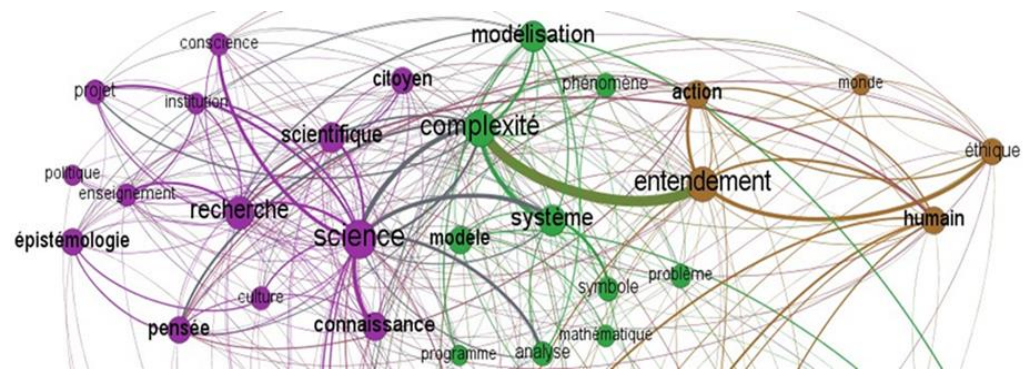
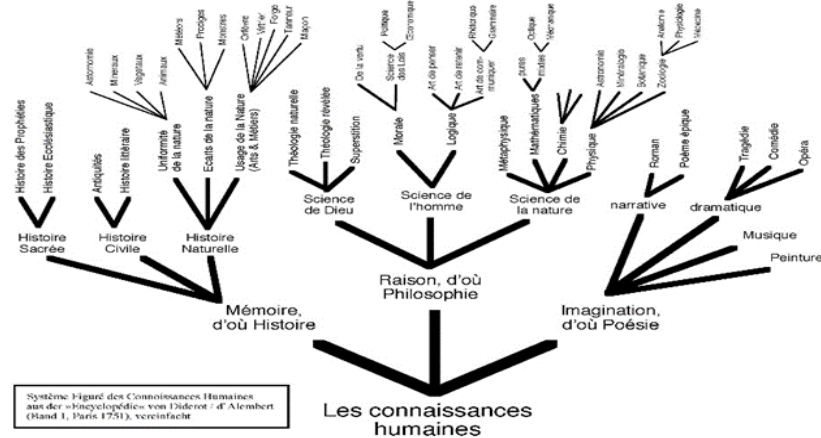




Apport de la visualisation à l'intelligibilité des systèmes complexes

« La pensée du moyen pour construire devient le moyen de penser » (Paul Valéry)

Dans la volonté d'intelligibilité « d'un réel » et en rupture avec les techniques classiques de visualisation de données « *charts, maps, and diagrams* », travailler à rendre explicite raisonnements et représentations des processus non linéaires, auto-organisés, distribués, sans contrôle central, ouvert, en interaction ; l'émergence de fonctions collectives, d'adaptation, l'évolution de configurations ... grâce au développement des capacités de calcul des machines électroniques

Philippe Fleurance

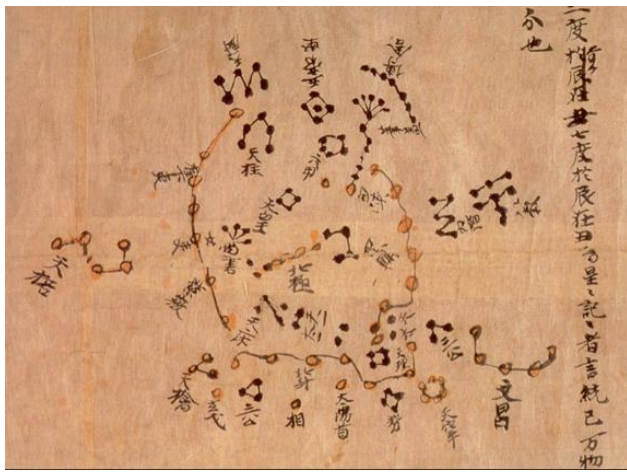
Vice Président du Réseau Intelligence de la Complexité (RIC-MCX)

Professeur honoraire de l'Institut National des Sports, de l'Expertise et de la Performance

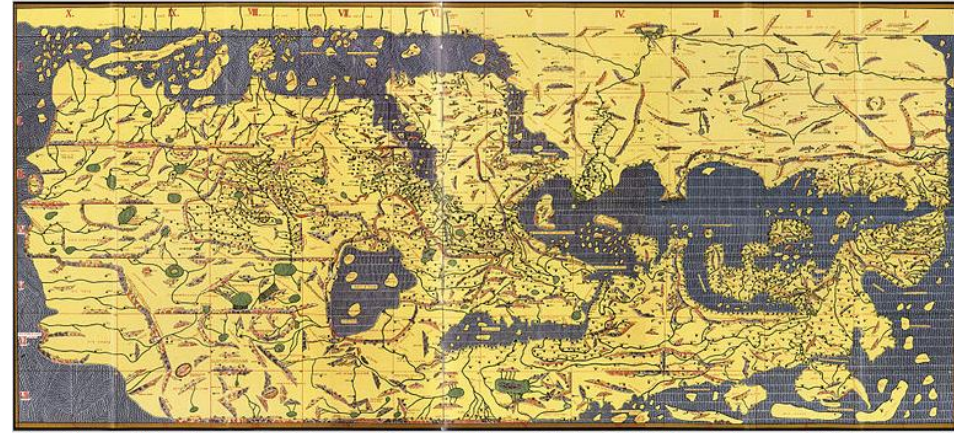
- Décembre 2016 -

I. Un bref retour sur nos moyens de représentation et de compréhension

Les images (i.e. la symbolisation) deviennent
une préoccupation pour les sciences bien
qu'elles soient un objet d'expression et
d'étude pour les humanités depuis des
siècles



les astronomes chinois ont enregistré la position des étoiles et les formes des constellations. Les cartes d'étoiles Dunhuang sont les plus anciens atlas conservés du ciel

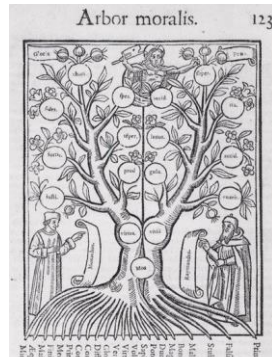


Planisphère orienté le sud en haut extraite du « Livre de Roger » réalisé par al Idrissi en 1154 (ici l'exemplaire conservé à la BNF).

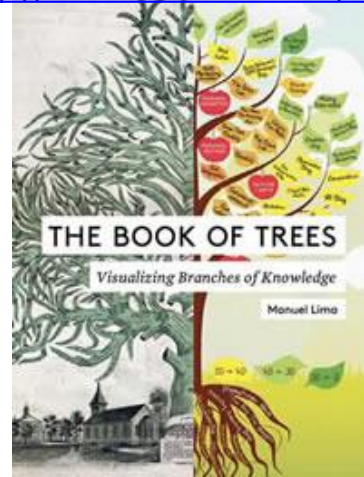
http://scimaps.org/browse_maps.html



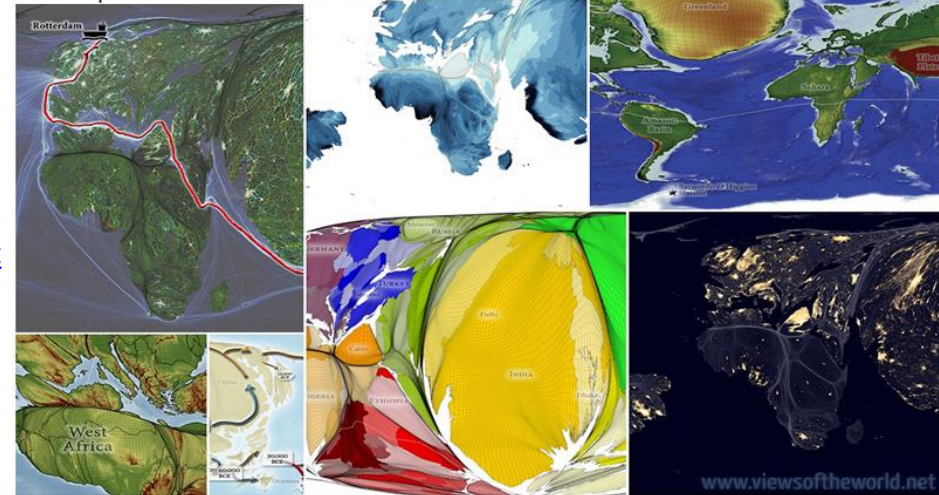
[Léonard de Vinci 1452-1519](#)



<http://www.bookoftrees.info/bt>

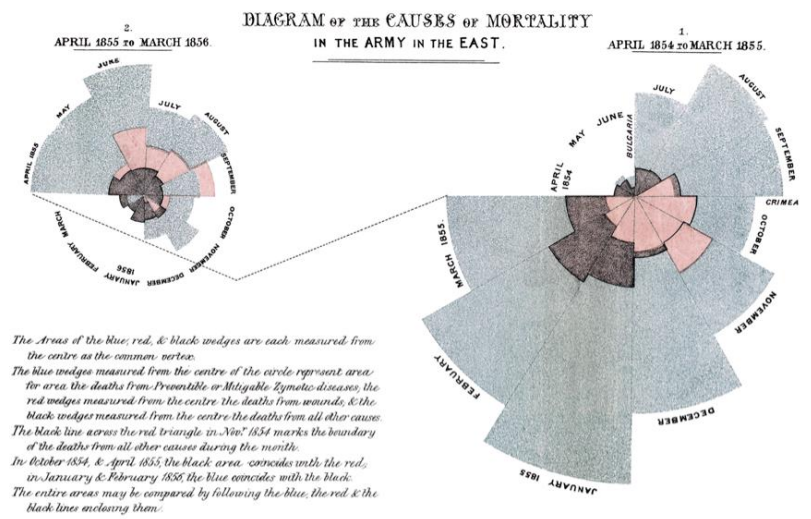
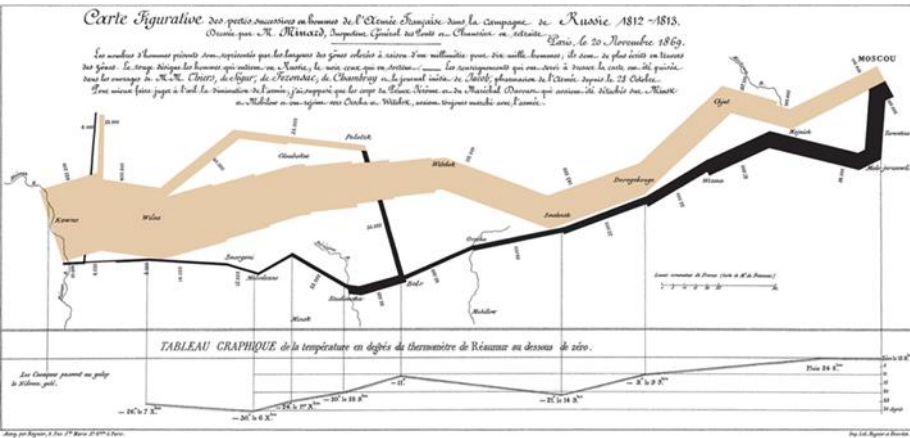


Seven Maps of the World



<http://www.viewsoftheworld.net>

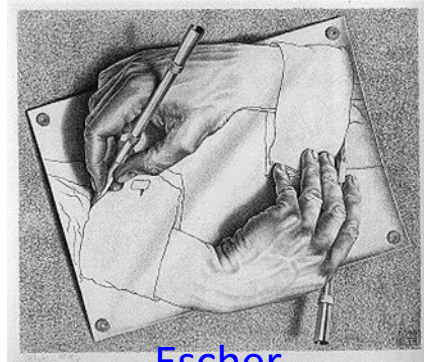
Cartogrammes maillés : la méthode est basée sur une grille sur laquelle une technique d'anamorphose d'égali-
sation des densités est appliquée.



Vue quali-quantitative ? Charles Joseph Minard (1781-1870) : La campagne de Russie de Napoléon se comprend globalement, mais grâce à la représentation, on peut aussi s'intéresser plus localement à des « péripiéties » locales

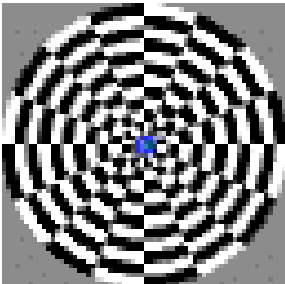


Magritte



Escher

Spinoza « le concept de chien n'aboie pas »
Korzybski « la carte n'est pas le territoire »



Optical Illusions & Visual Phenomena

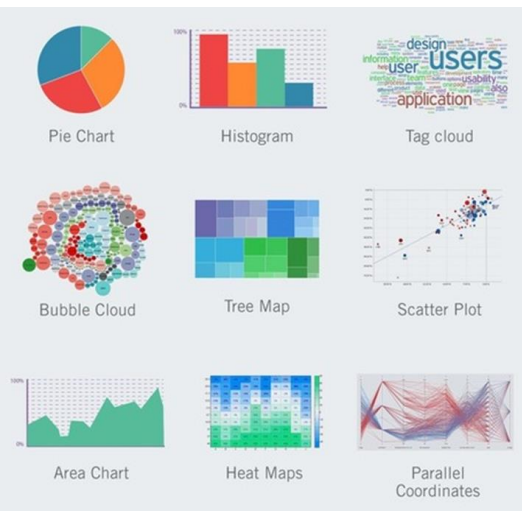


Nuage de mots créé par Wordle. Les mots qui apparaissent le plus fréquemment sont présentés en plus gros caractères.

https://www.wikiwand.com/fr/Repr%C3%A9sentation_graphique_de_donn%C3%A9es_statistiques#

<http://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/why-the-time-tested-science-of-data-visualization-is-so-powerful>

https://interstices.info/jcms/n_51807/la-visualisation-analytique-pour-comprendre-des-donnees-complexes



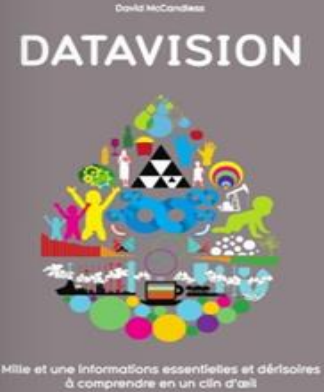
Quand le monde s'est fait nombre : une autre métaphore visuelle « du réel » issue du positivisme

Quantification, calculabilité, essor des statistiques
linéaires, Données/Traces massives, ... « **l'analyse** »
par décomposition

[Alain Desrosières](#), 2008 : Pour une sociologie historique de la quantification, tome
1 - Gouverner par les nombres, tome 2

*« ... les cours de méthodologie de premiers cycle d'études restent à peu près les
mêmes : méthodes quantitatives et statistiques classiques, fondées sur la
conception expérimentale ou quasi-expérimentale mécaniste et réductionniste ... »*

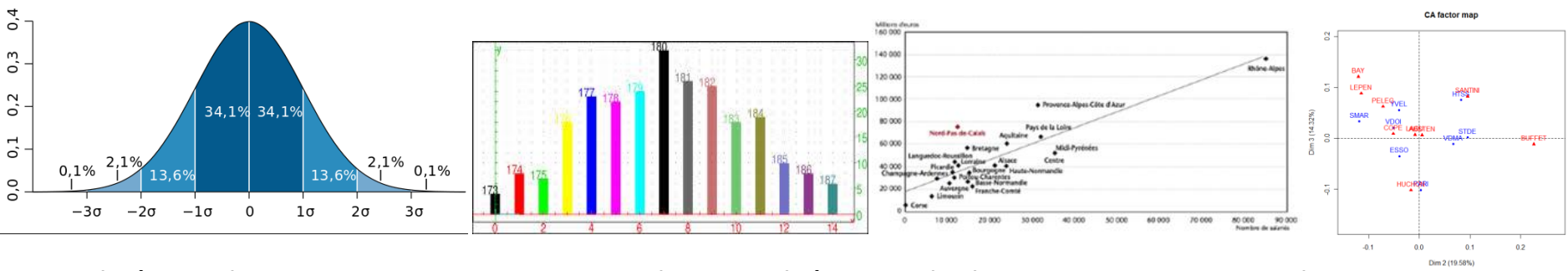
[Brian Castellani](#)



La visualisation analytique pour comprendre des données : inspirations de la Data Visualisation

	Quantitatif	Ordinal	Nominal
Position	••	Position	••
Longueur	==	Intensité	•••
Angle	∠	Saturation	•••
Pente	/	Teinte	•••
Surface	••	Longueur	Forme
Intensité	•••	Angle	Longueur
Saturation	•••	Pente	Angle
Teinte	•••	Surface	Pente
Forme	••	Forme	Surface

- **Réflexivité épistémologique** : Cartographies des sciences et connaissances scientifiques
 - C'est le modèle de l'arbre qui a permis d'établir les premières formes de classifications - rapidement critiqué pour son centralisme hiérarchique et l'absence de communications entre ses branches d'où un regard renouvelé vers des cartographies et des formes « réseau » : [The Book of Trees Visualizing Branches of Knowledge](#) (E. Lima – E. Borner) -> [Les Cartes des Sciences](#) (F. Ghitalla)
- Transformation des données brutes (nominales, ordinales, quantitatives, relationnelles) en « **données visuelles** » : tentative visant à mieux comprendre la signification des données en plaçant celles-ci dans un contexte visuel : <http://www.begraphic.com/home.html>
 - Les graphiques peuvent intégrer des capacités interactives qui permettent à l'utilisateur de les manipuler ou d'en explorer les données à des fins d'interrogation et d'intelligibilité : Exemple : Tableau software
- **Intégration du design dans la conception d'une data visualisation**. La [théorisation du Disegno leonardien](#) le dessin à dessein représenter une idée par une figure : la communication n'est pas dissociable des conditions matérielles et intellectuelles qui lui servent de support - Sémiologie Graphique et développements informatiques
 - En 1967 le cartographe français Jacques Bertin élabore les bases du langage graphique que l'on utilise aujourd'hui pour créer des visualisations : les solutions proposées font appel aux techniques de construction d'une interface informatique dynamique de visualisation <http://www.datavizcatalogue.com>
 - Théorisations perceptive/cognitive, [Perception in Visualization](#) : Lorsque des données sont affichées de manière adéquate, l'œil humain peut percevoir un grand nombre de propriétés sans effort, quelle que soit la quantité de ces données. Invite à penser les « acteurs d'interfaces » i.e. les ingénieries, le monde des outils, des dispositifs, des artefacts, ... comme « attracteur d'attention » dans ce qu'ils donnent à voir (et aussi à ne pas voir)

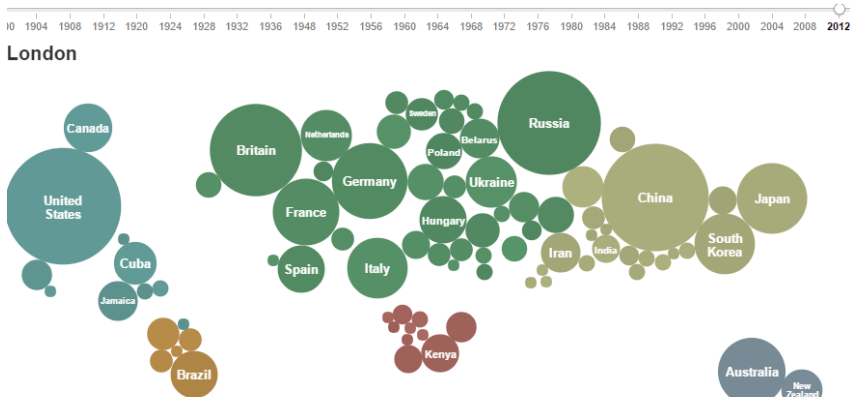


- Il s'agit de remonter aux sources de nos théories de la connaissance et de reconsidérer la traditionnelle et conventionnelle « mathesis universalis » de Descartes et de Leibniz - projet lié au grand rationalisme des XVIIe et XVIIIe siècles – et qui avance l'idée d'une science universelle conçue sur le modèle des mathématiques.
 - « Faire parler les chiffres » : L'argument statistique de la quantification à l'inférence probabiliste
 - La « politique des preuves » en différents domaines (evidence based medicine) issue des travaux de Ronald Fisher en agronomie, dans les années 1920, à l'origine des tests d'inférence et des plans d'expérience
 - Les phénomènes sont essentiellement modélisés sous forme de données chiffrées, et la visualisation est un résumé visuel des données statistiques chiffrées https://www.wikiwand.com/fr/Repr%C3%A9sentation_graphique
- Prédire les phénomènes : les outils de la statistique, avec ses lois de tendance centrale et ses théories de la probabilité
 - Les modèles linéaires généralisés comme la régression par les moindres carrés permettent de rechercher la relation entre une variable de réponse et un ou plusieurs prédicteurs
 - Cf. les représentations issues de « l'analyse de données » et des statistiques multivariées https://www.wikiwand.com/fr/Analyse_des_donn%C3%A9es
 - Modèles linéaires à effets mixtes : les modèles ANOVA ont pour but d'expliquer une variable quantitative Y en fonction de variables quantitatives X(s) et associés à des Tests de significativité de l'effet fixe permettent de prendre une décision quant à la manifestation statistique (dite signification statistique à $p < .05$ ou $p < .01$) de l'effet de la variable manipulée (et non de [l'importance de l'effet](#)) pour les moyennes/modalités
 - Probabilités dites fréquentistes qui s'intéressent à l'occurrence d'un événement parmi un nombre total et significatif d'observations
 - Probabilités bayésiennes méthodes d'inférence permettant de déduire la probabilité d'un événement à partir de celles d'autres événements déjà évalués.

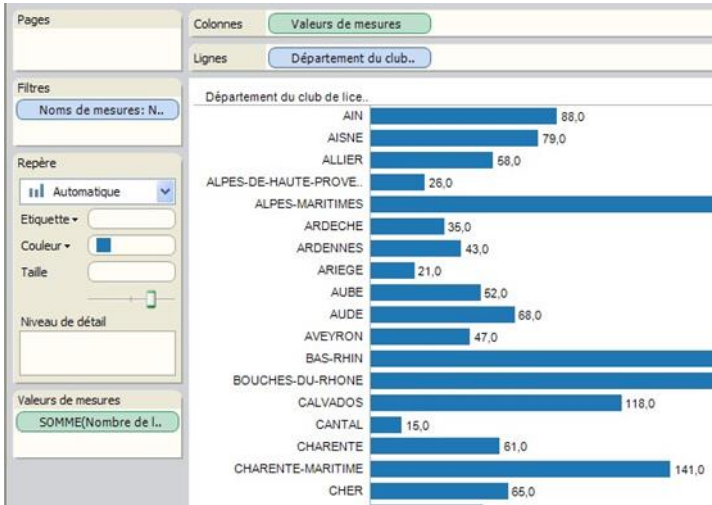
	Établissement	Description	Catégorie	Région de l'État du Brésil	Cadre régional	Statut	Code	État du Brésil
1	20011001	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
2	20011002	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
3	20011003	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
4	20011004	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
5	20011005	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
6	20011006	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
7	20011007	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
8	20011008	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
9	20011009	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
10	20011010	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
11	20011011	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
12	20011012	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
13	20011013	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
14	20011014	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
15	20011015	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
16	20011016	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
17	20011017	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
18	20011018	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
19	20011019	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
20	20011020	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
21	20011021	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
22	20011022	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
23	20011023	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
24	20011024	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
25	20011025	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
26	20011026	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
27	20011027	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
28	20011028	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
29	20011029	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA
30	20011030	Prévisions d'expansion d'entreprises	Commerce	Brasília	PRONEX-ALCANTARA	SC	00000000000000000000	PRONEX-ALCANTARA

Du graphique à l'interaction : Utiliser des techniques de visualisation pour augmenter la compréhension

- Requêter des grandes bases de données directement depuis le navigateur web donne à l'utilisateur la possibilité de questionner les données monodimensionnelles - multidimensionnelles
 - Offre la possibilité de présenter sous des entrées différentes, de grands ensembles de données (sur le plan à la fois structurel et sémantique) et leurs relations induites. Des règles d'organisation et de présentation formelles des données mettant en oeuvre des procédés d'exploration multi-niveaux combinant plusieurs modes de structure/lecture : ces procédés rendent compte d'une articulation entre les dispositions des données, les réalités sémiotiques et les modalités d'exploration/traitement par l'utilisateur.
- « Conversation réflexive » avec les données : apport de l'interactivité pour la manipulation des données (OnLine Analytical Processing, OLAP) et des visualisations pour mettre en valeur/trouver des prises d'intelligibilité



<http://london2012.nytimes.com/results>

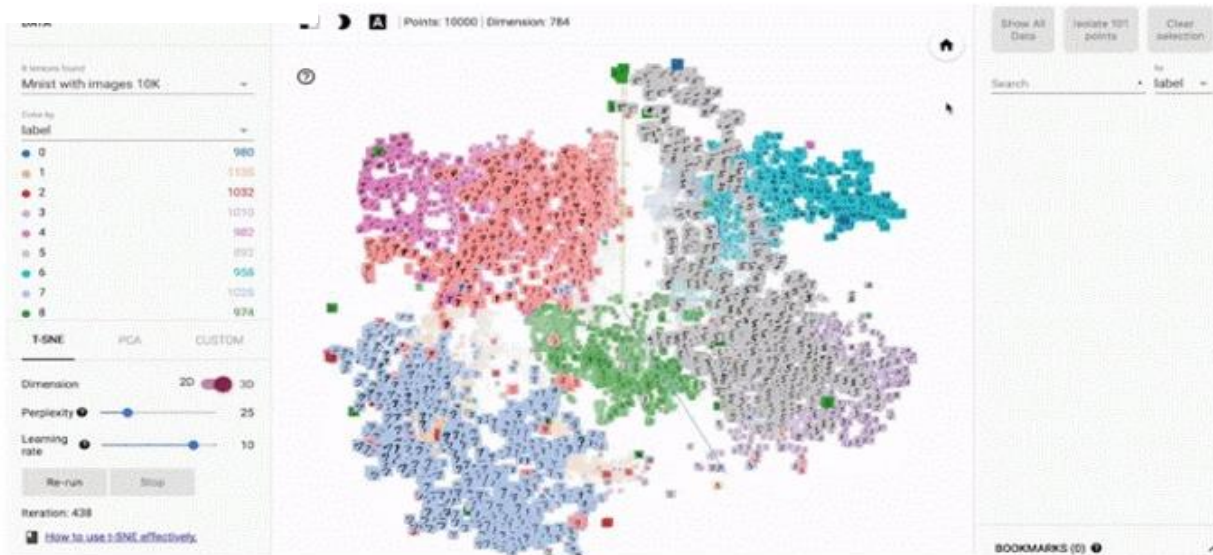
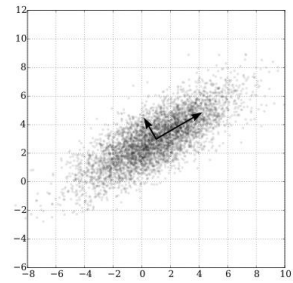


<https://pfeurance.com/tag/datas-sport-de-haut-niveau-exploration-active-visualisation-tableau-software>

Logiciel « Tableau software » : permet de voir, comprendre et manipuler des données en grand nombre, de procéder à des analyses au travers d'une relation directe avec les données, en mode self-service <http://www.tableausoftware.com/fr-fr>

<https://public.tableau.com/profile/pfeurance#/>

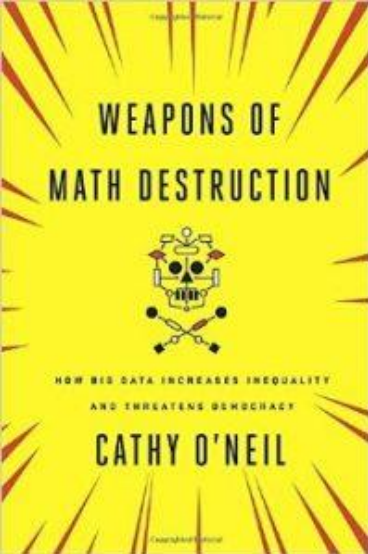
« Embedding Projector » : Google place sa dataviz en Open Source



THÉMATIQUES ASSOCIÉES	
Embedding Projector	>
Google	>
IA	>
intelligence artificielle	>
machine learning	>
TensorFlow	>

- Google annonce la mise à disposition d'un outil de visualisation des données, baptisé Embedding Projector. Il s'agit d'une composante du programme plus général de Machine Learning, nommé Tensor Flow.
- <https://research.googleblog.com/2016/12/open-sourcing-embedding-projector-tool.html>
- Google prend l'exemple du langage naturel en réalisant une cartographie des mots qui se rapprochent d'une requête (dans le cas cité, il s'agit du mot important). Les spécialistes de l'IA peuvent voir en 2D, 3D, zoomer ou tourner des nuages de points et analyser les corrélations réalisées par le système de machine learning.
- Embedding Projector s'aide de solutions de [réduction de dimensionnalité](#) (Analyse en composantes principales – Analyse discriminante, [t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding \(t-SDNE\)](#), ...) pour faciliter la visualisation

Jusqu'où sans rediscuter la « tradition » ?

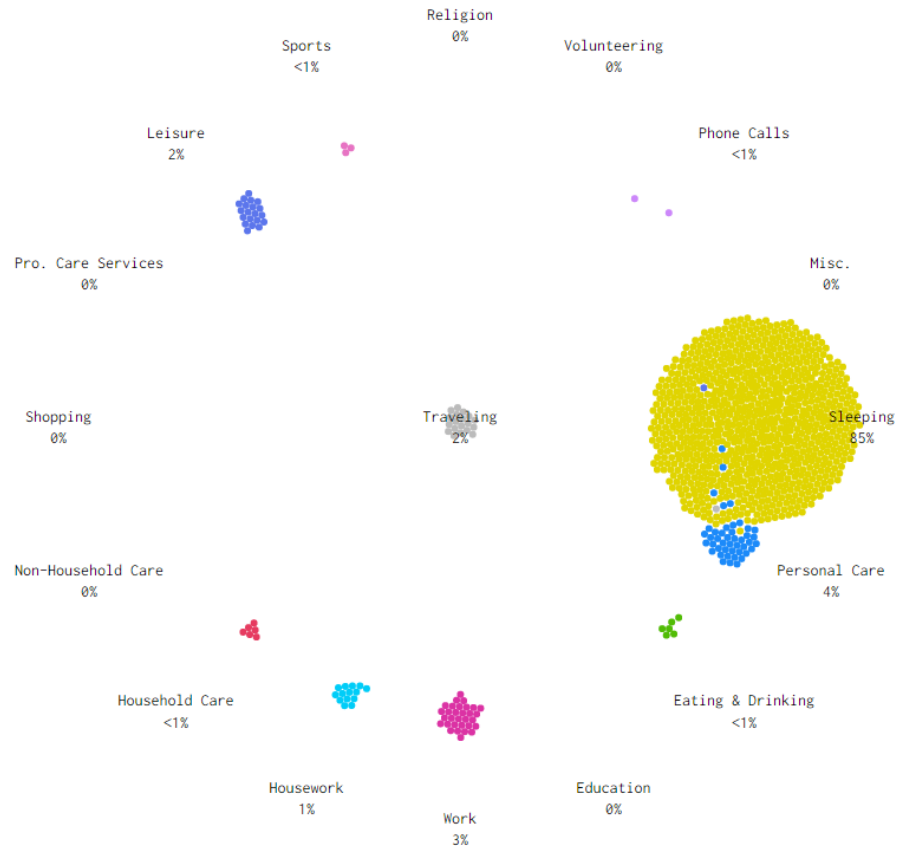


4:23am

SLOW MEDIUM FAST

The simulation kicks in, based on data from the American Time Use Survey.

This is a simulation of 1,000 people's average day. It's based on 2014 data from the American Time Use Survey, made way more accessible by the [ATUS Extract Builder](#).



http://flowingdata.com/2015/12/15/a-day-in-the-life-of-americans/?utm_content=bufferac721&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer

Discuter la tradition analytique de l'agent représentatif valorisant l'agrégation des données par la moyenne et la calculabilité linéaire des états considérés comme suffisamment stable
et non des process

Des facteurs expérimentaux aux agents : « agréger » par les interactions locales et dynamiques s'écarter des modèles habituels et c'est déjà s'engager sur le terrain de la complexité

« *Nous ne raisonnons que sur des modèles* » (Paul Valéry)

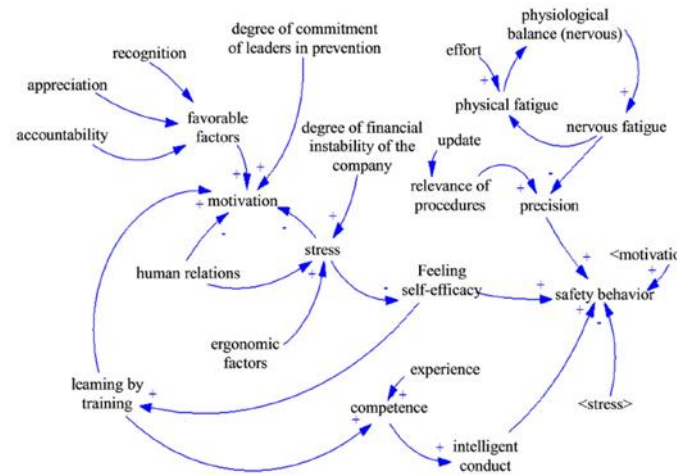
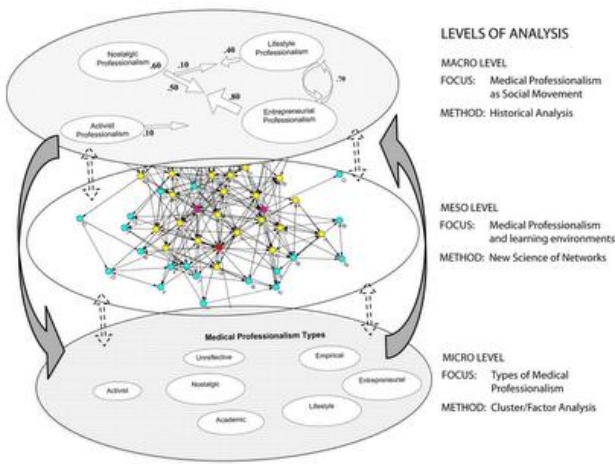
« *Modelling is now our Keyword* » (H. Atlan)

Configurer fait partie de la problématique de la modélisation

II. Visualiser c'est d'abord s'interroger sur ce que l'on modélise à des fins projectives et systémiques

« La visualisation est souvent considérée comme la dernière étape dans le processus de modélisation pour communiquer un résultat mais elle n'est encore que trop rarement utilisée à des fins prospectives et analytiques. Parallèlement la visualisation de données et d'informations connaît un essor assez manifeste ces dernières années mais avec une approche encore relativement monolithique. Le domaine de la visualisation ne semble pas encore avoir intégrée les avancées majeures réalisées ces dernières années dans la modélisation des systèmes complexes » [Arnaud Grignard](#) (2015)

Figure 1: Medical Professionalism as a Complex System



« Visualisations de la complexité »

De la métaphore à la traduction : mais de quoi ?

Différents regards sur la complexité

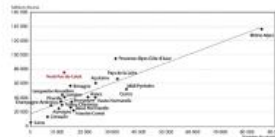
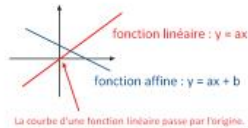
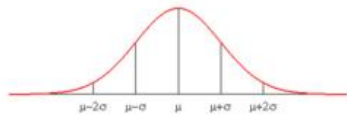
<http://www.intelligence-complexite.org/nc/fr/ouverture/accueil.html>

La notion de « complexité » **si on la repère par les disciplines**, implique des concepts très variés : information ; systémique ; émergence ; multiplicité (des échelles, des composants, des agents, des interactions, des structures...) ; hétérogénéité ; réseaux ; données/traces massives, interdisciplinarité, expériences/activités, ...

Système simple - compliqué - système complexe ?

Warren Weaver 1948 : [Science and Complexity](#)

Simple



On peut suivre la propagation du mouvement de proche en proche

On peut facilement comprendre le comportement du système car on peut (se) représenter sa dynamique

Linéarité et additivité : suppose **une stricte proportionnalité des causes sur les conséquences** ; l'additivité « le tout est égal à la somme des parties »

Compliqué



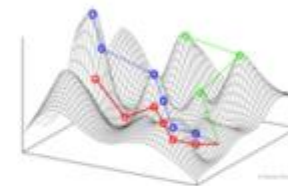
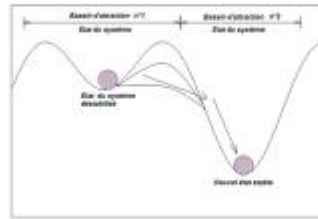
On peut analyser le compliqué comme composé de plusieurs fonctions distinctes qui se combinent.

Il est possible de découper le système en sous-systèmes (plus simples) dont le comportement peut s'analyser indépendamment les uns des autres. On peut ensuite reconstituer le comportement global comme une succession ou une juxtaposition des sous comportements.

Linéarité et **additivité** : supposant une stricte proportionnalité des causes sur les conséquences ; une additivité « **le tout est égal à la somme des parties** »

L'intelligibilité du compliqué se fait par simplification - par mutilation ? : « commençons par simplifier pour reconstruire le tout »

Complexe



modèle de NK Kauffman

Un certain nombre de composants en interaction

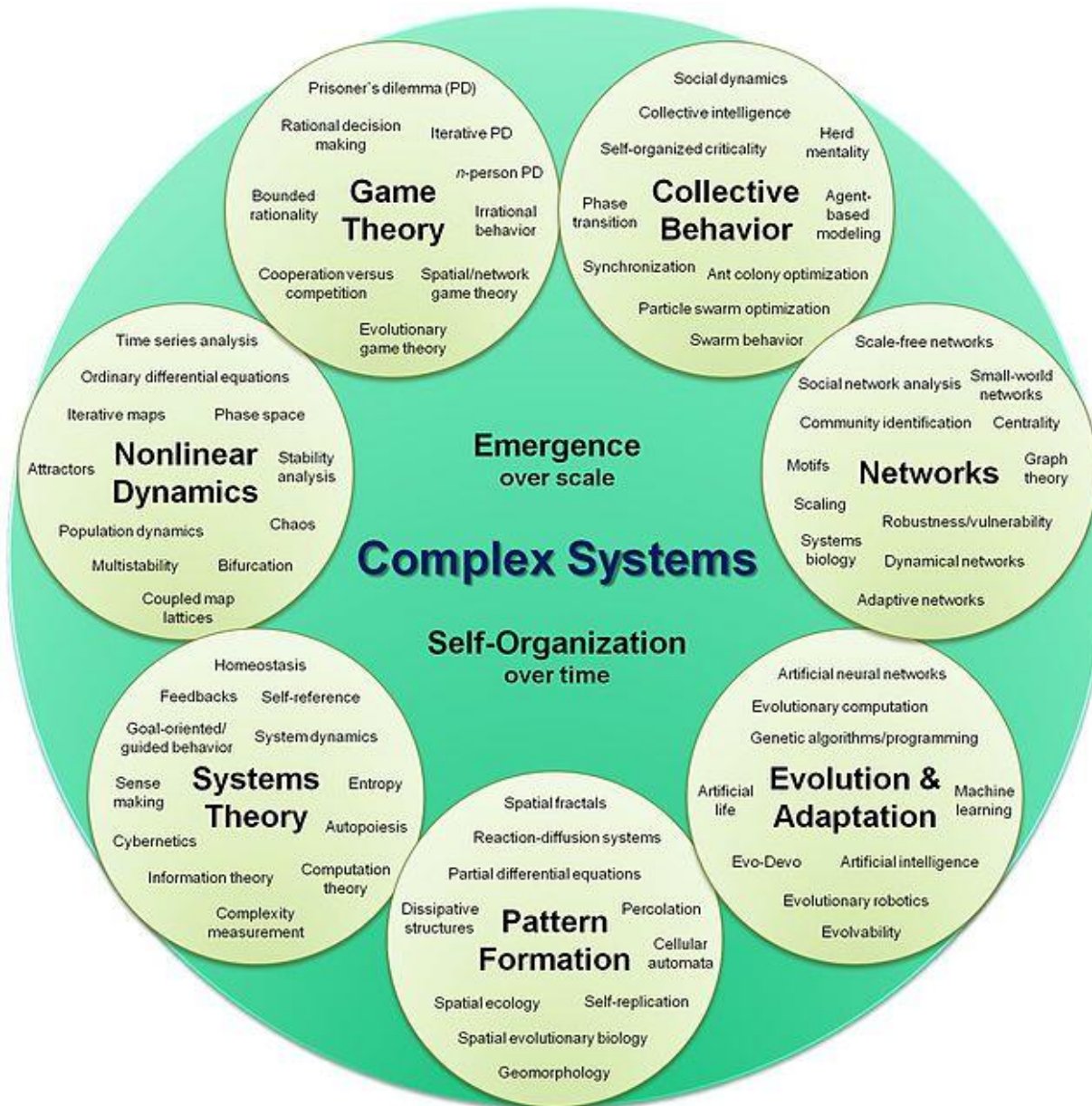
Le comportement global ne peut plus être analysé comme succession ou juxtaposition de comportement de sous-systèmes indépendants : Tous les constituants concourent simultanément au comportement du système de manière non linéaire et non additive (effet de seuil – de masse critique)

On ne peut découper le système pour l'étudier : comportement du « tout » (**holisme**)

L'intelligibilité du complexe se fait par modélisation : « Modéliser, ce n'est pas analyser ou décomposer, c'est chercher des représentations symbolisées sur lesquelles on peut opérer comme on travaille sur une carte ou l'ingénieur sur une épure, et qui puisse servir à faire » (Paul Valéry)

Conçoit une **complexité à la fois organisée et récursivement organisante**

[https://www.wikiwand.com/en/Complex systems](https://www.wikiwand.com/en/Complex_systems)



Ce n'est pas la multiplicité des composants, ni même la diversité de leurs interrelations, qui caractérisent la complexité d'un système : tant qu'ils sont pratiquement et exhaustivement dénombrables on sera en présence d'un système compliqué, dont un dénombrement combinatoire pourrait permettre de décrire tous les comportements possibles et par là de prédire son comportement effectif à chaque instant dès que la règle ou le programme qui les régit est connue, C'est l'imprévisibilité potentielle (non calculable a priori) des comportements de ce système, liée en particulier à la **récursivité qui affecte le fonctionnement de ses composants (en fonctionnant ils se transforment)**, suscitant des phénomènes d'émergence certes intelligibles, mais non toujours prévisibles.

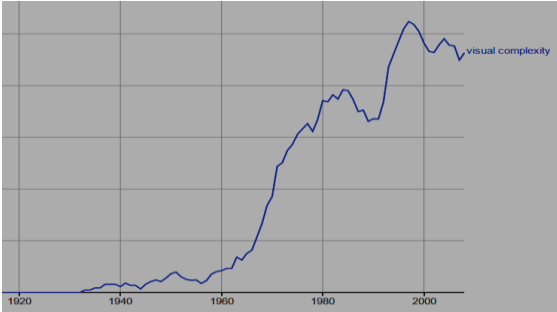
Données massives et/ou systèmes complexes – visualisation :
Une rupture épistémologique ou une continuité ?

« Nouveaux » modèles	↔	Modèles « classiques »
Individus centrés	↔	Agrégats
Automates Cellulaires	↔	Équations différentielles
Systèmes Multi Agents	↔	
Bottom up	↔	Top down
Temps « continu - réel »	↔	Temps linéaire (principe de symétrie)
Interaction individu	↔	Fenêtres temporelles
Exploratoire Simulation	↔	Prédictif
« Intuitif » « Visuel »	↔	« Compliqué »

Une opposition surement à nuancer cf. le développement des big data et leurs traitement par algorithmes : Machine Learning vs Statistiques classiques ?

Machine Learning est un algorithme qui peut apprendre à partir des données sans s'appuyer sur une programmation fondée sur des règles.

La modélisation statistique est une formalisation des relations entre variables issues des données sous forme d'équations mathématiques.

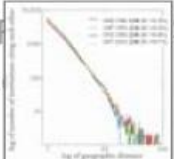
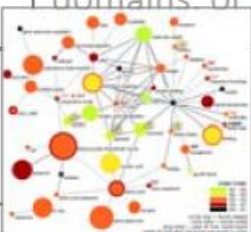
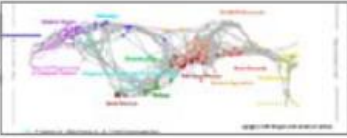
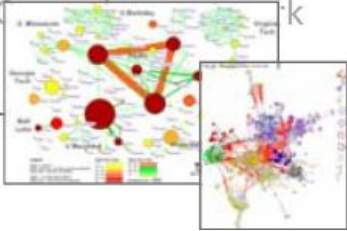
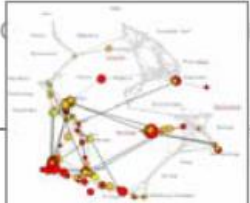


« Tournant iconique » ?

MOOC Infographics and visualization : <https://www.mooc-list.com/course/information-visualization-mooc-cns>
<http://ivmooc.cns.iu.edu/readings.html>

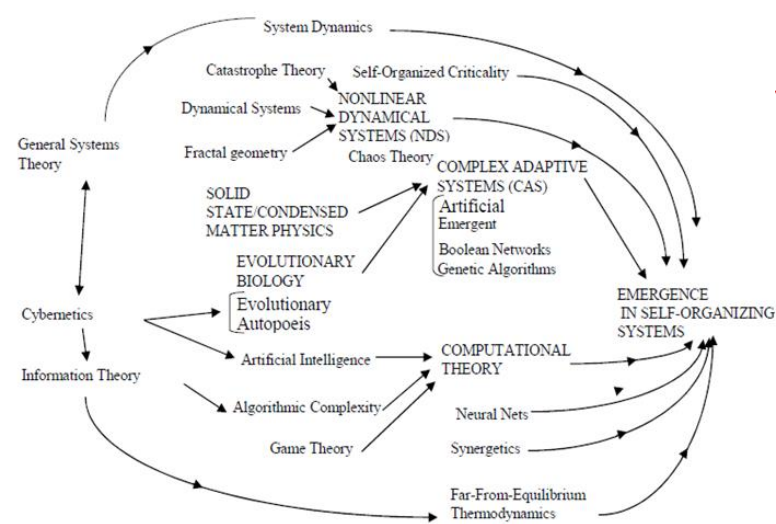
Big data visualisation : <https://www.futurelearn.com/courses/big-data-visualisation>

[Google Books - Ngram Viewer](#)

	<i>Micro/Individual (1-100 records)</i>	<i>Meso/Local (101-10,000 records)</i>	<i>Macro/Global (10,000 < records)</i>
Statistical Analysis/Profiling	Individual person and their expertise profiles	Larger labs, centers, universities, research domains or states	All of NSF, all of science 
Temporal Analysis (When)	Funding portfolio of one individual	Topic bursts of PNAS 	113 years of research 
Geospatial Analysis (Where)	Career trajectory of one individual	Mapping a scientific intellectual landscape 	PNAS publication 
Topical Analysis (What)	 s.	Knowledge flows in chemistry research	
Network Analysis (With Whom?)	NSF network of one 	NIH's network 	NIH's network 

Vers un cahier des charges (réaliste ?) pour visualiser des modélisations de systèmes complexes

- Point de départ : travailler à rendre explicite raisonnements et représentations des processus non linéaires, auto-organisés, distribués, sans contrôle central, ouvert, en interaction ; l'émergence de fonctions collectives, d'adaptation, l'évolution de configurations ...
- Visualiser des processus complexes c'est **tenter de rendre explicite** :
 - Des phénomènes d'interdépendance, de lien, d'interaction et d'influence, d'inter-incitation, ... entre acteurs ou éléments d'un système
 - Des récursivités dynamiques : la plupart des systèmes que l'on étudie sont constitués de sous-systèmes non indépendants et que chaque sous-système fait évoluer les autres et évolue selon l'évolution des autres, lors du comportement du système global.
 - Des process autorégulés, divergents, boucles rétroactives, auto-éco-organisation : considérer des systèmes de systèmes complexes où toute partie est coactive avec d'autres simultanément et à plusieurs échelles. Il y a toujours des systèmes d'organisation dynamiques à considérer et des structures qui seront plus ou moins fortement évolutives à prendre en compte.
 - Des singularités, etc.
- **Interprétations heuristiques** i.e. non réification des datas et des applications de type résolutoire définitives. **L'incomplétude** : un jeu permanent de reprise des indicateurs et des modélisations (cf. usage des modélisations/simulations : [Modéliser & Simuler Franck Varenne](#))
 - Schéma stratégique du CNRS (2002) : « ... l'exploration de la complexité se présente comme le projet de maintenir ouverte en permanence, dans le travail d'explication scientifique lui-même, la reconnaissance de la dimension de l'imprédictibilité ... »

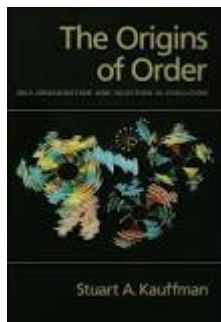


Visualisation des modélisations des propriétés des
« phénomènes » d'après leurs règles de
fonctionnement
du local au global : donner forme par actions et
interactions ; les automates cellulaires

Un des modèles dans l'étude des systèmes complexes : Les automates cellulaires inventés par Stanislaw Ulam (1909-1984) et John von Neumann (1903-1957) à la fin des années 40 puis Edgar F. Codd en 1968

Un automate cellulaire consiste en une grille régulière de « cellules » contenant chacune un « état » choisi parmi un ensemble fini et qui peut évoluer au cours du temps. L'état d'une cellule au temps $t+1$ est fonction de l'état au temps t d'un nombre fini de cellules appelé son « voisinage ». À chaque nouvelle unité de temps, les mêmes règles sont appliquées simultanément à toutes les cellules de la grille, produisant une nouvelle « génération » de cellules dépendant entièrement de la génération précédente.

Le modèle des automates cellulaires est remarquable par l'écart entre la simplicité de la définition des règles et la complexité que peuvent atteindre certains comportements macroscopiques : l'évolution dans le temps de l'ensemble des cellules ne se réduit pas (simplement) à la règle locale qui définit le système.



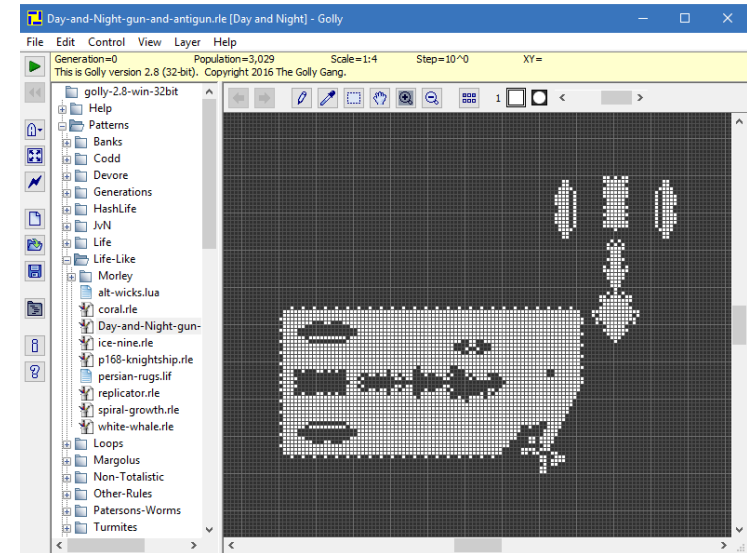
Pour Kauffman les notions d'auto-organisation et d'émergence mettent fin à « l'enchantement galiléen » du réductionnisme, selon lequel la connaissance des éléments constitutifs de l'univers et des lois de la physique peut nous amener à une compréhension totale de l'univers.
« Emergence as a construct »

http://www.andrefolloni.com.br/fotos/1427888127_EmergenceAsAConstructIssue1_1_3.pdf

Jeu de la vie de J. Conway

Visualisation des modélisations des propriétés des « phénomènes » d'après leurs règles de fonctionnement : du local au global : donner forme par actions et interactions

- John Conway (1970) a inventé un automate cellulaire (de dimension 2) https://www.wikiwand.com/fr/Jeu_de_la_vie
- Les cellules peuvent se trouver dans deux états qui sont : vivant / mort, l'espace cellulaire est composé de cellules qui se trouvent dans l'état mort au départ, sauf pour un nombre fini d'entre elles.
- L'évolution de chaque cellule est déterminée en fonction du nombre de cellules vivantes se trouvant dans les huit cases adjacentes à une cellule.
- Pour survivre, un pion doit avoir deux ou trois voisins dans les huit cases qui l'entourent. S'il en a plus il meurt de surpopulation, s'il en a moins, il meurt d'isolement.
- Une case vide qui a exactement trois voisins permet de faire apparaître un nouveau pion
- Le Jeu de la Vie marque un tournant dans l'étude des automates cellulaires car contrairement aux modèles précédents où l'on décidait des règles et du nombre d'état dans un but bien précis (prouver la calculabilité universelle, la constructibilité universelle), **on cherche désormais à trouver les propriétés des automates d'après leur règles de fonctionnement.**



[https://www.wikiwand.com/en/Conway%27s Game of Life](https://www.wikiwand.com/en/Conway%27s_Game_of_Life)

Golly 2.8

<https://sourceforge.net/projects/golly>

http://ysewijn.lesdigales.org/french_life.htm?43

« [A new kind of science](#) » de Stephen Wolfram : richesse du monde des [automates moyens pour traiter](#) simplement toutes sortes de problèmes

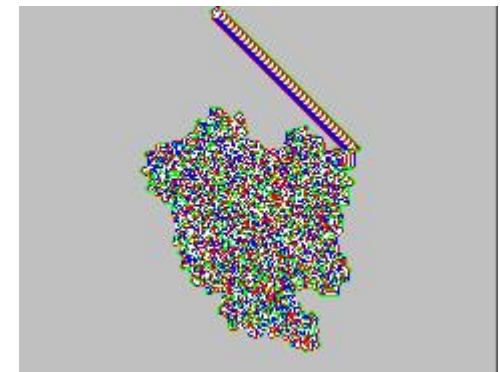
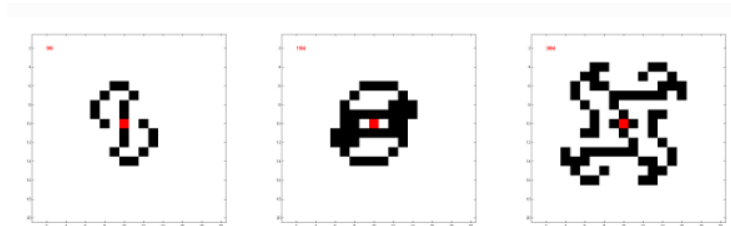
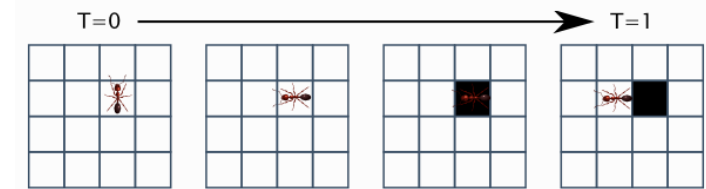


Visualisation des modélisations issues de la vie artificielle

« Artificial Life 1989 » [fourmi de Langton](#)

(Renard, 2002 <http://www.rennard.org/alife/french/liens.html>)

- Chris Langton du Santa Fe Institute démontrer que des règles simples appliquées à un système dynamique peuvent engendrer un comportement aussi complexe que celui d'une organisation vivante.
- Grille de cases blanches avec une fourmi sur l'une des cases. A chaque tour, la fourmi se déplace selon les règles suivantes :
 - Si la fourmi est sur une case blanche, elle effectue une rotation vers la gauche; si elle est sur une case noire, elle effectue une rotation vers la droite ;
 - La fourmi inverse la couleur de la case sur laquelle elle se trouve (blanc devient noir et réciproquement);
 - La fourmi avance d'une case dans la direction de son orientation.
- Quand on la simule pendant quelques milliers d'itérations La fourmi va passer par 3 phases vraiment très différentes, la phase « symétrique », la phase « chaotique » et la phase « autoroute ».
 - «autoroute» serait un attracteur mais personne n'a été en mesure de prouver que cela soit vrai pour toutes les configurations initiales.



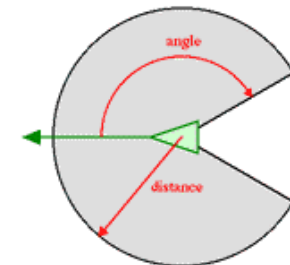
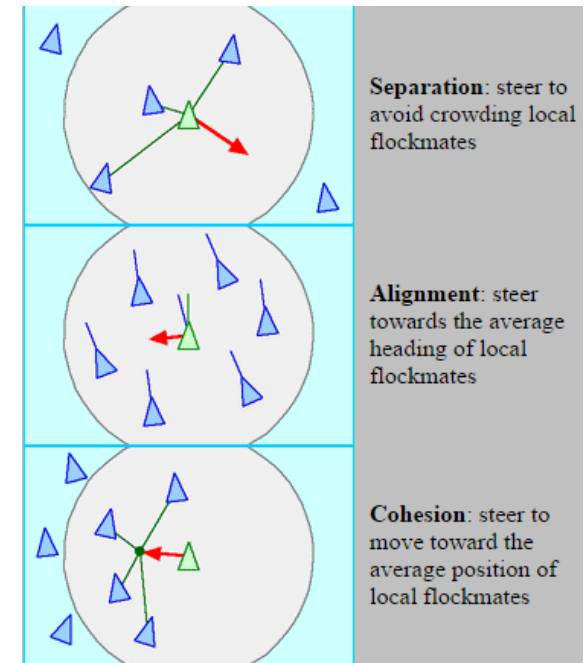
http://ysewijn.lesdigales.org/french_ant.htm



Visualisation des modélisations issues de la vie artificielle : imitations simulations de la vie « naturelle »

- Visualisation/simulation/modélisation du mouvement d'ensemble d'un groupe d'oiseaux, d'animaux terrestres ou de bancs de poissons, d'une foule en déplacement, ...
 - Les Boids sont des agents autonomes et artificiels qui cohabitent dans un monde à 2 dimensions
 - Leur vie est régulée par un certain nombre de règles minimales :
 - un boid n'est soumis qu'à 4 lois qui génèrent des forces s'appliquant sur lui et le font évoluer dans un monde peuplé d'autres boids.
 - Leur coordination ne dépend pas de signaux centraux mais de règles locales
- Visualisation/simulation/modélisation de la propagation des feux de forêts (seuil dit de percolation)

<http://cormas.cirad.fr/fr/applica/fireautomata.htm>
- Et ...



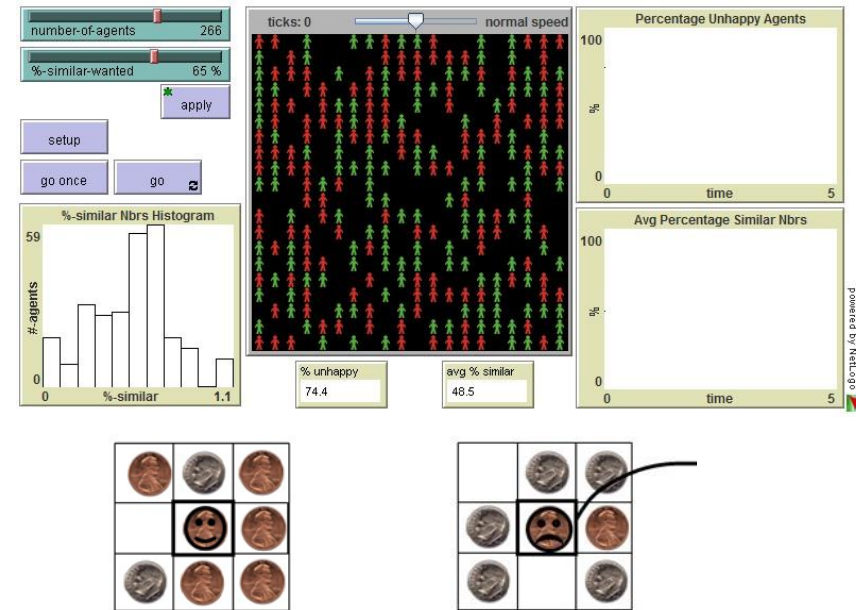
<http://www.red3d.com/cwr/boids>

Online resources related to boids

<http://www.rennard.org/iva/boidappl.html>

Visualisation d'une des premières modélisations d'émergence fondée sur des interactions sociales : modèle de ségrégation non voulue de Schelling

- Exemple d'émergence fondée sur des interactions sociales
 - Montrer que des structures résidentielles de type ségrégationnistes peuvent apparaître même si les préférences des habitants sont compatibles avec une conception intégrée de l'habitat
- Par exemple : « j'accepte d'habiter avec un voisinage majoritairement différent de moi, sauf si je suis trop minoritaire ».
- Dans ce modèle, les agents n'interagissent que localement, avec leurs voisins immédiats et ne sont pas concernés par la configuration générale de l'habitat.
- [Applet schelling](http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/demos/schelling/schellhp.htm)
<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/demos/schelling/schellhp.htm>

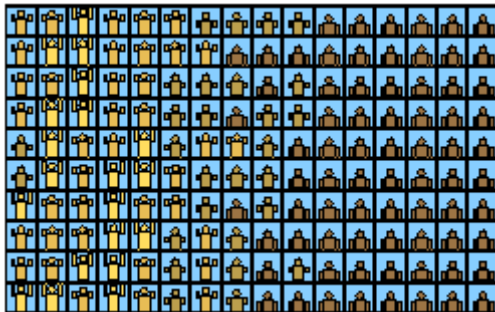


NetLogo ([site](http://cwi.nl/~wvanvrec/NetLogo/) et [formation](http://cwi.nl/~wvanvrec/NetLogo/))

Une représentation graphique de l'émergence : la Ségrégation non voulue
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/6/appeindexB/Schelling1969.html>

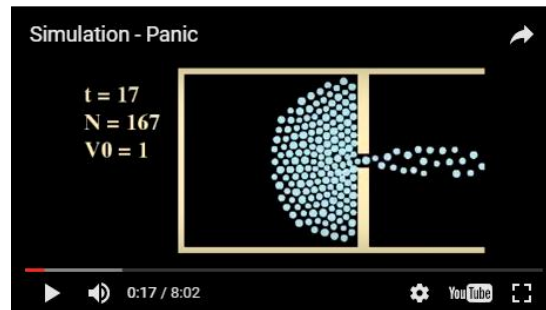
Visualisation de modélisations de processus d'éco-auto-ré-organisation de comportements collectifs

- Comment des systèmes complexes, c'est-à-dire composés d'un nombre importants d'éléments en interaction, peuvent-ils démontrer des comportements organisés face aux contraintes variées et variables qui s'exercent sur eux ?
 - L'idée fondamentale est que l'ordonnancement entre les composantes qui sous-tend le comportement observé au plan collectif (niveau macroscopique) résulte précisément et seulement des simples interactions qu'elles entretiennent les unes avec les autres au plan individuel (niveau microscopique)

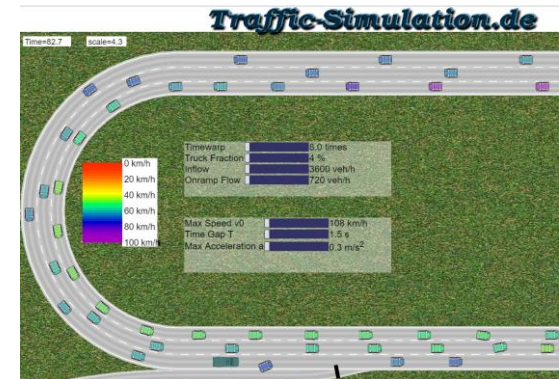


La ola :Tamas Vicsek

<http://www.coss.ethz.ch/publications/supporting/mexican-wave.html>



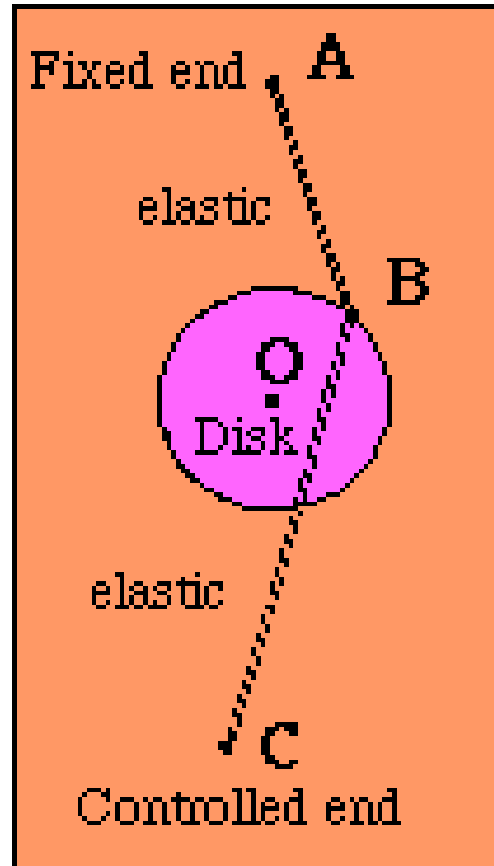
Simuler les dynamiques de fuite
<http://www.coss.ethz.ch/publications/supporting/escape-panic.html>



Dynamiques de flux de la circulation des véhicules dans l'espace et le temps
<http://www.traffic-simulation.de/onramp.html>

Visualisation de modélisations du « non - déterminisme » dans les systèmes complexes et dynamiques : la machine de Zeeman

Cette machine comprend une planchette et un disque qui peut tourner librement autour de son centre (O). En un point (B), près de son bord sont attachés deux élastiques. L'un des deux élastiques a sa deuxième extrémité fixée en A sur la planchette. L'extrémité (C) de l'autre élastique peut être déplacée sur la planchette; l'espace de commande est donc à deux dimensions.



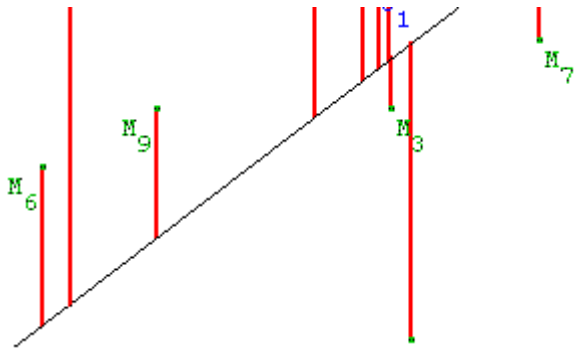
Pour utiliser la machine de Zeeman, il faut déplacer lentement l'extrémité C et observer les mouvements du disque. Vous pouvez constater des rotations lentes ou brutales du disque.

Vous pouvez essayer de trouver l'ensemble de « catastrophes » (rotation brusque) et interpréter le comportement de la machine

La machine de Zeeman est un système dissipatif qui minimise l'énergie de tension des deux élastiques.

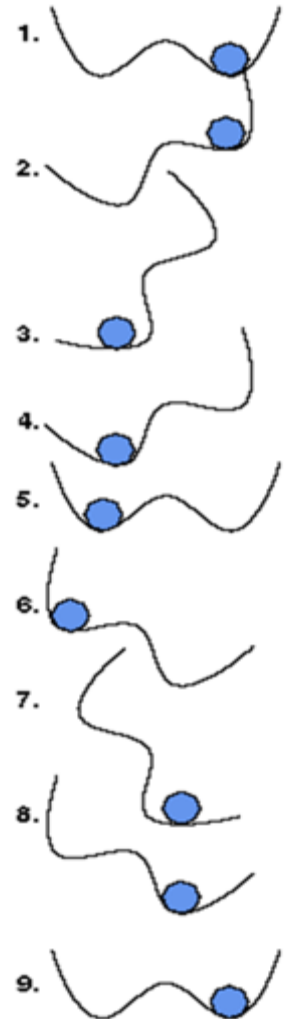
http://l.d.v.dujardin.pagesperso-orange.fr/ct/fr_cusp.html#machines

Argumentation « visuelle »



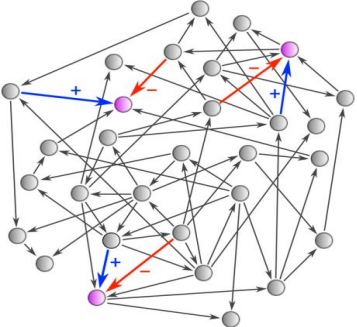
On peut voir les systèmes comme s'exprimant simplement par une fonction :
 $\text{sortie} = f(\text{entrée})$

- Mais pour certaines valeurs critiques de l'entrée, la valeur de la sortie peut varier brutalement.
- Ces systèmes sont non linéaires : le comportement observé réponde de phénomènes critiques - bifurcations
- Les points critiques entre (6 et 7) ; (2 et 3) sont les points de l'espace de commande où l'état du système change brutalement d'un état stable à un autre



Ex : Faire couler une assiette posée sur l'eau en ajoutant successivement des charges légères / [Réaction oscillante](#) BZ de Belousov-Zhabotinsky



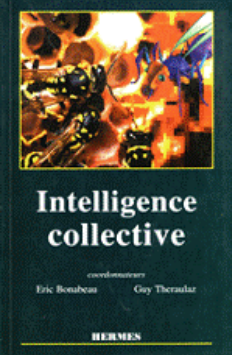


Visualisation de modélisations de phénomènes d'interdépendance, de liens d'influence : les réseaux

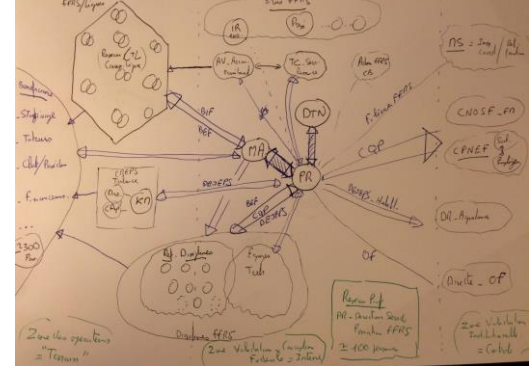
- Restituer aux comportements individuels la complexité des systèmes de relations sociales dans lesquels ils prennent sens, et auxquels ils donnent sens en retour (P. Mercklé [Sociologie des réseaux sociaux](#))
 - Sociométrie de Jacob Moreno (1933) Qui est proche de qui ? - Stanley Milgram (1967) [Étude du petit monde](#) - Mark Granovetter (1973) [La force des liens faibles](#) Barabasi (1999) [six degrés de séparation](#), [Strogatz](#) (2001), ...
 - M. Lima (2013) Cartographie des réseaux – l'art de représenter la complexité ([Clionautes](#))
- L'étude des flux de communication et des réseaux associés est un champ d'investigation pour rendre intelligible les [pattern de communication](#) et le partage de l'information (voire travailler à les organiser)
 - L'analyse des « communautés de pratiques » montre qu'elles s'auto-organisent par recrutement (ex : Retrouver les communautés de pratique à partir des logs des email – [épidémie](#) – diffusion d'idée, [recettes de cuisine](#), [économie](#), [karaté](#), ...)
- Quelques concepts M. Jacomy [Introduction à l'exploration du web par la théorie des graphes](#) - tutorial Gephi et MOOC [Social Network Analysis](#)
 - Qualifier les nœuds du graphe - **Degrees**: nombre de liens directs depuis ou vers un nœud - **Hubs** : nœuds qui diffusent beaucoup de liens – **Authorities** : nœuds qui reçoivent beaucoup de liens
 - **Betweenness centrality** : nombre de fois qu'un nœud se trouve sur les plus courts chemins entre deux autres nœuds (« passage obligé » contrôle)
 - **Closeness centrality** : un nœud central de ce point de vue a des distances minimales par rapport aux autres nœuds (« agent de transmission » de l'information vs. Indépendance)
 - **Clusters**: groupes de nœuds fortement interconnectés
- Logiciels
 - NodeXL : <http://nodexl.codeplex.com/>
 - Graphml : <http://graphml.graphdrawing.org>
 - Gephi : <https://gephi.org>



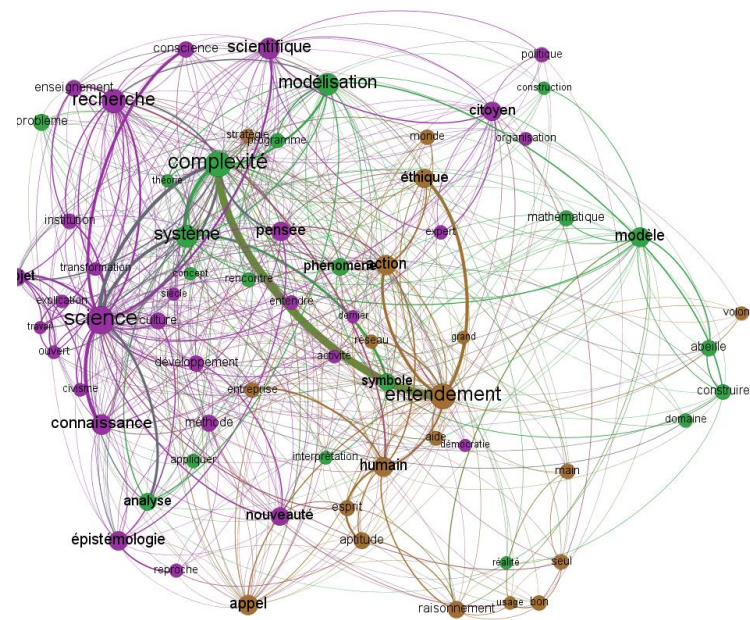
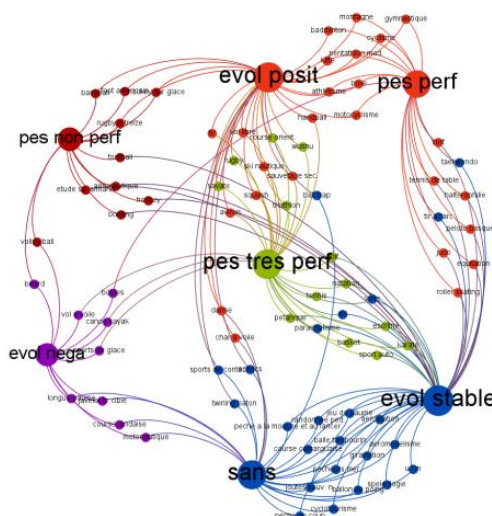
[A systems biologist looks
at basketball games
through the prism of
graph theory](#)



Des traces d'usages : données relationnelles - détection de communautés



- L'acteur comme « [knotworker](#) » dans un réseau d'interactants : produire des cartographies lisibles des interactions ?
 - Utilisation des [graphiques réseaux](#) pour comprendre les organisations et leur fonctionnement : Quelles informations peut-on tirer de la topologie des réseaux d'interaction ?



Latest Projects:

Indexing 1000 projects

Filter by:

SUBJECT ▼

Art (74)
Biology (60)
Business Networks (50)
Computer Systems (39)
Food Webs (16)
Internet (35)
Knowledge Networks (141)
Multi-Domain Representation (70)
Music (47)
Others (77)
Pattern Recognition (53)
Political Networks (34)
Semantic Networks (44)
Social Networks (135)
Transportation Networks (70)
World Wide Web (55)

See All (1000)

Visual Complexity :
<http://www.visualcomplexity.com/vc>

A Taxonomy and
Survey of Dynamic
Graph Visualization
http://www.visus.uni-stuttgart.de/uploads/tax_vispublications/cgfdynamicgraphs.pdf

<http://networkrepository.com/index.php>

Data & Network Collections. Find and interactively **VISUALIZE** and **EXPLORE** hundreds of data

♥ BIOLOGICAL NETWORKS	9	📦 MISCELLANEOUS NETWORKS	2649	🌐 WEB GRAPHS	26
🧬 BRAIN NETWORKS	36	🛒 RECOMMENDATION NETWORKS	13	🕒 DYNAMIC NETWORKS	22
👥 COLLABORATION NETWORKS	16	🐦 RETWEET NETWORKS	34	⌛ TEMPORAL REACHABILITY	38
🧪 CHEMINFORMATICS	600	⚙️ SCIENTIFIC COMPUTING	11	🏛️ BHOSLIB	36
🌳 ECOLOGY NETWORKS	6	🔗 SOCIAL NETWORKS	57	🏠 DIMACS	78
🔄 INTERACTION NETWORKS	19	📘 FACEBOOK NETWORKS	114	🔍 DIMACS10	84
✈️ INFRASTRUCTURE NETWORKS	8	🔧 SYNTHETIC NETWORKS	3882	📊 NON-RELATIONAL ML DATA	202
☁️ MASSIVE NETWORK DATA	21	💻 TECHNOLOGICAL NETWORKS	10		



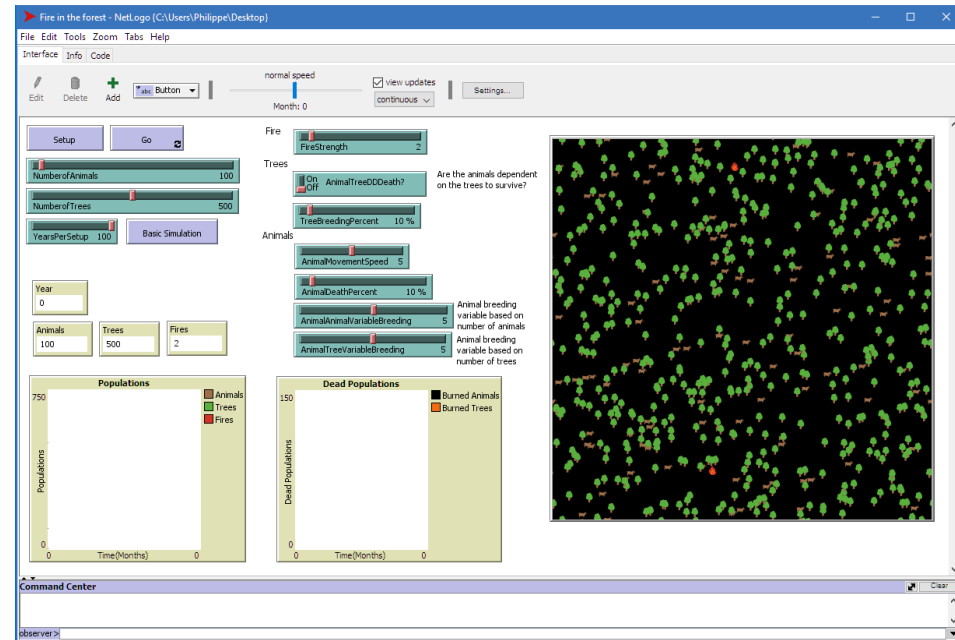
Visualisation de modélisations individus centrés : les systèmes multi-agents (SMA)

https://www.wikiwand.com/fr/Syst%C3%A8me_multi-agents

MOOC <https://ocw.tudelft.nl/courses/agent-based-modeling-of-complex-adaptive-systems-basic>

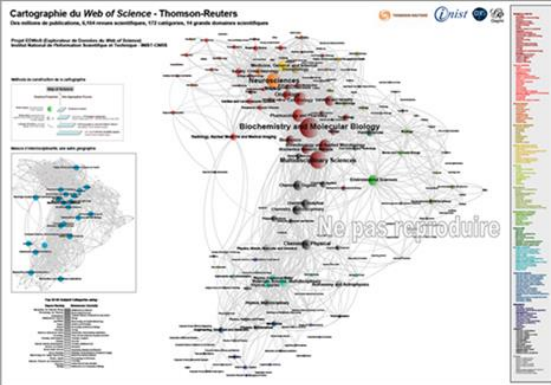
« Tout modèle à base d'agents est un système composé d'entités multiples ou agents qui évoluent dans un environnement, conçu comme une entité particulière, dans lequel ils sont localisés. Ces agents sont dotés d'attributs, de comportements, et de capacités de perception et de communication. L'ensemble des valeurs des attributs d'une entité à un instant donné constitue l'état de cette entité, et la réunion de l'ensemble des états des entités forme l'état microscopique ou - dit plus simplement - l'état du système. Les capacités de perception des entités leur permettent de consulter un sous-ensemble de cet état microscopique, habituellement de façon localisée dans l'environnement. Les comportements sont des règles contrôlant à chaque instant l'évolution de cet état, en intervenant sur les états des entités qui les portent ou sur leur existence même (création et destruction), ainsi que sur les états et existences des autres entités intervenant dans les éventuelles actions, communications ou interactions décrites dans les comportements » (Treuil, J.-P., Drogoul, A., and Zucker, J.-D. [2008](#)).

NetLogo : <http://cfpm.org/ABM-Resources/Slides/IntroABM-Session1.pdf>



<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/community/Fire%20in%20the%20forest>

Le modèle tient compte d'un nouvel élément dans la modélisation des incendies de forêt, à savoir la dynamique des animaux de la forêt, intimement liée aux arbres. Nous montrons que les animaux et les arbres réagissent différemment aux différents types de feu ...



Quelques Ressources

- Programme WebAtlas : <http://webatlas.fr/wp>
- Media Lab Sciences Po : <http://www.medialab.sciences-po.fr>
- Data journalisme : <http://owni.fr/2011/09/22/data-cartographie-florilege-opendata> et <http://datajournalismhandbook.org/1.0/en>
- MOOC Infographics and visualization : <https://www.mooc-list.com/course/information-visualization-mooc-cns> - <http://ivmooc.cns.iu.edu/readings.html>
- MOOC Big data visualisation : <https://www.futurelearn.com/courses/big-data-visualisation>
- [Humanités numériques HASTAC](#) « Humanities, Arts, Sciences, and Technology Advanced Collaboratory » et [Sci²](#)
- Cartographie d'organisation et instruments cartographiques d'aide au pilotage
 - <http://ateliercartographie.wordpress.com/2013/04/12/instruments-outils-projets>
- Visual Complexity : <http://www.visualcomplexity.com/vc>
 - <http://www.visualisingdata.com/2016/11/best-visualisation-web-september-2016>
 - <http://www.visualisingdata.com/index.php/resources/>
- Data & network <http://networkrepository.com/index.php>