



HAL
open science

Vers une relecture du Flowmapper - Tribute to Tobler (TTT)

Nicolas Lambert, Françoise Bahoken, Etienne Come

► **To cite this version:**

Nicolas Lambert, Françoise Bahoken, Etienne Come. Vers une relecture du Flowmapper - Tribute to Tobler (TTT). Tous (im)mobiles, tous cartographes? Cartomob, Jun 2021, Toulouse, France. 9p. hal-03434168

HAL Id: hal-03434168

<https://hal.science/hal-03434168v1>

Submitted on 18 Nov 2021

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.

VERS UNE RELECTURE DU *FLOWMAPPER* TRIBUTE TO TOBLER (TTT)

Nicolas Lambert

CNRS
UMS Riate
nicolas.lambert@cnrs.fr

Françoise Bahoken

MTES / MESR / UGE
AME-SPLOTT
francoise.bahoken@univ-eiffel.fr

Étienne Côme

MTES / MESR / UGE
COSYS-GRETTIA
etienne.come@univ-eiffel.fr

Résumé. La communication présente les premiers éléments d'une relecture du *Flowmapper* de Tobler, un outil de « *cartographie analytique* » discrète de données de flux origine-destination en cours de portage dans R. L'articulation d'une réflexion cartographique sur le type d'information et sur sa symbolisation cartographique participe d'une recherche théorique et méthodologique générale visant à enrichir la sémantique de la carte thématique décrivant des mouvements géographiques. Au-delà de la présentation des différents enjeux techniques et méthodologiques, il s'agit de montrer les premières perspectives d'enrichissement que cette relecture entraîne. La dimension exploratoire et expérimentale des analyses présentées suggère en effet un enrichissement de cette cartographie de mouvements, en particulier pour ceux présentant des enjeux géopolitiques forts, telles les migrations mondiales que nous prenons pour exemple.

Mots-clés. Cartographie, Matrice OD, Flux, Mouvement, Tobler

Abstract. The paper presents the first elements of a reinterpretation of Tobler's *Flowmapper*, a discrete analytical flow mapping tool from discrete origin-destination data being carried into R. The articulation of a cartographic reflection on the type of information and its graphical symbolization is part of a global theoretical and methodological research aimed at enriching the semantics of movements mapping. Beyond the presentation of the different methodological and technical challenges, we present here first perspectives for the enhancement of this cartography of flows and movements. Beyond the presentation of the various issues, the exploratory and experimental dimensions of the analyses presented already suggest an enrichment of the mapping of movements that present strong geopolitical challenges, such as global migrations for example.

Keywords. Cartography, OD Matrice, Flowmap, Mouvement, Tobler

Introduction

« *Mouvement, mouvement, mouvement...*
cela parce que la plupart des changements en Géographie
sont dus au mouvement ».

Cette phrase martelée par Tobler dans plusieurs de ses travaux traduit l'importance de pouvoir saisir les mouvements (personnes, biens, financiers...) géographiques et de (se) les représenter efficacement. Depuis les premières cartes attribuées à Minard au milieu des années 1800, une pratique de cartographie thématique des mouvements des transports, puis de flux, s'est progressivement imposée, soutenue par le développement d'outils puis d'interfaces permettant la visualisation et l'exploration des avancées théoriques et conceptuelles.

Les travaux de Tobler dans ce registre sont notables. En s'intéressant singulièrement à la cartographie automatique (Tobler 1970a), il accorde une attention particulière à la description des « mouvements réels » aux côtés « des changements d'états » (Tobler, 2001). La recherche qu'il développe sur les flux *stricto sensu* le conduit à proposer des programmes de cartographie qui suivent les principales catégories de la modélisation numérique. Discrètes, continues ou animées, ces cartes se différencient « [...] en fonction de la manière dont elles montrent le mouvement. Le type de carte discrète [qui nous intéresse ici] consiste en des bandes ou des flèches dont la largeur est proportionnelle au volume déplacé » (Tobler, nd).

L'objet de cette communication est de présenter des travaux en cours conduisant à l'extension des fonctionnalités historiques de cartographie de flux initialement disponibles dans le *Flowmapper* de Tobler. Une relecture de cet outil de « cartographie analytique » permet d'articuler une réflexion sur le type d'information, sa symbolisation sur la carte et sa signification pour l'analyse. Les résultats collectifs présentés participent d'une réflexion déjà engagée pour enrichir la sémantique de la carte de mouvements (Bahoken et al., 2016), pour en améliorer toutes les représentations.

Flowmapper, les enjeux d'un outil historique

La version initiale du *Flowmapper* est développée en Fortran par Tobler en 1979 avec l'objectif d'en faire un outil de cartographie exclusivement dédié à la représentation de flux. « GISNot Needed ! » précise l'auteur. Sa particularité est de réunir au même endroit différentes possibilités de visualisation de flux (selon les flux et/ou les lieux, leurs attractivités).

Historique des versions

Un premier redéveloppement baptisé *Flowmapp* par Elisabeth Renault est effectué en 1985 par l'équipe de Colette Cauvin à l'Université de Strasbourg. D'autres versions¹ suivront ailleurs avec la généralisation de l'informatique dans les Sciences humaines et sociales. Tobler et Jones l'adapteront dès 1987 pour Windows (la dernière version² date de 2004). Kapp en proposera une pour Macintosh, *Superflux* en 1995.

L'arrivée des Système d'information géographique (SIG) transforme le *Flowmapper* en application MapBasic pour Mapinfo (*Flux*; Julinet, 2005), en *ToolBox* d'ArcGis (*Flow data*

¹ Seuls les outils présentant des fonctionnalités similaires ou proches du *Flowmapper* sont présentés.

² <http://www.csiss.org/clearinghouse/FlowMapper/>

model ; Glennon, 2006), en application web (Danhuai G. et al., 2011), aussi en *plugin* QGIS³ (Gulluoglu⁴, 2012), le seul en service utilisable.

La popularisation des environnements ouverts de développement tels R ouvre une nouvelle ère qui concerne l'héritage de Tobler. Les packages déposés sur le CRAN 'BiDimRegression' (Carbon, 2014) ; 'pycno' (Brunsdon, 2015), 'movecost' (Alberti, 2019) relèvent de la modélisation et non de la visualisation malgré leurs enjeux.

Enjeux contemporains du Flowmapper

Les enjeux sont d'abord disciplinaires et visent à valoriser le patrimoine de la géographie quantitative par une relecture contemporaine de ses fondements théoriques, de ses implications méthodologiques et de leur mise en œuvre dans des outils analytiques libres. La cartographie des mobilités spatiales n'est pas en reste grâce à l'extension envisageable des fonctionnalités du *Flowmapper*.

Parmi les spécificités notables du *Flowmapper* figure en effet la géométrie surfacique et non linéaire des symboles de flux *stricto sensu* dont le portage dans R, sous la forme d'objets spatiaux [*spatial polygons*] va contribuer à étendre les possibilités de cartographie de mouvements, en lien avec leur sémantique et leur interprétation.

Cette possibilité est particulièrement importante pour les mobilités présentant des enjeux socio-économiques et géopolitiques forts (les migrations, le tourisme par exemple) et s'exprimant au niveau mondial, cette échelle conduisant à re-questionner le rôle joué par la projection dans l'expression cartographique des mouvements.

Fonctionnalités du Flowmapper historique

Les méthodes historiquement proposées sont accessibles par un menu général formé d'onglets aux fonctionnalités pouvant être regroupées en trois familles : numériques, graphiques ou mixtes.

Les fonctionnalités numériques concernent le seuillage [*threshold*] des valeurs de flux à représenter pour « *pour assurer une propriété générale que je pourrai appeler "clarté"* [Les cartes de mouvements géographiques] *sont trop nettes et cachent le fait que les données sont, dans une certaine mesure, incorrectes* » (Tobler, nd). Elles correspondent au choix ou non d'un seuil d'affichage des flux répondant à un critère global (supérieur à une valeur spécifique, à la moyenne ou à un pourcentage de l'ensemble).

Les fonctionnalités graphiques agissent sur le dessin des figurés linéaires (pour les flux) et/ou ponctuels (pour les lieux), complété par une sémiologie riche impliquant plusieurs variables rétinienne : la *Couleur* (applicable sur le fond, le contour, unie ou nuancée), la *Forme* surfacique ou ponctuelle respectivement appliquées aux liens et nœuds ; l'*Oriente* (bande orientée ou non) et la *Taille* (qui participe des fonctionnalités mixtes de dimensionnement du figuré – voir *infra*). Quelques éléments complémentaires d'habillage ou de labellisation au survol sont également disponibles.

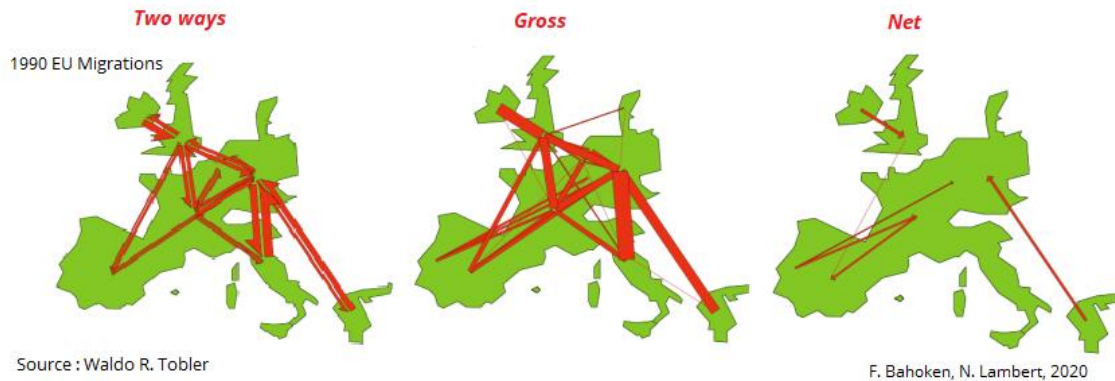
Les fonctionnalités mixtes agissent sur le couple flux (valeur / figuré) ; elles portent sur le choix ou le tri de *type* de flux et le paramétrage de leurs dimensions. Le type de flux, parce qu'il s'appuie sur la propriété générale de symétrie des matrices par rapport à la diagonale

³ <http://plugins.qgis.org/plugins/FlowMapper/>

⁴ <http://95.9.195.180/> et <https://github.com/cempro/flowmapper>

principale (Tobler, 1987) utilise pour décomposer la matrice de départ conduit *in fine* à trois types de cartes distinctes mais complémentaires (Fig. 1).

Figure 1. Types de flux proposés par la version historique du *Flowmapper*.



La carte [*two ways*] issue de flux bilatéraux asymétriques est symbolisée par un système de double flèches d'épaisseurs variables et d'orientations opposées. Celle qui représente la composante positive (symétrique) des flux [*gross*] mobilise une unique bande, tandis que celle décrivant la composante négative (anti symétrique) des flux [*net*] est symbolisée par une unique flèche à l'orientation variable selon la thématique. Ces choix s'appliquent en lien avec une sélection globale appliquée sur la matrice entière ou locale pour sélectionner des lieux d'intérêt particulier.

Les fonctionnalités de tri permettent de gérer les arrières et avant-plans de disposition des flux en (valeur/figuré).

Enfin, les fonctionnalités que nous qualifions de « dimensions cartographiques » conduisent à paramétrer la *Taille* des figurés pour assurer leur stricte proportionnalité aux valeurs de flux, ou pour contrôler la concordance de leurs *maxima* numériques et graphiques.

Vers un Flowmapper 2

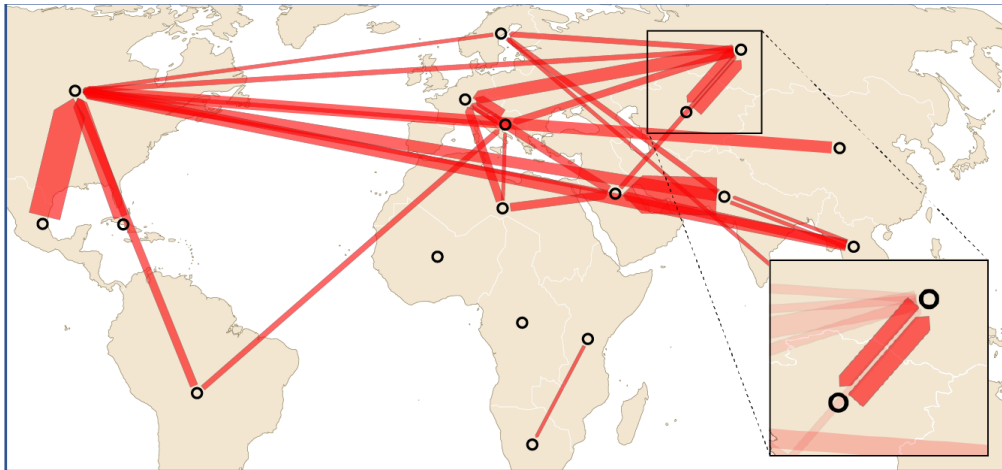
Le portage du *Flowmapper* dans R répond finalement à un triple enjeu. Le premier est celui d'« avoir la main » sur les paramètres de la carte, de se départir de fonctions clef-en-main sources de contraintes dans leur application. Le deuxième enjeu porte sur le choix de R, un langage cohérent et ouvert sur l'ensemble de la chaîne de production cartographique (traitement et symbolisation des informations, gestion des dispositions sur la vue). C'est la question de la reproductibilité à l'identique des méthodes et de leur application. Le troisième enjeu relève des possibilités d'extension de travaux datés tels ceux de Tobler, aussi de leur diffusion en les rendant accessibles dans les environnements modernes. L'interopérabilité de R *via* les package *r2d3* et *shiny* (voir *infra*) avec d'autres langages permet en outre le déploiement d'applications connexes pour le *web* (Lambert, 2020).

Le (re)développement du *Flowmapper* participe d'un package TTT global intégrant d'autres éléments des travaux de Tobler. Si l'ensemble revêt encore une dimension exploratoire et expérimentale, les fonctions sont néanmoins déjà utilisables, *via* la connexion suivante :

remotes::install_git(url = "https://gitlab.huma-num.fr/nlambert/flowmapper")

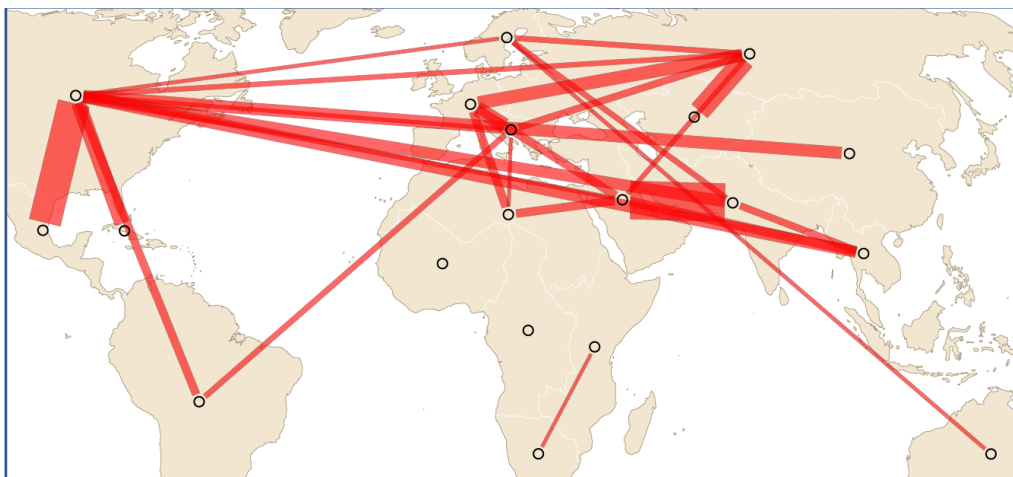
Deux fonctions de dessin sont actuellement disponibles (*plotflows()* et *legendflows()*). *plotflows()* génère une carte de flux à partir de deux fichiers de données minimum en entrée (un fond de carte et une matrice OD) à partir desquels trois objets spatiaux – de type « *spatial polygon* » – sont construits : des liens, nœuds et flèches. La fonction gère les dispositions et les superpositions des figurés. Leur dessin respecte ainsi le parallélisme des flux non symétriques pour évoquer la bilatéralité des échanges concernés, ainsi que la perception d'*effets de convergence / divergence* par un positionnement automatique paramétrable, proposé par défaut (Fig. 2).

Figure 2. Carte de flux (asymétriques) proposée par défaut - Taille en largeur



plotflows() gère également le choix d'un type de flux / figurés de manière à pouvoir substituer la flèche par une bande pour les flux symétriques (Fig. 3).

Figure 3. Carte de flux (symétriques).



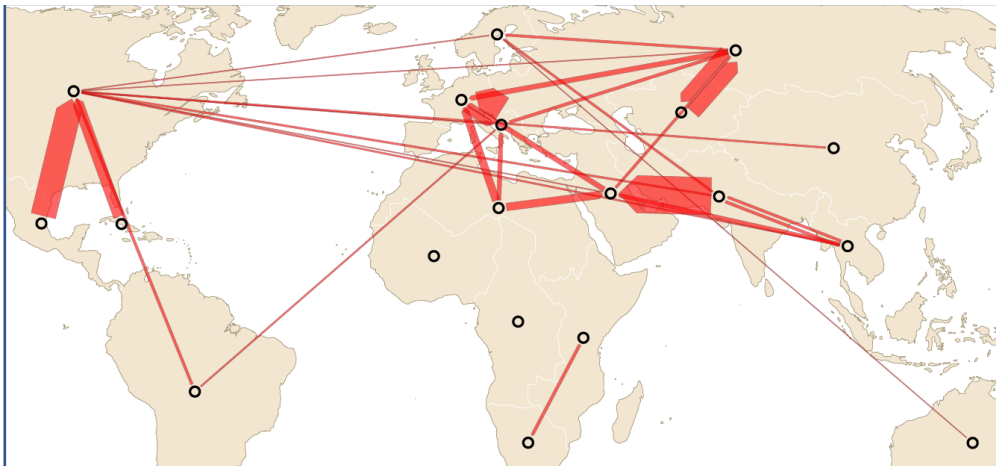
Vers l'extension des fonctionnalités du Flowmapper

Par défaut, la variable rétinienne *Taille* symbolisant la quantité de flux déplacée s'exprime par la *largeur* de la flèche (de la bande). En la rendant paramétrable⁵, elle est désormais applicable à la *surface* du symbole, pour une représentation raisonnée du mouvement géographique (Bahoken et al., 2016).

⁵ Aussi parce que le symbole linéaire est de type polygone et non linéaire.

Ainsi, les gros flux s'expriment (généralement) à courte distance, en vertu de la première loi de la géographie (Tobler, 1970b), seront visuellement renforcés sur la carte par une action purement cartographique réalisée en lien avec la « distance cartographique »⁶ perçue (ici euclidienne), dans la projection donnée (Fig. 4). À noter qu'il est aussi envisageable de représenter des mobilités s'exprimant à longue distance.

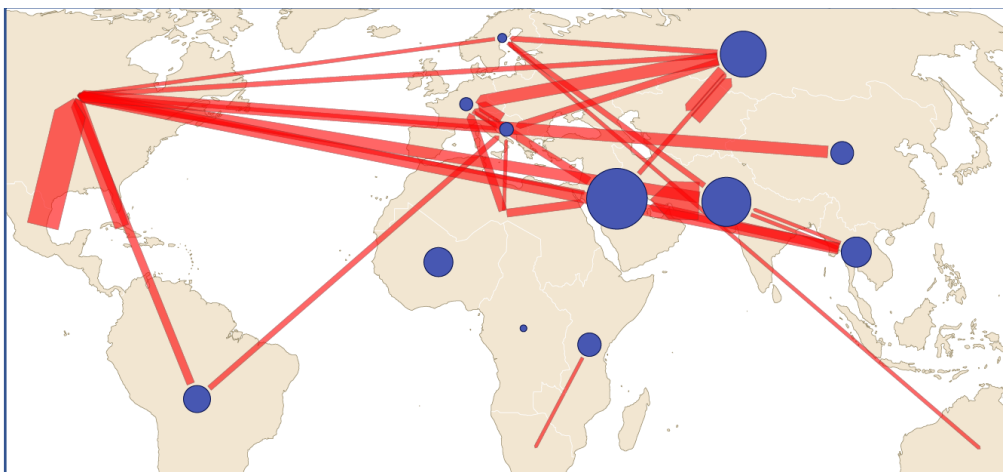
Figure 4. Carte de flux (asymétriques) – Taille en surface.



Pour compenser cette survalorisation apparente de l'emprise des gros et courts flux, il est possible de mobiliser d'autres variables numériques, des astuces graphiques ou des procédés sémiologiques.

En mobilisant un tableau structurel décrivant les nœuds (des migrations internes ou un volume de flux pour des lieux), il est possible de représenter les flux selon les interactions et les positions, respectivement symbolisées par des flèches/bandes et cercles proportionnels (Fig. 5).

Figure 5. Carte de flux combinant interactions et positions.



Intégrer la projection cartographique dans la visualisation de flux

Les symboles linéaires (bandes et flèches) de la version de *Flowmapper* proposée par TTT sont des objets spatiaux, en l'occurrence surfaciques. Ils se définissent de fait dans un

⁶ La notion de « distance cartographique » est présentée dans Bahoken (2016).

système de projection cartographique, ce qui signifie que leur changement de projection va entraîner un changement de leurs motifs. Aussi qu'ils vont pouvoir être (re)projetés à volonté et pouvoir désormais être dessinés sur une sphère, pour s'adapter soit à la configuration (géographique) de la zone étudiée, soit au point de vue de ces flux proposé par le ou la cartographe.

Cette possibilité d'adaptation des symboles décrivant des flux à la projection cartographique est fondamentale. Elle signifie que deux des trois distances participant de l'expression réelle des mouvements vont pouvoir être prises en compte dans le processus cartographique, à savoir la « *distance cartographique* » et la « *distance géographique* » approximée ici par la distance euclidienne (Bahoken, 2016). Cela se traduit sur le plan graphique par des symboles qui épousent complètement la projection, la rotondité de la sphère, plutôt qu'être dessinés en ligne droite – en référence logique à la métrique euclidienne qui les caractérise.

Cette courbure des symboles minimise les traditionnels biais⁷ de perception que la métrique euclidienne impose, en raisonnant par ou grâce à la carte, dans son contexte analytique (en lien avec la projection) et non sur leur seule esthétique (qui conduirait par exemple à dessiner les flux à la manière des fontaines de Kepler). Elle traduit enfin une forme de « *matérialisation géographique* » du flux qu'on sait pourtant immatériel⁸. En mobilisant dans la construction cartographique la « *distance géographique* », elle améliore qualitativement la représentation du vol d'oiseau à petite échelle ou au niveau monde. Dit autrement, le symbole suit parfaitement la courbure de la terre tel un réseau de transport qui épouse entièrement la topographie accidentée ou sinueuse de l'espace traversé.

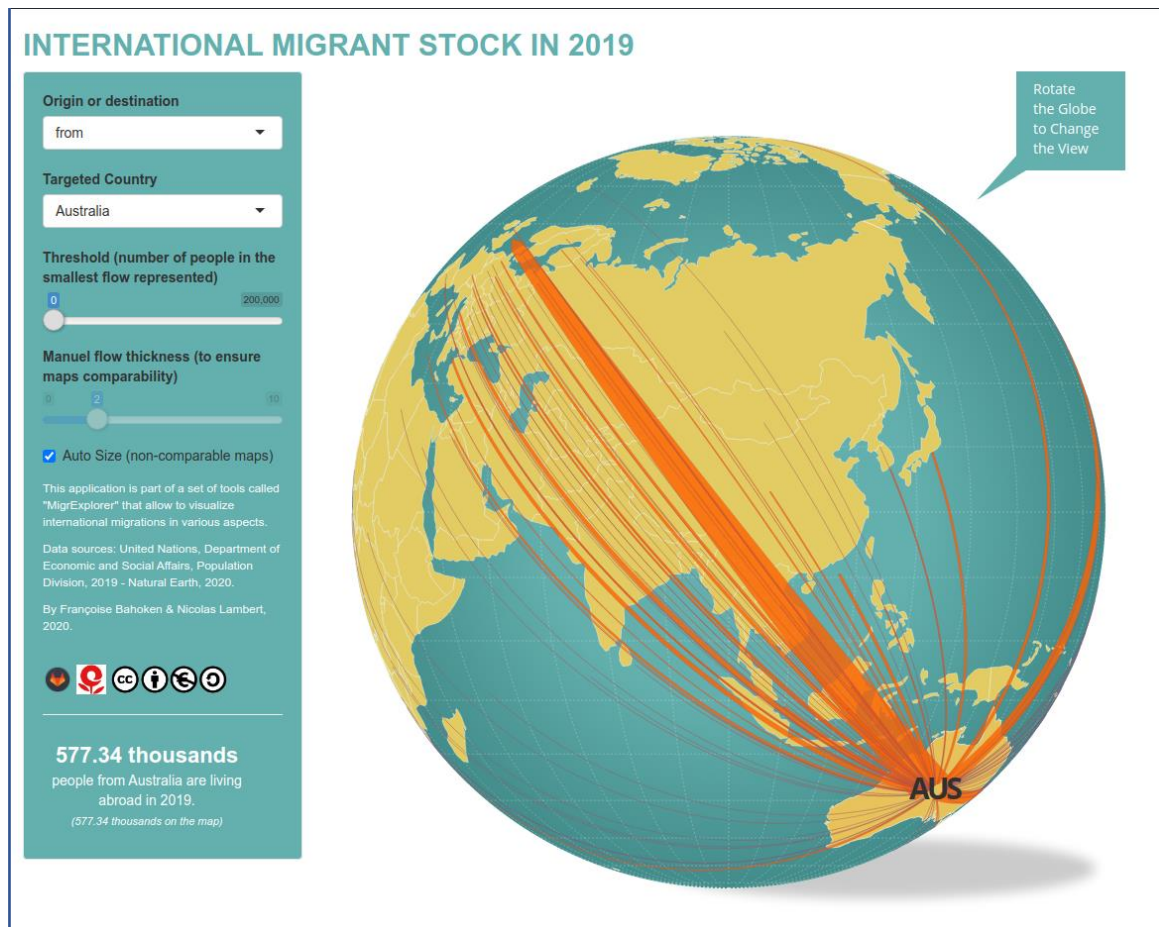
Un exemple d'application illustrant ce résultat est proposé sur une matrice de flux migratoires mondiaux (Fig. 5). L'image obtenue est présentée dans une projection orthographique résultant elle-même d'une re projection d'informations géographiques initialement polaires. L'interopérabilité de R avec d3 autorise l'exploration fine de ce résultat dans le web⁹.

Figure 5. Exemple d'exploration Web basée sur le *Flowmapper*.

⁷ Le trait droit entraîne la perception d'un phénomène impossible dans la réalité, puisque les mobilités ne s'expriment jamais en ligne droite.

⁸ Le caractère immatériel d'un flux se définit par la non connaissance du mode de transport qui pourrait impacter sa représentation sur la sphère.

⁹ L'application web est accessible à l'adresse suivante : <https://analytics.humanum.fr/Nicolas.Lambert/migexplorer3>



Conclusion

Au-delà du portage du *Flowmapper* historique dans les environnements modernes, il est important de noter que les nouveaux développements engagés résolvent des problèmes d'ordre cartographiques qui accompagnent la résolution d'enjeux théoriques, méthodologiques et thématiques liés à la représentation de mouvements géographiques, en particulier au niveau monde.

Sur le plan thématique, ces développements permettent notamment d'arbitrer sur la composante d'échelle des mobilités à représenter, en permettant un arbitrage par, grâce à et sur la carte. La question qui importe étant en effet de savoir s'il est finalement plus intéressant de représenter les fortes mobilités qui s'expriment à courtes distances et qui sont individuellement très chargées ou bien les faibles mobilités parcourant de longues distances mais qui concernent somme toute une population plus importante que les premières.

Au niveau méthodologique, avoir la main sur les fonctions et les paramètres de la visualisation ouvre la voie vers l'introduction de nouveaux types de flux/symboles. Aussi pour explorer de nouvelles notions telles la « symétrie » ou non des échanges. Les possibilités de filtrage pourraient aussi être étendues, la suggestion de Tobler (1987) de ne représenter que les flux supérieurs au flux moyen s'avère en pratique insuffisante. Une perspective intéressante serait de les filtrer selon l'espace, leur voisinage. Enfin, une perspective d'ordre sémiologique serait de pouvoir nuancer les flèches ou bandes en introduisant la variable visuelle *Valeur* pour compenser d'éventuelles survalorisations de l'espace liées à la composante d'échelle des mobilités.

Les travaux présentés étant encore au stade expérimental, les fonctions présentées sont susceptibles d'être largement modifiées.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet *Tribute to Tobler* (TTT) visant à remettre en avant les travaux de Waldo R. Tobler (1930-2018), géographe et cartographe américano-suisse, pionnier et auteur majeur de l'analyse quantitative en géographie. Il est financé par l'Université Gustave Eiffel.

Références

- Bahoken F., 2016, « Chapitre 6. D'une cartographie de flux à une cartographie de mouvements, et inversement », in *Contribution à la cartographie d'une matrice de flux*, Thèse de doctorat en Géographie, Sciences des Territoires, Université Denis Diderot (Paris 7), p. 247-284. HAL Id: [tel-01273776](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01273776)
- Bahoken F., Grasland C., Zanin C., 2016, « D'une cartographie de flux à une cartographie de mouvements, aspects sémiologiques », *Actes du colloque Temps, Art et Cartographie (TAC'2016)*, Comité français de cartographie, Strasbourg, 16-18 mars 2016.
- Lambert N., 2020, *Avoir le bon flow*, Billet du carnet de recherche Néocartographiques. <https://neocarto.hypotheses.org/10838>
- Tobler W.R., 1970a, "Experiments in migration mapping by computer", *The American Cartographer*, vol. 14, n° 2, p. 155-163.
- Tobler W.R., 1970b, "A Computer Movie Simulating Growth in the Detroit Region", *Economic Geography*, 46, p. 234-240.
- Tobler W.R., 1979, "A geographical flow mapping program", *Geographical Analysis*, n° 13, vol. 1, p. 1-20.
- Tobler W.R., 1987, *FlowMapper Tutorials*, p. 9.
- Tobler W.R., nd, "On viewing flow map", in *Movement mapping*, Notes de recherche.