

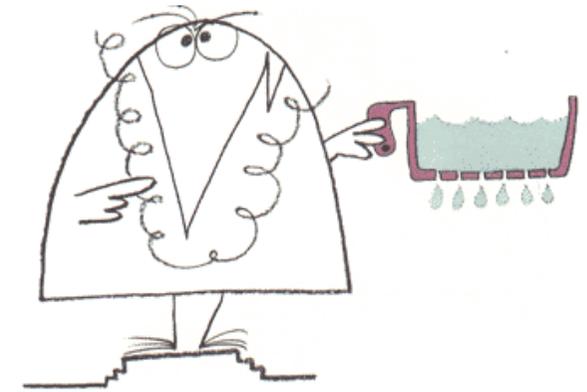
Modéliser le passage du local au global dans les réseaux

Bertrand Jouve

Séminaire « *Systèmes complexes en sciences sociales* »
11 juin 2019



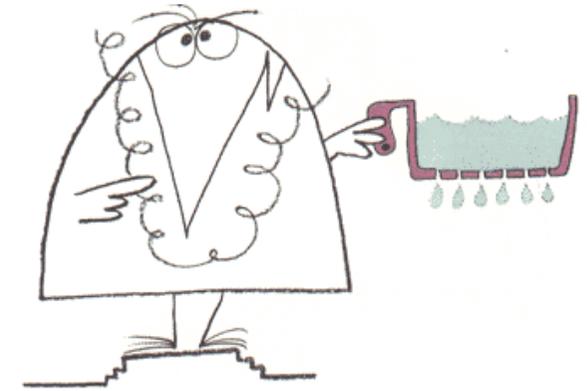
1. Complexité



- ✓ Définition : Un système complexe est constitué de nombreuses entités dont les interactions conduisent à l'apparition d'un comportement global dit « émergent » qui ne peut être expliqué en considérant uniquement les propriétés individuelles de ses constituants.
- ✓ Hypothèse d'étude : ces systèmes ont des caractéristiques communes autorisant à parler de « science de la complexité ».
- ✓ Nécessité d'identifier : des interactions multi-échelles, des boucles de rétroaction, des bifurcations, des phénomènes de cascade, ...

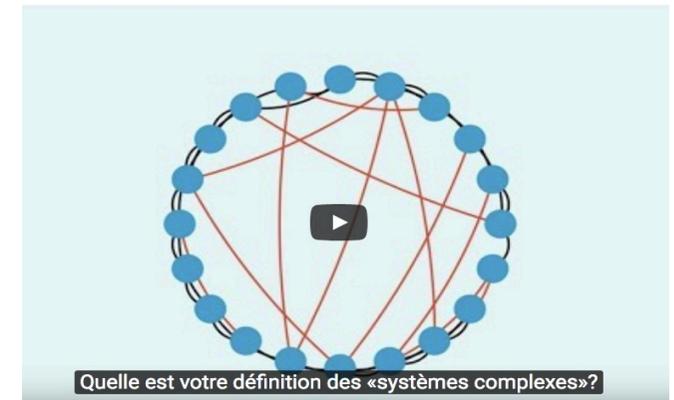


1. Complexité



- ✓ Définition : Un système complexe est constitué de nombreuses entités dont les interactions conduisent à l'apparition d'un comportement global dit « émergent » qui ne peut être expliqué en considérant uniquement les propriétés individuelles de ses constituants.
- ✓ Hypothèse d'étude : ces systèmes ont des caractéristiques communes autorisant à parler de « science de la complexité ».
- ✓ Nécessité d'identifier : des interactions multi-échelles, des boucles de rétroaction, des bifurcations, des phénomènes de cascade, ...

- [A propos de complexité](#)



1. Complexité

- ✓ Définition : Un système complexe est constitué de nombreuses entités dont les interactions conduisent à l'apparition d'un comportement global qui est difficilement explicable si l'on ne considère que les propriétés individuelles de ses constituants.
- ✓ Hypothèse d'étude : ces systèmes ont des caractéristiques communes autorisant à parler de « science de la complexité ».
- ✓ Mots clefs : multi-échelle, cascade, rétroaction, bifurcation, émergence,
- ✓ Enjeux : mieux comprendre ces systèmes et leur dynamique.
- ✓ Méthode : développer une pratique de recherche plus intégrée entre expérimentation et modèles et plus interdisciplinaire entre SHS, SPI et SDV, permettant de revisiter le cadre théorique des sciences de la complexité.

1. Complexité

- ✓ La question des échelles et du passage du local au global dans les réseaux complexes.

Dans quelle mesure la structure globale d'un réseau peut être expliquée par des configurations locales (« patterns locaux »).

→ Lorsqu'elles vérifient certaines propriétés, ces contraintes topologiques locales génèrent une structure globale qui s'écarte des modèles nuls classiques et peut ainsi expliquer des phénomènes globaux particuliers.

- ✓ Tentative de classification des configurations

	global	Non mathématique	mathématique
local			
Non mathématique			
mathématique			

1. Complexité

- ✓ La question des échelles et du passage du local au global dans les réseaux complexes.

Dans quelle mesure la structure globale d'un réseau peut être expliquée par des configurations locales (« patterns locaux »).

→ Lorsqu'elles vérifient certaines propriétés, ces contraintes topologiques locales génèrent une structure globale qui s'écarte des modèles nuls classiques et peut ainsi expliquer des phénomènes globaux particuliers.

- ✓ Tentative de classification des configurations

	global	Non mathématique	mathématique
local	Non mathématique		A
mathématique			

1. Complexité

- ✓ La question des échelles et du passage du local au global dans les réseaux complexes.

Dans quelle mesure la structure globale d'un réseau peut être expliquée par des configurations locales (« patterns locaux »).

→ Lorsqu'elles vérifient certaines propriétés, ces contraintes topologiques locales génèrent une structure globale qui s'écarte des modèles nuls classiques et peut ainsi expliquer des phénomènes globaux particuliers.

- ✓ Tentative de classification des configurations

		global	
		Non mathématique	mathématique
local	Non mathématique		B
	mathématique		

1. Complexité

- ✓ La question des échelles et du passage du local au global dans les réseaux complexes.

Dans quelle mesure la structure globale d'un réseau peut être expliquée par des configurations locales (« patterns locaux »).

→ Lorsqu'elles vérifient certaines propriétés, ces contraintes topologiques locales génèrent une structure globale qui s'écarte des modèles nuls classiques et peut ainsi expliquer des phénomènes globaux particuliers.

- ✓ Tentative de classification des configurations

	global	
local	Non mathématique	mathématique
Non mathématique		
mathématique	C	

1. Complexité

- ✓ La question des échelles et du passage du local au global dans les réseaux complexes.

Dans quelle mesure la structure globale d'un réseau peut être expliquée par des configurations locales (« patterns locaux »).

→ Lorsqu'elles vérifient certaines propriétés, ces contraintes topologiques locales génèrent une structure globale qui s'écarte des modèles nuls classiques et peut ainsi expliquer des phénomènes globaux particuliers.

- ✓ Tentative de classification des configurations

		global	
		Non mathématique	mathématique
local	Non mathématique	D	
	mathématique		

exp: le réseau a des propriétés observées a des échelles locales et globales qu'il s'agit de recoller (théories sociologiques, théories urbaines,)

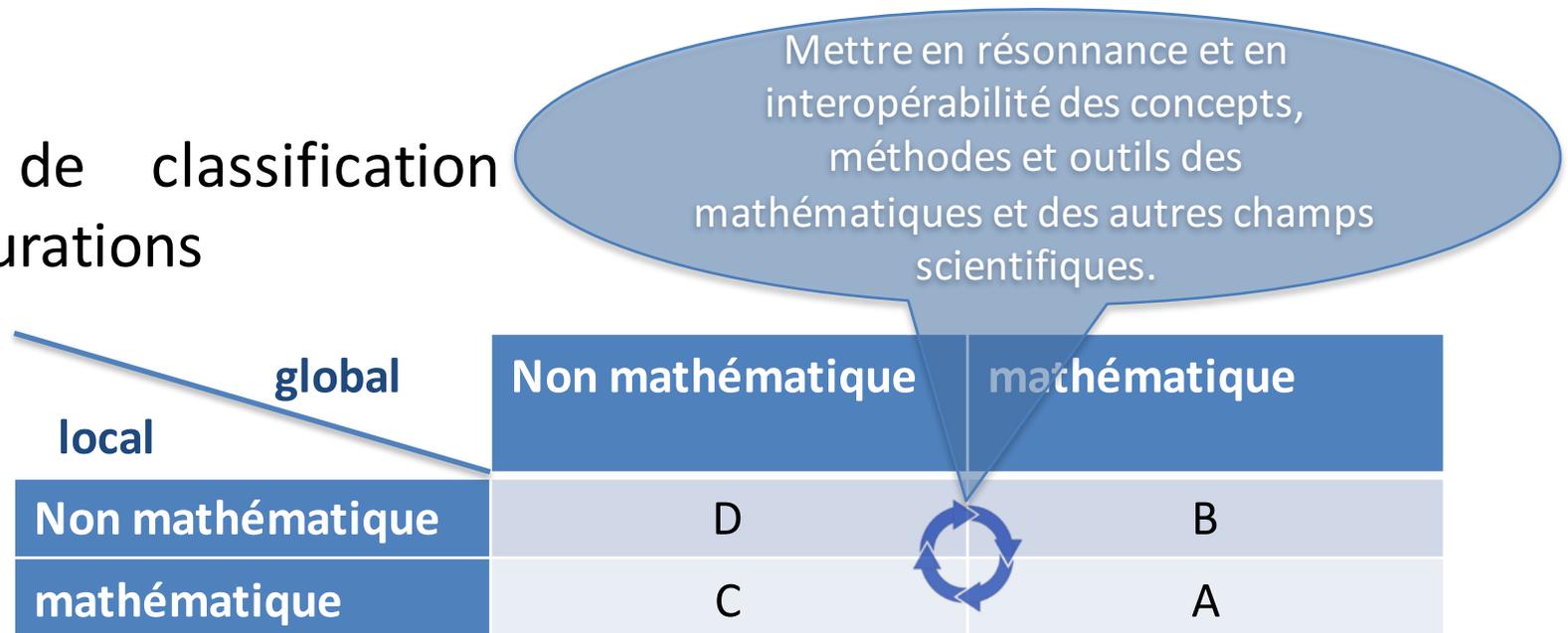
1. Complexité

- ✓ La question des échelles et du passage du local au global dans les réseaux complexes.

Dans quelle mesure la structure globale d'un réseau peut être expliquée par des configurations locales (« patterns locaux »).

→ Lorsqu'elles vérifient certaines propriétés, ces contraintes topologiques locales génèrent une structure globale qui s'écarte des modèles nuls classiques et peut ainsi expliquer des phénomènes globaux particuliers.

- ✓ Tentative de classification des configurations



A. Local Math / Global Math

- ✓ k-démontabilité et Topological Data Analysis *(avec Etienne Fieux, ...)*

B. Local non Math / Global Math : les graphes de terrain

- ✓ Réseaux sociaux anciens *(avec Florent Hautefeuille, Romain Boulet, ...)*
- ✓ Réseau de parcellaire

C. Local Math / Global non Math

- ✓ générer un forum de discussions *(avec Alberto Lumbreras, ...)*
- ✓ Modéliser une partie non dense en connexion *(avec Frederic Amblard et Mehdi Djellabi)*
- 🔄 **Math/non Math/math/non Math ... Math/non Math/math/non**
- ✓ Réseaux multi-échelles de recyclage *(avec Yann-Philippe Tastevin, ...)*

A. Epluchage et k-démontabilité

- ✓ Caractériser les classes de graphes dont les voisinages de sommets vérifient une propriété mathématique fixée à l'avance.

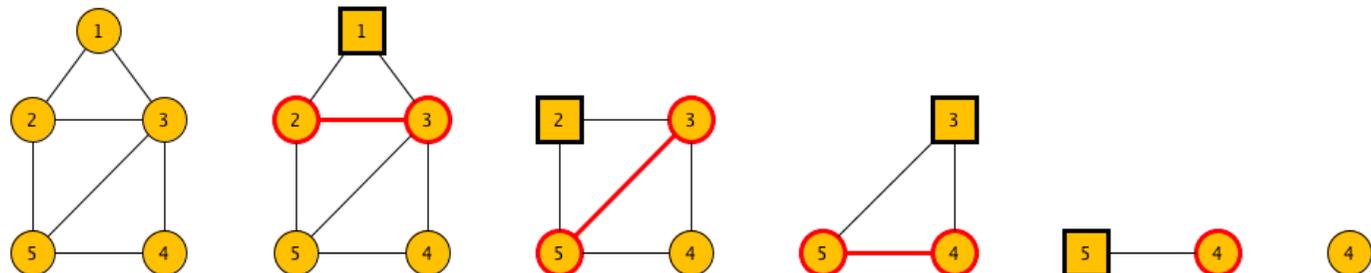
- Les voisins d'un sommet sont tous liés entre eux,
- Les voisins d'un sommet forment un cône,
- ...

- ✓ Propriété topologique

- pas probabiliste, pas métrique, ...
- Topological Data Analysis

- ✓ Sommet simplicial

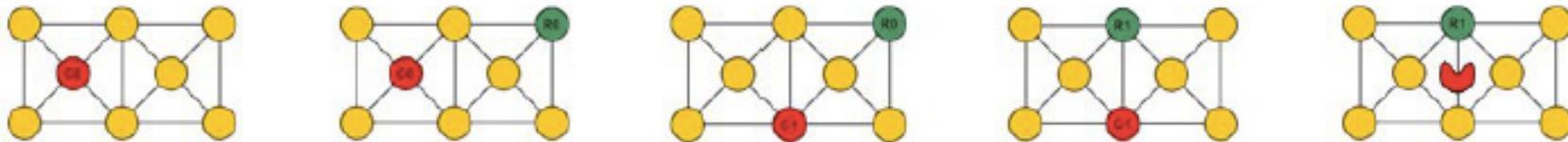
- Définition 1 : Sommet simplicial et graphe simplicial
- Définition 2 : Un graphe est cordal s'il ne contient aucun cycle induit de longueur ≥ 4
- **Théorème (Dirac 1961) : Un graphe fini est cordal si et seulement s'il est simplicial.**



A. Epluchage et k-démontabilité

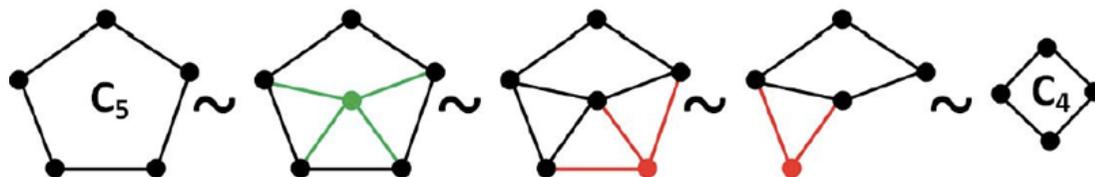
✓ Sommet démontable

- Définition : Un sommet est démontable si son voisinage est un cône. Un graphe est démontable s'il peut être démonté par sommets simpliciaux.
- **Théorème (Quillot 1983; Nowakowski and Winkler 1983) : Un graphe fini est démontable si et seulement s'il est « gendarme-gagnant ».**



✓ Sommet k-démontable

- Définition : Un sommet est k-démontable si son voisinage est un graphe (k-1)-démontable. Un graphe est k-démontable s'il peut être démonté par sommets k-démontables.
- Outils de topologie : complexe simplicial, homotopie.
- Opérateur de dérivabilité de Mazurkiewicz (2007)
- **Théorème :** $D_{-1} \subsetneq D_0 \subsetneq D_1 \subsetneq D_2 \subsetneq \dots \subsetneq D_k \subsetneq D_{k+1} \subsetneq \dots$
- Remarque :



B. Local non Math / Global Math : les graphes de terrain

- ✓ Un graphe de terrain est un graphe dont les nœuds et les arêtes sont construits à partir de données réelles.
- ✓ Il existe des problématiques scientifiques non mathématiques qui fondent l'origine du travail.
- ✓ La généralité des outils mathématiques autorise ce que certains appellent « le passage à l'échelle ».
- ✓ On utilise souvent un « modèle nul » pour analyser le graphe construit. Un modèle nul est un ensemble de graphes qui ont le même nombre de sommets que le graphe étudié et qui conservent un certain nombre de caractéristiques locales (degré, clustering, ...). Ce qui va nous intéresser c'est quand la structure globale d'un réseau « observé » ou « construit » s'écarte d'une structure « classique », appelé modèle nul.



B. Local non Math / Global Math : les graphes de terrain

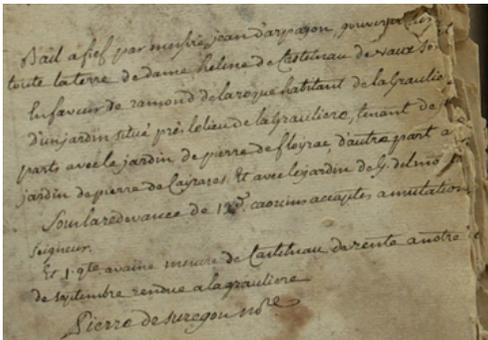
- ✓ Un graphe de terrain est un graphe dont les nœuds et les arêtes sont construits à partir de données réelles.
- ✓ Il existe des problématiques scientifiques non mathématiques qui fondent l'origine du travail.
- ✓ La généralité des outils mathématiques autorise ce que certains appellent « le passage à l'échelle ».
- ✓ On utilise souvent un « modèle nul » pour analyser le graphe construit.
- ✓ La recherche de communautés a été un domaine très actif depuis 2000 (-> modularité).



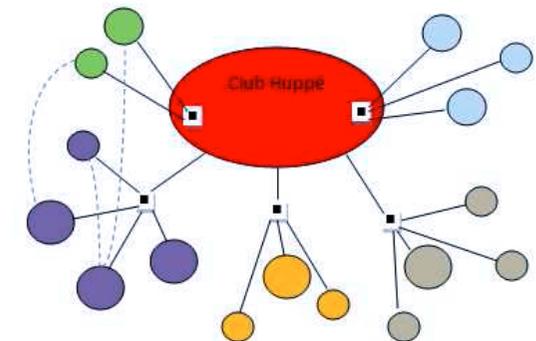
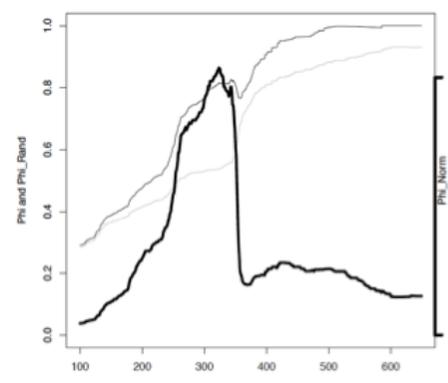
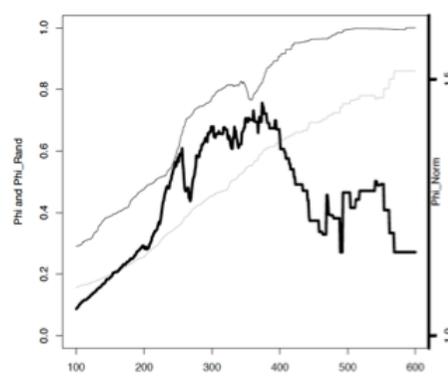
B. Local non Math / Global Math : les graphes de terrain

✓ Exemple 1 : Réseau sociaux paysans au Moyen-Age.

- Questions : peut-on identifier les réseaux sociaux paysans entre le XIIIe et le XVIe ? Peut-on trouver des éléments de différenciation des individus dans ces réseaux ? Comment varient ces réseaux au passage de la guerre de cent ans ?
- Les données : un corpus de plus de 5000 contrats agraires entre 1240 et 1520.
 - Deux périodes 1240-1340 et 1440-1520 avec respectivement 8698 et 8637 mentions d'individus,
 - L'hypothèse que les cooccurrences de noms de personnes et de lieux dans un même contrat permettent la construction de réseaux de relations qui donnent un éclairage sur l'organisation de la société paysanne.



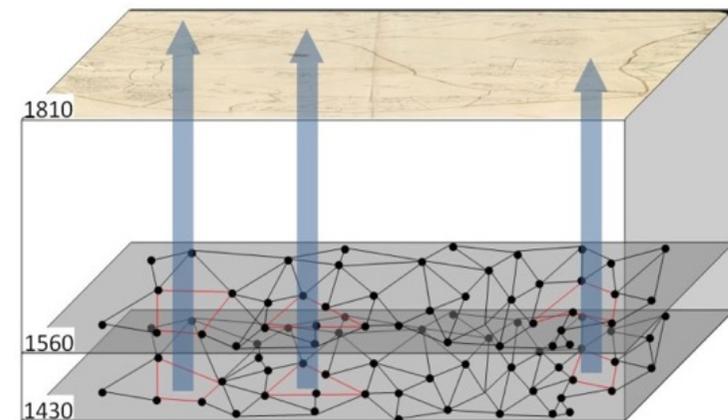
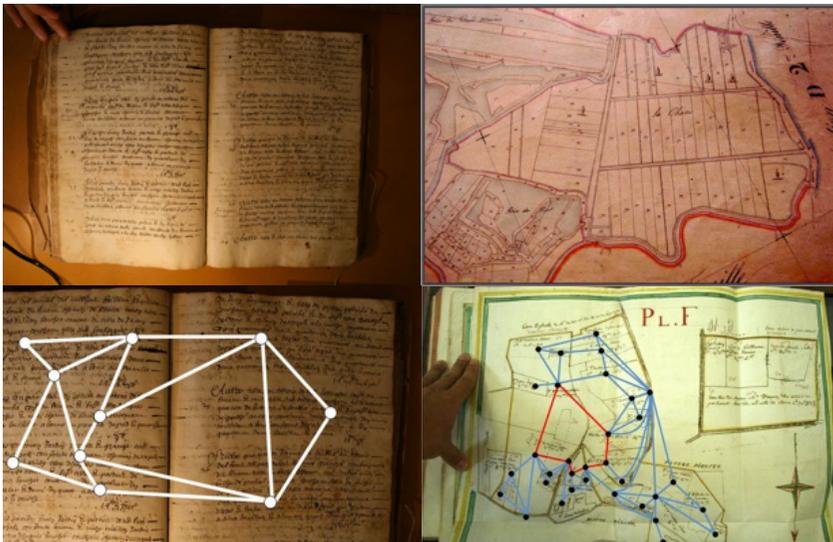
Bail à fief par messire **Jean d'Arpajon**, gouverneur de toute la terre de Dame **Hélène de Castelnau de Vaux**, en faveur de **Ramond de Laroque**, habitant de la Graulière, d'un jardin situé près le lieu de la Graulière, tenant de deux parts avec le jardin de **Pierre de Elourac**, d'autre part à

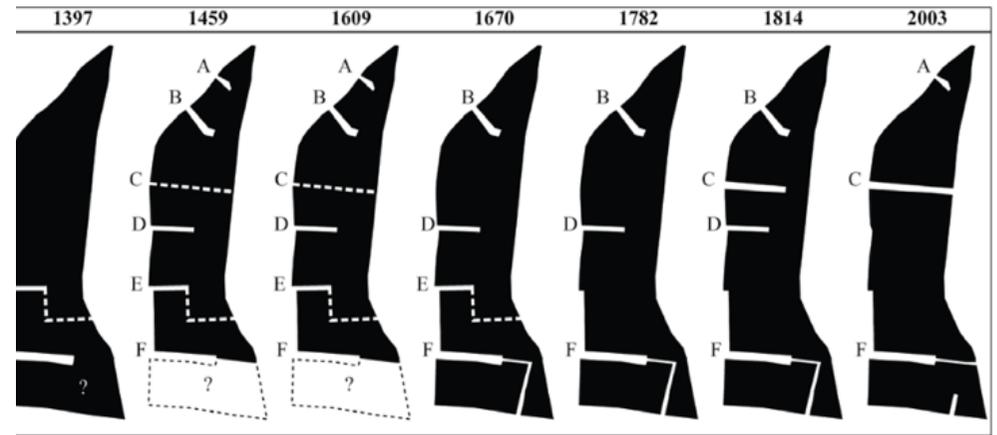
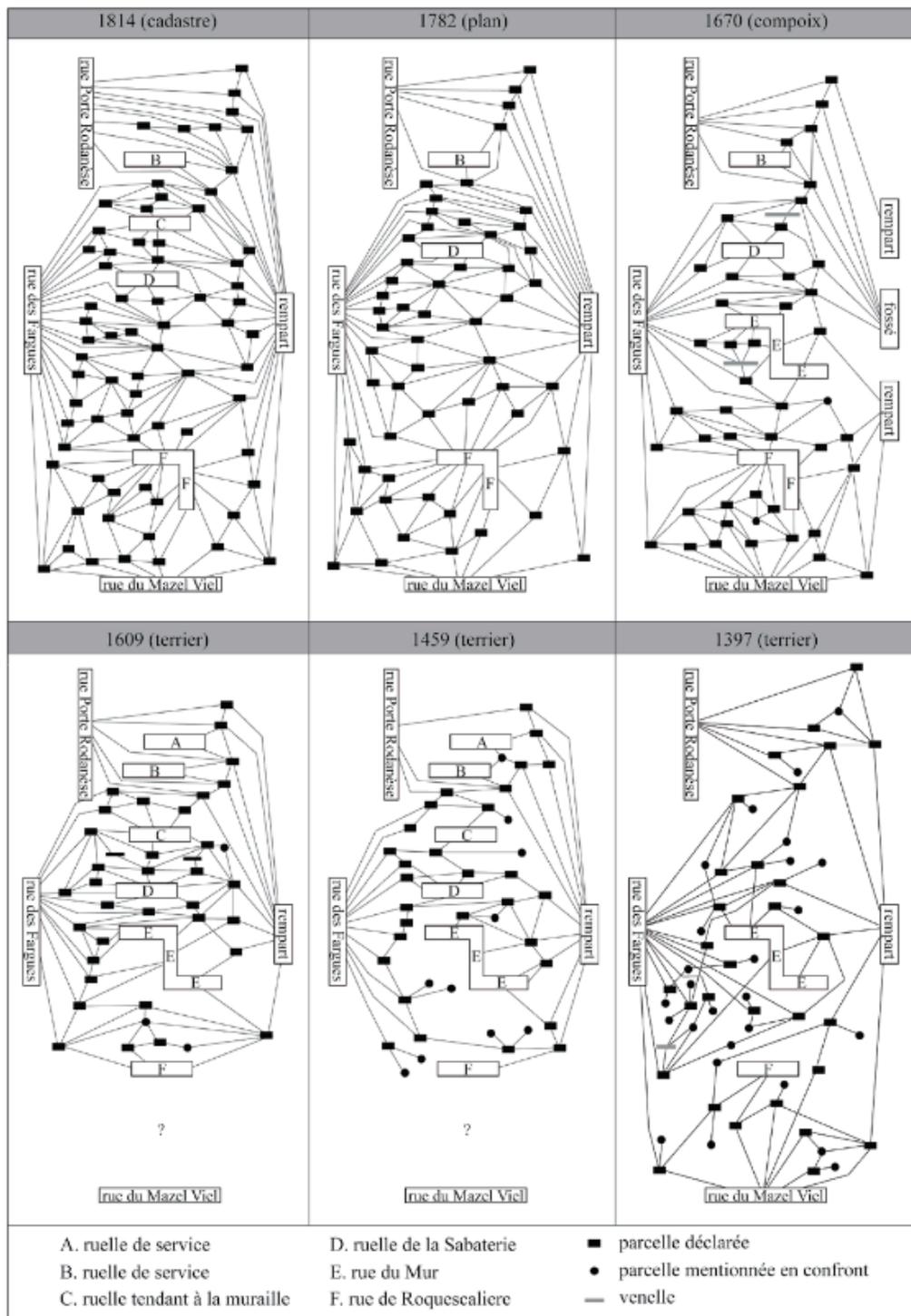


B. Local non Math / Global Math : les graphes de terrain

✓ Exemple 2 : Réseau de parcelles.

- Questions : Quelle lecture des paysages disparus donnent les compoix (documents avec ou sans carte utilisés pour répartir l'impôt) ? Comment comparer les documents cartographiés et non cartographiés pour étudier la dynamique de parcelles sur une longue période ?
- Données : compoix ou carte.
 - Les nœuds sont les parcelles et deux parcelles limitrophes correspondent à deux nœuds voisins,
 - Les biens nobles, non soumis à l'impôt, ne sont pas représentés.
- La question des échelles est ici temporelle car les adjacences sont spatiales





*Cécile Rivals
Saint-Antonin
Noble Val*

Fig. 5 : parcellaire du moulon A entre 1397 et 1814 d'après les graphes

C. Local Math / Global non Math

Option constructive :

- ✓ A partir de propriétés mathématiques locales choisies, reproduire une structure (un comportement) globale.
- ✓ Objectif : identifier les paramètres locaux permettant d'agir au niveau global.



Option déconstructive :

- ✓ Déconstruire un réseau observé à l'aide d'opérations mathématiques locales.
- ✓ Objectif : identifier, à la limite, les éléments structurants.

C. Local Math / Global non Math

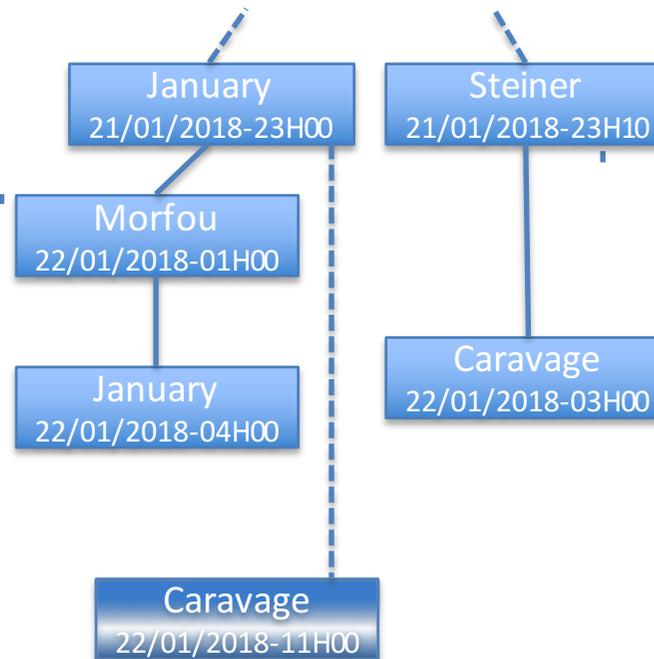
✓ Exemple 1 : Modélisation de arbre de discussions.

- Questions : On observe des forums de discussions, peut-on reproduire leur dynamique à partir de règles locales d'ajouts de nouveaux nœuds ?

The screenshot shows a forum thread on ForumFr. The thread is titled "Il y a 13 heures, January a dit :". The first post is by user "Morfou" (Member, 13 429 messages, 67 years old) posted 11 hours ago. The post content is: "Non, il fallait y être, et pour qui y était, c'était un mauvais salaire, c'est tout. Tu l'as fait ? Non ? alors écoute ceux qui l'ont fait, dont je fais partie. J'ai gravi tous les échelons, touss, jusqu'à être directrice de gros porteur : c'est, pour l'époque, un salaire de merde, oui. Vous étiez dans la restauration? mon fils était déjà cuisinier à l'époque! né fin 72! Restaurant gastronomique dont le patron faisait parti des "19" à l'époque! J'ai mis des liens sur les salaires dans les métiers de la restauration...". The second post is by user "Caravage" (Member, 5 022 messages, 64 years old) posted 4 hours ago. The post content is: "Il y a 13 heures, Steiner a dit : 'Mafia étoilée', 'Mafia étoilée'... Ces hommes et femmes étoilés ne servent tout de même pas des brocolis sauce ketchup façon 'hard discount' et cuits à l'eau d'Evian, chère madame. Chère madame? Ce n'est pas parce que j'ai écrit que mon mari était cuisinier qu'il faut en déduire je suis une dame!!". The third post is by user "January" (Animateur, 28 824 messages, 101 years old) posted 3 hours ago. The post content is: "Il y a 11 heures, Morfou a dit : Vous étiez dans la restauration? mon fils était déjà cuisinier à l'époque! né fin 72! Restaurant gastronomique dont le patron faisait parti des '19' à l'époque!".

1 nœud du graphe = 1 message

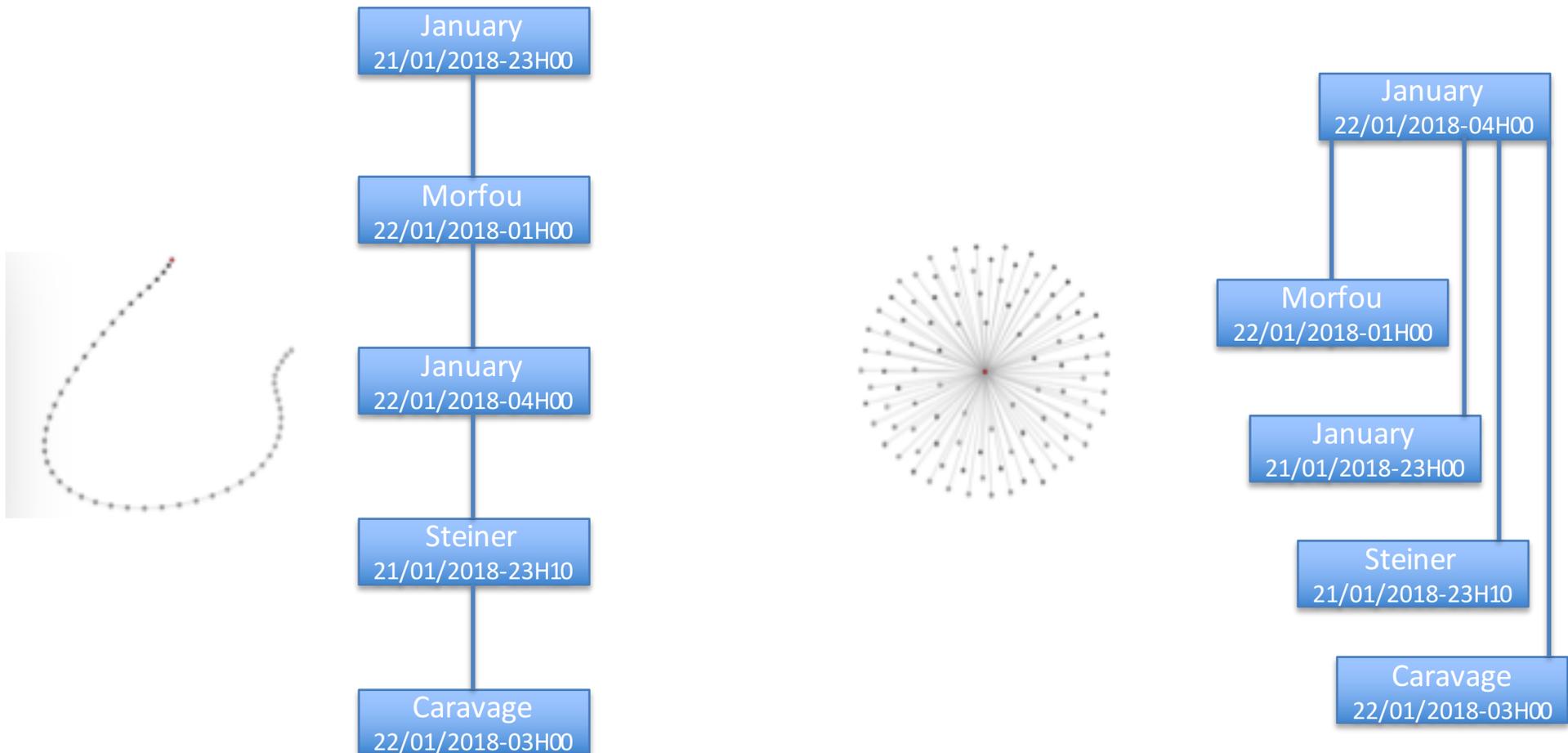
Un forum de discussions est un ensemble d'arbres de discussions



C. Local Math / Global non Math

✓ **Exemple 1** : Modélisation de arbre de discussions.

➤ Questions : On observe des forums de discussions, peut-on reproduire leur dynamique à partir de règles locales d'ajouts de nouveaux nœuds ?



C. Local Math / Global non Math

✓ Exemple 1 : Modélisation d'arbres de discussions.

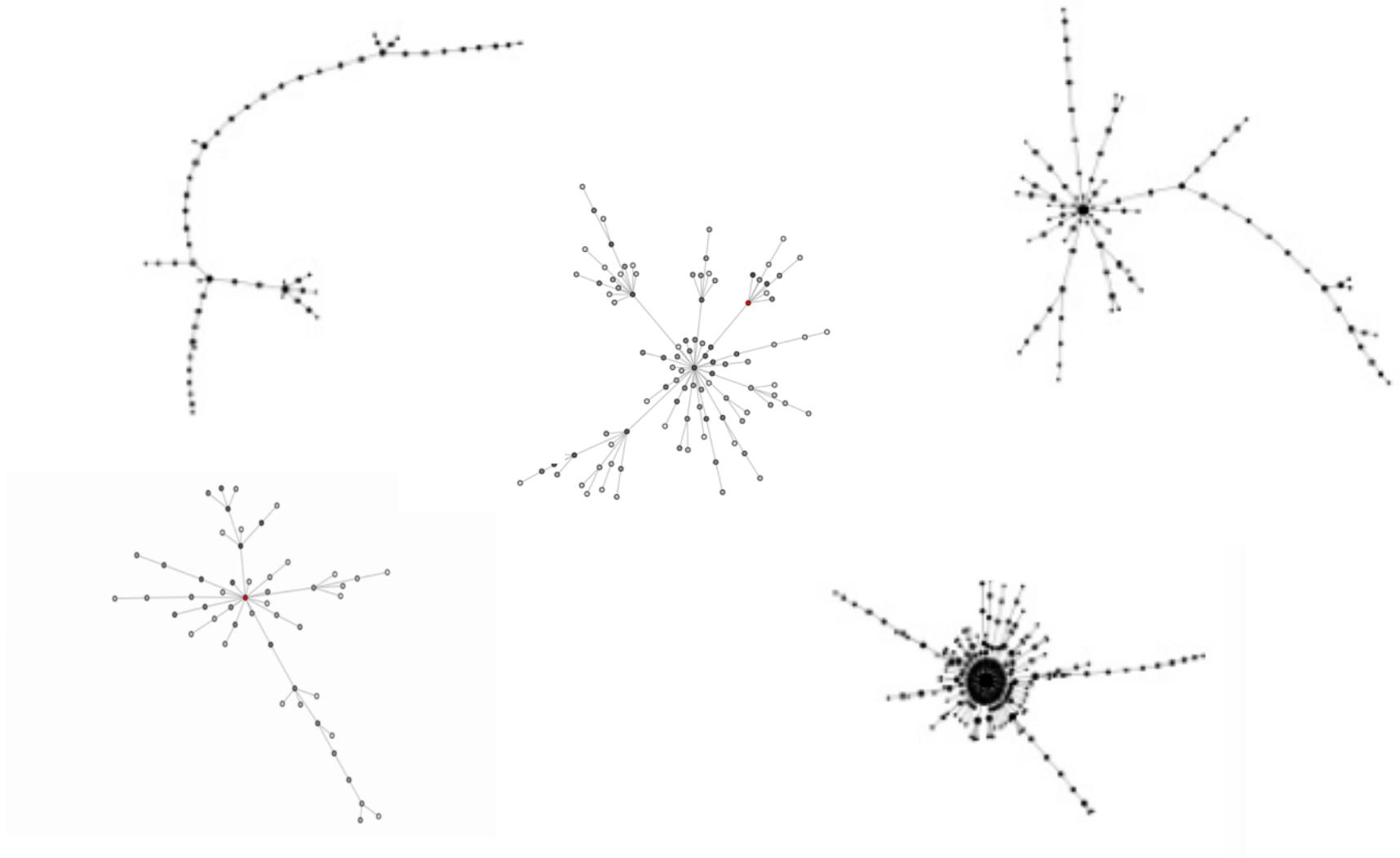
- Questions : On observe un grand nombre de forums de discussions, peut-on reproduire leur dynamique à partir de règles locales d'ajouts de nouveaux nœuds ?
- Méthode : utiliser des techniques d'apprentissage automatique pour prévoir où un usager va se connecter en fonction de son comportement passé sur le forum.
- Résultat : 1) définition de catégories types d'utilisateur, 2) produire une loi d'attachement d'un nouveau nœud en fonction de sa classe a priori :

- α, β et τ calibrent l'importance de chaque composante et pour chaque nœud,
$$\text{Attractivité} = \alpha * \text{popularité}^{\alpha_i} + \beta * \text{racine} + \tau * \text{ancienneté}$$
- Popularité = nombre de réponses déjà existantes à ce post,
- Racine = être racine du fil de discussion ou pas,
- Ancienneté = ancienneté du post.

- Evaluation de la procédure : pourcentage de bonnes prédictions sur un ensemble d'apprentissage.

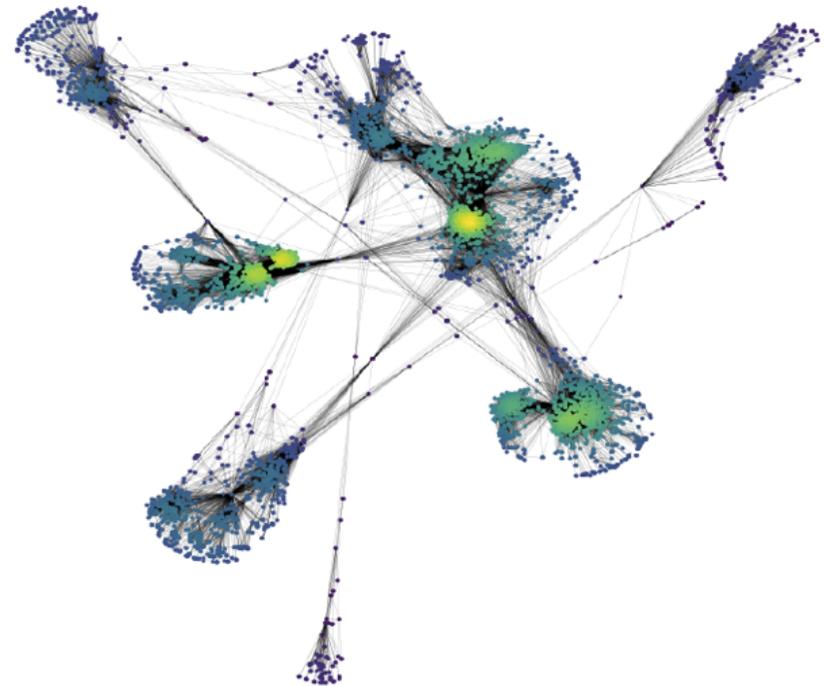
C. Local Math / Global non Math

✓ **Exemple 1** : Modélisation d'arbres de discussions.



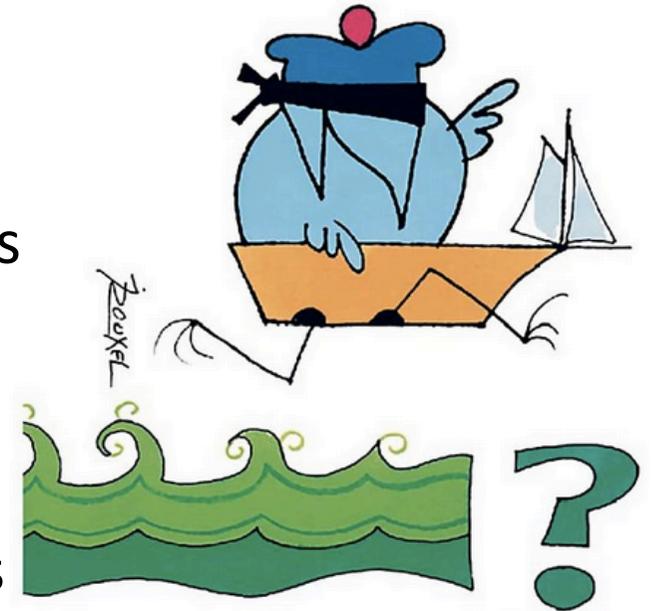
C. Local Math / Global non Math

- ✓ **Exemple 2** : Structuration d'un réseau en parties denses et non denses.
- Questions : Etant donné un réseau, peut-on dégager ses éléments structurants par suppression successive d'éléments qui vérifient certaines propriétés locales ?
- Méthode : on définit un indicateur de densité locale et on supprime de façon itérative les sommets ou groupes de sommets pour lesquels l'indicateur est supérieur à celui obtenu pour un sommet similaire dans un modèle nul.
- Résultat : Un « squelette » du réseau qui structure les parties non denses en connexions.
- Objectif : construire une méthode de classification des réseaux qui soit peu coûteuse en temps calcul.



Math/non Math/math/non Math ...

- ✓ Associer des observations obtenues à différentes échelles (globales et locales) dans un modèle de réseau multi-échelles qui permette un travail mathématique.
- ✓ Nécessite de recoller à la fois les données et les méthodes qui sont différentes suivant les échelles.



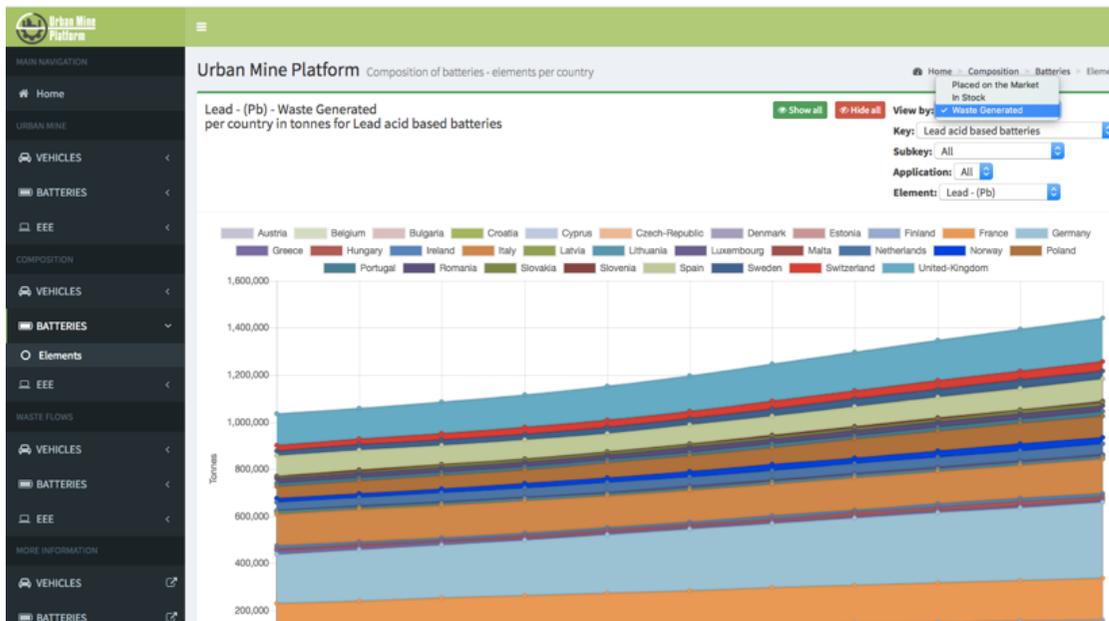
QUAND ON NE SAIT PAS OÙ L'ON VA,
IL FAUT Y ALLER !!...
... ET LE PLUS VITE POSSIBLE.

- ✓ **Exemple** : Modélisation du recyclage dans les réseaux mondiaux de matières.

Math/non Math/math/non Math ...

- ✓ **Exemple** : Modélisation du recyclage des batteries dans les réseaux mondiaux de matières.
 - Des données à l'échelle mondiale par le biais de 3 BDD

urbanmineplatform.eu



Volumes de recyclage de matières secondaires à partir de compositions de batteries types, mais aussi les flux d'import / export de batteries par pays de la zone Europe. Les données sont disponibles au moins pour les dix dernières années.

Math/non Math/math/non Math ...

- ✓ **Exemple** : Modélisation du recyclage des batteries dans les réseaux mondiaux de matières.
 - Des données à l'échelle mondiale par le biais de 3 BDD

urbanmineplatform.eu

ecoinvent.org

Unit Process Exchanges			
Name	Amount	Unit	Uncertainty SD
Reference Products			
+ ethyl acetate	1	kg	
By-product/Waste			
To Environment			
air			
+ Acetic acid	0.00138	kg	Lognormal 1.2214
+ Carbon dioxide, fossil	0.0085398	kg	Lognormal
+ Ethanol	0.00124	kg	Lognormal 1.2214
+ Water	0.0093	m3	Lognormal 1.4918
water			
+ Acetic acid	0.00552	kg	Lognormal 2.827
+ BOD5, Biological Oxygen Demand	0.0156	kg	Lognormal 1.2214
+ COD, Chemical Oxygen Demand	0.0156	kg	Lognormal 1.2214
+ DOC, Dissolved Organic Carbon	0.00479	kg	Lognormal 1.2214
+ Ethanol	0.00496	kg	Lognormal 1.2214
- Sulfate	0.012833	kg	Lognormal 1.2214
Uncertainty	Lognormal (Geometric mean=0.012833, Variance of log-transformed data=0.01, Arithmetic mean of log-transformed data=-4,36, Standard deviation=1.2214, CI/2wP, half range of confidence interval=2.3802, Variance of data with pedigree=0.188) Pedigree matrix: 4 5 5 5 5 , Comment: Estimation		
Compartment	water	Subcompartment	surface water
Classification		Formula	
CAS-Number	014808-79-8	Synonym	
Activity Link		Variable Name	
			Estimation. 0.8% of the raw material input is assumed to leave

données sur l'impact environnemental (ressources et émissions) du cycle de vie d'un objet, et inclut depuis peu des données sur le recyclage

Math/non Math/math/non Math ...

- ✓ **Exemple** : Modélisation du recyclage des batteries dans les réseaux mondiaux de matières.
 - Des données à l'échelle mondiale par le biais de 3 BDD

urbanmineplatform.eu

ecoinvent.org

comtrade.un.org

UNITED NATIONS » DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS » STATISTICS DIVISION » TRADE STATISTICS

UN Comtrade Database Extract data Data Availability Metadata Reference Knowledge base API portal



statistiques officielles du commerce international de matières premières, de produits manufacturés et de matières premières secondaires. Les données relatives au recyclage sont agrégées.

Show 25 entries

Period	Trade Flow	Reporter	Partner	Commodity Code	Trade Value (US\$)	Netweight (kg)	Qty Unit	Qty	Flag
2018	Import	Barbados	China	850650	\$23,924	2,775	No Quantity	0	2
2018	Import	Guyana	China	850650	\$55,860	32,654	Number of items	582,434	0
2018	Import	Saint Vincent and the Grenadines	China	850650	\$1,739	82	No Quantity	0	2
2018	Import	Cabo Verde	China	850650	\$5,651	8	No Quantity	0	2
2018	Import	Georgia	China	850650	\$25,874	801	Number of items	74,918	0
2018	Import	Mexico	China	850650	\$30,233,279	892,473	No Quantity	0	6
2018	Export	Mexico	China	850650	\$106,886	1,950	No Quantity	0	6
2018	Import	Rep. of Moldova	China	850650	\$304,314	5,084	Number of items	442,172	4
2018	Import	Philippines	China	850650	\$4,001,693	0	Number of items	122,382	4
2018	Export	Philippines	China	850650	\$481	0	Number of items	65	4
2018	Import	Ukraine	China	850650	\$1,327,603	65,381	Number of items	9,511,927	4

🔄 Math/non Math/math/non Math ...

✓ **Exemple** : Modélisation du recyclage des batteries dans les réseaux mondiaux de matières.

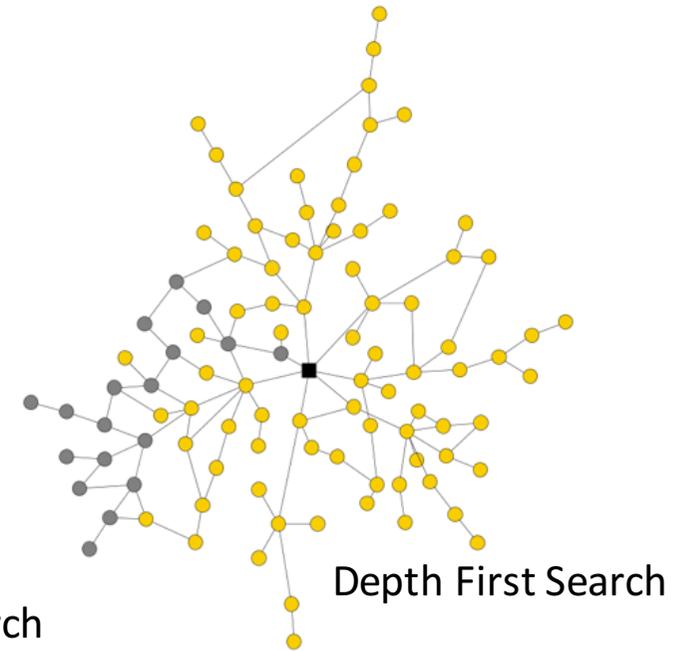
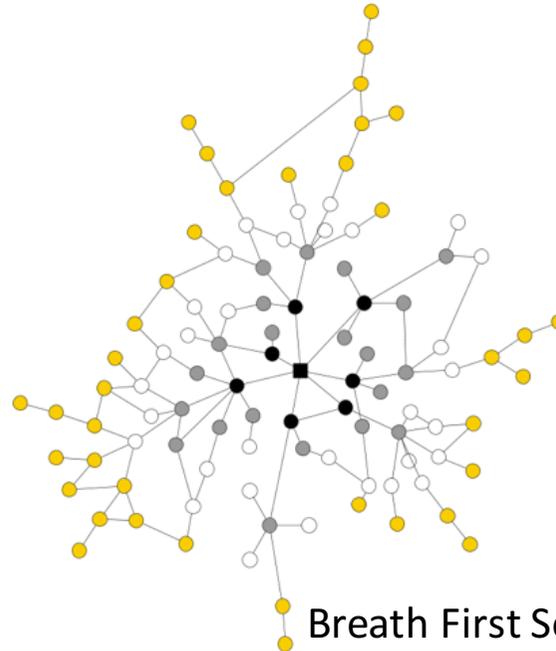
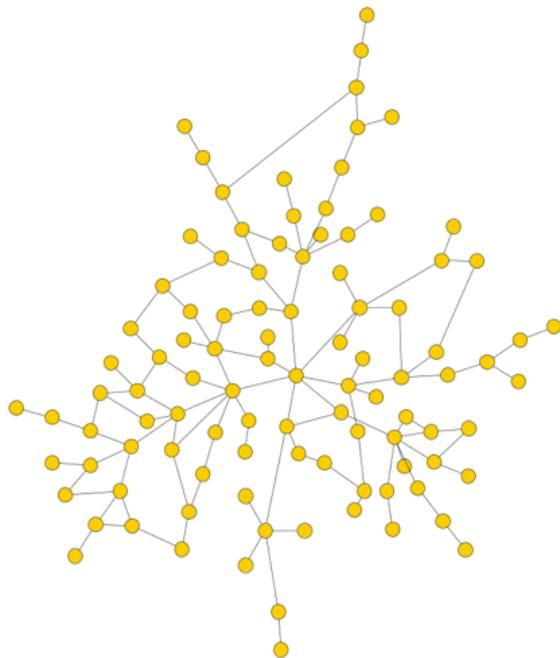
➤ Des données à l'échelle mondiale par le biais de 3 BDD

urbanmineplatform.eu

ecoinvent.org

comtrade.un.org

➤ Des données aux échelles locales par le biais d'enquêtes sur sites. Les enquêtes successives peuvent être menées en suivant une logique de « largeur d'abord » ou « profondeur d'abord ».



Math/non Math/math/non Math ...

✓ **Exemple** : Modélisation du recyclage des batteries dans les réseaux mondiaux de matières.

➤ Des données à l'échelle mondiale par le biais de 3 BDD

urbanmineplatform.eu

ecoinvent.org

comtrade.un.org

➤ Des données aux échelles locales par le biais d'enquêtes sur sites. Les enquêtes successives peuvent être menées en suivant une logique de « largeur d'abord » ou « profondeur d'abord ».

➤ On dispose alors d'un réseau global partiellement exploré localement par des échantillonnages.

- À partir d'une catégorisation bien choisie des acteurs, l'échantillonnage peut permettre des hypothèses sur le réseau aux échelles locales



Benefits of Bias: Towards Better Characterization of Network Sampling

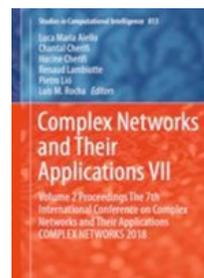
Arun S. Maiya
Dept. of Computer Science
University of Illinois at Chicago
arun@maiya.net

Tanya Y. Berger-Wolf
Dept. of Computer Science
University of Illinois at Chicago
tanyaw@cs.uic.edu

ABSTRACT

From social networks to ISP systems, network sampling arises in many settings. We present a detailed study on the nature of biases in network sampling strategies to shed light on how best to sample from networks. We investigate connections between specific biases and various measures of structural representativeness. We show that certain biases are, in fact, beneficial for many applications, as they "break" the sampling process towards inclusion of desired properties. Finally, we describe how these sampling biases can be exploited in several, real-world applications including disease outbreak detection and market research.

From social networks to ISP systems, network sampling arises in many settings. We present a detailed study on the nature of biases in network sampling strategies to shed light on how best to sample from networks. We investigate connections between specific biases and various measures of structural representativeness. We show that certain biases are, in fact, beneficial for many applications, as they "break" the sampling process towards inclusion of desired properties. Finally, we describe how these sampling biases can be exploited in several, real-world applications including disease outbreak detection and market research.



Exploring Partially Observed Networks with Nonparametric Bandits

Kamuhiko Matsuura¹ and Tsuyoshi Murata
Tokyo Institute of Technology, W-59, 3-12-1, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo
152-8552, Japan
katsu@res.titech.ac.jp
http://www.aist.c.titech.ac.jp/

Abstract. Real-world networks such as social and communication networks are too large to be observed entirely. Such networks are often partially observed such that network size, network topology, and nodes of the original network are unknown. In this paper we formalize the Adaptive Graph Exploration problem. We assume that we are given an incomplete snapshot of a large network and additional nodes can be discovered by querying nodes in the currently observed network. The goal of this problem is to maximize the number of observed nodes within a given query budget. Querying which set of nodes maximizes the size of the observed network? We formulate this problem as an exploration-exploitation problem and propose JKNN-UCB, a novel nonparametric multi-arm bandit (MAB) algorithm for determining which nodes to be queried in an adaptive manner. Unlike stochastic networks and real-world networks from old

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

The Polynomial Volume Law of Complex Networks in the Context of Local and Global Optimization

vol. 30 December 2017
no. 6 July 2018
doi:10.1038/s41598-018-27701-8

Franz-Benjamin Meckel

Many complex networks expose global hub structures. For some nodes, the number of incident edges far exceeds the average, leading to a small average shortest path length. Such "small-world properties" are often guided by a scale-free power-law distribution of the node degrees, and self-organization inside the network has been identified as a reason driving the emergence of this structure. Small-world networks have recently raised lots of interest, because they capture the global topology of the World-Wide-Web, metabolic, and social networks. While small-world networks reflect global structures, little attention is paid to the local structure of complex networks. In this article neighbourhoods are demonstrated to share a common local structure in many real complex networks, manifested by a polynomial volume law. This law can, in case of networks that are embedded in space, be explained

Conclusion

- ✓ Le développement du numérique et l'augmentation des puissances de calcul et de stockage permettent la production et l'échange de « larges » masses de données sur le fonctionnement des systèmes aux différentes échelles.
- ✓ Pour autant : Science de la complexité (complexity science) \neq Science des données (data science). Il faut recoller les pans de la recherche scientifique pour éviter un réductionnisme à une science qui ne serait plus qu'une « data science » : recoller les concepts, outils, méthodes, ...
- ✓ Favoriser les réflexions interdisciplinaires pour traiter la complexité des enjeux sociaux et environnementaux actuels.



Merci