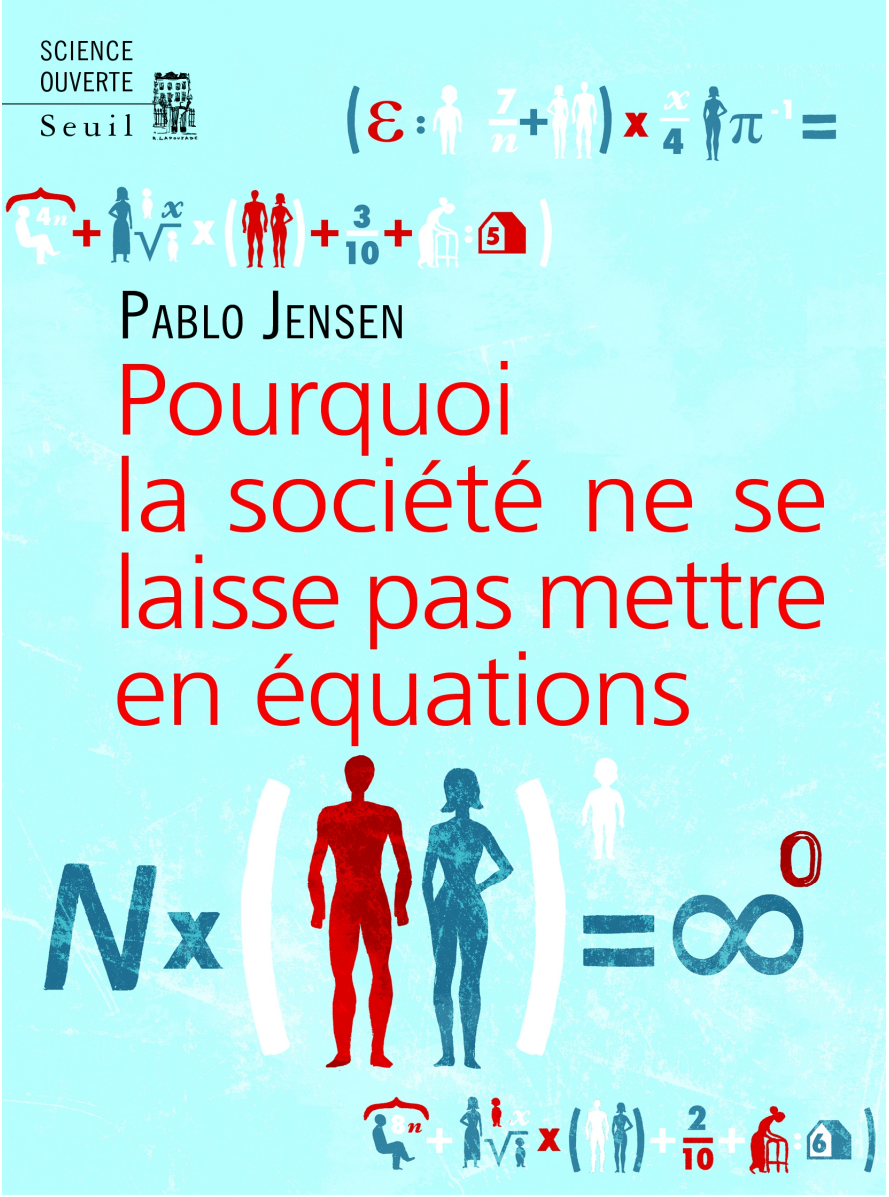


Méthodes numériques en physique et en sciences sociales : quelles différences ?

CNRS
Laboratoire
de physique

ENS DE LYON

Institut des Systèmes Complexes
Complex Systems Institute
Rhône-Alpes
IXXI

Quelles influences des technologies numériques sur la recherche scientifique ?

- Révolution numérique, profonde révolution sociale

  $\longrightarrow$ mutation écologique (information, coordination sociale?)

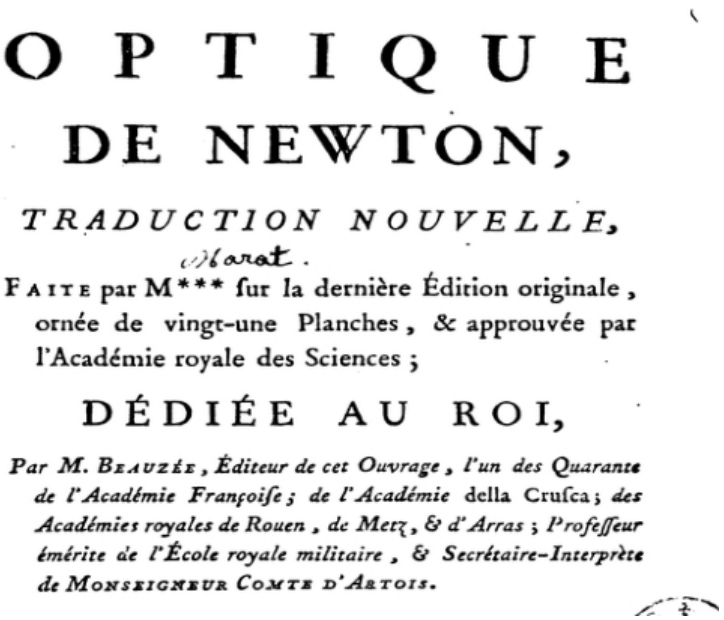
- Impact sur recherche scientifique: question mineure?
  - Physique
  - Sciences sociales
  - Exemples, différences

L'Univers mathématisé

Newton : gravitation universelle (~ 1680)

- Observations précises de Tycho Brahé
- Grandeurs mathématiques :
  - Planète ≡ point (m, r)
  - Force = G mm'/r^2
  - Mouvement ~ force
- Permet de *calculer* trajectoires des planètes : comprendre, expliquer, contrôler ?
- Désaccord ? Prédiction de planètes inconnues !

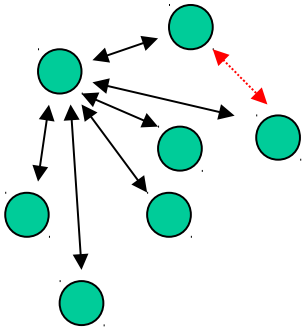
Veermer, l'Astronome



OPTIQUE
DE NEWTON,
TRADUCTION NOUVELLE,
Marat.
FAITE par M*** sur la dernière Édition originale, ornée de vingt-une Planches, & approuvée par l'Académie royale des Sciences;
DÉDIÉE AU ROI,
Par M. BEAUZÉE, Éditeur de cet Ouvrage, l'un des Quarante de l'Académie Françoise; de l'Académie della Crusca; des Académies royales de Rouen, de Metz, & d'Arras; Professeur émérite de l'École royale militaire, & Secrétaire-Interprète de MONSEIGNEUR COMTE D'ARTOIS.

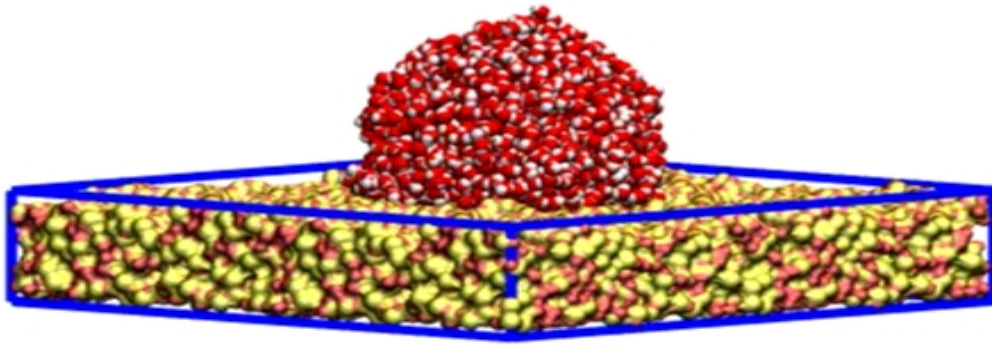
- Programme de la physique de la matière : trouver
  - particules stables ~ géométriques
  - forces (expression mathématique)
- Calculer la matière ! Prédire ?
- Impossible avant purification grâce à industrialisation, début 20ème siècle

Plusieurs raisons me portent à soupçonner que [les phénomènes que nous présente la nature peuvent] se dériver des principes mécaniques : [car ils] dépendent tous de quelques forces dont les causes sont inconnues, et par lesquelles les particules des corps sont poussées les unes vers les autres, et s'unissent en figures régulières, ou sont repoussées et se fuient mutuellement ; et c'est l'ignorance où l'on a été jusqu'ici de ces forces, qui a empêché les Philosophes de tenter l'explication de la nature avec succès.



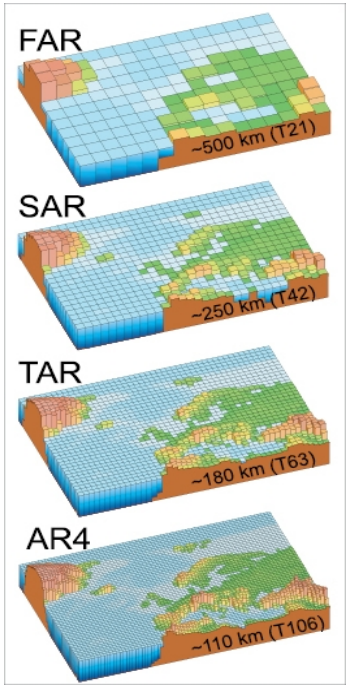
Simulations dynamique moléculaire

- Goutte d'eau : *choisir* interactions, température : regarder!
- Intérêts :
  - Système parfaitement contrôlé, visualisable pour comprendre (ex : fusion solides)
  - Prédire propriétés matériaux jamais synthétisés, autres planètes
- Pas si simple ! Quelle interaction entre molécules eau?



Prédictions climat :Terre virtuelle *in silico*

~ 1 M lignes code, ~ 10 M cubes



Prévision météo meilleure que deux prévisions naïves :

- Demain = aujourd'hui
- Demain = moyenne ~ 30 ans du jour

Prédictions climatiques robustes car :

- météo moyenne seulement
- **stabilité** des lois de conservation espace/temps
- gros travail de standardisation données empirques

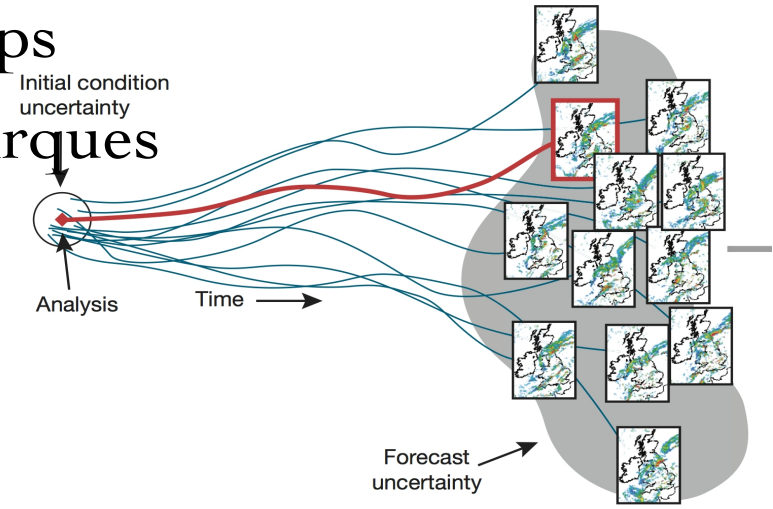
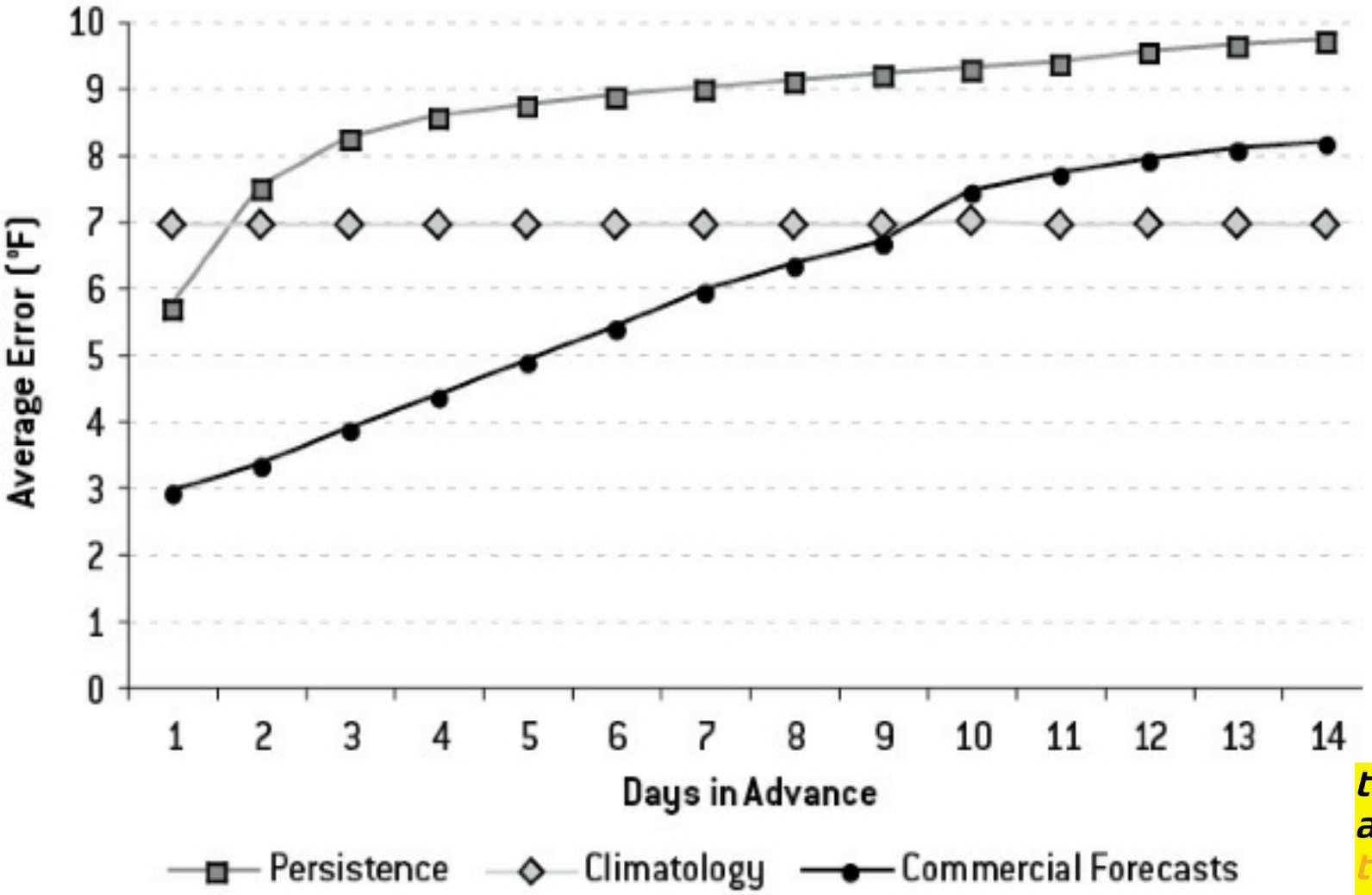


FIGURE 4-6: COMPARISON OF HIGH-TEMPERATURE FORECASTS[40]



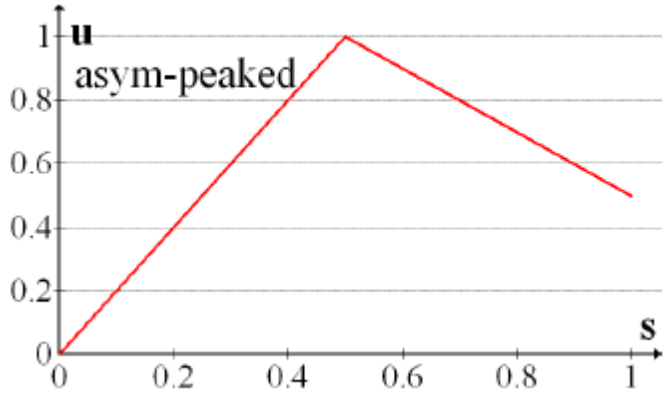
the signal and th
and the noise an
the noise and th
noise and the no
why so many an
predictions fail—
but some don't t
and the noise an
the noise and th
nate silver noise

Simuler le monde social ?

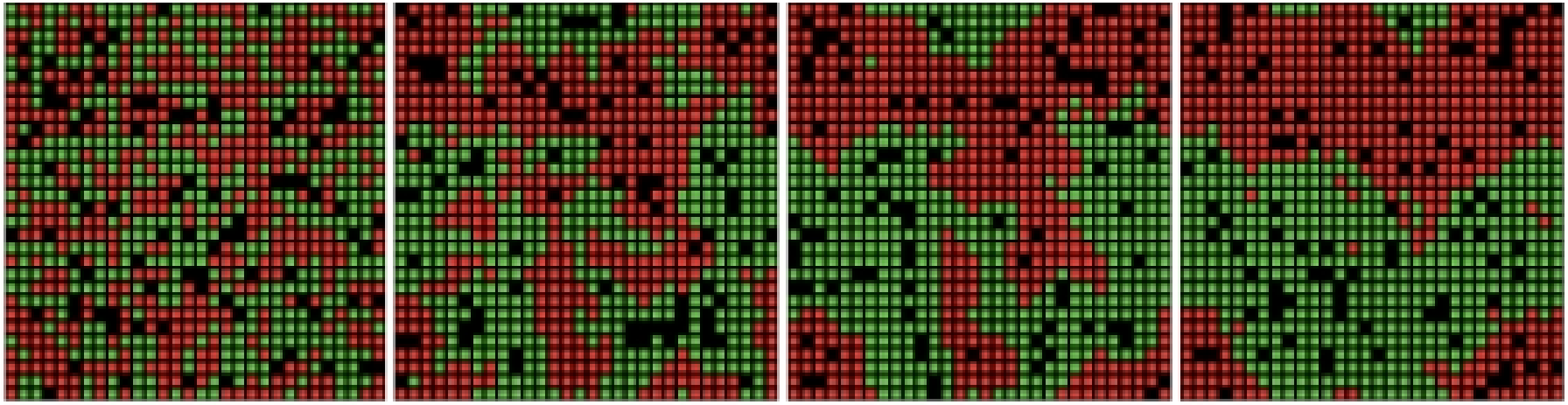
Modèle simple de ségrégation urbaine

(Thomas Schelling, « Nobel » économie 2002)

satisfaction



composition voisinage



Dynamique sociale tend vers... frustration!

Un monde quotidien modélisé ~ projet MUG

Modéliser les pandémies ?

nature medicine

LETTERS

https://doi.org/10.1038/s41591-020-1001-6

Check for updates

A stochastic agent-based model of the SARS-CoV-2 epidemic in France

Nicolas Hoertel[1,2,3] ✉, Martin Blachier[4], Carlos Blanco[5], Mark Olfson[6], Marc Massetti[4], Marina Sánchez Rico[1,7], Frédéric Limosin[1,2,3] and Henri Leleu[4]

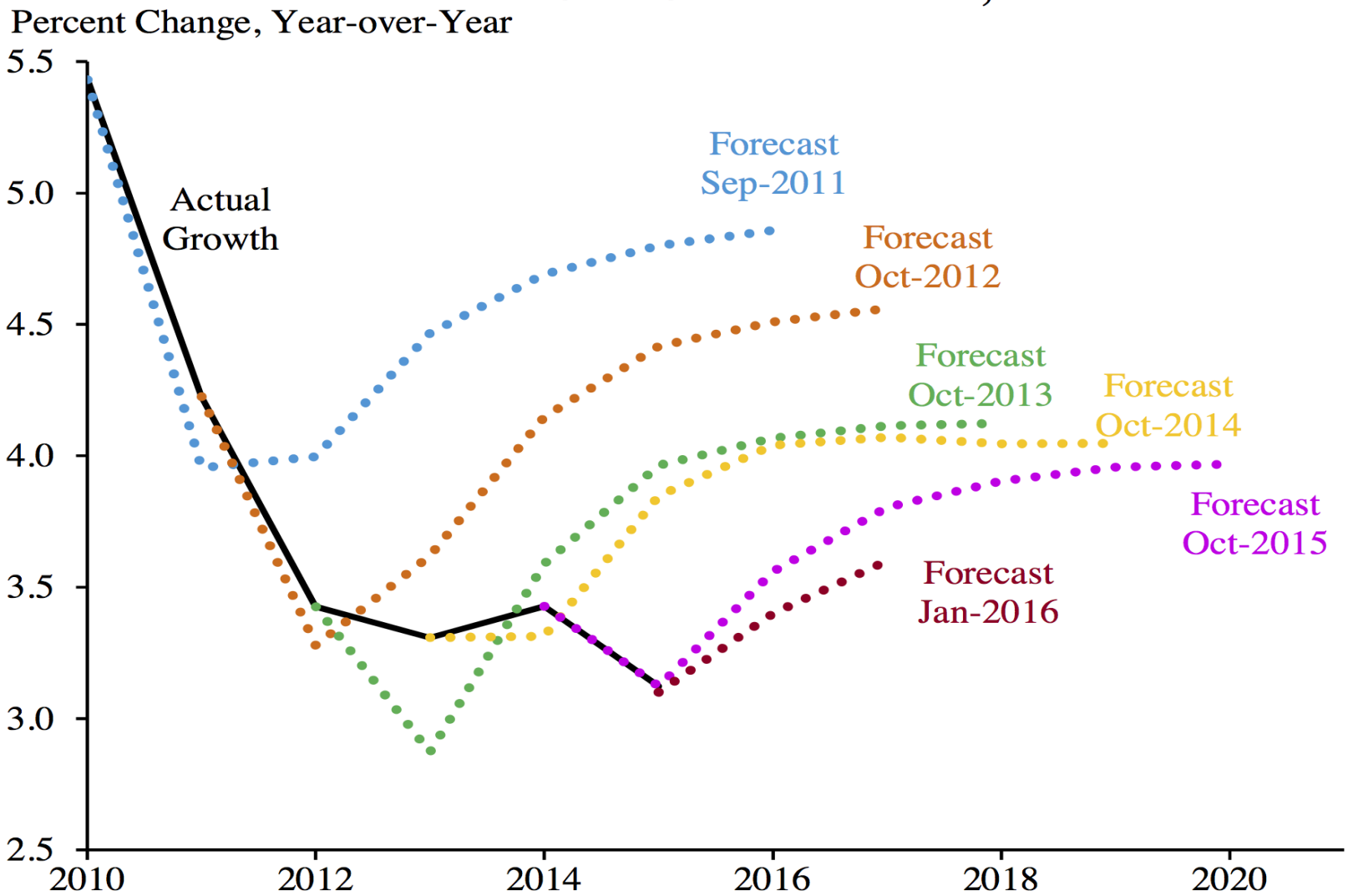
The model included 194 parameters related to French population characteristics ($n=140$), social contacts ($n=33$) and SARS-CoV-2 characteristics ($n=21$), summarized in Supplementary Table 4. Parameter values on population characteristics were based on data from the French National Statistical Institute (INSEE) and Santé Publique France. Parameters related to social contacts were based on prior studies ($n=11$) or assumptions when no data were available ($n=22$). Finally, parameters on disease characteristics were based on data from

Statistical analyses. The stochastic ABM was run for 360 d on 500,000 individuals. The results were based on an average of 200 simulations. Analyses were performed on 17 May using data for model parameters until 15 April. Results were extrapolated to the French population of 67 million people. We provided uncertainty measures by using 200 bootstrap samples based on the random variation of all non-calibrated parameters simultaneously, either within a 95% confidence interval for parameters estimated from the literature or within a ±20% interval if the parameter was assumed.

Modèles complexes fiables ?

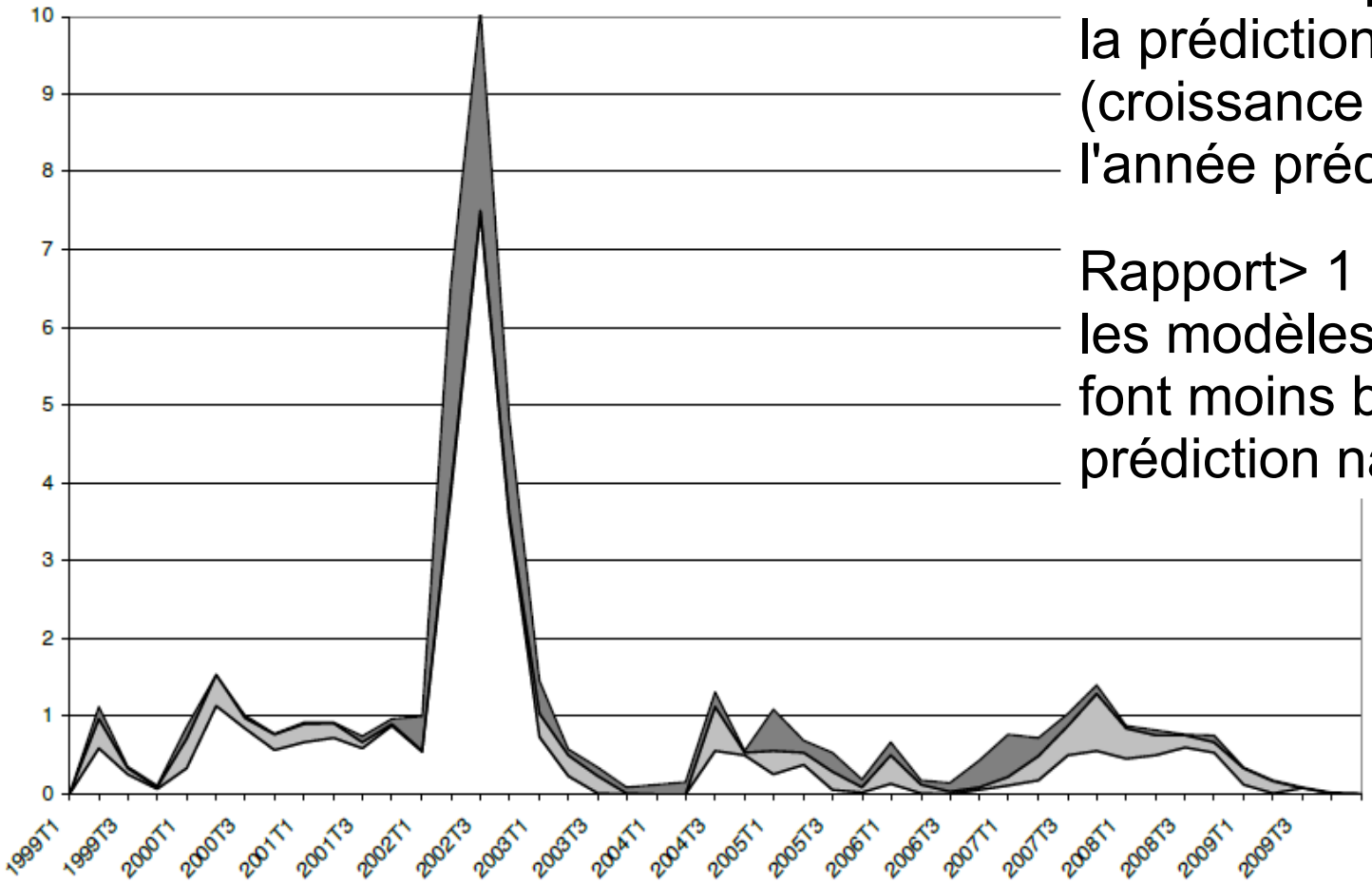
Figure 3-1

IMF World Real GDP Growth Forecast, 2010–2020



Source: International Monetary Fund (IMF).

Prédire la croissance ?

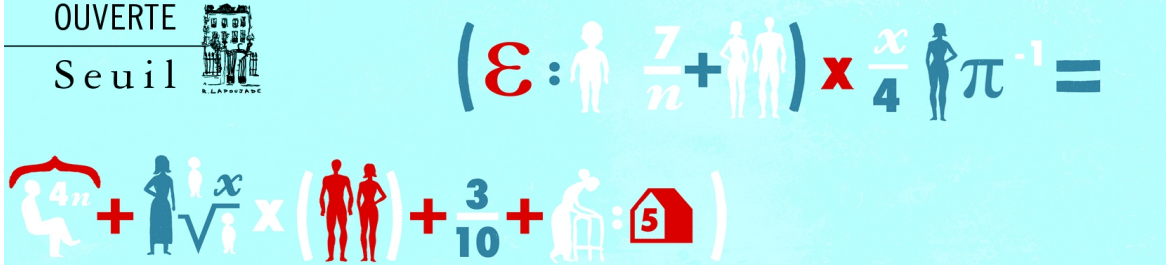


Rapport des erreurs de prédiction entre les modèles sophistiqués et la prédiction naïve (croissance identique à l'année précédente).

Rapport> 1 signifie que les modèles sophistiqués font moins bien que la prédiction naïve.

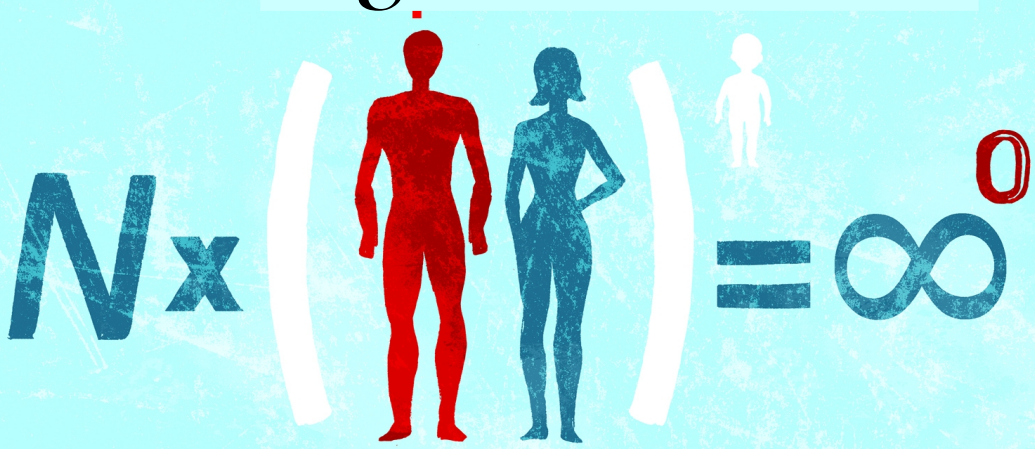
SCIENCE OUVERTE

Seuil



PABLO JENSEN

Pourquoi la société ne se laisse pas mettre en algorithmes ??



Psychological Review
Vol. 65, No. 6, 1958

THE PERCEPTRON: A PROBABILISTIC MODEL FOR INFORMATION STORAGE AND ORGANIZATION IN THE BRAIN[1]

F. ROSENBLATT

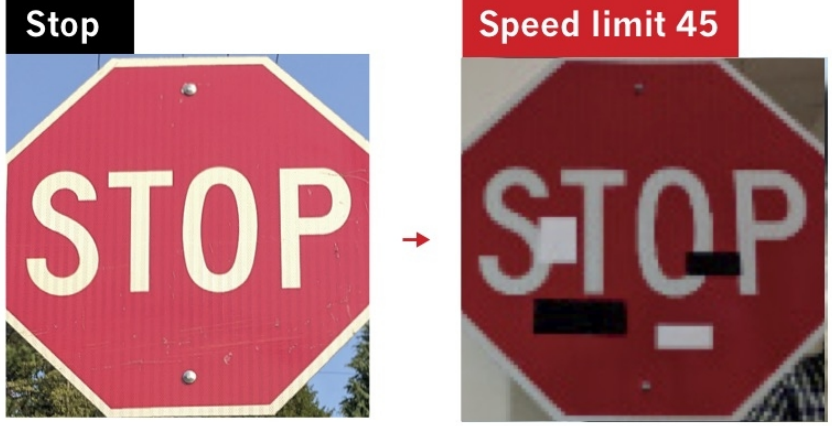
Cornell Aeronautical Laboratory

Seen from this viewpoint, the most suggestive work, from the standpoint of the following theory, is that of Hebb and Hayek.

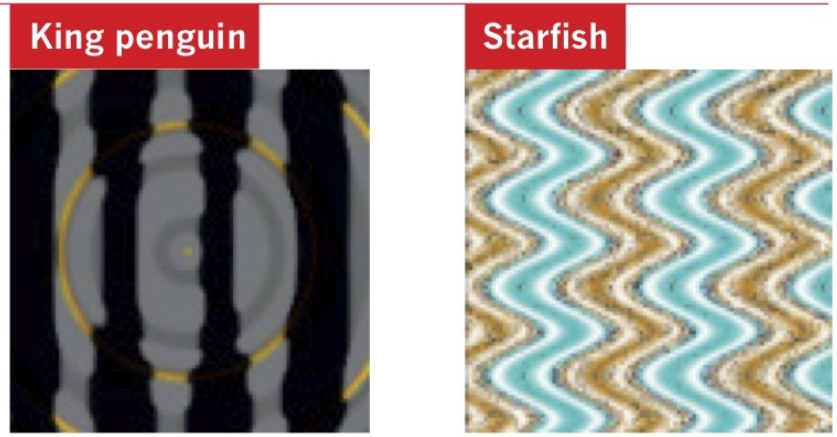
The position, elaborated by Hebb (7), Hayek (6), Uttley (16), and Ashby (1), in particular, upon which the theory of the perceptron is based, can be summarized by the following assumptions:

Tromper l'IA

These stickers made an artificial-intelligence system read this stop sign as ‘speed limit 45’.



Scientists have evolved images that look like abstract patterns — but which DNNs see as familiar objects.



Adding carefully crafted noise to a picture can create a new image that people would see as identical, but which a DNN sees as utterly different.

“Il n'y a pas de solution pour cette fragilité fondamentale des réseaux profonds" (François Chollet, AI-Google) Nature, 10/10/19

Pourquoi les équations sociales ne sont pas fiables

- **Complexité de la causalité sociale**
  - Effet de cadrage : quelles variables pertinentes?
  - Enormément de variables, hétérogéneité des humains...
  - Aussi en physique (modèles météo) → méthode analytique !
  - Pas si utile en sciences sociales, pas de lois de conservation, stables, tout dépend de tout (prix étage élevé)

- **Politique de la modélisation**
  - Réflexivité des humains, qui réagissent aux prévisions
  - Dompter les humains pour les modéliser?!
  - Déjà fait par État pour « statistiques » (noms famille, cadastre...)

Numérique, quantitatif ?

- Sociétés virtuelles composées d'atomes sociaux ? Échec !
  → Partir de ‘données’ réelles, non de mécanismes postulés.
- **Si** obtenues de manière appropriée, "imprégnées" par la réalité sociale → informations pertinentes
- Point critique : **pertinence** des données (obtenues?) analysées. Données pour une question, ou questions pour des données ?
- Quelles approches mathématiques pour extraire des informations ?
  - Indicateurs → partager connaissances (simplifiées) sur un système complexe (classement des universités, température…)
  - Statistiques = démêler les contributions des différentes causes possibles (mortalité à cause de la pollution de l’air?)
  - apprentissage automatique ~ boîte noire
  - Réseaux…

Numérique, quantitatif ?

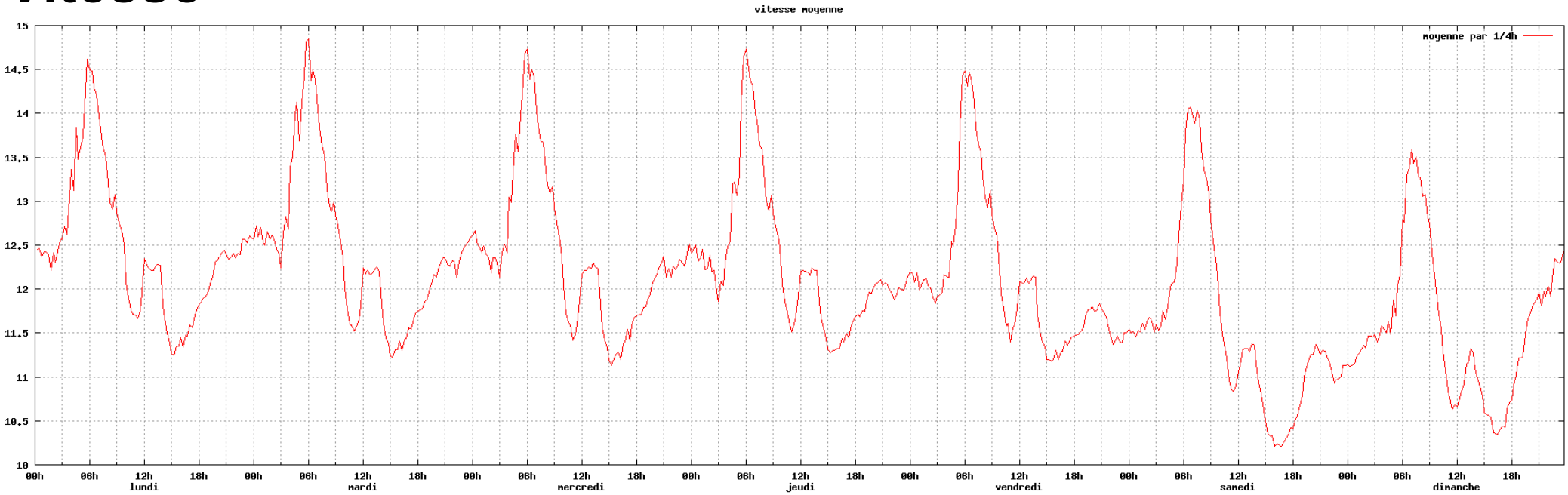
- Approches mathématiques peuvent être pertinentes pour :
  - mettre en doute un modèle intuitif (→ mieux penser)
  - tenter de généraliser les résultats à travers différents cas
  - embrasser un 'grand' objet, regard global ~ logistique
- Apprend-on du nouveau (/ SHS ou intuition commune) ?
- Analyse mathématique utile pour qui ? Dirigeants ?
- Descriptions qualitatives approfondies souvent le meilleur moyen de rendre compte de la complexité de situations spécifiques (face à l'ignorance profonde)

Exemple d'analyse de données réelles

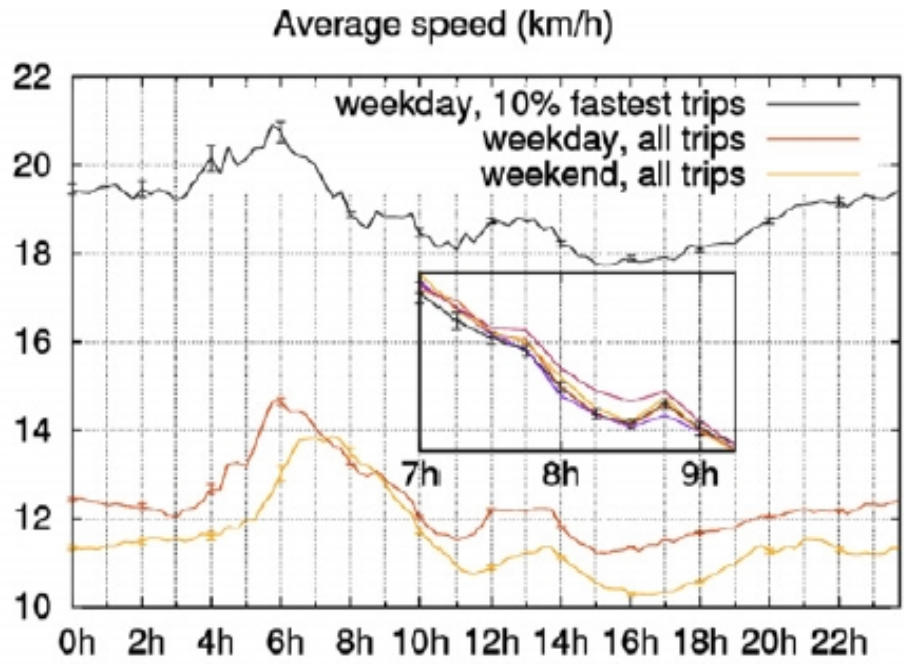
Utilisation des Velov (Lyon) : 13 millions voyages

Comparaison distance réelle et théorique : environ 30% des Veloveurs prennent des sens interdits ou trottoirs... (plus le matin en semaine que le week-end)

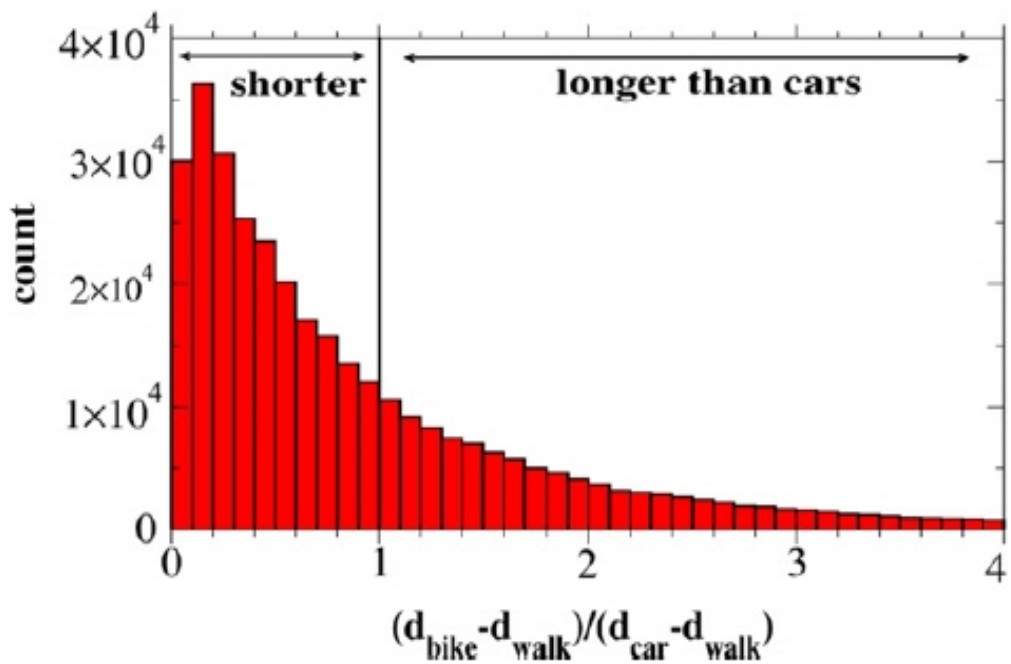
Vitesse



Jour, heure



Note: Bars give the 95% confidence interval.



Modélisation participative des grandes bases de données sociales

- Exemple **sciences de l'éducation** : projet EducMap, avec chercheurs IFÉ, ICAR (Kris Lund, ENS de Lyon)
  - Éducation ***défini par*** ensemble articles de revues 'sciences de l'éducation' d'après HCERES (55000 articles base *SCOPUS*)

- Quelles thématiques abordées ? Quelle structuration du domaine ?
- Plus généralement, quelle place par rapport aux sciences humaines et sociales ? Un champ cohérent et isolé (comme l'économie ?) ou plusieurs thématiques avec de fortes interfaces avec d'autres disciplines ?

Linking articles by bibliographic coupling

VOLUME 61, NUMBER 23

Diffusion of gold nanoclusters on graphite

Laurent J. Lewis*
ɔupe de Recherche en Physique et Technologie des Couches Minces
Postale 6128, Succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada H

[7] P. Deltour, J.-L. Barrat, and P. Jensen, Phys. Rev. Lett. **78**, 4597 (1997).
[8] J.C. Charlier, A. DeVita, X. Blase, and R. Car, Science **275**, 646 (1997).
[9] W.D. Luedtke and U. Landman, Phys. Rev. Lett. **82**, 3835 (1999).
[10] V. Paillard, P. Melinon, J.P. Perez, V. Dupuis, A. Perez, and B. Champagnon, Phys. Rev. Lett. **71**, 4170 (1993).
[11] See, for instance, A. Perez, P. Melinon, V. Dupuis, P. Jensen, B. Prevel, J. Tuaillon, L. Bardotti, C. Martet, M. Treilleux, M. Broyer, M. Pellarin, J.L. Vialle, and B. Palpant, Physica D **30**, 709 (1997).
[12] P. Jensen, Rev. Mod. Phys. **71**, 1695 (1999).
[13] *Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications*, edited by A.S. Edelstein and R.C. Cammarata (IOP, Bristol, 1996); *Nanoparticles and Nanostructured Films*, edited by J.H. Fendler (Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 1998).
[14] G. Fuchs, P. Melinon, F. Dos Santos Aires, M. Treilleux, B. Cabaud, and A. Hoareau, Phys. Rev. B **44**, 3926 (1991); C. Bréchignac, Ph. Cahuzac, F. Carlier, C. Colliex, C. Mory, M. de Frutos, A. Masson, and B. Yoon, *ibid.* **57**, R2084 (1998).
[15] L. Bardotti, P. Jensen, M. Treilleux, A. Hoareau, and B. Cabaud, Phys. Rev. Lett. **74**, 4694 (1995).

Diffusion of nanoclusters on non-ideal surfaces

Pablo Jensen[a,*], Arnaud Clément[a], Laurent J. Lewis[b]
ıtoire de Physique de la Matière Condensée et des Nanostructures, Université Claude-Bernard Lyon-I, CNRS
Bat L Brillouin, Villeurbanne Cédex 69622, France
ment de Physique et Groupe de Recherche en Physique et Technologie des Couches Minces (GCM), Universi
Case Postale 6128, Succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada H3C 3J7

[2] L. Bardotti, P. Jensen, M. Treilleux, A. Hoareau, B. Cabaud, Phys. Rev. Lett. 74 (1995) 4694.
[3] P. Deltour, J.-L. Barrat, P. Jensen, Phys. Rev. Lett. 78 (1997) 4597.
[4] A. Masson, J.J. Métois, R. Kern, Surf. Sci. 27 (1971) 463.
[5] P. Jensen, Rev. Mod. Phys. 71 (5) (1999) 1695.
[6] L. Lewis, P. Jensen, N. Combe, J.L. Barrat, Phys. Rev. B 61 (2000) 16084.
[7] W.D. Luedtke, U. Landman, Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 3835.
[8] M. Flüelli, P.A. Buffat, J.-P. Borel, Surf. Sci. 202 (1988) 343.
[9] Ph. Buffat, J.-P. Borel, Phys. Rev. A 13 (1976) 2287; J.-P. Borel, Surf. Sci. 106 (1981) 1.

Cluster detection with modularity maximization (Newman, 2004)

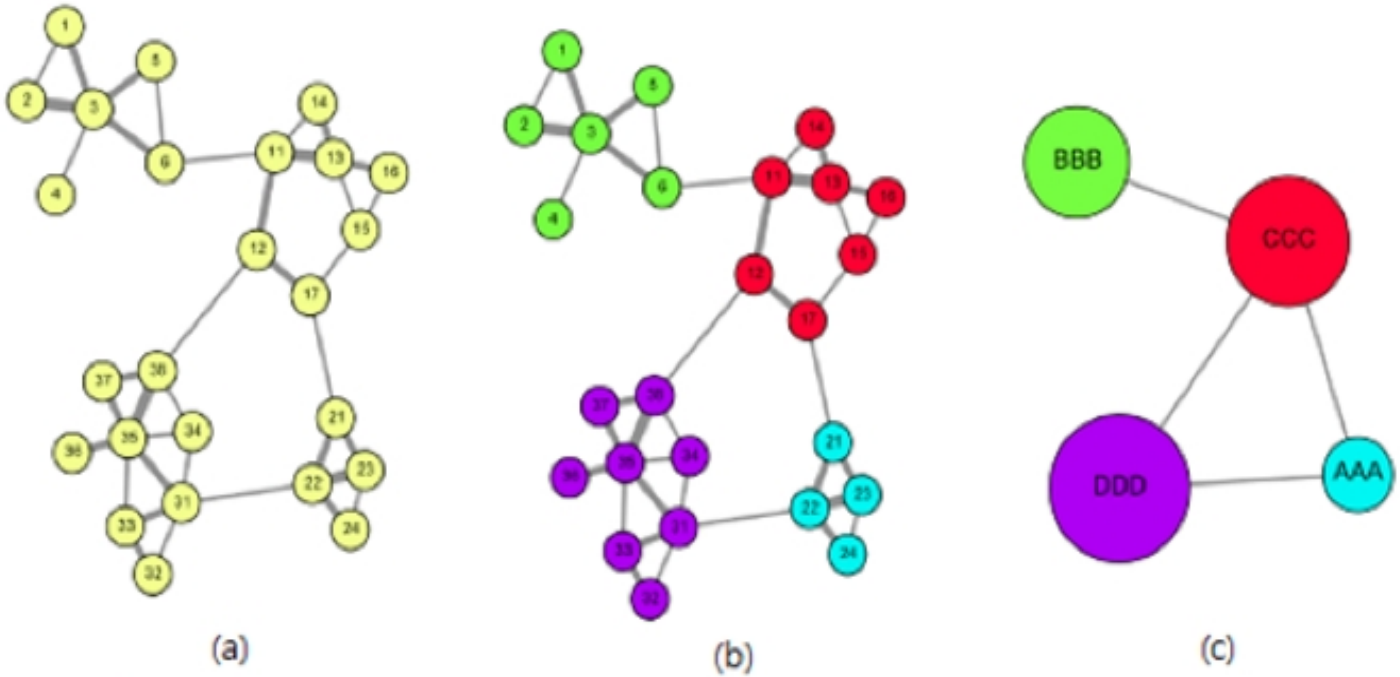
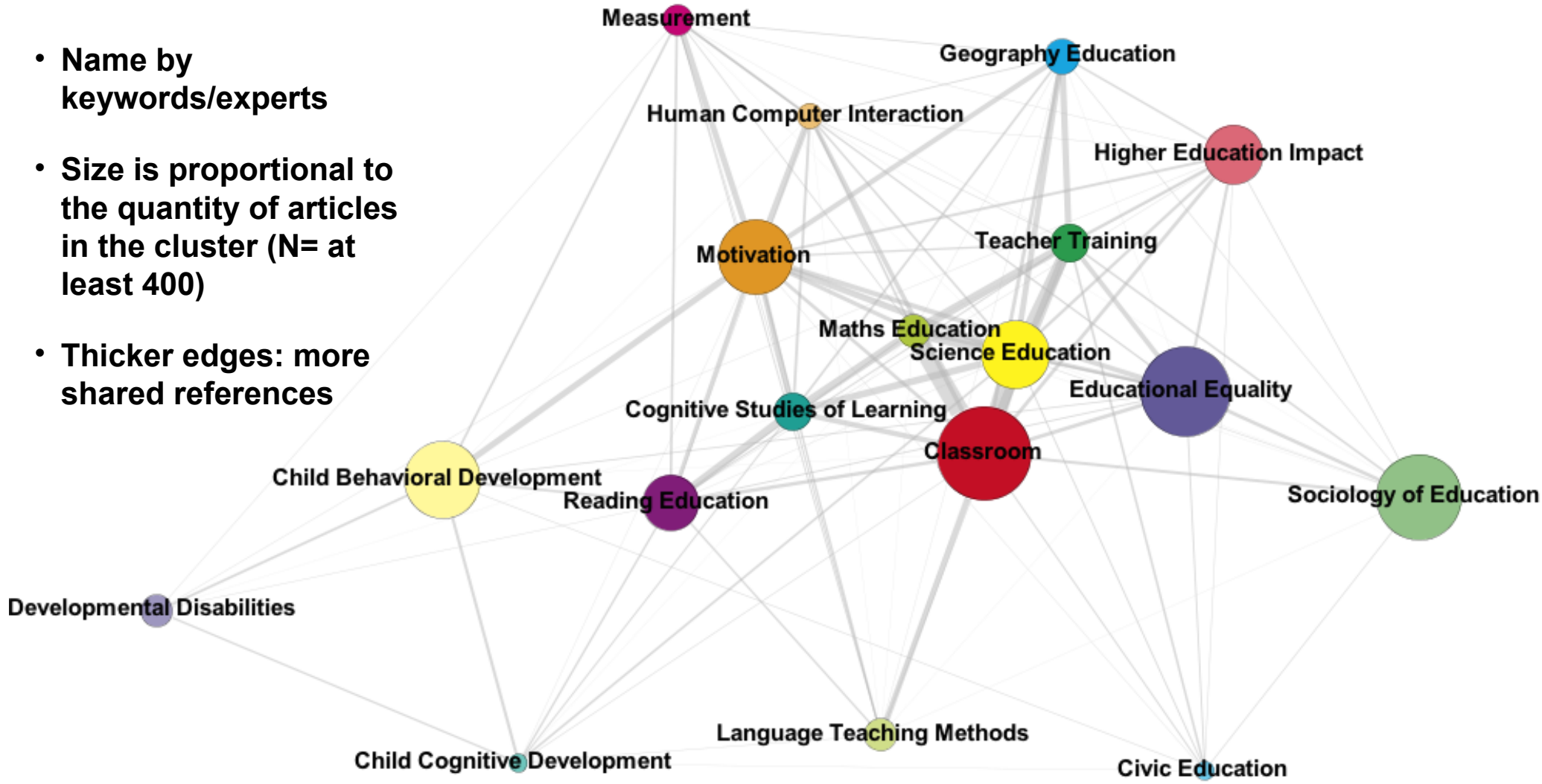


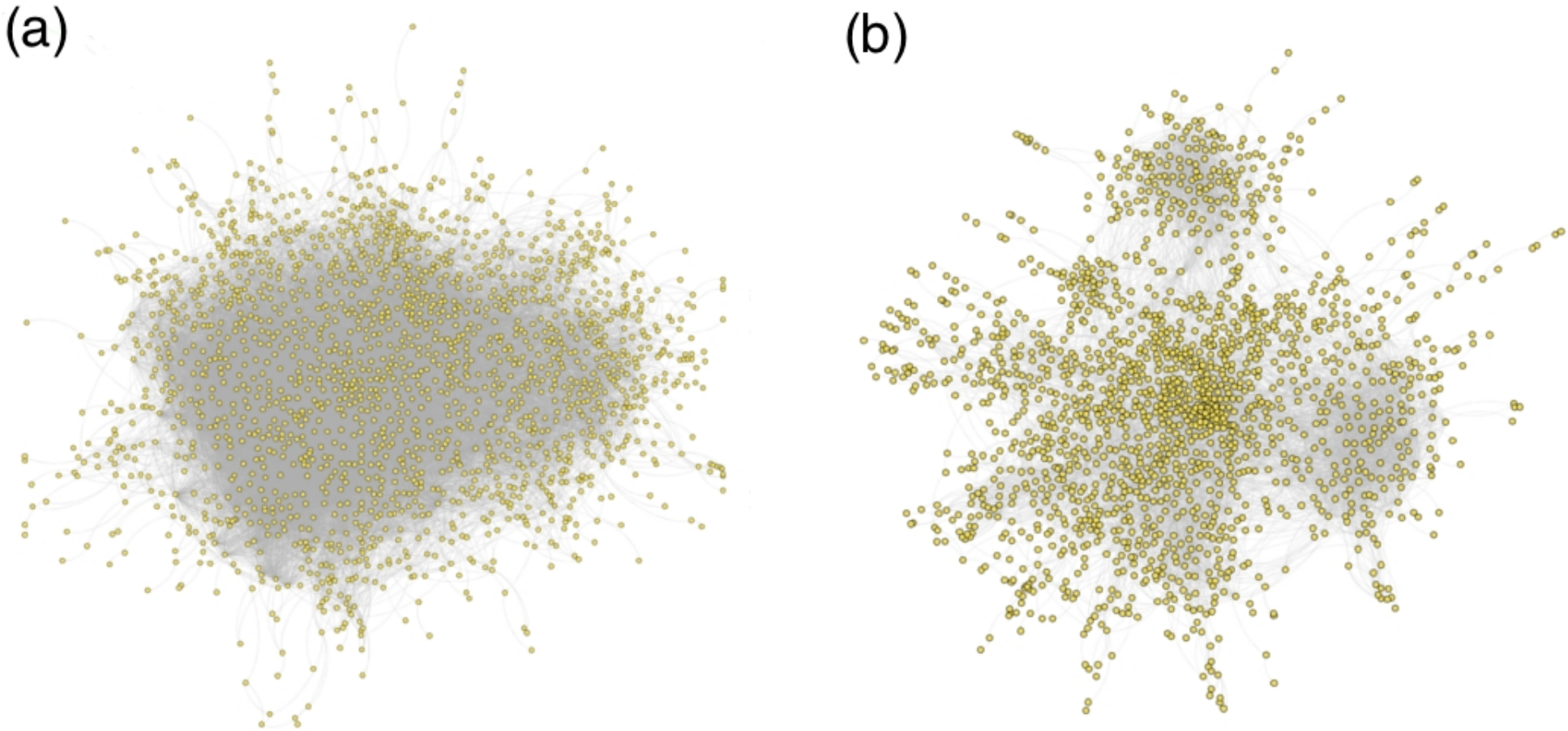
Figure 2. *Cluster detection.*

- Publications need to share at least three references
- Publications in the same cluster do not have to be linked directly
- Publications in different clusters may share references, but only a few
- Clusters vary in size and cohesiveness

Thématiques articles = éducation

- Name by keywords/experts
- Size is proportional to the quantity of articles in the cluster (N= at least 400)
- Thicker edges: more shared references



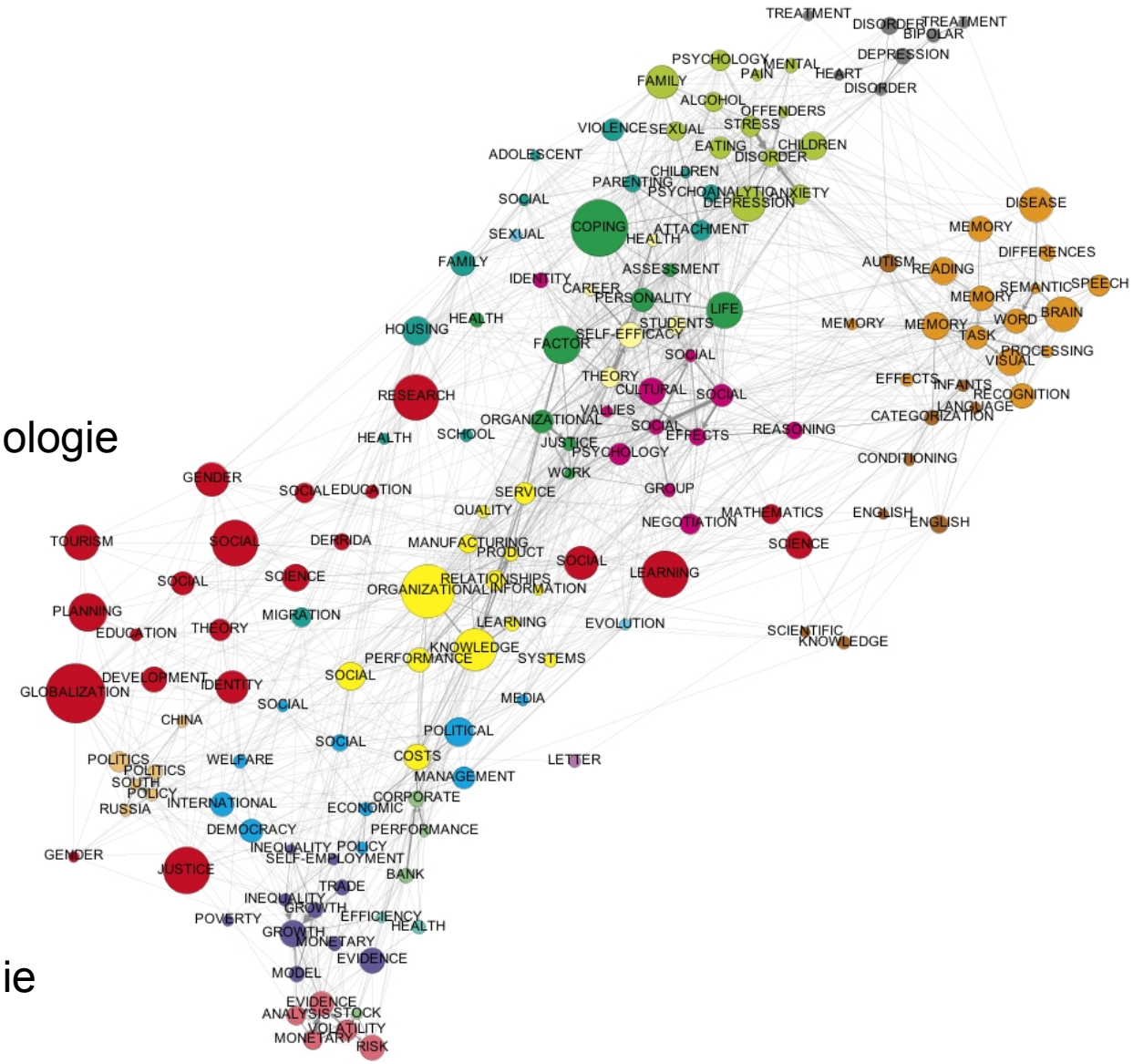


Articles (ronds jaunes) de deux thématiques

(a) “Sciences de l’Apprentissage”, forte cohésion

(b) “Sociologie de l’Éducation”, hétérogène, plusieurs sous-thématiques reliées à Sociologie

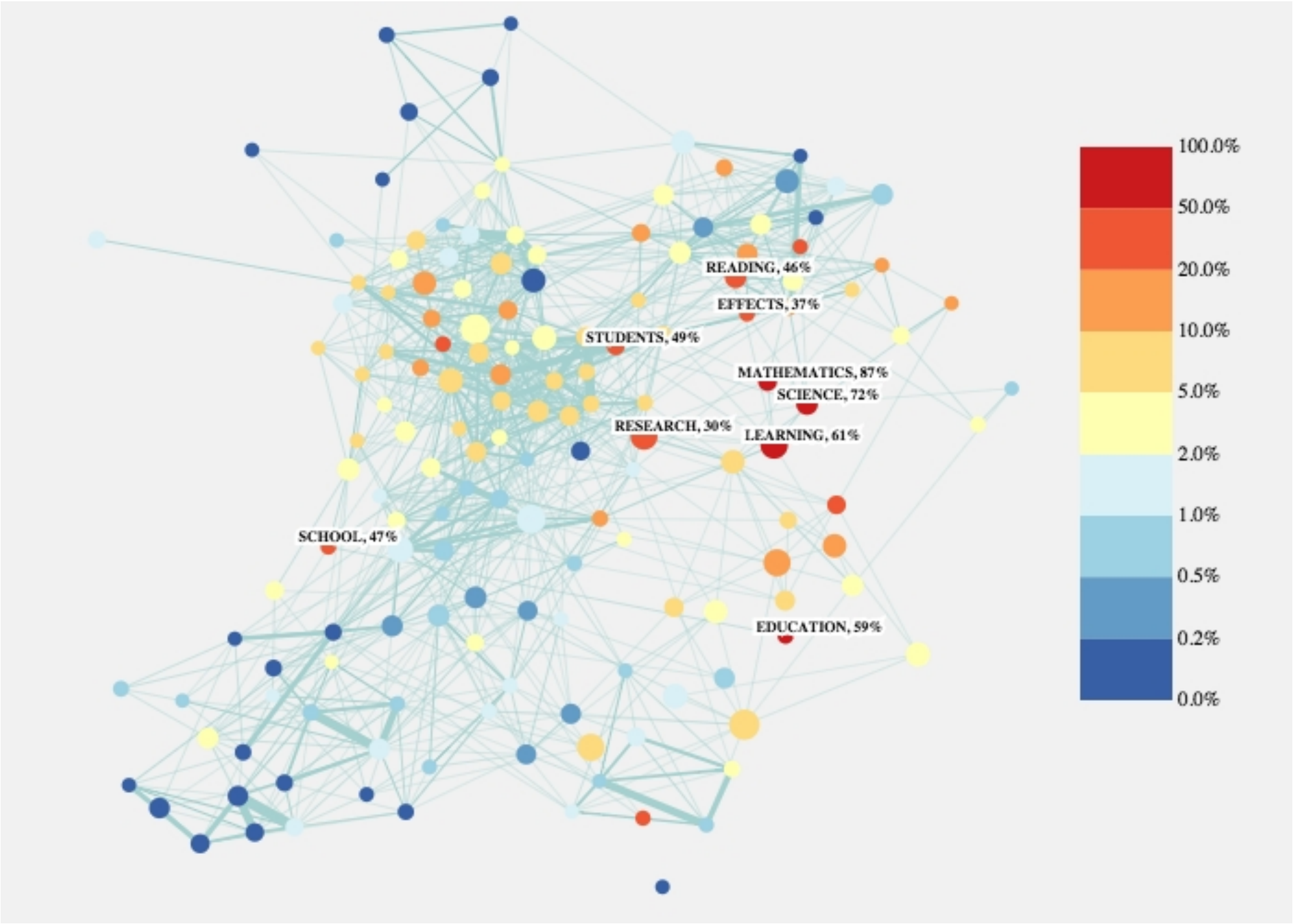
Thématiques articles = SHS



psychologie

économie

123,000 articles published in year 2000 in Scopus “Social sciences”



Proportion d'articles d'éducation (== dans la base éducation), dans chaque groupe SHS

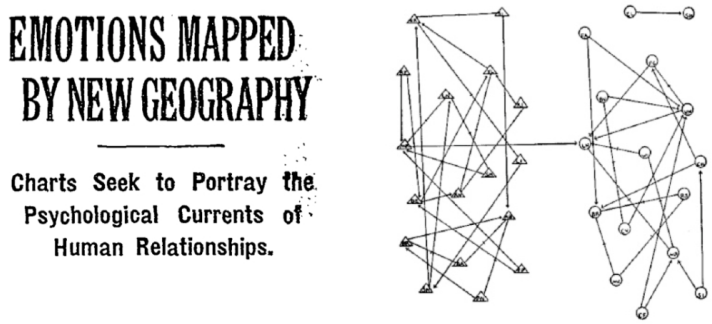
Conclusions EducMap

- Questions de recherche :
  - Place de la recherche en éducation / sciences sociales ?
  - Cohésion / ouverture ?

- Recherche en éducation pas discipline unique, opposé à psychologie ou économie très cohésifs
  - Quelques thématiques cohésives (apprentissage, éducation scientifique…), majorité peu cohésives (linguistique, sociologie… où éducation = objet de recherche parmi d'autres)
  - articles d'éducation + connectés à articles d'autres domaines (psychologie) que les autres articles SHS : ouverture, mais absence de vision partagée ?

What Do We See When We Look at Networks?

Tommaso Venturini, M Jacomy, P Jensen (Big Data & Society, 2021)


EMOTIONS MAPPED BY NEW GEOGRAPHY

Charts Seek to Portray the Psychological Currents of Human Relationships.

OPEN ACCESS Freely available online

PLOS | ONE

ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software

Mathieu Jacomy[1,2,3]*, Tommaso Venturini[1], Sebastien Heymann[3,4], Mathieu Bastian[3]

1 Sciences Po, médialab, Paris, France, **2** Equipex DIME SHS, Paris, France, **3** Gephi Consortium, Paris, France, **4** LIP6 - CNRS - Universite Pierre et Marie Curie, Paris, France

$$F_a(n_1,n_2) = d(n_1,n_2)$$

Attraction pour nœuds **connectés**

$$F_r(n_1,n_2) = k_r \frac{(deg(n_1)+1)(deg(n_2)+1)}{d(n_1,n_2)} \quad (2)$$

Répulsion pour tous les nœuds**, degré**

Société et numérique = *outil* au service du politique ?

- *Polytechnique, "Limites IA"* : question d'une Europe impuissante? USA/Chine les éprouvent en pratique...
- Profonde mutation écologique → pilotage sociétés **+ complexe** (maîtrise émissions...)
- États totalitaires → OK contrôle via centralisation accrue grâce à IA
- **Mais** le problème, c'est le politique, pas le numérique.
  - Numérique = *outil* au service d'un projet commun. Problème = manque projet collectif pour faire face aux inégalités et à la catastrophe écologique !
  - Faire pari que les potentiels émancipateurs IA et outils numériques encore inexploités ? Création instruments de planification et de coordination, grâce à la richesse de leurs données, alors que les marchés n'utilisent que les prix ?
- Tension inévitable si partage Terre entre 10 miliards humains ?

Politique des modèles simples ?

Page: 22
Edition:(FRA)
Suppl.:
Rubrique:

Le Monde

Pourquoi des élections si serrées ?

Mexique, Italie, Allemagne : les scrutins se décident à quelques voix près. Un scientifique explique

Serge [redacted]

Physicien au CNRS, membre du Centre de recherche en épistémologie appliquée (CREA) de l'Ecole polytechnique

Le Mexique se trouve dans un paradoxe démocratique que l'on a toujours cru impossible car totalement improbable. Un président conservateur a

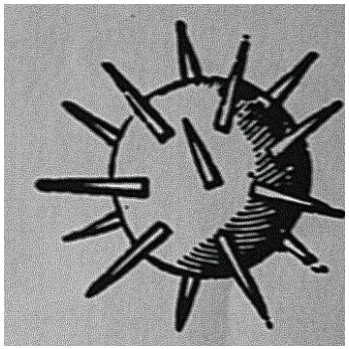
démocratiques repose sur l'acceptation générale qui donne tout le pouvoir au candidat majoritaire, au détriment du candidat minoritaire. Ce qui suppose bien sûr l'existence d'une majorité claire. Mais la

converger vers une parfaite égalité. C'est exactement un tel phénomène qui a été observé en Italie, au Mexique, en Allemagne et aux Etats-Unis. Il faut rappeler que les sondages de début de campagne prédi-

Numérique = *outil* au service du politique ?

- techno-utopistes promeuvent l'accélération parce qu'elle supplanterait automatiquement les conflits sociaux, nous estimons que LA TECHNOLOGIE DEVRAIT ÊTRE ACCÉLÉRÉE AFIN DE NOUS AIDER À GAGNER CES CONFLITS SOCIAUX.
- IMPORTANT POUR MODÉLISATION, QUANTIFICATION ~ SG
- 8. Nous pensons que le postcapitalisme aura besoin de PLANNING POSTCAPITALISTE. Croire que, après une révolution, les gens pourraient constituer spontanément un nouveau système socio-économique, différent d'un simple retour au capitalisme, cela relève d'une foi au mieux naïve, au pire ignorante. Pour faire face à ce défi, nous devons développer à la fois une cartographie cognitive du système existant et une image spéculative du système économique à venir.
- 9. Pour ce faire, la gauche doit tirer parti de toute avancée scientifique et technologique rendue possible par la société capitaliste. Nous déclarons que LA QUANTIFICATION N'EST PAS

Sommes-nous des atomes sociaux?



Formule similaire en physique, sociologie, économie

action = caractéristiques internes & contexte présent

Physique : interne = noyau, Z; contexte = autres atomes -> Force -> Action

En pratique, observe action et partie du contexte, et veut en déduire/extrapoler "interne", mais :

- Vérifiable ? -> sinon, atomes citron
- Stable? -> sinon ne permet de prédire/comprendre/contrôler une autre action...

Physique ok, sciences sociales non

Le rêve du tigre (dis)continuité

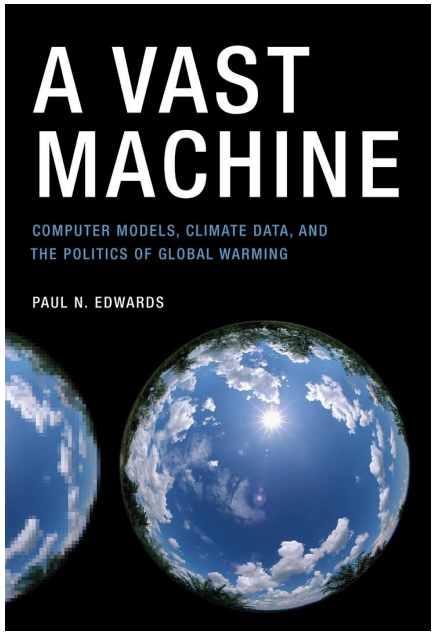
Construire une explication en physique, c'est comme transformer un tigre sauvage, sautant dans la jungle, en un tigre dompté, sautant dans un cerceau de feu dans un cirque.

On sélectionne et stabilise une partie des sauts potentiels par un investissement lourd en équipements et institutions.

Dompter le tigre différent de "découvrir le monde", responsabilité des chercheurs: dans quel sens on l'a dompté?

Et le tigre rêve souvent de retourner sauter dans la jungle...

A trustable virtual Earth



A virtual Earth locked up in computers, set up to reproduce as much as possible the real atmosphere, but more manipulable, more docile, to allow us to speed up time and make predictions, or to go back in time to better understand the gaps between predictions and reality.

This virtual Earth must be regularly **"fed"** by observations to behave properly. And it has an enormous appetite: it needs values for each of its ~ 5 million cells. But in the 2000s global models included five million cubes, when only 50,000 observations were available. To solve this problem, the first idea was to feed cubes with no data by computing average values from the nearest stations. Gradually, it was realized that **it was smarter to do the opposite**. Run several simulations with different starting conditions and, for each, compute the expected values of the observations at each station. By comparing expected and real values, one can privilege the simulations with the smallest deviations. The key point is that, in this way, the internal consistency of the model **(mass or energy conservation) is ensured**.

FUKUSHIMA, 11 mars 2011

Dans cette situation extrême, les procédures et manuels de gestion de crise deviennent inutiles. Aucune procédure ne prévoit ce qui se passe, les autorités politiques ne savent pas quoi faire, le directeur de la centrale est coupé du monde.

« La centrale s'est libérée des hommes. Il ne s'agit plus ici de l'exploiter, de la contrôler, de la maintenir, mais bien de la combattre. Un combat à mort. »

Is (nano)science universal ?

1 - Structure d'un domaine scientifique en partant articles :

- Délimiter l'objet d'étude (requête) → données
- Créer réseau à partir des articles, liens par références partagées
- Analyser le réseau : sous-domaines par clustering (bottom-up!)

2 – Paysage international :

- Profil de chaque pays selon les sous-domaines
- Principaux profils : le « nanoscape », par ACP
- Un monde multipolaire : US (bionano), Chine (électronique), Russie (métallurgie), Iran/Af Sud (chimie)

Retrieving nanoscience articles

Requête : standard query defined by Arora et al :

- Keywords : nano*, quantum dots, fullerenes, graphene...
- Combined to several experimental techniques (such as "magnetic force microscopy")
- All the records from nanoscience reference journals (e.g. "Nature Nanotechnology")

→ 340 350 articles pour années 2010–2012

Exemple de sous-domaine :
graphenePHYS = « physics of graphene sheets »

Table 37: The community id 9 contains $N = 8695$ articles. Its average internal link weight is $< \omega_{in} >$

Keyword	f(%)	σ
GRAPHENE	29.80	193.32
FILMS	18.72	45.08
GRAPHITE	16.19	137.95
CARBON NANOTUBES	10.72	36.17
TRANSPORT	8.40	41.64
EPITAXIAL GRAPHENE	7.88	137.02
CARBON	6.98	47.17
GAS	6.84	80.97
LARGE-AREA	6.11	104.27
NANORIBBONS	5.23	86.54
TRANSISTORS	5.05	53.51
CHEMICAL-VAPOR-DEPOSITION	4.96	31.04
SPECTROSCOPY	4.34	8.39
SHEETS	4.28	47.10
BILAYER GRAPHENE	4.20	108.65
RAMAN-SPECTROSCOPY	4.01	42.21
SCATTERING	3.91	25.20
SUSPENDED GRAPHENE	3.65	98.13
ELECTRONIC-PROPERTIES	3.35	47.68
PHASE	3.32	21.52

Title Words	f(%)	σ
GRAPHENE	74.12	357.39
PROPERTIES	7.74	-5.01
NANORIBBONS	7.74	129.19
ELECTRONIC	6.65	49.49
TRANSPORT	6.42	42.07
QUANTUM	6.21	9.27
EFFECT	5.93	4.47
CARBON	5.92	-3.51
BILAYER	5.73	86.99
MAGNETIC	4.40	3.98

Journal	f(%)	σ
PHYS REV	16.15	93.25
APPL PHYS LET	8.06	39.77
NANO LET	4.19	34.46
ACS NAN	3.73	25.61
J APPL PHY	3.16	10.37
PHYS REV LET	2.99	28.57
J PHYS CHEM	2.52	3.88
J PHYS-CONDENS MA	2.32	32.22
NANOTECHNOLOG	2.05	10.67
CARBO	2.04	20.51

Country	f(%)	σ
Usa	31.18	20.30
Peoples r china	19.83	-8.80
Japan	9.17	6.98
Germany	8.66	4.64
South korea	6.82	1.46
England	4.90	5.16
France	4.86	-0.10
Russia	4.73	10.49
Singapore	4.22	17.16
Spain	4.12	5.33

Author	f(%)	σ
Peeters FM	0.79	37.33
Novoselov KS	0.75	46.92
Katsnelson MI	0.69	42.89
Lin MF	0.67	41.41
Ruoff RS	0.62	28.70
Chen YP	0.60	25.10
Hong BH	0.59	37.38
Otsuji T	0.58	41.00
Guinea F	0.58	41.00
Li H	0.54	5.68

Reference	f(%)	σ
Novoselov KS, 2004, SCIENCE (306), 666	46.79	296.63
Castro neto AH, 2009, REV MOD PHYS (81), 109	31.10	290.71
Geim AK, 2007, NAT MATER (6), 183	30.13	221.68
Novoselov KS, 2005, NATURE (438), 197	30.10	279.27
Zhang YB, 2005, NATURE (438), 201	24.34	251.14
Li XS, 2009, SCIENCE (324), 1312	13.43	181.50
Ferrari AC, 2006, PHYS REV LETT (97), 0	13.09	169.19
Kim KS, 2009, NATURE (457), 706	12.36	155.97
Berger C, 2006, SCIENCE (312), 1191	10.85	154.25
Geim AK, 2009, SCIENCE (324), 1530	10.56	129.92
Han MY, 2007, PHYS REV LETT (98), 0	10.43	169.76
Son YW, 2006, PHYS REV LETT (97), 0	9.14	156.69
Lee C, 2008, SCIENCE (321), 385	9.10	116.18
Reina A, 2009, NANO LETT (9), 30	8.74	140.45
Novoselov KS, 2005, P NATL ACAD SCI USA (102), 10451	8.49	131.57
Li XL, 2008, SCIENCE (319), 1229	8.09	122.62
Bolotin KI, 2008, SOLID STATE COMMUN (146), 351	7.97	134.94
Schedin F, 2007, NAT MATER (6), 652	7.86	118.36
Son YW, 2006, NATURE (444), 347	7.38	136.37
Katsnelson MI, 2006, NAT PHYS (2), 620	7.31	143.83

RefJournal	f(%)	σ
PHYS REV LETT	85.57	132.37
PHYS REV B	84.38	123.22
SCIENCE	80.93	86.47
NATURE	68.94	73.19
NANO LETT	65.67	86.20
APPL PHYS LETT	63.19	60.56
NAT MATER	54.77	99.03
NAT NANOTECHNOL	43.78	116.70
REV MOD PHYS	38.36	143.17
NAT PHYS	31.86	161.58

Subject	f(%)	σ
Physics, Condensed Matter	35.73	65.63
Physics, Applied	33.21	29.41
Materials Science, Multidisciplinary	28.94	0.11
Nanoscience & Nanotechnology	24.13	21.33
Chemistry, Physical	20.76	4.77
Chemistry, Multidisciplinary	15.09	-5.96
Physics, Multidisciplinary	11.64	42.13
Engineering, Electrical & Electronic	5.80	8.11
Physics, Atomic, Molecular & Chemical	3.61	4.44
Optics	2.81	-6.86

Main nanoscience subfields

Table 2. Main nanoscience subfields (more than 5,000 articles).

Cluster label	Topic	# articles	I
drugBIO	Drug delivery	32650	
nanotubesMAT	Mechanical properties of nanotubes	26749	
opticsMAT	Optical Properties	22173	
QDotsMAT	Quantum dots as probes	20632	
ZnOwiresMAT	ZnO nanowires	18682	
sievesCHEMPHYS	Molecular sieves. Mesoporous nanoparticles	16476	
theoryCHEMPHYS	Total energy calculations	16031	
proteinBIO	Protein dynamics	15099	
TiO_2MAT	TiO_2 solar cells, degradation	15052	
QDotsPHYS	Quantum dots for spintronics, study of quantum systems	14197	
metalMAT	Mechanical properties of metals	12833	
fibersBIO	Nanofibers in biomaterials	12429	
compositeMAT	Mechanical properties of nanocomposites	9902	
magnetPHYS	Magnetic films and nanoparticles	9137	
graphenePHYS	Electrical properties of nanosheets	8695	
grapheneMAT	Applications of graphene	7138	
orgaMAT	Polymer solar cells	6258	
HstorageCHEM	Coordination polymers	6004	
batteryCHEM	Nanoparticle batteries	5830	

Importance of bottom-up subfields

Capture important (but subtle for the outsider) differences between subfields. Example : two subfields related to “Quantum dots” :

- “QDotsMAT” mainly deals with luminescent semiconductor quantum dots, prepared in solvents and covalently coupled to biomolecules, for use in biological imaging and detection.

- “QDotsPHYS” prepares quantum dots by molecular beam epitaxy, and uses them for fundamental physics problems, such as spintronics, quantum coherence and quantum computing.

- This scientific difference is correlated to strong contrasts in the countries’ specializations. Emergent countries focus on the first subfield, while members of the OECD specialize in the second

- Similar contrast between “graphenePHYS” and “grapheneMAT”

Spécialisations des pays par sous-domaine

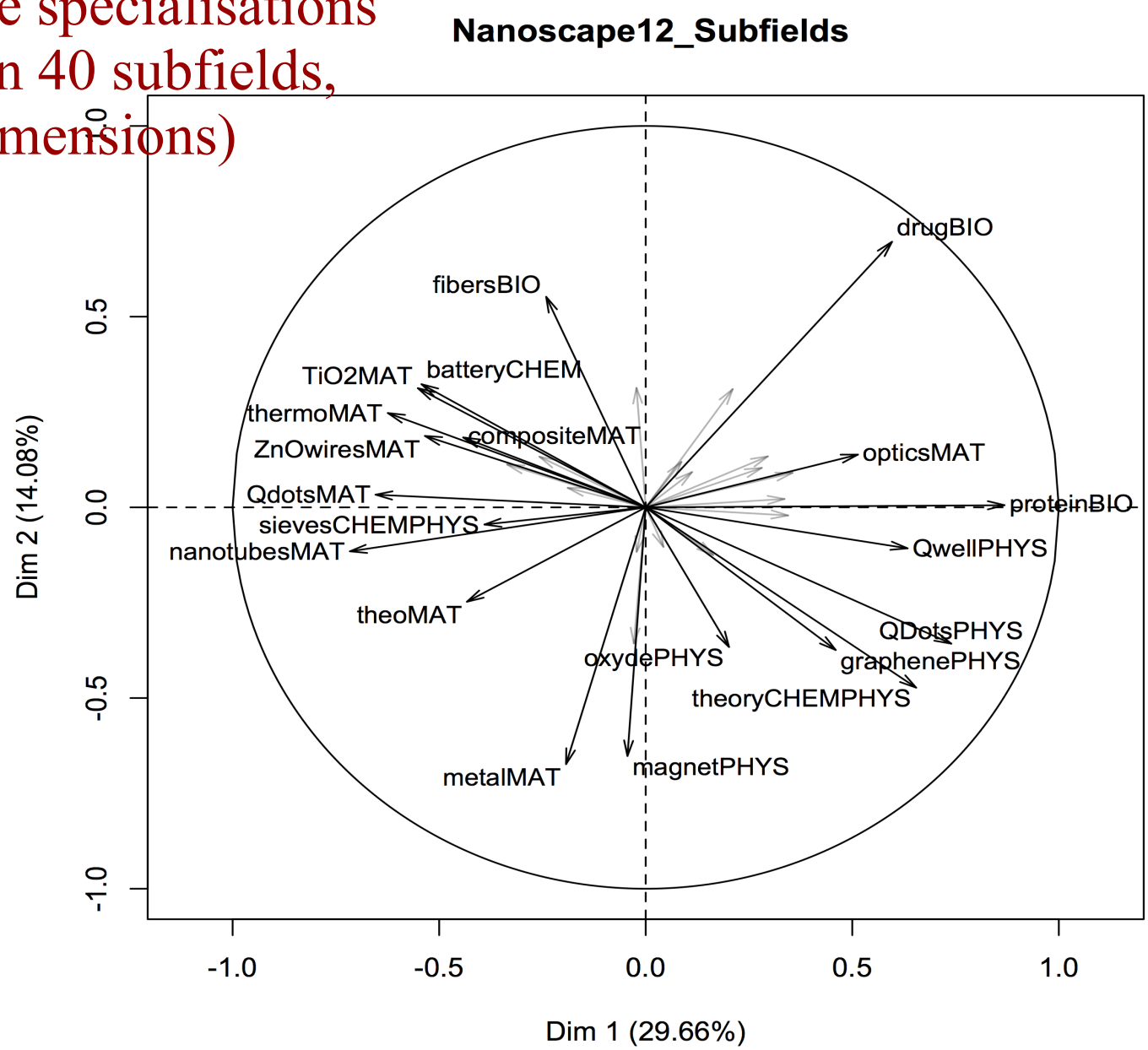
Proportion de publications dans chaque domaine, normalisé (si uniforme, aléatoire → 1.0)

S2 Dataset: Subfields data

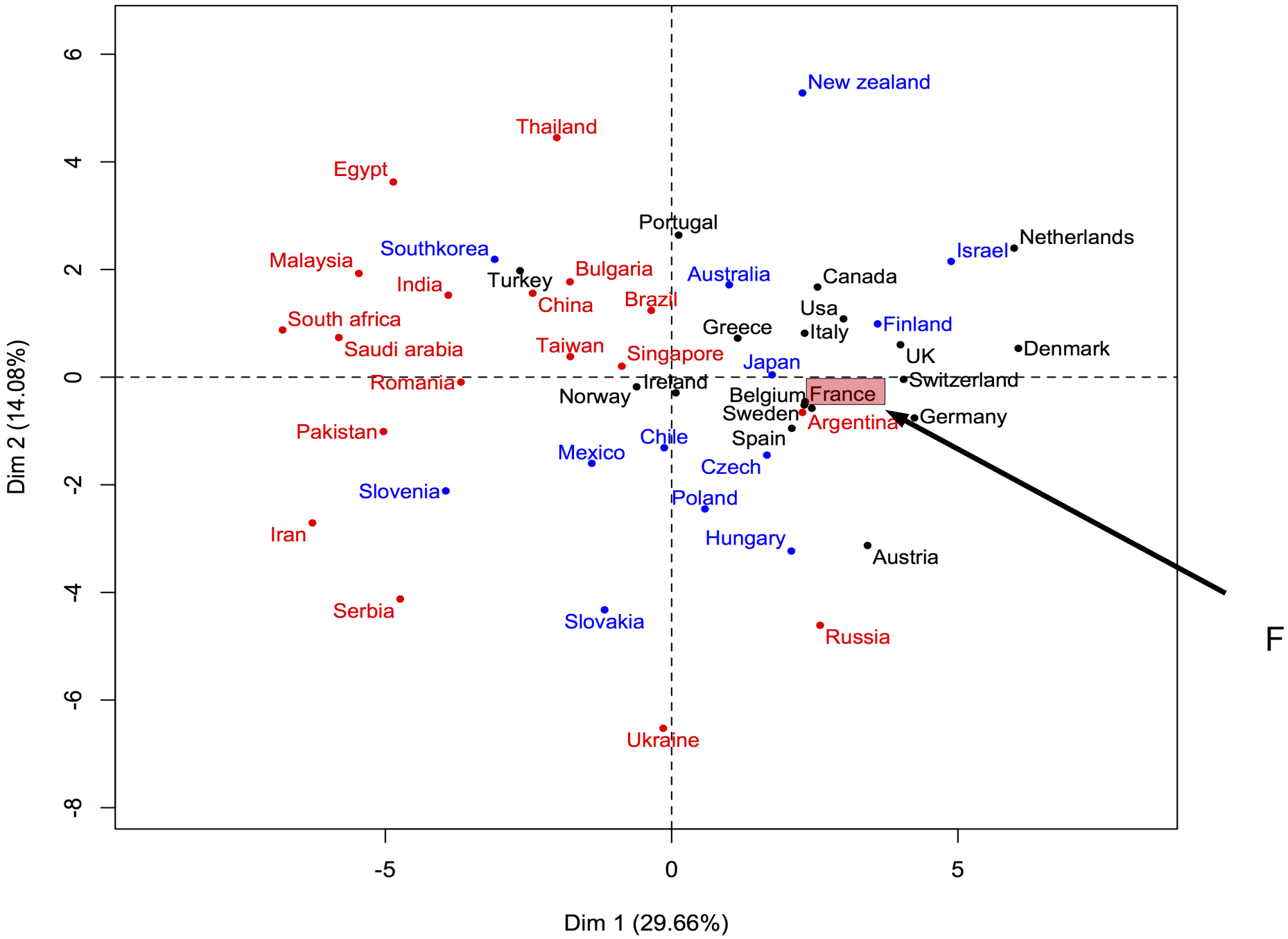
Subfield id	16	23	13	4	7	62	8	11
subfield name	drugBIO	nanotubesMAT	opticsMAT	QdotsMAT	ZnOwiresMAT	sievesCHEMPHYS	theoryCHEMPHYS	proteinBIO
Argentina	1.128	0.888	0.908	0.708	0.438	1.976	1.742	1.463
Australia	1.129	1.043	1.079	0.598	0.615	1.095	0.729	1.174
Austria	0.814	0.720	0.819	0.767	0.894	0.766	1.412	1.632
Belgium	1.096	1.159	0.781	0.854	0.807	0.930	1.501	1.338
Brazil	1.237	1.120	0.594	1.127	0.574	1.329	1.171	0.476
Bulgaria	1.091	1.010	0.756	1.246		1.491	1.100	0.881
Canada	1.210	0.912	1.196	0.966	0.578	1.093	0.855	1.599
Chile	0.827	1.224	0.823	0.447	0.944	1.049	1.498	0.964
China	0.901	0.918	1.068	1.336	1.118	1.404	0.811	0.346
Czech	0.807	0.845	1.196	1.065	0.488	0.578	1.308	1.009
Denmark	1.139	1.044	1.826	0.379	0.672	0.568	1.759	1.455
Egypt	1.253	1.416	0.581	1.479	1.227	1.333	0.474	0.111
Finland	1.124	1.022	1.166	0.384	0.511	0.614	1.218	1.107
France	1.095	0.855	0.862	0.823	0.961	1.031	1.245	1.287

The nanoscape

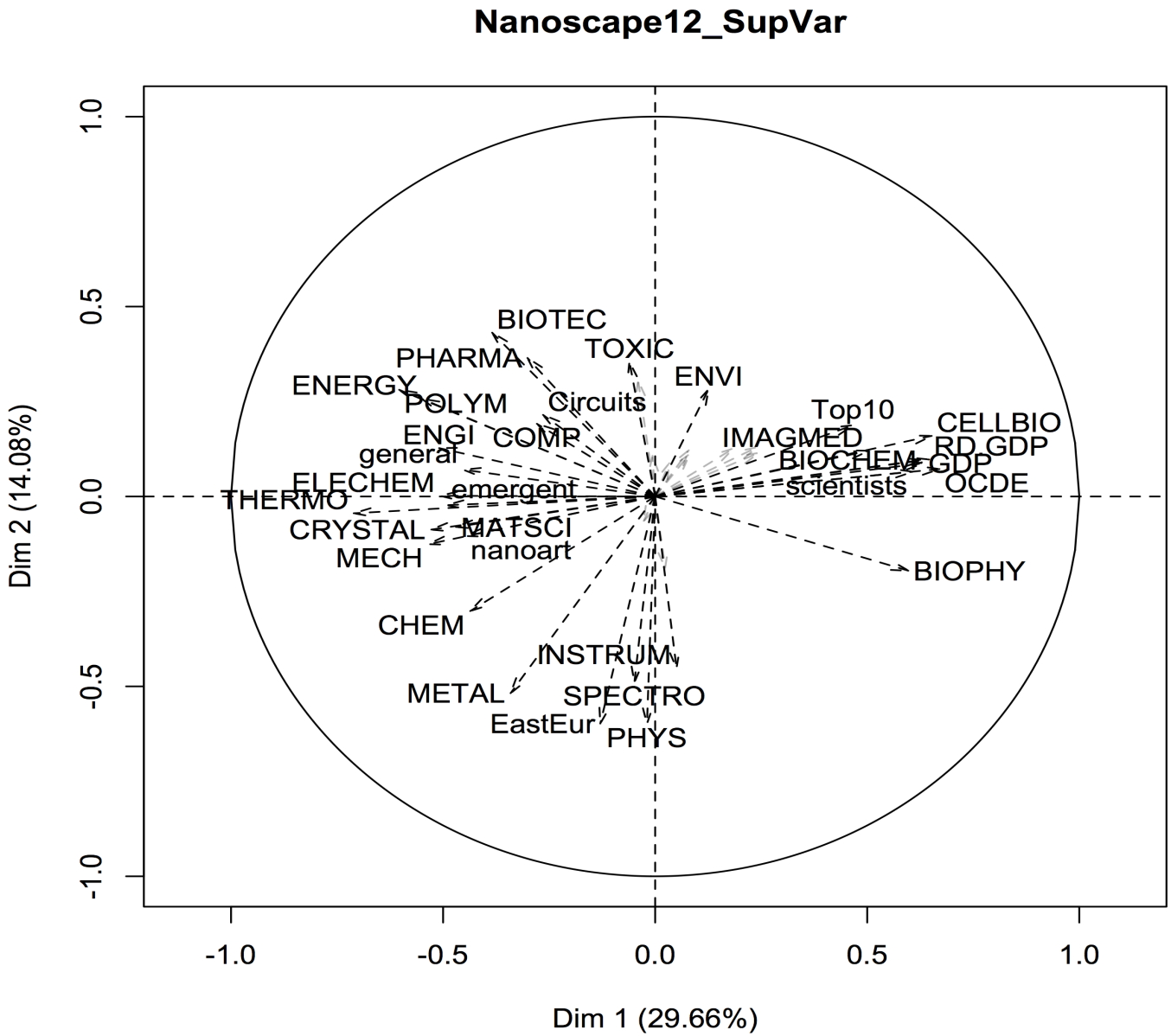
(PCA to summarize specialisations of 50 countries in 40 subfields, in only 2 dimensions)



The nanoscape



The nanoscape



THE SENSORY ORDER

1952

An Inquiry into the Foundations of Theoretical Psychology

By

F. A. HAYEK

Professor of Social and Moral Science in the Committee on Social Thought, University of Chicago

With an Introduction by

HEINRICH KLÜVER

Professor of Experimental Psychology in the Division of Biological Sciences, University of Chicago

Sensory Order

- Comment nous ordonnons nos perceptions du monde, en créant un "ordre sensoriel" à partir de l’ordre physique.
- Notre cerveau construit une "carte du monde", reproduisant les relations stables apprises par notre expérience : lorsque nous nous coupons avec un couteau, notre cerveau perçoit à la fois coupure et douleur, les associe dans sa carte du monde → éviter coupure.
- La carte est formée par le renforcement des connexions entre les neurones activés simultanément.
- Hypothèse "essentielle pour rendre compte des réflexes conditionnés" (Pavlov)
- Vision "connexionniste" du cerveau qui a inspiré Rosenblatt → citation !

Lien Ordre Sensoriel / Théorie Sociale ?

- **Ignorance** au coeur société et économie :
  - Cartes personnelles "similaires mais pas identiques" car expériences différentes → individus isolés
  - Toutes connaissances = connexions → beaucoup reste tacite et même inconscient.
- Comment des êtres ignorants peuvent-ils se coordonner pour créer un ordre social efficace ?

  (1) Dispersion informations rend planification centralisée (et l'économie néoclassique) peu crédibles, car besoin connaissances *explicites* → très bonne critique (IA *aussi*)

  (2) Mais contexte guerre froide, propose '**solution**': se soumettre à marchés, « meilleur que toute alternative » → néo-post/libéralisme.

Ignorance profonde au coeur vie sociale (+ Keynes, Knight, Polanyi...)

- Typique Hayek (1937, 34) : “before we can explain why people commit mistakes, we must first explain why they should ever be right.”
- Économie = coordination pour pallier ignorance (Que veulent les consommateurs? Quelle est la qualité de tel produit?…)
  - Critique dévastatrice des modèles mathématiques qui présupposent un monde déjà connu, apprivoisé (tigre).
  - Instruments réels des économies modernes (marchés, concurrence, prix...) sont justement utiles parce que l'ignorance est profonde (on ignore son ignorance) (→ Échappe au calcul). Théorisation informelle capture mieux concepts tels que ignorance.
  - The problem is not that Hayek’s informal theory proved too “fuzzy” to be translated to formal theory, but that formal theory was (is?) fundamentally incapable of capturing Hayek’s economics due to the inherent technical limitations of formalism itself (Boettke & O'Donnell)

- MAIS non formalisable → pas possible de démontrer formellement que marché (ou tout autre mécanisme) « meilleur »

Marché = solution ?
double (!) ordre spontané

- Hayek : seules les règles du marché sont capables de coordonner <u>spontanément</u> des individus ignorants et construire société complexe moderne (produits = enchevêtrement complexe de connaissances distribuées et implicites)

- Règles du marché sont elles-mêmes apparues <u>spontanément</u> et conservées par sélection ~ Darwin, car "les groupes qui appliquaient [les bonnes règles] prospéraient plus que les autres et se développaient"
  → ordre spontané, plus complexe que ce que humains (sauf Hayek !) peuvent concevoir/comprendre
  → légitimité plus forte que les règles (arbitraires) émises par les gouvernements, même démocratiques

- Évolution Darwin → social ? Non : évolution ≠ progrès, pas solution unique mais incroyable diversité du vivant, variation ou intervention ?

Parallèle cerveau / marchés

- Pour Hayek, lien profond: les marchés et le cerveau se fient à un ordre spontané pour apprivoiser un monde supposé complexe

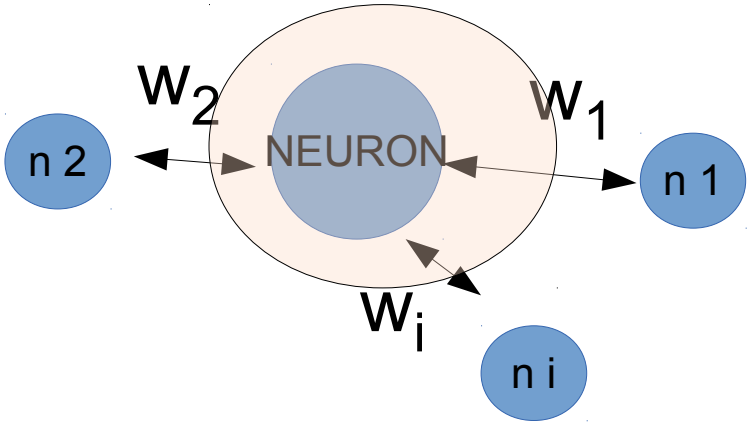
Hayek: In both cases we have complex phenomena in which there is a need for a method of utilizing widely dispersed knowledge. The essential point is that each member (neuron, or buyer, or seller) is induced to do what in the total circumstances benefits the system. Each member can be used to serve needs of which it doesn't know anything at all.

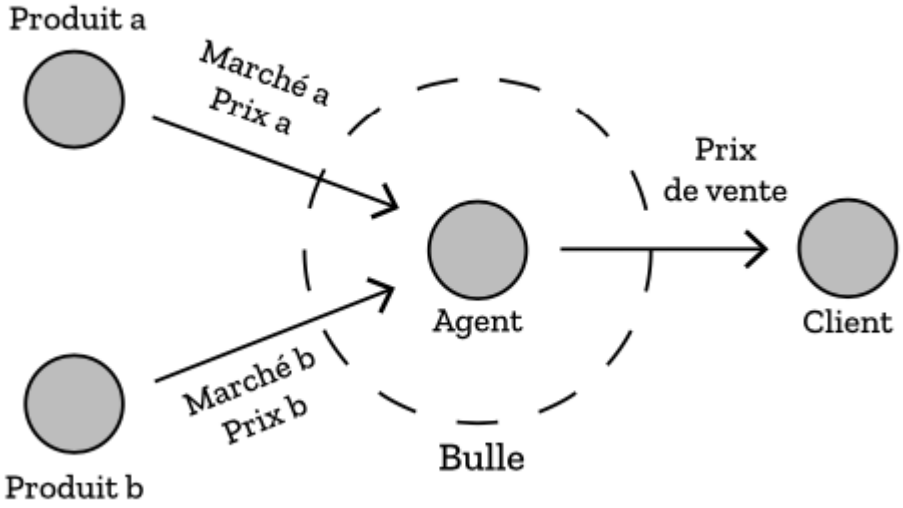
Hayek a-t-il raison ?

1. Prendre au sérieux la ***complexité*** (*'widely dispersed knowledge'*) du monde et l'apprivoiser par un « ordre spontané »
2. Les prix déterminés par les marchés sont ***efficaces*** *('benefit the system')* ?
3. Politique : IA comme ***Ignorance*** *Artificielle ('induced', 'serve needs')*

1 – Taking complexity seriously ?

- Apprentissage → chaque neurone entouré d'une "bulle" qui influencera son état, "induisant" le neurone à "servir le système" = fonction objectif.
- Prix émergent de plusieurs marchés créent une "bulle" qui "induit" le comportement de l'agent : Comment émergent ces prix ? Décisions ‘bénéfiques pour le système’ ?





Des jardiniers et la complexité...

Hayek, discours Nobel d'économie de 1974 :
« Si l'homme ne veut pas faire plus de mal que de bien dans ses efforts pour améliorer l'ordre social, il devra apprendre que dans ce domaine, comme dans tous les autres où prévaut une complexité organisée, il ne peut acquérir la pleine connaissance qui permettrait de maîtriser les événements. Il devra donc utiliser les connaissances qu'il peut acquérir, non pas pour façonner les résultats, comme l'artisan façonne ses objets, mais plutôt pour favoriser la croissance en lui fournissant l'environnement approprié, à la manière du jardinier pour ses plantes.»

Même métaphore Pedro Domingos, originalité des réseaux de neurones / programmation classique. Alors que cette dernière, comme les approches des ingénieurs, doit «tout construire à partir de zéro, l'apprentissage s'apparente davantage à l'agriculture, qui laisse la nature faire la majeure partie du travail».

~ Complexité, épaisseur du monde, vivant / social >> nos constructions

Valeurs des influences entre neurones émergent spontanément si on nourrit le réseau avec une bonne base de données, tout comme la plante pousse spontanément si on lui procure l'environnement adéquat et ordre social avec marché... Hayek *aseptise la complexité du monde* : il existe un environnement approprié pour toutes les plantes, tous les climats, tous les terrains = le marché.

2 – Benefits the system ?

- Réseaux : bons résultats seulement si architecture du réseau et méthodologie (bricolée) **et** base de données sont ok !

- Marchés : Hayek affirme que « meilleur que toute construction sociale délibérée »… mais ne le prouve/discute jamais !
  - Efficacité du marché à révéler l'information privée ne peut être prouvée que si l'information privée est... explicite, et alors les marchés ne sont plus utiles !
  - Bénéfique pour qui ? Qui définit ?
- Prix = input ***interne*** au système (désirs agents...) pas externe (images…)
- Prix pas juste info, guerre économique, externalités (écologiques)

3 – Politique : *Ignorance* Artificielle

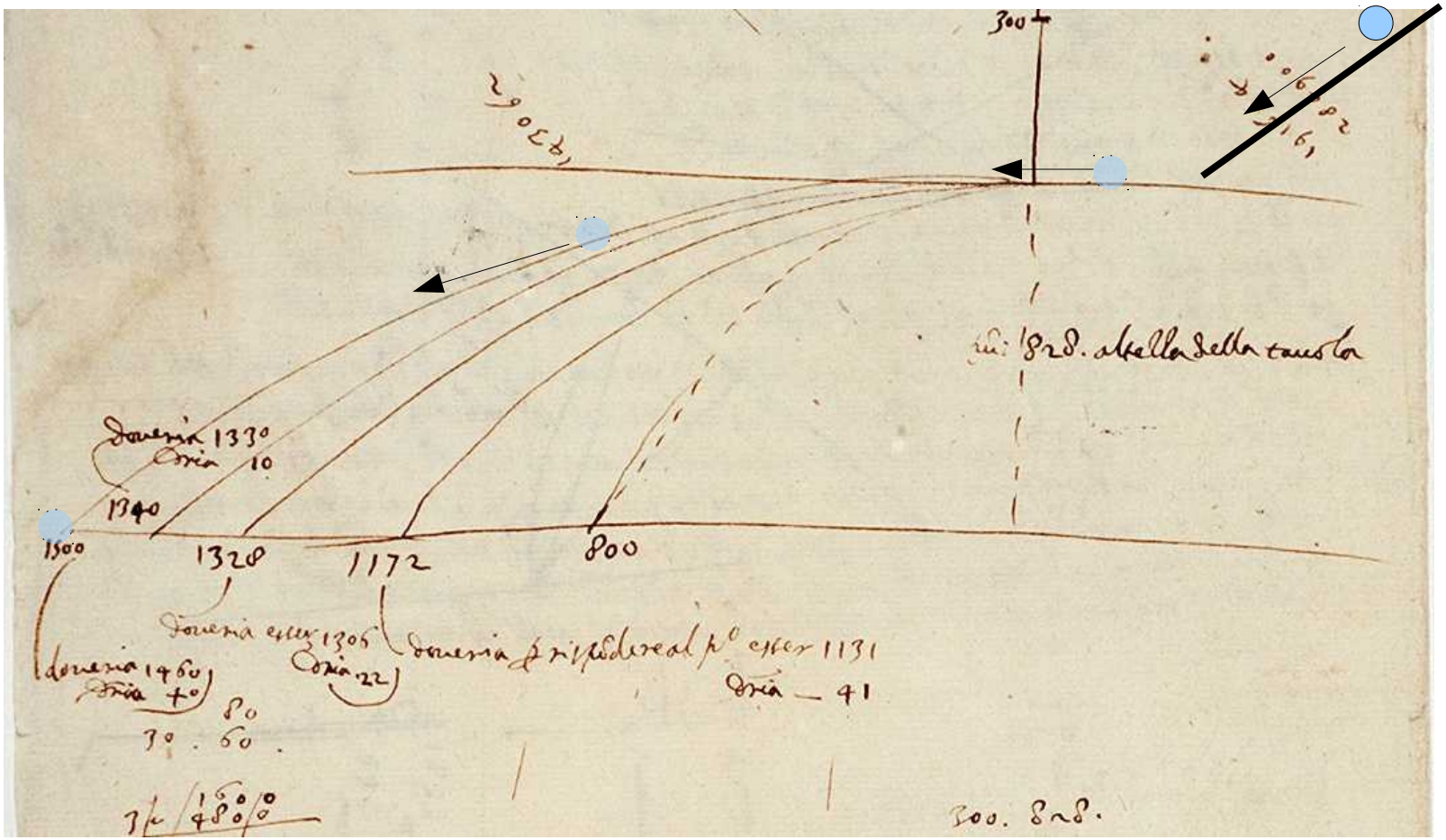
- Hayek construit une « ignorance artificielle » (Mirowski) des humains, pour justifier mainmise des marchés
  - Individus ~ neurones, obéir à dessein extérieur sur lequel ils n'ont rien à dire. Liberté limitée à économie et contexte local
  - La liberté ne peut être étendue de l'utilisation des connaissances dans la société à l'utilisation des connaissances **sur** la société. Main reste **invisible** (Foucault)

- Individu néolibéral n'est plus cet atome de liberté, respecté par libéralisme face à pouvoirs, mais devient *éminemment gouvernable* : il répond systématiquement à des modifications que l'on introduit artificiellement dans son milieu (Foucault).

- "C'est la soumission des hommes aux forces impersonnelles du marché qui, dans le passé, a rendu possible la croissance d'une civilisation qui, sans cela, n'aurait pu se développer.... "

  (Hayek, Route servitude).

Galilée : expériences guidées par mathématiques



Manuscrit, plan incliné et loi chute des corps, *folio 116v*

Galilée invente *le laboratoire*

Monde

Mouvements
(boules, mais aussi oiseaux!)

Horloge, canon ?
Limites…
Éloignement savoir commun

Simplification (frottements…)

Applications

Labo

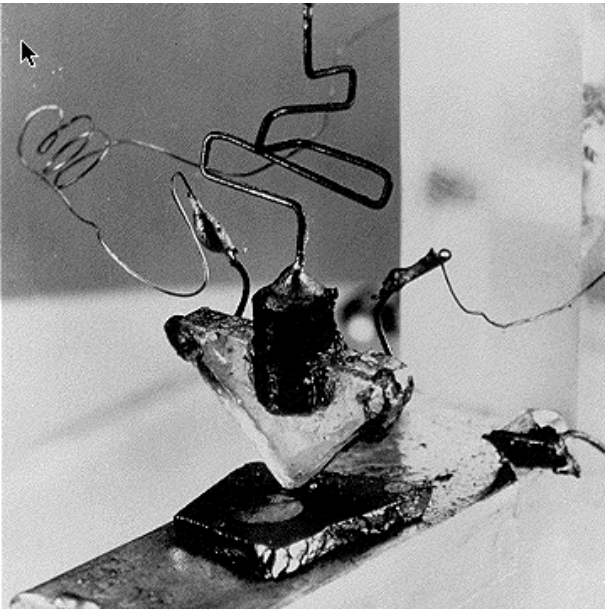
- **Calculs possibles**
- **Mathématiques pertinentes**
- **Explication !?**

Big data sociale prédictive?

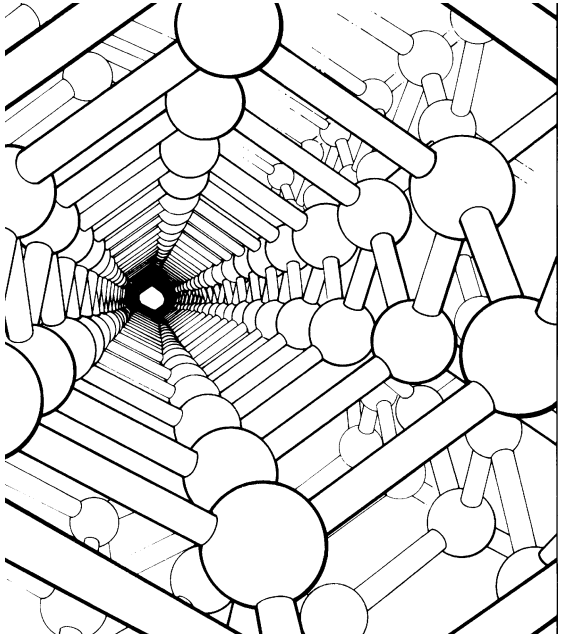
- Prédire le succès des tweets = retweets?
- D Watts (Microsoft) : tous les tweets en Anglais en Février 2015 (852 millions), 51 millions utilisateurs, 2 milliards de retweets
- Messages : site Internet ? Heure ? Sujet ? Utilisateur (abonnés, nombre de tweets...)
- “Forêts aléatoires” sur les 3 premières semaines → prédire dernière semaine?
- Explique 20 % seulement du succès + 20 % grâce à **succès passé**
- Pas mieux que « demain = aujourd’hui » !

« Exploring limits to prediction in complex social systems », arXiv.org

L'électronique, triomphe de la physique



Premier transistor (Bell, 1948)



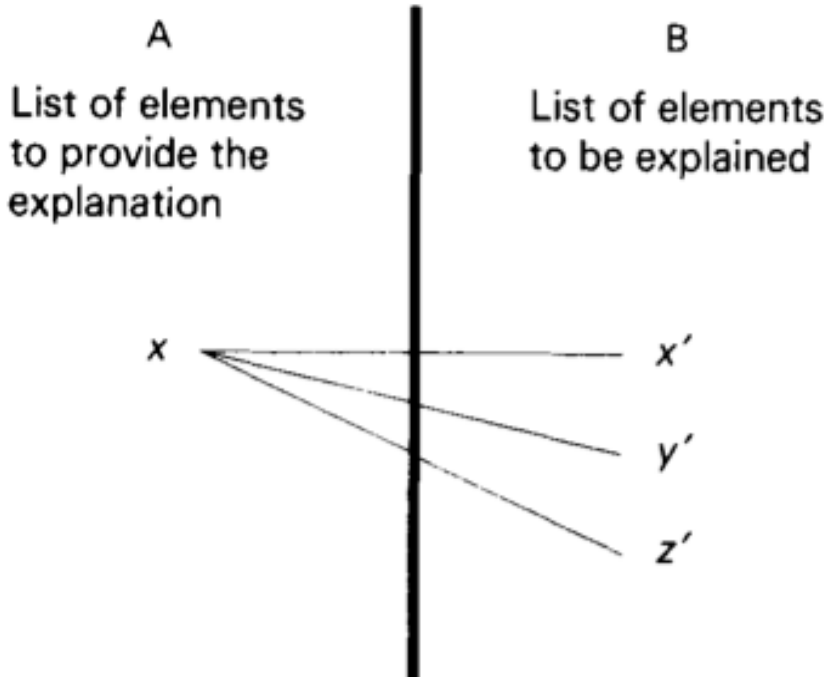
- Semi conducteurs d'abord prédiction théorique (1931) de la mécanique quantique
- Chercheurs de la *Bell* calculent des amplis, mais dispositifs réels échouent !
- Très grande purification → salle blanche

Formaliser l'ignorance ?
l'ignorance profonde, composante essentielle de la vie sociale, échappe au calcul

- There is no room for radical ignorance, or unawareness, within formal economic theory, since there are logical obstacles inherent to formally modeling a situation in which an actor does not know she does not know something
- Les instruments réels, pratiques, des économies modernes (marchés, concurrence, prix...) sont justement utiles parce que l'ignorance est **profonde**== an agent is ignorant of her own ignorance ; a person is radically ignorant of x if she does not know x and does not know she does not know it.
- Formalism is incapable of capturing some concepts, such as ignorance, with the same level of nuance and detail as **informal theorizing**.
- The problem is not that Hayek's informal theory proved too "fuzzy" to be translated to formal theory, but that formal theory was (is?) fundamentally incapable of capturing Hayek's economics due to the inherent technical limitations of formalism itself
- Hayek's answer was market competition, which he saw as a mechanism or procedure for discovering such facts as which goods and services consumers demand, which production technologies are the least expensive, and the price at which supply might meet demand—facts that the theory of competitive equilibrium assumes are DATA

Politics of explanation

- Expliquer = agir à partir d'un centre, bâtir un empire!
  - Si on reste en B, pas besoin d'aller en A, « pratique »
  - Si en A et indifférent à B, pas besoin de lien, « théorie »
  - Si en A mais veut *agir en B* : besoin d'aller-retour fiable
- Explication renforce pouvoir des centres, réduit B
- Quelle **vision société/individus** charriée par explications (A)?



B Latour (1988)

Les prédictions sociales ne sont pas fiables

- **Complexité de la causalité sociale**
  - Enormément de variables, hétérogéneité des humains…
  - Aussi en physique (modèles météo) → méthode ***analytique*** !
    Pas si utile en sciences sociales, effet d'une cause dépend contexte (prix étage élevé, âge et chômage : ça dépend…) + ***pas de relation stable*** (conservation énergie...)

- **Politique de la modélisation**
  - Réflexivité des humains, qui réagissent aux prévisions
  - Dompter les humains pour les modéliser?!
  - Modèles → plus de pouvoir aux puissants → creuse inégalités

Tromper l'intelligence artificielle

(a) (b) (c) (d)

Fig. 3: Feature Interference. A partially visible cat is detected as a zebra (*a*). Discarding all pixels *outside* the detection's bounding box does not fix the object's classification, showing that features inside the region-of-interest (ROI) can cause confusion (*b*). Discarding also all non-cat pixels inside the ROI leads to a fixed classification (*c*). Adding random noise in the range outside the bounding box once again makes the detection incorrect , showing the effect of features outside the ROI (*d*)

The Elephant in the Room

Amir Rosenfeld[1], Richard Zemel[2], and John K. Tsotsos[1]

[1]*York University*