

## *Version française*

### **Appliquer l'Economie des Réseaux à la Transition Energétique : Essais sur les processus de diffusion et de négociations**

Mon doctorat se concentre sur **l'économie des réseaux, appliquée aux questions environnementales**. Présentée comme une branche émergente de l'économie, l'économie des réseaux « imprègnent notre vie sociale et économique. Ils jouent un rôle central dans la transmission d'informations sur les opportunités d'emploi et sont essentiels au commerce de nombreux biens et services. [...] **Les réseaux jouent également un rôle important dans la détermination de la propagation des maladies**, des produits que nous achetons » (Jackson, Réseaux sociaux et économiques, p. 17, 2008). En effet, les recherches sur la diffusion dans les réseaux ont porté sur un large éventail de sujets tels que les maladies (Klov Dahl, 1985), les rumeurs (Moreno, 2004), les risques systémiques de faillites bancaires (Elliott et al. 2014), l'adoption de plates-formes (David, 1985) et les brevets (Aghion, 2015). Les conclusions sur ces phénomènes partagent des caractéristiques communes. **Premièrement, la diffusion est un processus social et le comportement d'adoption d'un individu est fortement corrélé au comportement de ses contacts** (c'est-à-dire aux externalités de réseau). Deuxièmement, la structure du réseau joue un rôle essentiel dans la dynamique de la diffusion. Certains processus restent contenus dans des clusters isolés tandis que d'autres se propagent à l'ensemble du réseau d'agents (Teytelboym, 2016).

En ce qui concerne la diffusion épidémique dans les réseaux, deux processus principaux sont fréquemment identifiés: les dynamiques de "contagions simples" et les dynamiques de "**contagions complexes**" (Centola et Macy, 2007). Si le premier ne nécessite qu'un seul contact pour la transmission (par exemple, information, maladie), le second nécessite de multiples sources de renforcement pour induire l'adoption (par exemple, comportement, technologie). Sur cette question, Centola et Macy (2007) ont démontré que l'impact de la structure de réseau sous-jacente change en fonction du processus de diffusion en cours. Le cluster est un facteur déterminant de la diffusion dans des scénarios de contagions complexes (Beaman, 2018; Centola, 2018). Ainsi, que l'objectif soit de réduire le risque de contagion ou qu'il soit de maximiser l'adoption d'une technologie / politique, il est essentiel de comprendre comment l'histoire et la structure du réseau affectent les cascades de diffusion pour la conception de politiques publiques efficaces.

**En tant que chercheur en économie de l'environnement**, le déploiement des technologies propres (1), la diffusion des politiques climatiques (2) et les accords internationaux (3) constituent une question à explorer avec une approche réseau. Dans ce contexte, ma thèse explore un nouveau champ de recherche en l'appliquant à des problématiques actuelles, dans un contexte où l'urgence climatique nous demande d'agir avec efficacité.

1) **La contribution théorique** intitulée «Cascading Technology in Networks» (2019) présente un **modèle de contagion complexe de la diffusion de technologies propres** dans les réseaux et évalue la manière dont les caractéristiques des réseaux (ex. clustering d'agents) influencent la dynamique des cascades. Je considère le Linear Threshold Model (LTM) de cascades dans des réseaux dans lequel un agent est contaminé (par exemple, adopte la technologie) si la proportion de ses voisins qui ont déjà été contaminé dépasse son seuil d'influence. J'étends le modèle original (Granovetter, 1978) en introduisant un second seuil traitant de la fonction de coût technologique associée, avec des effets d'apprentissage. En conséquence, un agent "switch" si et seulement si ses deux seuils sont franchis. Les seuils des agents sont tirés au hasard au début du processus en cascade. Le papier présente des résultats numériques pour le nombre attendu de "switch" dans trois grandes classes de réseaux finis (random, lattice et small world) avec des adoptants initiaux aléatoires. En comparant les niveaux globaux de diffusion, les longueurs des cascades associées et la vitesse de convergence de la diffusion, le modèle donne une estimation des impacts du réseau sur la diffusion. Les résultats

suggèrent que pour des niveaux d'apprentissage faibles à élevés, le **clustering est essentiel dans la dynamique des cascades** (c.-à-d. La diffusion dans les réseaux en réseau et dans le petit monde). Cette recherche examine les implications des résultats pour le cas du déploiement de la technologie du biogaz dans le domaine de l'agriculture et expose les recommandations politiques (à savoir le rôle critique des coopératives en tant que substitut du clustering).

2) La deuxième contribution, un travail commun avec la professeure Anna Creti (Université Paris Dauphine / CEC) et le professeur Antoine Mandel (PSE / Paris I), **est empirique et actuellement en cours**. D'après la littérature (Desmarais, 2015; Mandel, 2018), la diffusion des idées, des comportements et des politiques est au cœur de nombreux sujets étudiés en économie, notamment l'action collective des groupes, la coopération et le développement. Cependant, ces processus impliquent des connexions dynamiques entre agents et les chercheurs ne peuvent souvent pas observer une telle interdépendance (c'est-à-dire des liens, des connexions). Un exemple en est la **diffusion de la politique environnementale**, qui fait depuis longtemps l'objet de nombreuses recherches en économie de l'environnement (Mandel, 2018). Dans le contexte politique américain, la diffusion est généralement conceptualisée comme un processus par lequel les Etats adoptent des politiques (en partie) car d'autres Etats les ont adoptés. Cela implique un réseau de diffusion des politiques reliant les États sur lesquels la contagion législative se propage. À l'aide d'un ensemble de données recueillies de 80 politiques environnementales et climatiques (c.-à-d. cascades), nous introduisons et appliquons un algorithme qui **déduit ce réseau de modèles de diffusion persistants** (Gomez Rodriguez, 2014). Dans une seconde partie, nous évaluons économétriquement les déterminants de la structure du réseau (politique, géographique, économique). Les résultats contribueront à la connaissance de la diffusion de la politique environnementale à plusieurs égards (ex. modèle de diffusion à travers les États-Unis, déterminants). De plus, en introduisant l'inférence de réseau dans la diffusion de l'économie politique, notre recherche offre aux chercheurs un cadre général pour recouvrer de manière empirique l'interdépendance latente et dynamique entre les entités politiques (ex. les États).

3) La dernière contribution porte sur le thème des négociations d'accords environnementaux et de la théorie des jeux coopératifs, à partir d'une approche réseau. Par exemple, le retrait des États-Unis de l'accord de Paris n'a pas amené de nouveaux acteurs à "quitter la table". À partir d'une approche réseau, il pourrait être intéressant de déterminer si les États-Unis étaient / n'étaient pas un acteur clé dans les négociations sur le climat.

Dans l'ensemble, ma thèse explore une nouvelle approche des systèmes économiques, des diffusions et des négociations avec l'ambition d'apporter de nouvelles connaissances pour mieux comprendre notre monde, soumis au changement climatique.

### **Version anglaise**

#### **Applying Economic Networks to the Green Transition: Essays on Diffusions and Negotiations**

My Ph.D. research focuses on **economic networks, applied to environmental issues**. Presented as an emerging branch of Economics, economic networks « *permeate our social and economic lives. They play a central role in the transmission of information about job opportunities, and are critical to the trade of many goods and services. [...] networks are also important in determining how diseases spread, which products we buy* » (Jackson, Social and Economic Networks, p. 17, 2008). Indeed, research on diffusion in networks has focused on a wide range of topics such as diseases (Klov Dahl, 1985), rumors (Moreno, 2004), systemic risks of bank failures (Elliott et al., 2014), platform adoption (David, 1985) and patenting (Aghion, 2015). Conclusions on these phenomena share common

features. First, **diffusion is a social process** and an **individual's adoption behavior is highly correlated with the behavior of her contacts** (ie. network externalities). Second, the structure of the **network plays a critical role** in the dynamics of the diffusion. Some processes remain contained in isolated clusters while others spread to the whole network (Teytelboym, 2016).

With respect to epidemic diffusion in networks, two main processes are frequently identified : "simple contagions" and "**complex contagions**" dynamics (Centola and Macy, 2007). If the former requires only one contact for transmission (eg. information, disease), the latter calls for multiple sources of reinforcement to induce adoption (eg. behavior, technology). On this issue, Centola and Macy (2007) demonstrated that the impact of the underlying network structure changes according to the diffusion process operating. Especially, clustering is a determinant of diffusion under complex contagions scenarios (Beaman, 2018; Centola, 2018). Then, whether the goal is to reduce contagion risk or to maximize adoption of a technology/policy, understanding how early history and network structure affect diffusion cascades is critical for the design of public policies.

**As an Environmental Economics researcher**, a relevant issue to explore with a network approach is the case of clean technologies deployment (1), climate policies diffusion (2) and international agreements (3). Then, my two first contributions (1, 2) investigate theoretically and empirically these issues. The following provides a short description of these researches:

1) **The theoretical contribution** entitled « Cascading Technology in Networks » (2019), currently under review as a Chair's Working Paper publication, presents a **complex contagion model of clean technology diffusion** in networks and assesses how networks' characteristics such as agents clustering and short path length influence the dynamics of cascades. I consider a linear threshold model (LTM) of cascades in networks in which an agent switches (eg. adopts the technology) if the proportion of his neighbors who have already switched exceeds his threshold. I extend the original model (Granovetter, 1978) by introducing a second threshold dealing with the associated technology cost function subject to learning effects. As a result, an agent switches if and only if his two thresholds are crossed. Agents' thresholds are drawn randomly at the start of the cascade process. The paper presents numerical results for the expected number of switches in three broad classes of finite networks (lattice, small-world and random) with any initial seeds. By comparing aggregate levels of diffusion, associated cascades' lengths and adoption speed of convergence, the model gives an estimate of the impacts of clustering, short path length and technological learning effect on diffusion. Results suggest that from low to high levels of learning, **clustering is critical in cascades' dynamics** (ie. diffusion in lattice and small world networks). The paper discusses implications of results for the case of biogas technology deployment in the field of agriculture and exposes associated policy recommendations (ie. the critical role of cooperatives as a proxy for clustering).

2) The second contribution, a joint work with Prof. Anna Creti (Paris Dauphine University/CEC) and Prof. Antoine Mandel (PSE/Paris I) is **empirical and currently in progress**. Based on the literature (Desmarais, 2015; Mandel, 2018), the spreading of ideas, behaviors, and policies forms the core of many topics studied in Economics, including collective action of groups, cooperation, and development. However, these processes imply dynamic connections among agents and scholars often cannot observe such interdependence (ie. links, connections). One example is **environmental policy diffusion**, which has long been a focus of multiple researches in environmental economics (Mandel, 2018). In the United States politics context, diffusion is commonly conceptualized as a dyadic process whereby states adopt policies (in part) because other states have adopted them. This implies a policy diffusion network connecting the states on which the legislative contagion spreads. Using a collected dataset of 80 environmental and climate policies (ie. cascades), we introduce and apply an algorithm that **infers this network from persistent diffusion patterns** (Gomez Rodriguez, 2014). In a second part, we will econometrically evaluate the determinants of the structure of the network (political, geographical, economic). The results will contribute to knowledge on

environmental policy diffusion in several respects (eg. pattern of diffusion across the US States, determinants). Additionally, by introducing network inference to political economy diffusion, our research provides scholars across with a general framework for empirically recovering the latent and dynamic interdependence among political entities (ie. states).

3) The third chapter of my thesis will focus on Environmental Agreements at the international scale. Precisely, this work will be about environmental agreements negotiations and cooperative game theory, from a network approach. For instance, the withdrawal of the United States from the Paris agreement has not led new actors to quit. From a network approach, it could be interesting to investigate if the United States were/were not a key player in climate negotiations.

**Overall**, my thesis explores a new approach to economic systems, diffusions and negotiations with the ambition to bring new insights to better understand our world, subject to climate change.