



HAL
open science

Enrichissement automatique et généralisation de réseaux ferrés

Guillaume Touya, Sandro Savino

► **To cite this version:**

Guillaume Touya, Sandro Savino. Enrichissement automatique et généralisation de réseaux ferrés. Cartes & géomatique, 2015, 226, pp.71-80. hal-02272741

HAL Id: hal-02272741

<https://hal.science/hal-02272741>

Submitted on 28 Aug 2019

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.

ENRICHISSEMENT AUTOMATIQUE ET GENERALISATION DE RESEAUX FERRES

par Guillaume Touya, Sandro Savino

Institut national de l'information géographique et forestière – Laboratoire COGIT
73 avenue de Paris 94165 SAINT-MANDE

prenom.nom@ign.fr

Département d'ingénierie des connaissances – Université de Padoue
Italie

sandro.savino@dei.unipd.it

Résumé

Contrairement aux réseaux routier ou hydrographique, la généralisation automatique du réseau ferré a peu été étudiée, et des réseaux très détaillés comme ceux saisis dans OpenStreetMap sont difficilement généralisables avec les méthodes existantes. Cet article propose plusieurs méthodes pour détecter automatiquement les structures clés des réseaux ferrés et pour généraliser ces réseaux tout en préservant au mieux ces structures clés, comme les formes en éventail dans les grandes gares. Ces algorithmes ont été testés sur des jeux de données réels issus d'OpenStreetMap et des données officielles de l'administration de la région de Venise en Italie.

1 Introduction

Pendant longtemps, les réseaux de voies ferrées ont été saisis de manière simple dans les bases de données géographiques, avec principalement une voie centrale, ce qui rendait la généralisation automatique du réseau assez simple, du fait d'une faible densité et de géométries rectilignes. Cela a conduit les chercheurs en généralisation à peu s'intéresser à ce thème de la carte. Mais les voies ferrées sont maintenant saisies de manière plus réaliste et détaillée, avec chaque voie saisie, notamment dans les zones de triage ou les gares. C'est le cas dans OpenStreetMap par exemple (Touya et Girres 2014). Dériver des cartes à moyenne ou petite échelle à partir de ces données détaillées est complexe et nécessite des algorithmes de généralisation adaptés. La généralisation automatique des réseaux routiers et hydrographiques a été abordée de nombreuses fois par la recherche en cartographie (Thomson et Brooks 2007, Stanislawski *et al.* 2014) ce qui traduit leur importance dans les cartes topographiques. Mais il n'y a que très peu de travaux dédiés spécifiquement au réseau ferré (Touya et Girres 2014). Bien que certaines techniques utilisées pour les routes et les cours d'eau, comme les 'strokes' de Thomson et Richardson (1999), soient aussi applicables au réseau ferré, elles ne permettent de préserver les structures spécifiques aux voies ferrées. Cet article tente de combler ce manque et propose de nouveaux algorithmes spécifiquement dédiés à la détection et la généralisation des structures ferrées.

La partie 2 décrit comment nous modélisons les réseaux ferrés et leurs structures pour des jeux de données où toutes les voies présentes sur le terrain ont été saisies dans la base. Nous détaillons également dans cette partie les algorithmes de détection automatique de ces structures. La partie 3 décrit les algorithmes de généralisation que nous avons développé pour traiter ces réseaux ferrés détaillés. La partie 4 montre les résultats des expérimentations que nous avons réalisées. Enfin, la partie 5 conclut l'article et présente des perspectives possibles de ce travail.

2 Modélisation des réseaux ferrés

2.1 Modélisation des réseaux ferrés comme des objets complexes

Un simple coup d'œil aux données représentant un réseau de voies ferrées permet de distinguer deux parties bien distinctes : les voies principales sur lesquelles les trains circulent, composées d'une ou plusieurs voies parallèles, et les zones où les trains s'arrêtent, comme les zones de triage ou les gares, composées de voies bifurquant, se croisant ou finissant en impasse (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Du point de vue de la généralisation, cette distinction n'est pas si claire : les petites gares se composent souvent de voies parallèles pas très différentes de voies principales parallèles (fig. 2). Par contre, les grandes zones de triage sont vraiment particulières avec un très grand nombre de voies et des structures et patterns qui nécessitent d'être préservés.

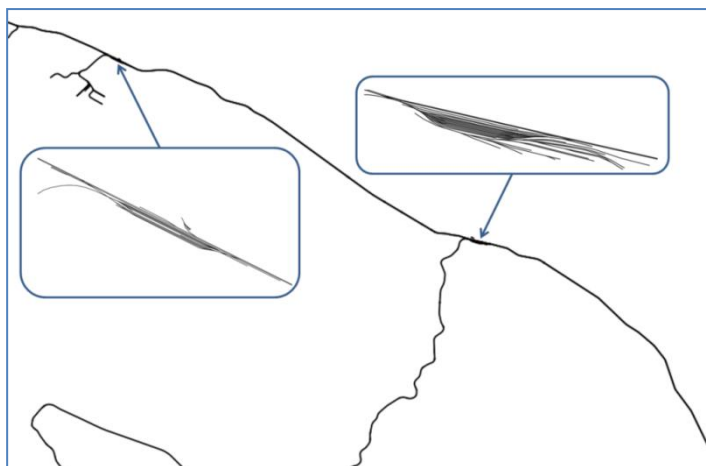


Figure 1 : Réseau ferré issu d'OpenStreetMap : il contient surtout des voies principales avec de rares zones de triage/garage.

Dans cet article, nous divisons le problème et le réseau en deux : les groupes de voies principales d'un côté et les zones de triage de l'autre. Les groupes de voies principales sont des ensembles de voies parallèles formant les lignes de train et les petites gares. Les zones de triage correspondent à tous les groupes comportant un nombre important de voies de garage ou de triage. Chaque partie nécessite ses propres méthodes de détection de structures et de généralisation en préservant ces structures. Deux méthodes permettant de séparer les deux types de voie sont décrites dans la partie **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

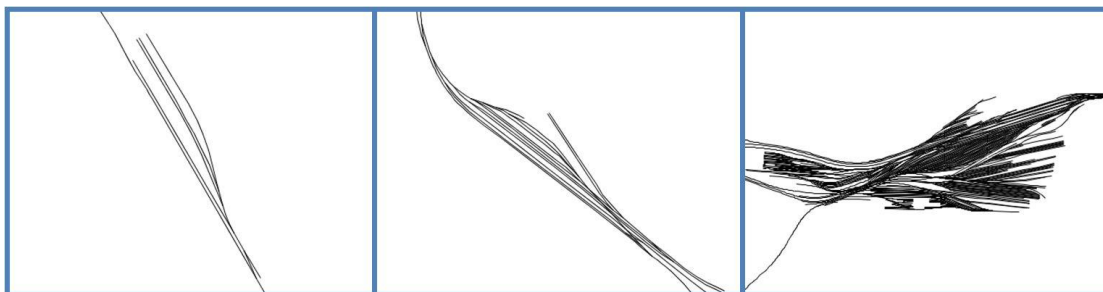


Figure 2 : Le nombre de voies et de structures dans une gare ou zone de triage est très variable; cela nécessite des algorithmes flexibles.

Alors que des voies parallèles multiples sont souvent abstraites par une voie centrale dans les bases de données géographiques traditionnelles, des réseaux ferrés très détaillés contiennent une ligne par voie ferrée sur le terrain. La distance standard entre deux voies est de moins de 10 mètres ce qui ne permet pas une représentation lisible de ces voies parallèles, à la plupart des échelles. La solution cartographique est donc de rétablir cette représentation abstraite d'une seule ligne pour représenter toutes les voies parallèles.

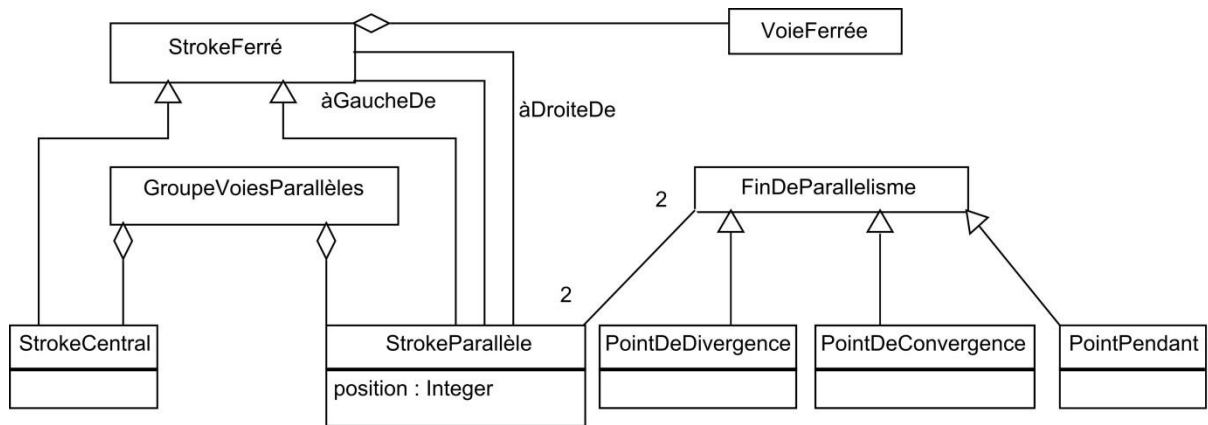


Figure 1 : Diagramme de classe UML des voies principales vues comme des objets complexes.

Pour cela, nous proposons un modèle de données complexe pour caractériser les **groupes de voies parallèles** (fig. 3). Ce modèle repose principalement sur la construction de *strokes*, soit des entités perceptuelles qui regroupent des lignes qui se continuent à la manière d'un trait de crayon (Thomson et Richardson 1999). Ces *strokes* sont très souvent utilisés pour la généralisation des réseaux géographiques ou leur analyse (Thomson et Brooks 2007). Un groupe de voies parallèles est constitué d'un *stroke* central sur lequel plusieurs *strokes* parallèles plus courts sont agrégés. La façon dont le parallélisme entre deux voies s'arrête est aussi caractérisé, et nous avons identifié trois types de fin de parallélisme (fig. 4) : les points de convergence (c'est-à-dire que les deux voies se rejoignent), les points de divergence (c'est-à-dire qu'une des voies s'écarte pour suivre un tracé différent) et les points pendants (une des deux voies est une impasse). Une position par rapport au *stroke* central est associée à chaque *stroke* parallèle : 1 signifie que le *stroke* est directement à droite du *stroke* central, 2 signifie que le *stroke* est à droite du *stroke* central mais qu'il y a une autre voie parallèle entre les deux ; -1 signifie que le *stroke* est directement à gauche du *stroke* central, etc.

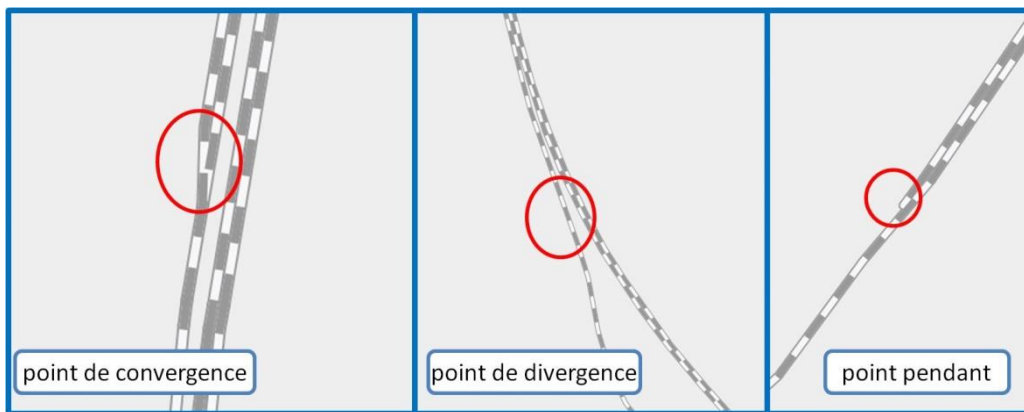


Figure 2 : Trois types de fin de parallélisme dans les groupes de voies principales parallèles.

Nous avons vu que la structure des réseaux ferrés change drastiquement à l'abord des importantes zones de triage : les voies principales se séparent dans différentes directions, et de nombreuses voies parallèles peuvent se côtoyer (fig. 5). Ces voies convergent, divergent, se croisent et se finissent fréquemment en impasses. Nous appelons de telles structures des **groupes de voies de garage**, ou parfois dans le texte des zones de triage.



Figure 3 : Structures reconnaissables dans une zone de triage.

Différentes structures caractéristiques peuvent être identifiées à l'intérieur d'un groupe de voies de garage (Figure 5):

- des voies parallèles émergeant d'un même aiguillage et convergeant dans un autre aiguillage,
- des impasses, où plusieurs voies parallèles servent à stocker des wagons,
- des groupes d'aiguillages, où de nombreuses voies se rejoignent et se croisent.

Les groupes de voies de garage sont des structures significatives géographiquement et peuvent représenter une gare importante, une zone de fret ou un centre logistique. Donc ses structures caractéristiques doivent être préservées pour être toujours reconnaissable dans les cartes dérivées par généralisation automatique. Nous proposons de réduire la complexité de cette généralisation en découpant le problème en sous-problèmes, avec une hiérarchie de structures, ce qui est très classique en généralisation (fig. 6). Ainsi une zone de triage ou un groupe de voie de garage est composé de paquets (les groupes de voies qui émergent d'un aiguillage et convergent vers un autre), éventails (les groupes de voies parallèles en impasse) et voies libres (les autres voies).

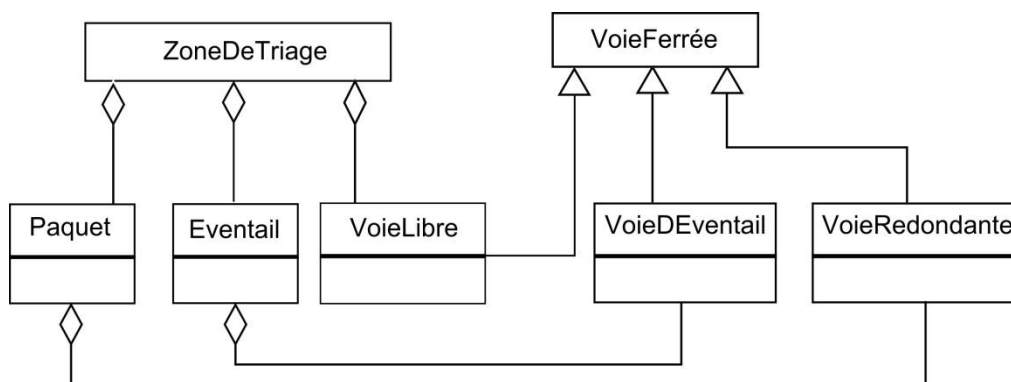


Figure 4 : Diagramme de classe UML des groupes de voies de garage/zones de triage.

2.2 Différentiation automatique entre voies principales et voies de garage

La différence principale entre les voies principales et les voies de garage est le nombre de voies dans chaque groupe. La première méthode de différenciation utilise cela en traçant une ligne perpendiculaire à chaque voie en son milieu et voir combien d'autres voies proches cette ligne traverse. Au-dessus d'un certain seuil, la voie est candidate à un regroupement dans un groupe de voies de garage, qui est effectué par proximité entre candidats. Seuls les groupes importants ainsi formés sont conservés, les autres voies étant considérées comme voies principales. Les seuils utilisés lors de nos tests sont de 60 mètres pour la longueur de la ligne perpendiculaire, et de 10 voies pour former un groupe de voies de garage.

La deuxième méthode repose sur la construction de *strokes* sur l'ensemble du réseau. Il apparaît que les *strokes* de voies principales sont beaucoup plus long que les *strokes* appartenant à un groupe de voies de garage, donc un simple seuil de longueur permet la différenciation.

Les deux méthodes donnent des résultats équivalents à la différence près que dans la deuxième méthode, des voies principales traversent des groupes de voies de garage, donc l'étape de réconciliation après la généralisation indépendante des deux types de zone devra prendre en considération la méthode de différenciation utilisée.

2.3 Détection automatique de structures

2.3.1 Groupes de voies parallèles

La première étape du processus de détection automatique des groupes de voies parallèles est la construction des *strokes* en n'utilisant que les voies principales. Ensuite, ces *strokes* sont triés en fonction de leur longueur et le plus long est utilisé comme premier *stroke* central pour un nouveau groupe de voies parallèles. Les *strokes* restant qui sont situés à moins de 10 mètres (calcul fait par dilatation morphologique du *stroke* central), sur une distance significative (fixée empiriquement à 100 mètres) sont considérés comme des *strokes* parallèles à ce *stroke* central. Puis, de nouveaux *strokes* parallèles sont recherchés récursivement (fig. 7). Quand on ne trouve plus de nouveaux *strokes* parallèles, on choisit le *stroke* le plus long parmi ceux qui n'appartiennent pas encore à un groupe, et on construit un nouveau groupe autour de

lui. Une fois tous les groupes constitués, nous caractérisons les fins de parallélisme dans chaque groupe, afin de faciliter les futurs besoin en reconnexion des voies lors de la généralisation (voir partie 3.1). Quand les géométries parallèles se croisent, c'est un point de convergence, quand elles ne se croisent pas mais restent dans la zone de proximité, c'est un point pendant, et quand une ligne quitte la zone de proximité, c'est un point de divergence.

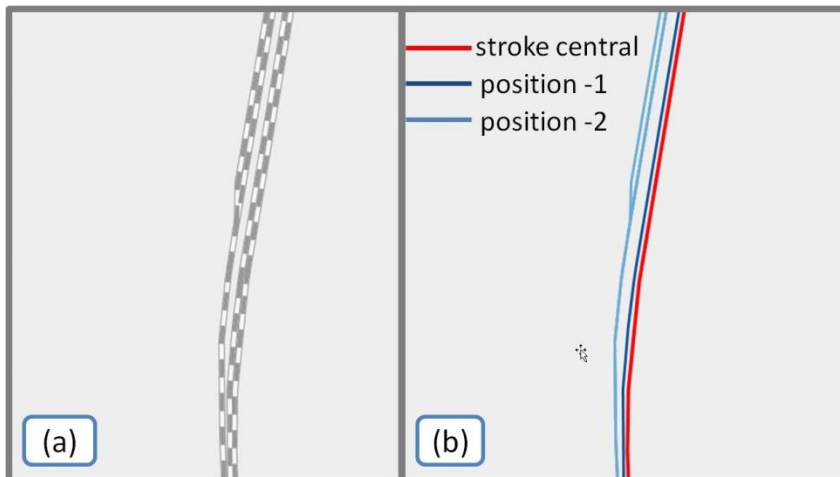


Figure 7 : Voies principales parallèles qui sont regroupées automatiquement autour du stroke le plus long (en rouge).

2.3.2 Structures dans les groupes de voies de garage

Les structures les plus importantes dans les groupes de voies de garage sont les **paquets** et les **éventails**. Les voies n'appartenant pas à ces structures sont soit des **voies libres**, soit des **voies d'aiguillage** (voir plus loin).

Les **éventails** sont formés par des voies sans issue. Ces voies diffèrent d'impasses simples par la répartition équilibrée d'un certain nombre de telles voies parallèles avec des longueurs similaires (fig. 8). Ces structures sont proches d'arbres avec de nombreuses feuilles (quelques interconnexions font qu'il ne s'agit pas toujours de véritables arbres). L'algorithme de détection permet de détecter la structure de type arbre en partant des nœuds pendants jusqu'à la racine, en donnant à chaque arc un score de ressemblance à une voie d'éventail. Ce score prend en compte la topologie, la forme et le voisinage (plus de chance de faire partie d'un éventail si les arcs connectés en font aussi partie). Comme les éventails sont des structures assez localisées, un critère de longueur est utilisé pour stopper la propagation de l'algorithme de détection dans le réseau quand on rencontre des voies trop longues (une valeur de 100 m est utilisée dans nos tests). Une fois les voies appartenant à un éventail identifiées, elles sont regroupées par proximité (fig. 8).

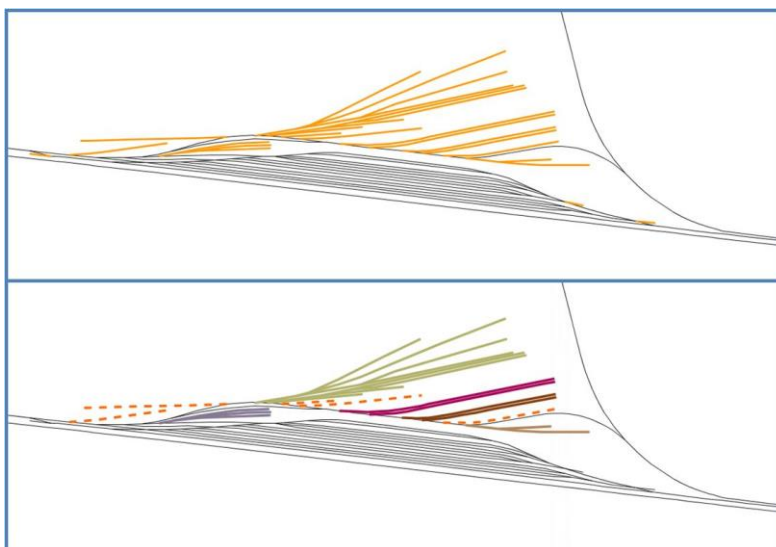


Figure 8 : Détection des voies d'éventail (au-dessus, en orange) et groupement de ces voies en éventail (en-dessous, une couleur par éventail). Les pointillés représentent des voies d'éventail ayant été laissées de côté et reclassées en simple impasse.

Les **paquets** ont un point commun avec les éventails, car ils se composent de voies parallèles issue d'un même aiguillage, mais ils ne divergent pas en éventail : ils convergent plutôt ensemble vers un autre aiguillage. Les arcs formant un paquet sont appelés arcs redondants car ils établissent tous la même connexion entre deux aiguillages de la zone de voies de garage. Du point de vue de la généralisation, il est toujours intéressant d'identifier des objets redondants, car ils sont de bons candidats à l'élimination (Savino *et al* 2010). Pour détecter ces arcs redondants, la première étape est d'identifier les aiguillages, ou plutôt les groupes d'aiguillages proches, d'où les paquets émergent puis convergent. Pour cela, les nœuds du réseau sont regroupés en fonction de leur proximité et de leurs connexions : deux nœuds sont regroupés s'ils sont peu distants l'un de l'autre (à travers le réseau) et s'ils sont directement connectés. Ensuite, l'algorithme compare le groupe de nœuds de départ et d'arrivée des arcs de la zone de triage, et groupe les arcs qui partent et arrivent au même endroit (fig. 9). Les voies qui connectent deux nœuds d'un même groupe de nœuds sont considérées comme **voies d'aiguillage**. Ces voies ont un rôle fondamental pour assurer la connectivité du réseau car elles relient différentes structures (paquets ou éventails) entre elles.

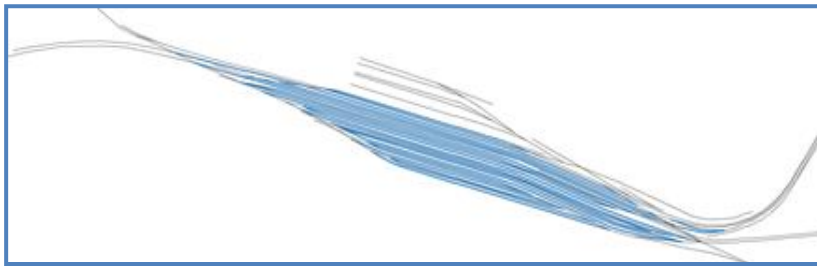


Figure 9 : Détection des arcs redondants (en bleu) et leur regroupement en paquet.

Tous les arcs qui ne sont finalement classés ni comme éventails, ni comme paquets, ni comme aiguillages sont classés en **voies libres**. Ces voies ne sont pas caractérisées plus précisément du fait de leur grande diversité. Elles sont éliminées en fonction de leur longueur mais peuvent être conservées si elles connectent deux structures.

3 Algorithmes de généralisation des voies ferrées

3.1 Simplification des groupes de voies parallèles

Touya et Girres (2014) ont proposé un algorithme pour simplifier deux voies parallèles par une nouvelle ligne passant au milieu des deux voies parallèles. Cette méthode n'étant applicable que pour les groupes composés de seulement deux *strokes*, elle est remplacée ici par une méthode plus générique permettant de gérer plus de deux *strokes* parallèles. Dans ce cas, nous tirons parti du modèle construit précédemment en supprimant les *strokes* parallèles et en ne conservant que le *stroke* central (fig. 10). Des reconnexions sont effectuées au niveau des points de divergence. Pour une version plus progressive de l'algorithme (quand plusieurs échelles doivent être générées), on peut commencer par ne supprimer que les *strokes* parallèles aux positions impaires, de manière itérative (après la première élimination, la position 2 devient 1).

Les points de divergence ne correspondent pas nécessairement à l'extrémité de la géométrie d'un objet de la base de données, donc les géométries doivent être coupées, en ne gardant que la partie divergente comme autre voie principale. La reconnexion est faite de manière à préserver l'angle de connexion initial pour conserver des formes « naturelles ». Une fois que cette simplification est effectuée, les *strokes* restant les moins longs peuvent être éliminés, comme dans une généralisation par *strokes* classique (Thomson et Brooks 2007).

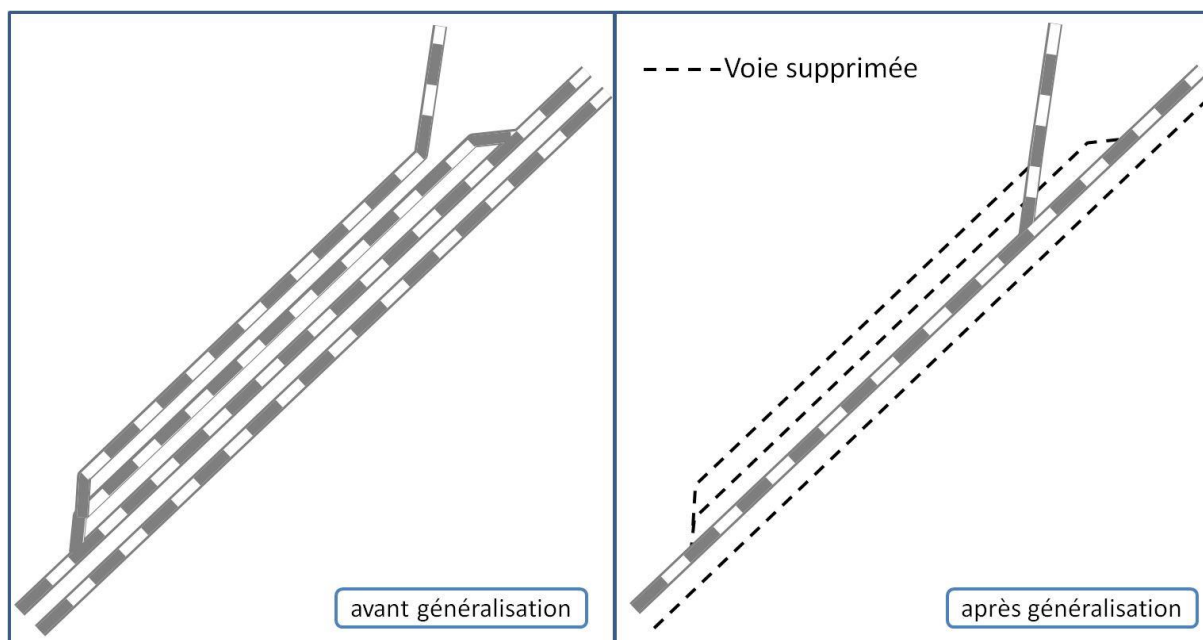


Figure 10 : Simplification des groupes de voies parallèles, seule la voie centrale est conservée et les voies divergentes sont reconnectées à la voie centrale.

Une dernière étape vérifie que la simplification n'a pas détruit la connectivité entre voies centrales conservées. La fig. 11 montre un cas où la connexion entre les deux *strokes* centraux est perdue car la connexion passait par un *stroke* parallèle éliminé. Dans ce cas, les connexions sont rétablies en prolongeant le point de connexion initial vers le *stroke* central.

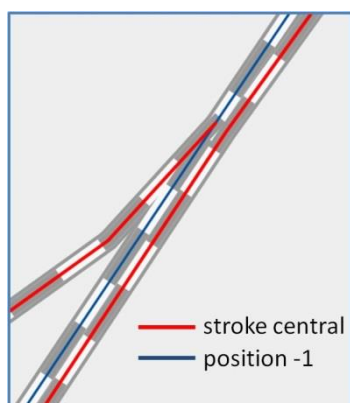


Figure 11 : La connexion entre les voies principales se fait via une voie parallèle donc son élimination détruirait la connectivité.

3.2 Typification des groupes de voies de garage

Du fait de la diversité des voies présentes dans les groupes de voies de garage, il est difficile de trouver un algorithme de généralisation capable de traiter efficacement toutes les situations. Nous proposons donc ici de traiter chaque type de structure différemment avec un algorithme adapté. Une fois les structures généralisées indépendamment, une étape finale reconnecte les structures généralisées entre elles en sélectionnant des voies libres ou des voies d'aiguillage. Le fait de se limiter à des opérations de sélection/élimination permet de rendre cette étape de reconnexion facile.

La caractéristique principale des paquets et des éventails est le parallélisme des voies qui les compose. Dans les deux cas, le principe de généralisation est le même : on calcule l'orientation de la structure, et on trace un rayon perpendiculaire à l'orientation du groupe, et centré au niveau du centroïde du groupe. Les points d'intersection entre ce rayon et les voies composant le groupe sont utilisés pour mesurer la largeur du groupe et la répartition des voies. A partir de cette répartition, on choisit les voies à supprimer pour rétablir une inter-distance minimum respectant les seuils de visibilité (on utilise 0.1 mm sur la carte). Afin de mieux préserver la distribution spatiale des voies dans le groupe, l'algorithme est capable d'identifier

des sous-groupes avec des espacements réguliers et la sélection prend en compte ces sous-groupes pour préserver la répartition spatiale initiale. Ce principe est appliqué tel quel pour la généralisation des paquets (fig. 12). Dans le cas des paquets, les voies d'aiguillage devenues inutiles du fait de l'élimination de certaines voies sont elles aussi éliminées.

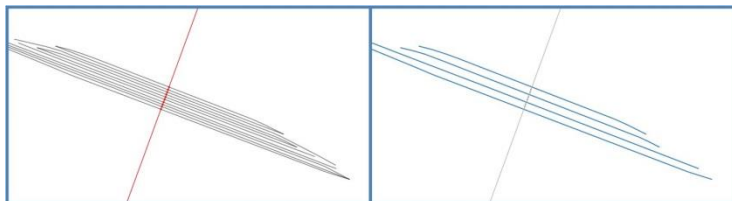


Figure 5 : Généralisation des paquets : une ligne perpendiculaire au paquet (à gauche, en rouge) est utilisée pour caractériser le paquet et choisir les voies à garder (à droite, en bleu).

Du fait de la structure en arbre des éventails, le principe ne peut pas être appliqué de la même manière sur ces structures. Dans le cas des éventails, seuls les arcs pendants de la structure sont utilisés pour calculer l'orientation et le centroïde permettant de tracer le rayon (fig. 13). Ensuite le même principe de sélection sur le critère d'inter-distance est appliqué à ces arcs pendants. Puis, toutes les voies devenues inutiles, car elles assureraient la connexion d'arc pendant ayant été éliminées, sont elles aussi éliminées (fig. 13).

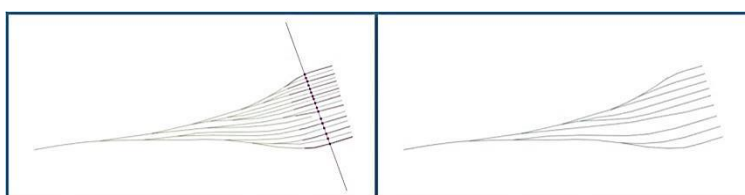


Figure 6 : Généralisation des éventails : même principe que les paquets, mais appliqué aux arcs pendants (à gauche en violet); les arcs connectant les arcs pendants éliminés sont eux aussi éliminés.

La dernière partie du processus de généralisation des groupes de voies de garage concerne la généralisation des voies libres. Les voies libres sont relativement similaires aux voies principales, ou à des routes, et elles sont généralisées en utilisant les *strokes*. Les *strokes* sont construits en utilisant uniquement les voies libres et les voies d'aiguillage, auxquelles on ajoute les voies principales connectées au groupe de voies de garage pour favoriser la sélection des voies situées dans la continuité des voies principales. Les *strokes* sont ensuite sélectionnés en fonction de leur longueur. C'est à ce moment-là que les structures sont reconnectées entre elles en utilisant le *stroke* le plus long qui permet la reconnexion.

4 Expérimentations

Des expérimentations ont été menées sur deux sources de données très détaillées : un jeu de données issu d'OpenStreetMap contient tout le réseau ferré d'Aquitaine (30 000 km²), et l'autre, issu de l'administration régionale de Venise, couvre l'ensemble de la région de Venise (18 000 km²). Les deux jeux de données contiennent une grande diversité de données, avec des lignes courtes, des lignes plus longues, des voies principales parallèles, des petites, des moyennes et des grandes zones de voies de garage.

La fig. 14 montre des résultats de la généralisation des groupes de voies principales parallèles, en les transformant en une seule voie parallèle. Les résultats sont bons pour les trois types de fin de parallélisme observés, et le temps de calcul est très faible sur ces grands jeux de données (quelques secondes sur un ordinateur de bureau simple).

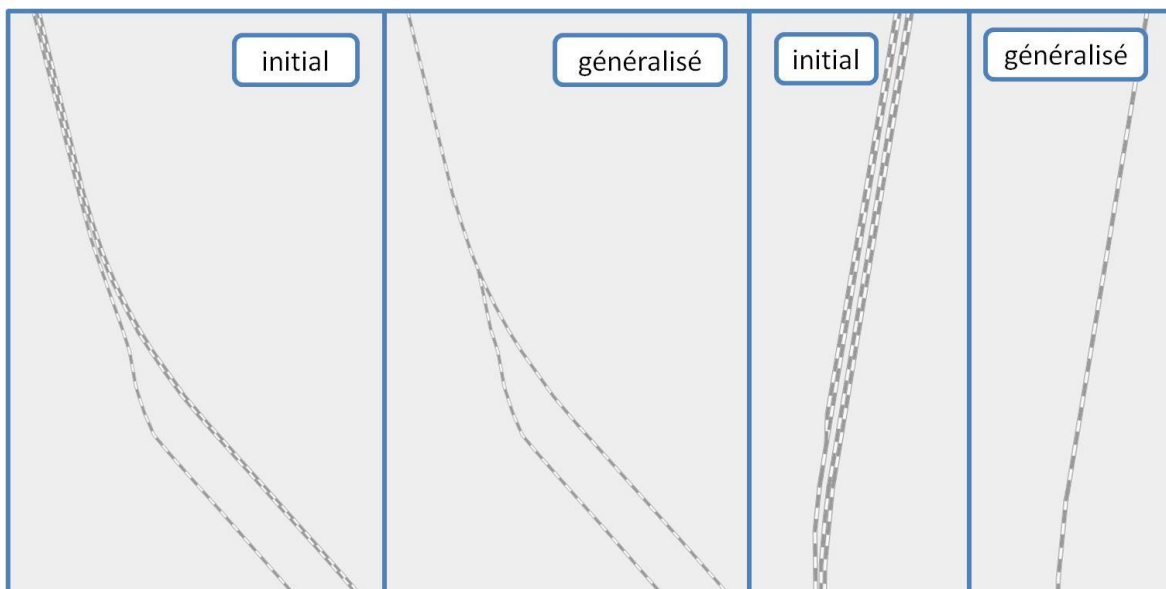


Figure 7 : Deux exemples de groupes de voies parallèles, issues d'OpenStreetMap, et simplifiés en une voie, avec reconnexions.

Dans les fig. 15, 16 et 17, nous montrons des résultats de nos algorithmes sur la généralisation de groupes de voies de garage de complexité différente. Les paquets sont représentés en bleu, les éventails en jaune, les voies libres en rouge, les voies regroupées en groupe d'aiguillage en noir et les voies utilisées pour les reconnexions en vert.

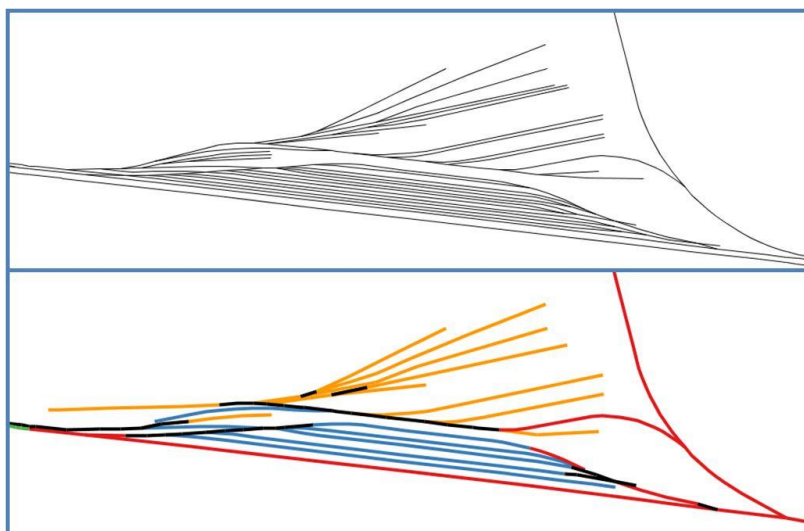


Figure 8 : Généralisation d'une gare de complexité moyenne (données initiales au-dessus, généralisées en-dessous).

De manière générale, les tests montrent que nos algorithmes sont performants pour la détection des structures du réseau, et permettent de traiter correctement des zones de voies de garage très complexe par la division en sous-tâches simples. Les expérimentations montrent que nos algorithmes permettent bien de préserver la topologie du réseau malgré la suppression d'une grande partie des arcs.

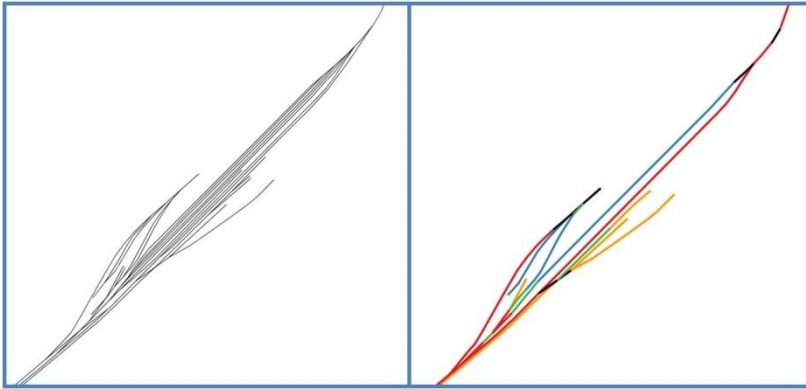


Figure 9 : Généralisation d'une gare peu complexe (données initiales à gauche, généralisées à droite).

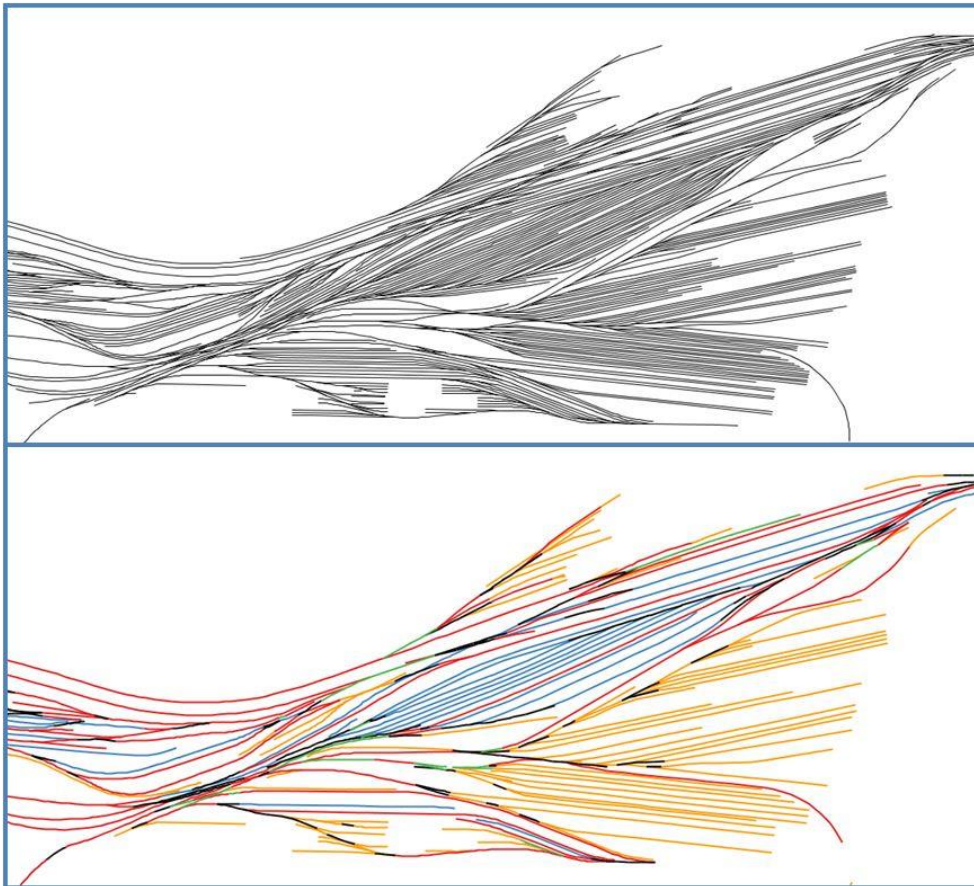


Figure 17 : Généralisation d'une gare très complexe.

La qualité des données généralisées est bonne mais il y a de la place pour quelques améliorations. Dans les paquets et les éventails, l'utilisation de la sélection (ou de l'élimination) comme opérateur contraint la flexibilité des algorithmes de généralisation. Des opérations de typification (qui transforme les données initiales mais garde une répartition ressemblante aux données initiales) permettrait de ne jamais avoir de symboles qui se superposent, en déformant légèrement les voies trop proches.

Afin d'évaluer nos propositions, la généralisation des groupes de voies de garage est comparée à l'algorithme proposé par Touya et Girres (2014). La Fig. 18 montre des résultats de cet algorithme sur la gare de Venise, une zone assez complexe. Ce résultat est plutôt bon car la densité a été réduite tout en préservant la structure générale de la gare. Mais cet algorithme a détruit certains paquets et éventails, et a aussi généré des pertes de connexion locales. Cela montre l'intérêt de nos algorithmes mais la comparaison devra être plus poussée.

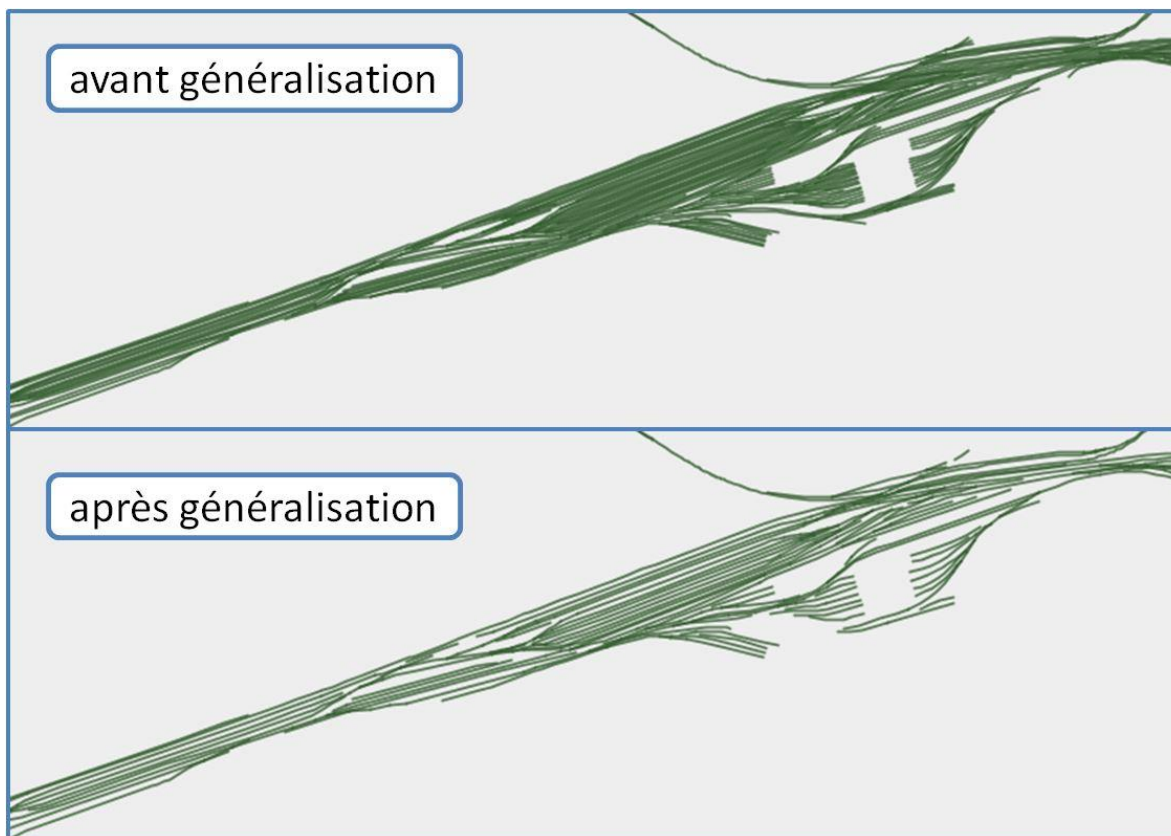


Figure 10 : Résultats obtenus sur la gare de Venise avec l'algorithme de typification de (Touya & Girres 2014).

5 Conclusion et perspectives

Cet article présente une approche relativement exhaustive de la généralisation de réseaux ferrés modélisés à grande échelle (ou de manière très détaillée). Les réseaux ferrés sont divisés en deux parties : les voies principales et les zones de triage (ou groupes de voies de garage), situées principalement au niveau des gares, et composées parfois de centaines de voies. L'article propose pour chacun de ces types d'objet un modèle complet avec les composants et les structures particulières de chaque partie, et des méthodes d'analyse spatiale pour identifier automatiquement ces structures. L'article propose ensuite des algorithmes de généralisation pour simplifier le réseau tout en préservant ces structures.

Plusieurs pistes de travail existent pour améliorer nos propositions. Tout d'abord, la plupart des algorithmes proposés, pour la détection ou la généralisation, peuvent être améliorés pour mieux traiter certains cas complexes. Par exemple, si deux paquets voisins sont trop proches l'un de l'autre, il peut rester des voies dont les symboles se chevauchent car ils sont traités indépendamment l'un de l'autre. Tester ces algorithmes sur plus de jeu de données nous permettrait d'identifier d'autres cas non prévus où nos algorithmes ne sont pas performants. Nous avons également identifié le besoin de disposer dans certains cas d'un opérateur de déplacement ou de déformation des voies, pour bouger des voies à l'intérieur d'une structure. Cela permettrait de mieux ajuster la répartition des voies et d'en éliminer moins tout en restant lisible à une échelle donnée.

Bibliographie

- Bader M., Barrault M., Weibel R., 2005, « Building displacement over a ductile truss », *International Journal of Geographical Information Science*, n°19 (8), p.915-936
- Grosso E., Perret J., Brasebin M., 2012, « GEOXYGENE: an interoperable platform for geographical application development », dans Bucher B., Le Ber F., dir., *Innovative Software Development in Gis*, John Wiley & Sons, p.67-90.
- Savino S., Rumor M., Zanon M., Lissandron I., 2010, « Data enrichment for road generalization through analysis of morphology in the CARGEN project », dans *13th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, 2010, Zurich.
- Savino S., Rumor M., Zanon M., 2011, « Pattern recognition and typification of ditches », dans Ruas A., dir., *Advances in Cartography and GIScience*, Berlin, Heidelberg, Springer, p.425-437.

Stanislawski L. V., Battenfield B. P., Bereuter P., Savino S., Brewer C. A., 2014, « Generalisation operators », dans Burghardt D., Duchêne C., Mackaness W., dir., *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World*, Berlin, Springer International Publishing, p.157-195.

Thomson R. C., Brooks R., 2007, « Generalisation of geographic networks », dans Mackaness W. A., Ruas A., Sarjakoski L. T., dir., *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications*, Amsterdam, Elsevier, p. 255-267.

Thomson R. C., Richardson D., 1999, « The "good continuation" principle of perceptual organization applied to the generalization of road networks », dans *Proceedings of 19th International Cartographic Conference*, Ottawa, Canada.

Touya G., Girres J.-F., 2014, « Generalising unusual map themes from OpenStreetMap », dans *Proceedings of 17th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Vienna, Austria.