

Explorer les réseaux mondiaux : proposition d'outil interactif combinant graphe (diagramme nœuds-liens) et carte de flux

AUTEUR.E.S

Marion MAISONOBE, Laurent JÉGOU

RÉSUMÉ

La visualisation des relations, échanges, flux ou circulations, constitue un problème classique de la représentation des territoires. La disponibilité de moyens innovants, en l'occurrence les outils graphiques web interactifs, permet d'explorer de nouvelles possibilités techniques et d'en critiquer la mise en œuvre. Dans cette communication, nous proposons un moyen de combiner deux solutions de visualisation complémentaires mais souvent mutuellement exclusives : le graphe (diagramme nœuds-liens) et la carte de flux. En effet, le graphe se focalise sur la structure, l'organisation des relations entre les éléments du réseau (centralité, connectivité), mais aux dépens de la géographie (localisation, distances). La carte de flux présente la caractéristique inverse. La communication se basera sur des jeux de données travaillés précédemment pour dégager les avantages de notre proposition méthodologique : d'une part les données du commerce international de six matières premières recyclables et d'autre part les données mondiales de collaborations scientifiques entre villes.

MOTS CLÉS

Graphe, carte de flux, représentation interactive, graphisme web, analyse exploratoire des données

ABSTRACT

The visualisation of relations, exchanges, flows or traffic, constitutes a classical problem for spatial representation. Innovative ways of displaying data, in this case graphical web tools, allow us to explore new technical possibilities and to assess their interest. In this paper, we would like to propose a way to combine two visualisation techniques, complementary but often mutually exclusive: the network graph (node-link diagram) and the flow map. Indeed, a graph focuses on the structure, the organisation of the relations between nodes of the network (centrality, connectivity), albeit at the expense of the geography (localisation, distances). A flow map serve the inverse principle. Our paper will be based on two previous research datasets to uncover the advantages of the dual interactive visualisation we propose. The first dataset deals with the international waste trade and the second with scientific relations between cities (co-authorship and citation data).

KEYWORDS

Graph, Flow map, Interactive representation, Web graphics, Exploratory data analysis

La visualisation des relations, échanges, flux ou circulations à l'échelle mondiale, constitue un problème classique de la représentation des territoires (Hennemann, 2013). Les enjeux sont de plusieurs ordres : 1) ils tiennent à la difficulté de travailler sur des données exhaustives et de précision comparable à l'échelle du globe (les statistiques étant souvent recueillies au niveau des pays ou de grands ensembles comme l'Union européenne ou l'OCDE, mais non à l'échelle globale et selon une collecte homogène de l'information) ; 2) ils sont liés à

l'hétérogénéité des découpages géographiques tant nationaux que locaux qui complique non seulement la comparaison statistique (MAUP : *Modifiable Areal Unit Problem*), mais aussi la lisibilité de l'information relationnelle lorsque celle-ci est représentée sur une carte de flux (« effet spaghetti », cf. Bahoken, 2016). Ces enjeux ne sont pas uniquement d'ordre méthodologique, ils sont aussi d'ordre théorique. En effet, pour avoir une appréhension plus juste des logiques spatiales contemporaines, il est important de tenir compte de l'inscription des territoires dans des systèmes d'échanges et de communications globaux. L'intérêt est double. Tout d'abord, celui de ne pas limiter la représentation et l'observation des territoires à la mise en évidence des relations de proximité géographique qu'ils entretiennent, mais intégrer, même si ces dernières sont souvent encastrées dans les premières, leurs relations de proximités organisationnelles, cognitives, sociales et institutionnelles (Boshma, 2004). Ensuite, cette approche permet d'éviter de raisonner seulement en termes de *benchmark* des territoires, de leur mise en comparaison, avec toutes les dérives que ces approches peuvent comporter (nous pensons par exemple à la « *ranking mania* », au marketing territorial). En effet, l'ambition est ici de mettre en évidence le caractère profondément ouvert des entités spatiales à travers leurs inscriptions dans des systèmes relationnels complexes et multi-échelles.

La disponibilité de moyens innovants, en l'occurrence les outils graphiques web interactifs, permet aujourd'hui de multiplier les sources et les modes de visualisation pour obtenir une vision plus riche et complète des phénomènes que l'on souhaite explorer en tant que géographes intéressés par les échanges et les relations à l'échelle mondiale (Cura, 2017). Dans cette communication, nous proposons un moyen de combiner deux solutions de visualisation complémentaires qui sont souvent mutuellement exclusives : le graphe (diagramme nœuds-liens¹) qui tend à être de plus en plus souvent mobilisé en géographie, et la carte de flux, mode plus classique de représentation. Le graphe se focalise sur la centralité des lieux d'après leur position dans les réseaux tandis que la carte met davantage l'accent sur la position géographique des lieux en relation (Andurand *et al.*, 2015). S'il a été démontré auparavant qu'il pouvait être utile de combiner ces deux modes de représentation sous leur forme statique (*ibid.*), aucune expérimentation, à notre connaissance, n'a encore été faite pour tester l'intérêt d'explorer simultanément l'une et l'autre sous leur forme interactive.

Dans le cadre de deux recherches en cours, comprenant la constitution et l'analyse de réseaux de relations ainsi qu'une réflexion sur leur représentation, nous avons développé un outil permettant d'explorer et de communiquer l'information selon ces deux facettes complémentaires, réseau et carte. La première recherche porte sur le commerce international des matières premières secondaires (MPS) et la seconde sur les réseaux de relations scientifiques entre agglomérations urbaines à l'échelle du monde.

1. LA CIRCULATION MONDIALE DES MATIÈRES PREMIÈRES SECONDAIRES (MPS)

Le premier jeu de données utilisé est celui de la circulation mondiale des MPS ou matière première de recyclage. Il s'agit d'un jeu de données que nous avons extrait de la base de données UN Comtrade² pour six produits dont nous voulons comparer le commerce mondial : la ferraille, le plastique, le papier et l'aluminium usagés, les déchets électroniques (DEEE) et la fripe. Cette recherche a été amorcée en 2016 en lien avec la préparation d'une exposition pour le MuCEM sur la seconde vie des déchets, « Vie d'ordures », qui s'est tenue du 20 mars

1 Cette appellation est empruntée à Nathalie Henry et Jean-Daniel Fekete (2008).

2 comtrade.un.org

au 15 août 2017 à Marseille³. Six représentations statiques des principaux flux ont été réalisées et présentées lors de cette exposition. La figure 1 est l'une d'entre elles.

Figure 1. Circulation internationale de la ferraille en 2015 (représentation exposée)

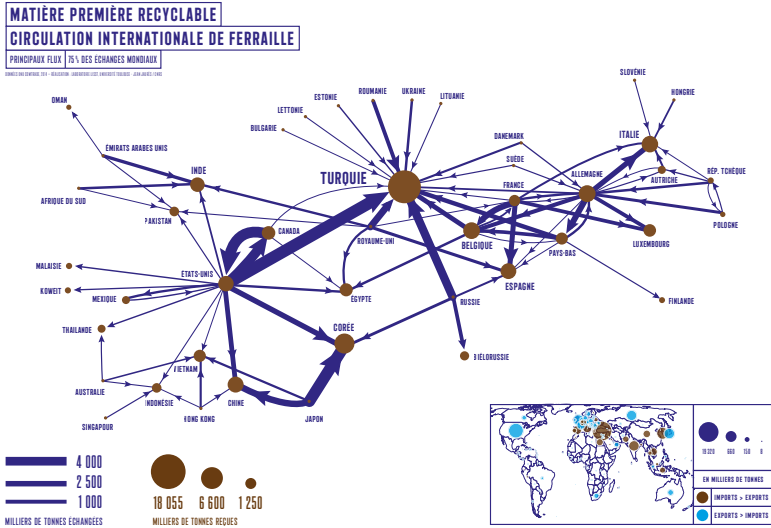
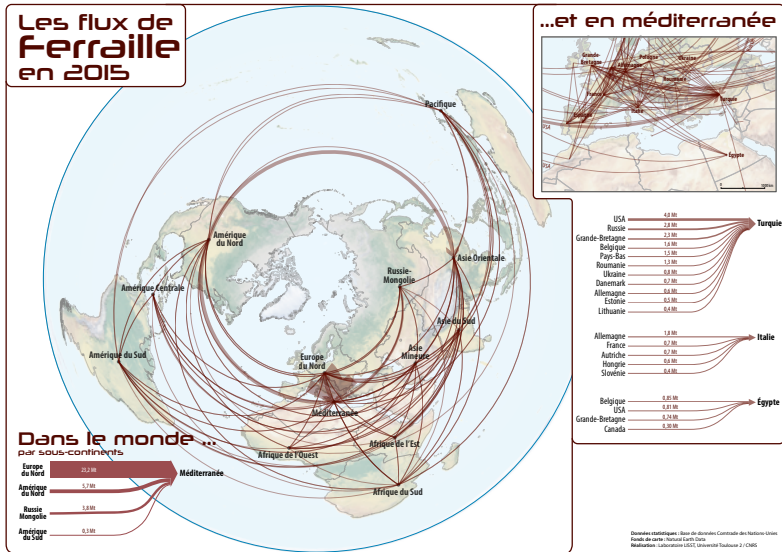


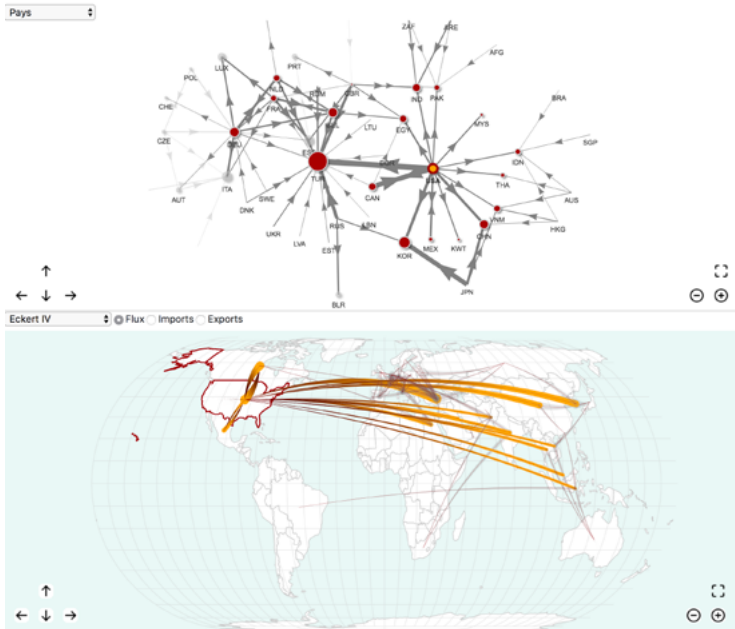
Figure 2. Circulation internationale de la ferraille en 2015 (document d'étape)



Comme les cinq autres représentations, celle des flux mondiaux de ferraille combine une représentation statique des principaux flux sous forme de graphe à une carte statique du solde des échanges totaux. Dans la proposition finale, le choix de mettre en avant le graphe plutôt que la carte s'explique par la volonté de faire ressortir visuellement les différences de structures relationnelles. Selon les produits considérés, les positions structurelles et le degré de polarisation ne sont pas les mêmes. Pour le cas de la ferraille, le graphe met très bien en avant le fait que la Turquie occupe un rôle central dans le système, et l'intensité des relations intra-européennes apparaît nettement. Sur une carte de flux, ce résultat est moins net comme le montre la figure 2 qui fait partie des représentations intermédiaires préparées pour l'exposition.

C'est de la volonté de diffuser ce travail plus avant et de permettre au public d'explorer davantage ces informations en ligne qu'est venue l'idée d'en proposer l'exploration interactive sur une plateforme web. Cette proposition offre la possibilité d'observer conjointement le graphe et la carte et d'améliorer la lisibilité de la carte de flux (fig. 3).

Figure 3. Le prototype affichant le jeu de données sur les échanges de ferraille dans le monde en 2014



Sur ce prototype⁴, les deux modes de visualisation sont interactifs et connectés. Cliquer sur un pays dans le graphe ou dans la carte identifie visuellement les liens entrants et sortants de ce pays, à la fois dans le graphe et dans la carte, en colorant ou en élargissant ces éléments tout en atténuant la saillance visuelle des autres. Le graphe et la carte sont explorables par zoom et déplacement (à la souris ou en utilisant les boutons de l'interface), ce qui permet d'observer

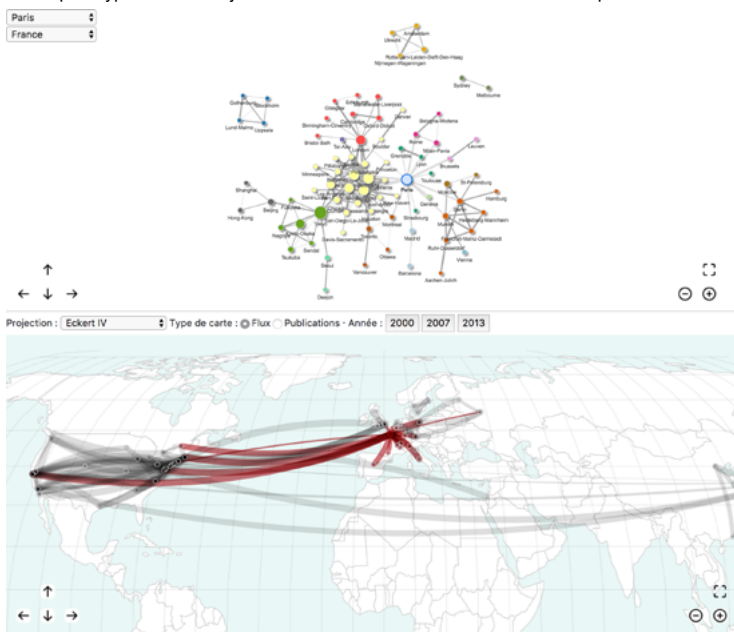
4 Il est possible de tester le prototype adapté à l'exemple de la ferraille sur la page : www.geotests.net/test/net_map/fer_mep.html

de manière plus lisible les zones denses, comme l'Europe pour le cas de la ferraille. L'apport de l'interactivité est multiple : zoom, affichage sélectif, informations au survol, changement de la disposition spatiale des éléments graphiques (il est possible, notamment, de changer la projection de la carte). Une liste déroulante permet de mettre en évidence un pays particulier sans avoir à le rechercher dans le graphe. D'autres possibilités restent à envisager : choix des couleurs, des tailles de symboles, des informations proposées au survol... ainsi que de l'algorithme de spatialisation du graphe (Boullier *et al.*, 2016 ; Windhager, 2013).

2. LES RELATIONS SCIENTIFIQUES ENTRE AGGLOMÉRATIONS URBAINES

Le second jeu de données dont nous proposons l'exploration est celui des collaborations scientifiques entre villes. Il s'agit de données bibliométriques extraites du *Web of Science* dont nous étudions la géographie dans le cadre d'un projet de recherche amorcé en 2010 d'abord au sein d'une ANR (Géoscience) puis de l'opération Mondes scientifiques⁵ du LabEx SMS (Structuration des mondes sociaux). En 2013, nous avons mis au point une première interface de géovisualisation⁶ permettant d'explorer l'évolution du réseau des collaborations scientifiques entre villes entre 2000 et 2007 à plusieurs niveaux scalaires (villes, pays, continents) et selon différents modes de visualisation interactive : matrices, diagrammes circulaires *chord*, carte de flux et graphe (Jégou & Maisonobe, 2013). Contrairement à la représentation que nous proposons ici, chaque mode de visualisation était consultable sur une page différente et il n'y avait donc pas de complémentarité directe entre les différents modes.

Figure 4. Le prototype affichant le jeu de données sur les collaborations scientifiques mondiales en 2013



5 geoscimo.univ-tlse2.fr

6 coscimo.net

La nouvelle interface que nous proposons permet d'explorer en même temps la carte et le graphe. Par rapport au cas des MPS, trois différences sont à noter : 1) le niveau de résolution est ici celui de l'agglomération urbaine et non plus celui du pays ce qui pose des contraintes nouvelles (notamment, la courbure des flèches a été adaptée pour favoriser la lisibilité de la carte de flux) ; 2) contrairement au cas des échanges commerciaux, les relations ne sont pas orientées ; 3) la recherche porte moins sur la comparaison entre plusieurs réseaux à la même date que sur l'évolution d'un même réseau dans le temps (celui des coopérations scientifiques mondiales) ce qui explique que les données soient consultables à plusieurs dates : 2000, 2007 et 2013, et que les sommets du graphe restent positionnés au même endroit d'une date à l'autre.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Sur le plan technique, la communication s'attachera à décrire le fonctionnement de ces prototypes pour en permettre la critique, la réutilisation et l'extension (le code source sera par ailleurs fourni sur un dépôt open source). Ce travail s'appuie sur les possibilités offertes par les bibliothèques JavaScript Vis.js⁷ et D3⁸. La première citée est accessible de manière plus pratique à travers le *package* R VisNetwork. Le développement a été réalisé dans l'intention d'une bonne accessibilité et d'une facilité de réutilisation. Cela implique la disponibilité et la lisibilité du code source, la compatibilité avec les formats classiques de données, ainsi que la description claire des algorithmes utilisés. La mise en œuvre de l'outil ne nécessite aucune application ou configuration particulière du serveur internet d'hébergement, le programme s'exécutant complètement au sein du navigateur (il est même possible de télécharger la page et de l'utiliser sans connexion). Les données qui alimentent les algorithmes de représentation sont fournies dans un fichier à part, qu'il est possible de générer à partir de R.

La partie *Network* de Vis.js propose de très larges possibilités de création de graphes de réseaux interactifs, bien plus que d'autres bibliothèques existantes. Elle permet notamment de dessiner des graphes orientés à partir d'éléments interactifs, disposés dans l'espace selon divers algorithmes. Il a donc fallu configurer la représentation du graphe par Vis.js pour l'adapter à notre objectif de clarté et d'interaction exploratoire, ainsi qu'à la présence d'une carte de flux complémentaire. Cette carte de flux interactive, quant à elle, a été créée en utilisant les fonctions de projection et de dessin de D3, ainsi que le fond de carte « Natural Earth Data » du monde par pays⁹, la liaison avec les données étant assurée par les codes ISO des pays ou les identifiants uniques des agglomérations.

À terme, nous aimerions offrir à la communauté la possibilité d'avoir recours à ce double dispositif de représentation au travers d'un *package* R. L'utilisateur pourrait ainsi importer et traiter ses données relationnelles (filtrer, isoler, analyser...) avec R, puis les exporter directement sous la forme d'un outil graphique interactif dans une page web composite, à la manière de FlexDashboard¹⁰, avec lequel VisNetwork est déjà compatible.

De fait, il nous semble intéressant d'envisager le développement de ce prototype d'exploration et de visualisation comme un outil pouvant à la fois permettre de valoriser et diffuser

7 visjs.org

8 d3js.org

9 www.naturalearthdata.com

10 markdown.rstudio.com/flexdashboard

les résultats d'une opération achevée, comme dans le cas de l'exposition du MuCEM, mais aussi d'amorcer et d'accompagner une nouvelle recherche en offrant un moyen d'explorer de grands jeux de données relationnels pour repérer des pistes de recherches, faire apparaître des caractéristiques spatiales et des structures relationnelles que les tableaux bruts de données n'aurait pas permis de faire ressortir, comme pour le cas des données de coopérations scientifiques que nous mettons régulièrement à jour. On retrouve l'idée que la visualisation ne se réduit pas à un moyen de valorisation ou d'illustration des recherches, mais qu'elle est aussi un moyen d'analyse exploratoire de l'information complexe dont nous disposons. Nous associons cette posture de recherche aux travaux menés durant l'année 2016 lors des rencontres Mondis-GéoVisu¹¹, sous la forme d'un groupe de travail qui, dans le cadre du LabEx SMS à Toulouse, a exploré lors d'ateliers pratiques différentes techniques de représentation graphique autour des thématiques de l'espace, des flux et de la visualisation.

RÉFÉRENCES

- Andurand A., Jégou L., Maisonobe M., Sigrist R., 2015, « Les mondes savants et leur visualisation, de l'Antiquité à aujourd'hui », *Histoire et informatique*, n° 18-19, p. 59-94.
- Bahoken F., 2016, *Contribution à la cartographie d'une matrice de flux*, thèse de géographie, Université Paris Diderot [en ligne : halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01273776].
- Boschma R., 2004, « Proximité et innovation », *Économie rurale*, n° 280, p. 8-24 [en ligne : doi.org/10.3406/ecoru.2004.5469].
- Boullier D., Crépel M., Jacomy M., 2016, « Zoomer n'est pas explorer. Spatialiser les graphes, catégoriser et (dé)construire les réseaux », *Réseaux*, 1(195), p. 131-161 [en ligne : doi.org/10.3917/res.195.0131].
- Cura R., 2017, « Making large spatio-temporal data analysis easier: Illustrated plea for using (geo)Visual Analytics », communication à ECTQG, York.
- Hennemann S., 2013, « Information-rich visualisation of dense geographical networks », *Journal of Maps*, 9(1), p. 68-75 [en ligne : doi.org/10.1080/17445647.2012.753850].
- Henry N., Fekete J.-D., 2008, « Représentations visuelles alternatives pour les réseaux sociaux », *Réseaux*, 26(152), p. 59-92 [en ligne : doi.org/10.3166/reseaux.152.59-92].
- Jégou L., Maisonobe M., 2013, « Les collaborations scientifiques mondiales, 1999-2008, une application web de géovisualisation », *M@ppemonde*, 4(112) [en ligne : mappemonde.mgm.fr/num40/fig13/fig13403.html].
- Windhager F., 2013, « On Polycubism. Outlining a dynamic information visualization framework for the humanities and social sciences », in M. Fuellsack (dir.), *ISIS Reports #3: Networking Networks*, Graz, ISIS, p. 28-64 [en ligne : isis.uni-graz.at/de/forschen/isis-reports].

LES AUTEUR.E.S

Marion Maisonobe
Université Paris Est – LATTS
marion.maisonobe@enpc.fr

Laurent Jégou
Université de Toulouse-Jean Jaurès – LISST
jegou@univ-tlse2.fr

11 mondis.hypotheses.org/410