**topologie nœud papillon typique de tout réseau dirigé**)
- Sites Web, acteurs à Hollywood
- internet
- Patient 0 (SIDA)
- Google, 1er moteur de recherche ne permet de ne trouver que 1/5 des pages

Conclusions : règles & exemples (fin)

- Être compétitif dans des environnements innovants, aux changements rapides, requiert une **organisation articulée autour de réseaux invariants d'échelle**
- **Réseau sans contrôleur central unique**
- Silicon Valley, modèle coréen, Italie du nord et du centre, industrie pharmaceutique
- Internet, web, Al-Qaïda

Conclusions : d'après Albert-László Barabási,

➤ **« La notion de réseaux est envahissante :**

- *« L'Internet est un réseau complexe d'ordinateurs reliés entre eux.*
- *L'économie est un réseau complexe de compagnies, de consommateurs et d'organismes de régulation.*
- *La société est un réseau complexe de gens connectés par l'amitié, la famille, et des liens professionnels.*

➤ ***C'est seulement dans les années récentes que l'on a compris l'importance que jouent ces réseaux dans la formation du comportement de la plupart des systèmes complexes. (...) »***

➤ ***Une découverte très surprenante est que la plupart des réseaux dans la nature se ressemblent énormément :***

- *Le réseau social n'est pas très différent du réseau chimique de nos cellules vieux de quatre milliards d'années ou du World Wide Web qui n'a que quelques décennies. »*