



**HAL**  
open science

## Estimer des flux de navetteurs avec un modèle gravitaire

Safaâ Amarouch, Jean-Baptiste Durand, Didier Josselin, Louissette Garcin,  
Nathalie Brachet, Frédéric Audard, Samuel Carpentier-Postel

► **To cite this version:**

Safaâ Amarouch, Jean-Baptiste Durand, Didier Josselin, Louissette Garcin, Nathalie Brachet, et al.. Estimer des flux de navetteurs avec un modèle gravitaire. SAGEO 2019: Spatial Analysis and Geomatics, Nov 2019, Clermont-Ferrand, France. halshs-02528166

**HAL Id: halshs-02528166**

**<https://shs.hal.science/halshs-02528166>**

Submitted on 1 Apr 2020

**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.

---

# Estimer des flux de navetteurs avec un modèle gravitaire

## Application géomatique en région Provence Alpes Côte d'Azur

Safaâ Amarouch<sup>1</sup>, Jean-Baptiste Durand<sup>1</sup>,  
Didier Josselin<sup>2</sup>, Louissette Garcin<sup>1</sup>, Nathalie Brachet<sup>2</sup>,  
Frédéric Audard<sup>3</sup>, Samuel Carpentier-Postel<sup>3</sup>

1. Master Géomatique et Conduite de Projets Territoriaux, Coursus Master  
Ingénierie "Modélisation Géographique des Territoires"

*jean-baptiste.durand@alumni.univ-avignon.fr*

2. UMR 7300 ESPACE, Université d'Avignon

*didier.josselin@univ-avignon.fr*

3. UMR 7300 ESPACE, Aix Marseille Université

*frederic.audard@univ-amu.fr*

---

*RÉSUMÉ. Dans ce poster, nous présentons le modèle gravitaire sous différents modèles en mettant en évidence les effets de distance et les occasions interposées. Le modèle généralisé de Newton est utilisé et donne des estimations relativement corrects des flux intercommunaux en région PACA.*

*ABSTRACT. In this poster, we present the gravity model in geography, with different modelling including distance effect and intervening opportunities. The generalized Newton model is used to estimate population flows between municipalities in the French Provence Alpes Côte d'Azur Region. It provides rather good results.*

*MOTS-CLÉS : modèle gravitaire, occasions interposées, flux de populations intercommunales, modèle de Newton généralisé*

*KEYWORDS: gravity model, intervening opportunities, population flows, Newton generalized modelling*

---

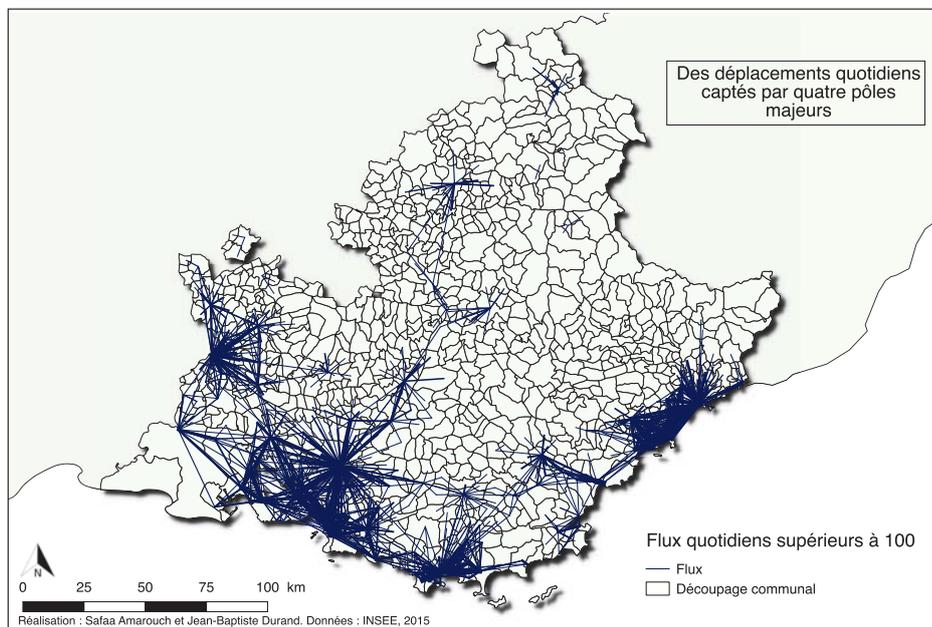


FIGURE 1. Exemples de flux de navetteurs en région PACA

## 1. Contexte et objectifs

Le modèle gravitaire découle de la propriété très générale selon laquelle deux masses s'attirent ou entretiennent des échanges privilégiés d'autant plus fortement qu'elles sont importantes et proches. Cette propriété se décline dans l'espace, qu'il soit intersidéral ou géographique. Évidemment, les formes de cette interaction et de cette attractivité sont largement différentes selon le contexte considéré. Cela peut en effet se traduire par une force d'attraction, comme par des flux entre les masses. Plus particulièrement, dans l'espace géographique apparaissent plusieurs éléments : la friction, c'est à dire la difficulté à se déplacer, qui est différenciée à cause de l'anisotropie spatiale, mais également la non symétrie des échanges entre deux masses équivalentes (des villes ou des stations de service de transport, par exemple) et l'effet de la topologie d'un ensemble de masses en interactions concurrentielles, constituant un réseau particulièrement complexe à appréhender. La carte de la Figure 1 présente des flux observés journaliers de plus de 100 personnes en région Provence Alpes Côte d'Azur.

Ce poster présente les principales approches dérivées du modèle gravitaire, les discute en mettant en évidence leur spécificité. Ce travail est réalisé dans le cadre d'un projet de recherche action avec la région Provence Alpes Côtes

## Estimer des flux de navetteurs avec un modèle gravitaire

d'Azur qui participe à la prospective territoriale régionale en termes de mobilité à l'horizon 2020 et 2040, dans le cadre du Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des territoires. À ce titre, nous avons été notamment sollicités pour analyser et modéliser les flux régionaux. C'est là qu'intervient le modèle gravitaire, dont l'usage peut, dans une certaine mesure, donner une idée des grands mouvements de personnes sur un semis de générateurs de flux et de pôles urbains.

### 2. Les modèles gravitaires

Auteur	Objectif	Formule	Masse	Distance ( $d_{ij} > 0$ )	Commentaire
<b>Tobler (1970)</b>	Estimer flux pendulaires	$F_{ij} = \frac{1}{d_{ij}^2}$	Produit de masses ; Asymétrique si exposants ; effet positif	Effet inverse	Calcul log-linéaire ; problème division par 0
<b>Reilly (1931)</b>	Estimer bassin d'attraction	$B_{ij} = \frac{d_{ij}}{1 + \sqrt{\frac{M_i}{M_j}}}$	Rapport de masse $j/i$ ; effet inverse	Au numérateur ; effet positif car calcul de bassin/frontière	Pas de calcul de flux, plutôt bassin
<b>Newton (1684)</b>	Estimation de flux pendulaires	$F_{ij} = \frac{M_i^\alpha M_j^\beta}{d_{ij}^2}$	Produit de masses ; asymétrique si exposants différents ; effet positif	Effet inverse	Calcul des élasticités avec modèle loglinéaire
<b>Wilson (1971)</b>	Estimation de flux migratoires	$F_{ij} = aM_i \frac{M_j f(C_{ij})}{\sum_{k=1}^k M_k f(C_{ik})}$	Produit de masses normalisé ; effet positif	Effet indirect (à travers fonction de coût) ; effet négatif	Introduction indirecte des opportunités interposées
<b>Stouffer (1940)</b>	Estimation de flux par intégration d'occasions interposées dans un rayon $r$	$F_{ij} = -a \cdot \log(f(\Delta)) + c$	à travers $f(s)$ ( $s$ = nombre cumulé d'occasions interposées)	Effet négatif	Pas d'explicitation de la distance

FIGURE 2. *Quelques modèles gravitaires - Tableau comparatif*

Dans la Figure 2 nous présentons et comparons 5 approches complémentaires bien connues du modèle gravitaire :

- la loi de Reilly identifiant les bassins d'attractivité gravitaires (Reilly, 1931) ;
- les occasions interposées mises en évidence par Stouffer (Stouffer, 1940) ;
- la fameuse loi d'attraction universelle de Newton qui est généralisée pour cet usage ;
- la première loi de la géographie de Tobler (Tobler, 1970) ;
- l'approche de Wilson qui fait intervenir une fonction de friction dans l'espace (Wilson, 1971).

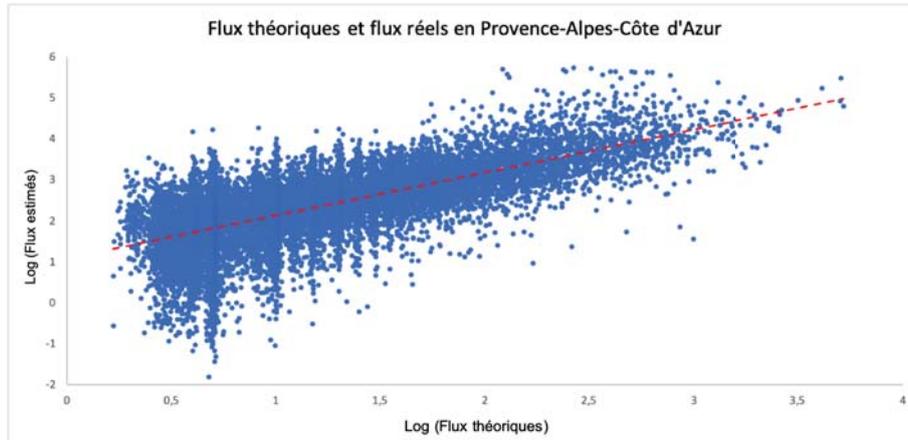


FIGURE 3. *Comparaison entre flux réels et flux théoriques*

Pour Newton, Tobbler et Reilly, la distance est explicite et joue un rôle de frein ou de frontière dans l'attractivité. Pour ces modèles, les entités en relation sont traitées par couples indépendants. Les modèles de Stouffer et Wilson intègrent une forme de friction et prennent en compte l'environnement et les occasions interposées (c'est à dire les entités spatiales disposées entre les deux premières entités en interaction), qui constituent potentiellement une captation de flux théoriques non négligeable, en fonction de la topologie des masses en présence.

### 3. Premiers résultats

Les traitements ont été réalisés au sein d'un Système d'Information Géographique (QuantumGIS) et d'un logiciel de traitement statistique (R). La figure 4 expose la méthodologie de traitement. Celle-ci a nécessité deux grandes phases. Dans un premier temps, nous constituons une base de données spatiales avec les communes et leurs centroïdes, et nous extrayons les flux observés des fichiers des navettes domicile-travail/étude, ainsi que les distances intercommunales. Dans un second temps, nous calculons les flux théoriques en région Provence Alpes Côte d'Azur à partir des populations communales, en utilisant la formule de Newton généralisée. Ces calculs sont réalisés sous R.

La formule utilisée pour estimer les flux  $F_{ij}$  est la forme la plus simple de Newton (cf. Figure 2), où les exposants  $\alpha$  et  $\beta$  des masses  $M_i$  et  $M_j$  sont égaux à 1 et où l'exposant  $\theta$  de la distance  $d_{ij}$  est égal à 2.

$$F_{ij} = \frac{M_i M_j}{d_{ij}^2}$$

## Estimer des flux de navetteurs avec un modèle gravitaire

Le nuage de points de la figure 3 présente la qualité de l'ajustement entre les flux estimés et les flux théoriques. Nous obtenons un  $R^2$  de 0,47 ce qui est assez correct et encourageant (car il s'agit d'un  $R^2$ ). À noter une certaine difficulté rencontrée pour prévoir les petits flux par rapport aux grands flux. Les coefficients en puissance des masses et de la distance pourraient être potentiellement modifiés pour améliorer l'ajustement. D'autres améliorations peuvent être envisagées si l'on prend en compte les occasions interposées, déviant des flux de leur destination théorique optimale.

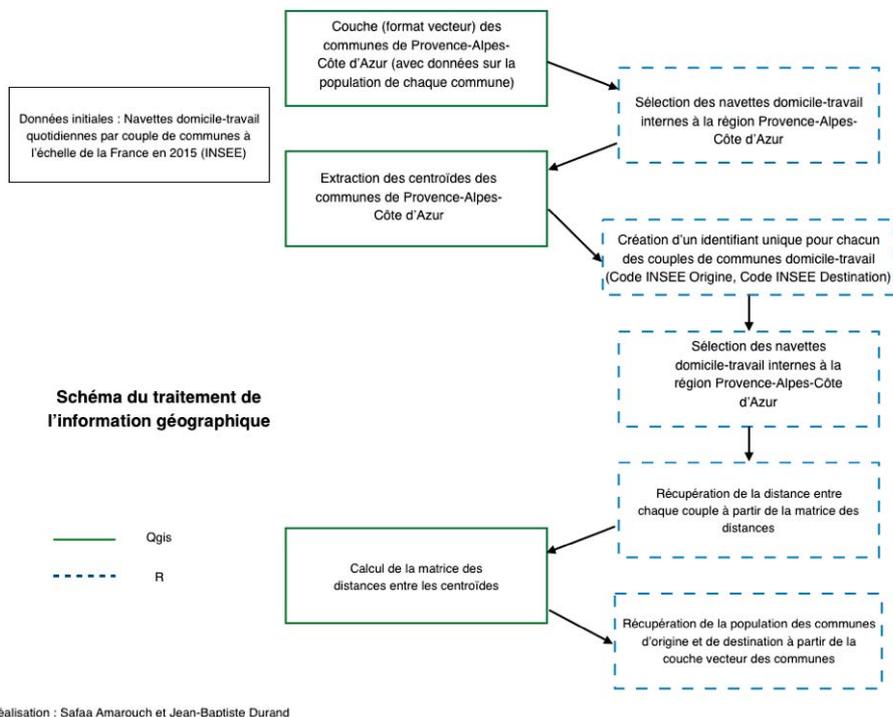


FIGURE 4. *Traitement de l'Information Géographique*

## 4. Conclusion

Pour de grandes estimations non localisées, comme dans le cadre du projet de la région Provence Alpes Côte d'Azur, les modèles gravitaires constituent une analogie intéressante utilisable pour l'estimation des flux. Les résultats peuvent paraître probants et utilisables pour avoir une idée des grands mouvements et des masses de flux en présence.

Mais des progrès restent à réaliser pour prendre en compte :

SAGEO'2019

- les fortes attractivités aux distances faibles ou nulles (impossibilité de calcul à cause de la division par 0 notamment),
- les occasions interposées déviant ou absorbant des flux de voisinage,
- la topologie et l'organisation spatiale des points de gravité dans l'espace géographique.

L'ensemble des flux gravitaires et leur équilibre, considérés dans un système, est plus que la somme des flux par couple d'entités en interaction.

## 5. Remerciements

Les auteurs de ce poster remercient vivement la Région Provence Alpes Côte d'Azur pour son partenariat et son soutien financier dans ce projet de recherche-action pédagogique impliquant les étudiant.e.s du Coursus Master Ingénierie "Modélisation Géographique des Territoires" d'Avignon Université.

## Bibliographie

- Reilly W. (1931). *The law of retail gravitation*. Knickerbocker Press.
- Stouffer S. A. (1940). Intervening opportunities: A theory relating mobility and distance. *American Sociological Review*, vol. 5, n° 6, p. 845–867.
- Tobler W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the detroit region. *Economic Geography*, vol. 46, n° 2, p. 234–240.
- Wilson A. (1971). A family of spatial interaction models, and associated developments. *Environment and Planning*, vol. 3, p. 1-31.