HAL
open science

Impacts de l'attractivité portuaire sur les flux de marchandises dans un contexte compétitif

Thibaut Démare, Stefan Balev, Cyrille Bertelle, Antoine Dutot, Dominique Fournier, Eric Sanlaville

To cite this version:

Thibaut Démare, Stefan Balev, Cyrille Bertelle, Antoine Dutot, Dominique Fournier, et al.. Impacts de l'attractivité portuaire sur les flux de marchandises dans un contexte compétitif. Spatial Analysis and GEOmatics 2017, INSA de rouen, Nov 2017, Rouen, France. hal-01649154

HAL Id: hal-01649154

https://hal.science/hal-01649154v1

Submitted on 27 Nov 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Impacts de l'attractivité portuaire sur les flux de marchandises dans un contexte compétitif

Thibaut Démare, Stefan Balev, Cyrille Bertelle, Antoine Dutot, Dominique Fournier, Eric Sanlaville

Laboratoire d'Informatique, du Traitement de l'Information et des Systèmes, Normandie Université, Le Havre, France

{prenom.nom}@univ-lehavre.fr

RÉSUMÉ. *Nous présentons dans ce papier la modélisation d'un système logistique à l'aide d'agents couplé à des graphes dynamiques. Nous avons adopté une approche système complexe dans laquelle on décrit les propriétés locales et les règles de fonctionnement de ces organisations pour comprendre comment les propriétés macroscopiques émergent. On présente également des résultats dans lesquels on montre comment un paramètre local (qui représente l'attractivité des ports) affecte le trafic de marchandises sur le territoire.*

ABSTRACT. *We present in this paper the modeling of a logistic system thanks to agents and dynamic graphs. We adopted a complex system approach which allow us to describe the local properties and the functional rules of these organizations in order to understand how macro properties emerge. We also present some results: we show how a local parameter (which represents the attractiveness of ports) affects the traffic of goods on the territory.*

MOTS-CLÉS : *modèle orienté agent, graphe dynamique, système logistique, modélisation, système complexe*

KEYWORDS: *agent-based model, dynamic graph, logistic system, modeling, complex system*

1. Introduction

Le territoire d'un système logistique est composé d'infrastructures logistiques et d'un ensemble d'acteurs. Ces acteurs sont nombreux et hétérogènes (*e.g.* les fournisseurs de marchandises, les prestataires logistiques, les transporteurs, les destinataires finaux...). Néanmoins, aucun acteur n'a un pouvoir de décision absolu sur l'ensemble du transport de marchandises. En réalité, chaque acteur n'en contrôle qu'une partie. Ils doivent donc coopérer ensemble pour organiser un flux cohérent. Le système est ainsi organisé grâce à des décisions prises localement. L'objectif étant de supporter différents types de flux (de marchandises, d'informations, ou financiers). Pourtant, même si cette organisation est distribuée, on peut observer des structures particulières à une échelle macroscopique : par exemple, l'existence de corridors entre les nœuds d'accès au territoire (les ports maritimes, les aéroports,...) et les aires urbaines. Les systèmes logistiques sont associés à un ensemble de problèmes (par exemple, des phénomènes de congestions des routes). Ces problèmes sont souvent associés à des enjeux économiques, politiques ou même écologiques. Une ville comme Paris peut recevoir de la marchandise qui a transitée par le port de Havre ou celui d'Anvers. C'est dû au fait que les hinterlands (zone d'influence et d'attraction économique d'un port) respectifs de ces deux ports se chevauchent. Il existe donc une compétition entre Le Havre et Anvers. Aujourd'hui, il est donc nécessaire d'étudier le fonctionnement de tels systèmes. Plus particulièrement, on cherche ici à comprendre, à différentes échelles, comment les entités constituantes d'un système logistiques s'organisent collectivement, de manière autonomes et distribuées, pour gérer des flux cohérents malgré différentes contraintes (spatiales, politiques, économiques...). L'objectif final est ici d'aider à la décision en facilitant l'observation des effets des paramètres locaux sur les propriétés macroscopiques de ces systèmes grâce à la simulation. Choi *et al.* (Choi *et al.*, 2001) ont proposé de considérer les systèmes logistiques comme des *systèmes complexes adaptatifs*. On utilise souvent des approches orientées agents dans ce contexte (Davidsson *et al.*, 2005). En effet, ces modèles sont organisés spatialement, et peuvent traiter des données hétérogènes et désagrégées. Nous proposons un approche multi-échelle grâce à un modèle orienté agent et des graphes dynamiques (Démare, 2016 ; Démare *et al.*, 2017). Cela permet de décrire la complexité des systèmes logistiques : afin de générer un phénomène d'émergence des propriétés macroscopiques, on modélise les caractéristiques locales des acteurs et des infrastructures (répartis spatialement sur le territoire), ainsi que les règles dynamiques de fonctionnement qui les animent. L'article décrit d'abords le modèle. On verra quels sont les différents types d'agent et quelles règles de fonctionnement les animent. On décrira également comment est représenter les réseaux de transport qui sera le support du flux de marchandises. Puis, nous parlerons des résultats obtenus grâce à une première implémentation du modèle dans une plateforme de simulation. On étudiera en particulier comment un paramètre local (représentant l'attractivité des ports) peut affecter le trafic de marchandises sur le territoire.

2. Modèle

2.1. Acteurs et agents

Les agents "destinataires finaux" possèdent des stocks locaux qui baissent chaque jour en fonction d'un nombre aléatoire biaisé (selon le modèle de Huff (Huff, 1964) qui prend en compte les densités de population et l'accessibilité au réseau). Les stocks externalisés des destinataires finaux sont gérés par des prestataires logistiques. Un destinataire n'a qu'un seul prestataire (choisit selon un aléatoire biaisé par la distance), mais un prestataire peut avoir zéro ou plusieurs client(s). Un prestataire logistique conçoit et gère un réseau d'approvisionnement composé d'entrepôts. Ces derniers sont connectés aux destinataires ainsi qu'à un fournisseur de marchandises. Une fois leur réseau conçu, chaque prestataire logistique contrôle le niveau des stocks chaque jour, et ordonne un réapprovisionnement (si nécessaire) depuis l'un des entrepôts du réseau ou le fournisseur. Au cours de la simulation, un destinataire final mesure régulièrement la performance de son prestataire logistique. Si la performance mesurée est trop faible, alors le destinataire peut décider de changer de prestataire. Les fournisseurs de marchandises sont extérieurs au système et représente les nœuds d'accès évoqués ci-dessus. On considère qu'ils agrègent l'ensemble des fournisseurs réels. Ils peuvent satisfaire toutes les commandes de n'importe quel type de produit, dans n'importe quel quantité. Il y a un agent fournisseur pour chaque nœud d'accès modélisé.

2.2. Réseau de transport et graphes dynamiques

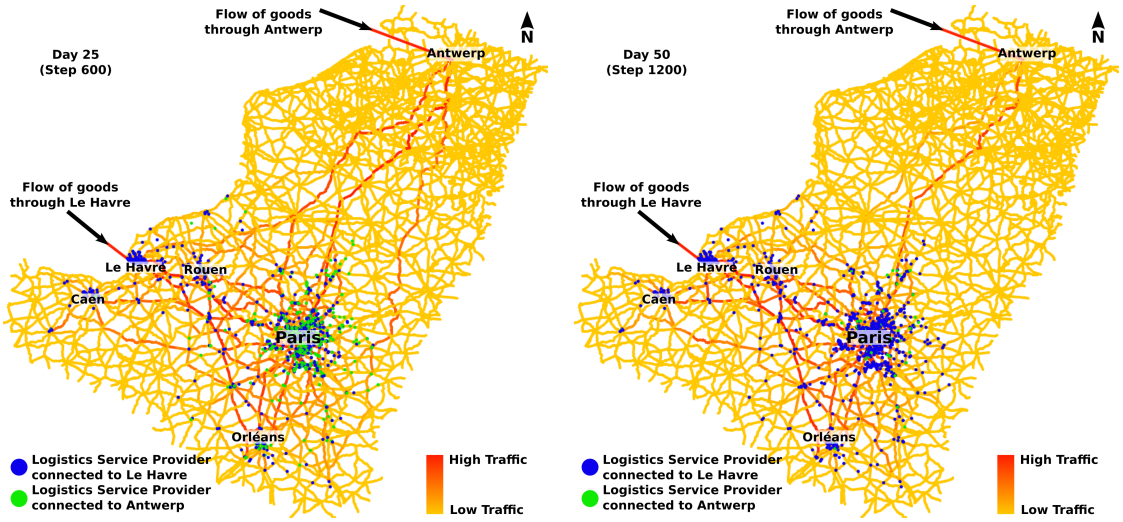
Le réseau de transport est modélisé par un graphe dynamique (Savin, 2014). Cela veut dire que sa topologie peut varier au cours de la simulation (routes en travaux, ouverture d'une nouvelle autoroute...). Des agents "véhicule" transportent la marchandise sur ce graphe. À leur création, ces agents calculent un plus court chemin vers leur destination. Tandis qu'ils se déplacent le long des arêtes du graphe (et en fonction des limitations de vitesse), les véhicules laissent une trace de leur passage sur chaque arête. Cette trace prend la forme d'une variable que chaque arête possède et qui est incrémenté par les véhicules à hauteur de la quantité de marchandises transportées. À chaque nouvelle étape de la simulation, un coefficient fait baisser la valeur des traces de chaque arête (à l'image des algorithmes d'optimisation par colonie de fourmis (Dorigo, 1992) qui modélisent des phéromones s'évaporant progressivement). La trace est ici utilisé pour observer l'évolution du trafic sur le réseau : lorsqu'une arête est très utilisée, la valeur de la trace sera élevée, mais si cette arête n'est plus utilisée à un moment donné pour une quelconque raison, le processus dynamique d'évaporation mettra en évidence ce changement car la valeur de la trace baissera.

3. Résultats

Nous avons implémenté ce modèle dans la plateforme de simulation GAMA. Dans notre simulation nous utilisons des données réelles du territoire de l'axe Seine. Nous avons inclus deux fournisseurs de marchandises : l'un connecté au port du Havre, et l'autre connecté au port d'Anvers. Nous avons donc également étendu le réseau de transport afin d'inclure l'axe Anvers-Paris (voir figure 1). Nous étudions ici comment un paramètre (qui représente la compétition entre les deux ports) affecte les flux de marchandises sur le territoire. Ce paramètre est la probabilité qu'un prestataire logistique choisisse l'un des fournisseurs plutôt que l'autre. Inspiré des modèles gravitaires (Stewart, 1948), nous définissons cette probabilité à partir de :

$$F_{ij} = \frac{A_i}{d_{ij}^2}$$

avec F_{ij} est la force d'attraction entre le port i et le prestataire j. A_i est l'attractivité du port i. Ce paramètre représente la compétition entre les ports : une attractivité plus élevée signifie que le port est plus compétitif qu'un autre. Et d_{ij} est la distance entre i et j.



(a) Scenario 1: Le port d'anvers est 3 fois plus attractif que celui du Havre

(b) Scenario 2: Le port du Havre est 5 fois plus attractif que celui d'Anvers

Figure 1. Évolution du trafic avec des valeurs d'attractivité différentes

Afin d'estimer l'attractivité, nous avons étudié les statistiques portuaires. En terme d'EVP (Equivalent Vingt Pieds), le trafic du port d'Anvers est environ 3 fois plus important que celui du Havre. Ainsi, on peut considérer,

comme scénario réaliste, de fournir une attractivité de 3 pour l'agent fournisseur connecté à Anvers, et une attractivité de 1 pour celui du Havre. La figure 1a représente ce scénario après 600 étapes simulées. On y observe trois routes sur l'axe Anvers-Paris dont les flux de marchandises sont particulièrement importants. Après la 600ème étape, nous avons modifié l'attractivité des ports et avons donné une valeur de 5 pour le Havre et seulement 1 pour Anvers. Cela permet d'étudier comment le trafic est affecté par des valeurs d'attractivité extrême (bien que non réaliste). La figure 1b montre que dans cette configuration, il n'y plus qu'une route majeur sur l'axe Anvers-Paris.

4. Conclusion

Nous avons mis en évidence l'importance de l'attractivité portuaire sur le trafic (et donc sur la congestion) dans un système logistique. La dynamique de notre modèle permet de définir des scénarios qui peuvent être activés à différents moments d'une même simulation. Cependant, la simulation inclut seulement le réseau routier. Ainsi, comme perspective de travaux futures, nous souhaitons développer le caractère multi-modal du réseau de transport dans les prochaines versions du modèle.

Bibliographie

Choi T. Y., Dooley K. J., Rungtusanatham M. (2001). Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence. *Journal of Operations Management*, vol. 19, n° 3, p. 351 - 366.

Davidsson P., Henesey L., Ramstedt L., Törnquist J., Wernstedt F. (2005). An analysis of agent-based approaches to transport logistics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 13, n° 4, p. 255 - 271.

Démare T. (2016). *Une approche systémique à base d'agents et de graphes dynamiques pour modéliser l'interface logistique port-métropole.* Thèse de doctorat non publiée, Normandie Université - Le Havre.

Démare T., Bertelle C., Dutot A., Lévêque L. (2017). Modeling logistic systems with an agent-based model and dynamic graphs. *Journal of Transport Geography*, vol. 62, p. 51 - 65.

Dorigo M. (1992). *Optimization, learning and natural algorithms.* Thèse de doctorat non publiée, Politecnico di Milano, Italy.

Huff D. L. (1964). Defining and estimating a trading area. *Journal of Marketing*, vol. 28, n° 3, p. pp. 34-38.

Savin G. (2014). *Intelligence en essaim pour la distribution de simulations dans un écosystème computationnel.* Thèse de doctorat non publiée, Université du Havre.

Stewart J. Q. (1948). Demographic Gravitation: Evidence and Applications. *Sociometry*, vol. 11, n° 1/2, p. 31–58.