



HAL
open science

Recartographier l'espace napoléonien

Rémi Petitpierre, Lucas Rappo, Isabella di Lenardo

► **To cite this version:**

Rémi Petitpierre, Lucas Rappo, Isabella di Lenardo. Recartographier l'espace napoléonien : Une lecture computationnelle du cadastre historique de Lausanne. Humanistica 2023, Association franco-phonie des humanités numériques, Jun 2023, Genève, Suisse. hal-04109214

HAL Id: hal-04109214

<https://hal.science/hal-04109214>

Submitted on 29 May 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Recartographier l'espace napoléonien : une lecture computationnelle du cadastre historique de Lausanne

Rémi Petitpierre, Lucas Rappo, Isabella di Lenardo

Digital Humanities Institute

EPFL, École Polytechnique Fédérale de Lausanne

{prénom.nom}@epfl.ch

Résumé

Le cadastre napoléonien est une source historique relativement homogène et largement répandue. Cela rend une approche computationnelle particulièrement pertinente. Dans cette étude, nous proposons une méthode de reconnaissance et de vectorisation automatique des cartes cadastrales à la pointe de la technologie. Nous démontrons son efficacité sur le cas lausannois, et proposons des méthodes d'analyse congruentes.

1 Introduction

Les cadastres historiques constituent des sources primaires de premier plan pour la géographie historique et l'histoire environnementale. En raison de leur niveau de détail, ils peuvent constituer une couche géographique historique de référence. Par le lien qu'ils tracent entre espace et propriétaires, ils peuvent être utilisés pour structurer spatialement et analyser des données historiques extrinsèques, concernant par exemple la population, l'économie, ou l'architecture (Bodenhamer et al., 2010).

2 Historique du cadastre

Dans le contexte du canton de Vaud, partie de la Suisse romande, l'établissement d'un registre écrit, géographique mais pas encore cartographique, visant à la reconnaissance de la propriété foncière, remonte aux « reconnaissances » du XIII^e siècle (Hegg, 1923, p. 23). Il faut attendre le XVII^e siècle pour voir apparaître des plans terriers parcellaires réalisés « à vue », sans distinction de fief (Radeff, 2007). Le cadastre de Denges, près de Lausanne, réalisé en 1658, est considéré comme l'un des premiers exemplaires de ce type en Europe (Mottaz, 1921). Le plan cadastral se propage progressivement au cours du XVIII^e siècle, mais c'est au tournant du XIX^e siècle, qu'il connaît un véritable essor. Après la Révolution Française, le cadastre est en effet perçu comme un instrument de taxation égalitaire et rationnel (Vivier, 2007). En 1811 paraît

le *Recueil méthodique* (Hennet, 1811), document considéré comme le texte fondateur du cadastre dit « napoléonien ». Il vise à organiser la cadastration des territoires, l'arpentage et la reconnaissance des propriétaires. Il règle également les questions d'échelle, de triangulation, ainsi que les codes de représentation. Pour des raisons économiques, politiques et techniques, dans de nombreux cas, la réalisation du cadastre s'étendra sur plus de 30 ans. Par extension, le « cadastre napoléonien », plutôt qu'un point précis dans le temps, correspond à un ensemble de documents parus entre le début et le milieu du XIX^e siècle. La définition n'est pas géographiquement circonscrite à la France, mais s'applique parfois également à la Belgique, aux Pays-Bas, à la Suisse, et l'Italie du Nord, notamment. Ces cartes cadastrales se caractérisent par un code de représentation homogène, largement influencé par les directives du Recueil, et déclinées localement, comme à Lausanne (Soulier et Berdez, 1827). Parmi les différentes règles d'uniformité graphique, on notera la contrainte de tracer les traits à l'encre de Chine, et de teinter les bâtiments au carmin. Dans certains cas, l'exception figurative indique une discontinuité non seulement graphique mais aussi fonctionnelle entre les villes (Pardini et Guhenec, 2022). C'est précisément cette homogénéité figurative et la richesse informationnelle de ces sources, qui documentent le territoire à une échelle granulaire et représentent plus de 100 millions de parcelles historiques (Clergeot, 2007), qui suggèrent l'importance de développer des approches computationnelles génériques pour lire, vectoriser et analyser ces documents.

3 Travaux précédents

L'idée de vectorisation automatique du cadastre napoléonien a été explorée par (Oliveira et al., 2017), dans le cas de Venise. Ces travaux, ainsi que les développements ultérieurs ont permis de mettre en lumière la complexité technique de l'ex-

traction de plans cadastraux ou parcellaires (Chen et al., 2021a,b; Oliveira et al., 2019). Toutefois, les premières analyses démontrent le potentiel pour la recherche en histoire urbaine et plaident ainsi pour le développement de ces méthodologies computationnelles (Lenardo et al., 2021; Lenardo, 2022). Les algorithmes d'extraction sont composés de deux étapes. La première, la segmentation sémantique, permet la reconnaissance des géométries (e.g. contours des parcelles, zones de texte) et l'attribution sémantique des éléments graphiques de la carte (e.g. bâti, non-bâti, eau, réseau viaire). La deuxième étape, la vectorisation, consiste à recouvrir les polygones eux-mêmes et à transformer les objets géométriques en données vectorielles.

Concernant la segmentation sémantique, les développements récents en matière d'architecture des réseaux de neurones, avec l'apparition des Vision Transformers, et de HRNet ont permis d'améliorer la capacité et l'efficacité des réseaux de neurones (Yuan et al., 2020, 2021; Wang et al., 2021; Dosovitskiy et al., 2021). Les recherches sur l'extraction automatique de la cartographie historique ont également permis de développer une meilleure compréhension du champ (Heitzler et Hurni, 2020; Chazalon et al., 2021; Petitpierre et al., 2021). De plus, l'impact de la qualité des données d'entraînement, et des pratiques d'annotation des sources cadastrales sur la performance de segmentation sémantique ont été étudiées (Petitpierre et Guhenec, 2023).

Quant au recouvrement des géométries et à la vectorisation, des défis très spécifiques au cas cadastral existent. Ces cartes ont la particularité de contenir des géométries parfois très petites (e.g. 10 px^2), ou très fines (e.g. 2 pixels de large). De plus, les lignes sont fréquemment interrompues et les géométries ne sont pas nécessairement fermées. La résolution de ces géométries est ainsi un problème algorithmique particulièrement complexe découlant de la théorie de la Gestalt. Si certaines recherches se sont attelées par exemple à la complétion des lignes par *inpainting* (Sasaki et al., 2017) ou au recouvrement des polygones par des algorithmes de niveaux (Beucher et Lantuejoul, 1979), ces méthodes n'ont jusqu'à présent pas permis de résoudre les défis du cas cadastral. Il en résulte typiquement une fragmentation des géométries fines ou au contraire un rappel bas dans la détection des parcelles. De plus, la vectorisation des polygones obtenus par les algorithmes existants est peu

satisfaisante. Elle se heurte à un conflit entre simplification des géométries et partage des points des géométries adjacentes. Dans un cas, il en résulte soit des géométries inutilement complexes, compliquant la correction manuelle, encore indispensable. Dans l'autre, des fentes et recouvrements entre polygones compliquent l'analyse, ou la reconstruction 3D.

4 Méthode et résultats

Dans cette recherche, nous commençons par annoter 70 planches cadastrales du XVIII^e-XIX^e siècle (Suisse, France, Belgique, Pays-Bas, Italie du Nord), en suivant la méthodologie décrite par Petitpierre et Guhenec (2023). Nous entraînons généralement un réseau de neurones HRNet (Wang et al., 2021) pour la segmentation des contours, un réseau OCRNet (Yuan et al., 2020) pour la segmentation sémantique des terrains, et un simple ResNet50 (He et al., 2016) pour la détection des numéros des parcelles. Les réseaux sont ensuite ajustés sur 16 planches du cadastre napoléonien de Lausanne, soit 8% du corpus. En nous concentrant sur cinq classes cartographiques qui formeront les couches géographiques (bâti, réseau viaire, eau, non-bâti, arrière-plan), nous obtenons une exactitude moyenne par classe de 85.5%. Les contours sont eux détectés avec une exactitude de 87.7%.

Pour parer au problème de fermeture des polygones, nous proposons une méthodologie basée sur l'extrapolation cinétique des lignes, en considérant leur trajectoire comme un mouvement rectiligne uniformément accéléré. La complétion des polygones est effectuée par un algorithme de recherche de chemin (Dijkstra, 1959), où la trajectoire prédite bénéficie d'un coût de mouvement réduit. Nous proposons ensuite un algorithme de vectorisation amélioré, basé sur le partage des segments et des points adjacents.

La logique de vectorisation est inversée, par rapport aux outils disponibles. Les polygones sont reconstruits à partir de segments délimitants partagés, et un algorithme de simplification des géométries est appliqué directement et uniformément sur les segments (Douglas et Peucker, 1973). Un algorithme de détection des coins permet de garantir des angles francs (Förstner et Gülch, 1987).

La légende du cadastre est transcrite. Les numéros de parcelles sont réorientés puis océrés (Puigcerver, 2017). Les données de la légende sont agrégées aux données vectorielles, puis exportées

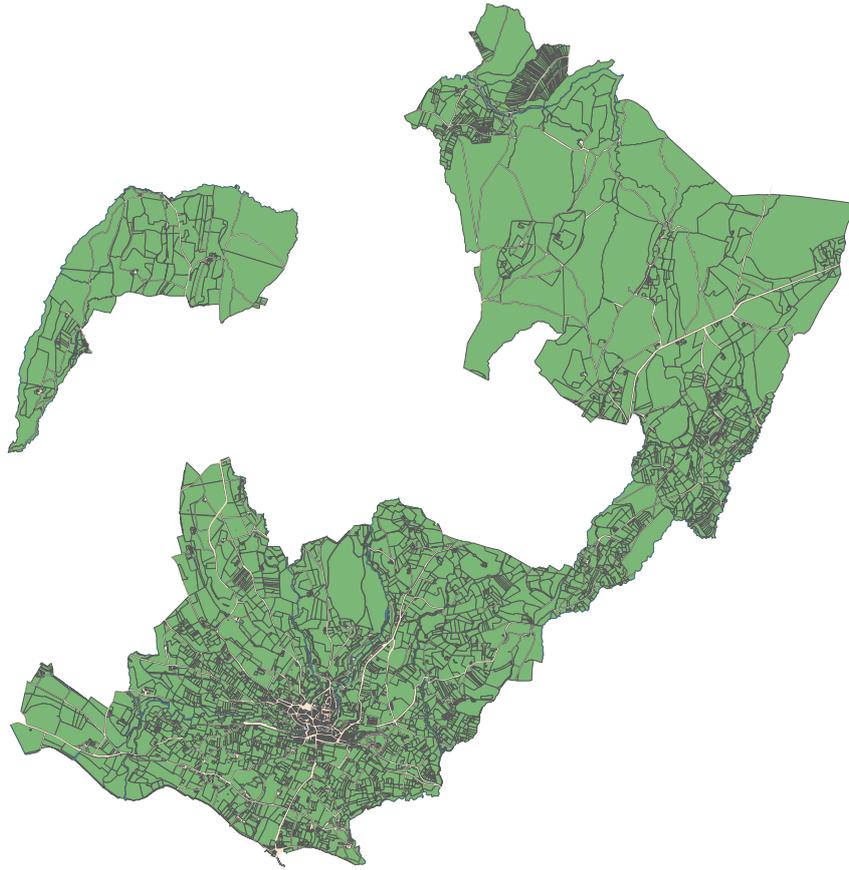


FIGURE 1 – Cadastre vectorisé de Lausanne 1827-1831

au format *shapefile* pour l'analyse (Fig. 1).

5 Discussion



FIGURE 2 – Carte vectorielle des vignes, réalisée par agrégation des données spatiales avec la légende

La relation entre la ville et le territoire environnant peut être approfondie en se concentrant sur les dynamiques qui investissent la morphologie urbaine, par exemple l'analyse du tissu routier, et sa transformation entre segments privés fermés et réseau public connecté; l'agencement fonctionnel, avec l'analyse des classes de fonction des parcelles, utile par exemple pour reconstituer la typologie des

espaces verts en termes de variété des cultures et des écosystèmes (Fig. 2); les informations sur les propriétaires, en se concentrant sur les dynamiques de propriété, la centralisation ou la dispersion des terres, la logique de la capitalisation agricole, la répartition spatiale en fonction de la classe sociale et de la famille (Fig. 3). Pour conclure, le perfectionnement d'une approche computationnelle générique d'extraction des éléments graphiques du cadastre permet de traiter les informations contenues dans les plans cadastraux de manière scalaire et d'éviter de devoir effectuer un choix, souvent nécessaire pour optimiser l'effort, entre centre urbain et zones agricoles. Cela signifie que les études peuvent prendre en compte des terrains agricoles jusqu'ici négligés dans ce type d'analyses à grande échelle. L'extraction, associée à des méthodes spécifiques à mi-chemin entre études quantitatives et qualitatives, permet, dans le cas de Lausanne, de retirer une connaissance fine des fonctions urbaines et des dynamiques de propriété. En outre, cette approche computationnelle permet d'investir une logique comparative entre nouveaux cas urbains et nouveaux territoires en s'appuyant sur l'extraction

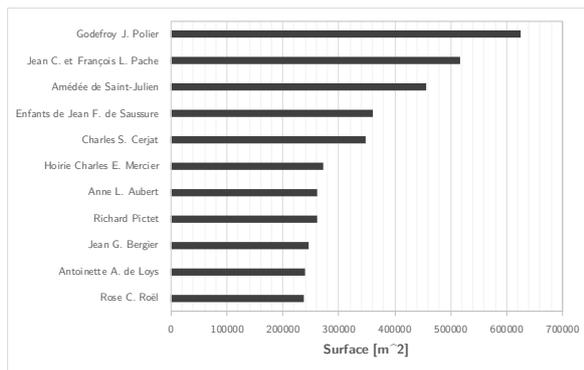


FIGURE 3 – Top 10 des plus grands propriétaires privés, par surface

de ces premiers plan géométriques et parcellaires. C’est une invitation à conduire des études ponctuelles sur des cas précis ou à agir de manière comparative, et ces méthodes permettront probablement d’apporter de nouvelles informations à la compréhension de la relation entre villes et territoires qui, précisément à partir du XIX^e siècle, ont connu une accélération significative des transformations.

Bibliographie

- Serge Beucher et Christian Lantuejoul. 1979. *Use of watersheds in contour detection*. In *International Workshop on image processing*, volume 2, pages 1–12, Rennes, France.
- David J. Bodenhamer, John Corrigan, et Trevor M. Harris, éditeurs. 2010. *The Spatial Humanities: GIS and the Future of Humanities Scholarship*. Indiana University Press, Bloomington.
- Joseph Chazalon, Edwin Carlinet, Yizi Chen, Julien Perret, Bertrand Duménieu, Clément Mallet, Thierry Géraud, Vincent Nguyen, Nam Nguyen, Josef Baloun, Ladislav Lenc, et Pavel Král. 2021. *ICDAR 2021 competition on historical map segmentation*. In *Proceedings of the 16th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR’21)*, Lausanne, Suisse.
- Yizi Chen, Edwin Carlinet, Joseph Chazalon, Clément Mallet, Bertrand Duménieu, et Julien Perret. 2021a. *Combining deep learning and mathematical morphology for historical map segmentation*. In *Discrete Geometry and Mathematical Morphology*, pages 79–92, Cham. Springer International Publishing.
- Yizi Chen, Edwin Carlinet, Joseph Chazalon, Clément Mallet, Bertrand Duménieu, et Julien Perret. 2021b. *Vectorization of historical maps using deep edge filtering and closed shape extraction*. In *Document Analysis and Recognition – ICDAR 2021*, pages 510–525, Cham. Springer International Publishing.
- Pierre Clergeot, éditeur. 2007. *Cent millions de parcelles en France : 1807, un cadastre pour l’Empire*. Éditions Publi-Topex, Paris.
- Edsger Wybe Dijkstra. 1959. *A note on two problems in connexion with graphs*. *Numerische Mathematik*, 1 :269–271.
- Alexey Dosovitskiy, Lucas Beyer, Alexander Kolesnikov, Dirk Weissenborn, Xiaohua Zhai, Thomas Unterthiner, Mostafa Dehghani, Matthias Minderer, Georg Heigold, Sylvain Gelly, Jakob Uszkoreit, et Neil Houlsby. 2021. *An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale*. In *The Eleventh International Conference on Learning Representations (ICLR’21)*.
- David H. Douglas et Thomas K. Peucker. 1973. *Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature*. *Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 10 :112–122.
- Wolfgang Förstner et Eberhard Gülch. 1987. *A fast operator for detection and precise location of distinct points, corners and centres of circular features*. In *Proceedings ISPRS intercommission conference on fast processing of photogrammetric data*, volume 6, page 281–305, Interlaken, Suisse.
- Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, et Jian Sun. 2016. *Deep residual learning for image recognition*. In *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 770–778, Los Alamitos, CA, USA. IEEE Computer Society.
- Louis Hegg, éditeur. 1923. *Étude sur le cadastre*. La Concorde, Lausanne.
- Magnus Heitzler et Lorenz Hurni. 2020. *Cartographic reconstruction of building footprints from historical maps: A study on the swiss siegfried map*. *Transactions in GIS*, 24 :442–461.
- Albert-Joseph-Ulpien Hennet, éditeur. 1811. *Recueil méthodique des lois, décrets, règlements, instructions et décisions sur le cadastre de la France*. Imprimerie impériale, Paris.
- Isabella di Lenardo. 2022. *Dynamics of ownership in the venetian cadaster of 1808*. In *15th Conference of the European Association for Urban History (EAUH 2022)*, Anvers, Belgique.
- Isabella di Lenardo, Raphaël Barman, Federica Pardini, et Frédéric Kaplan. 2021. *Une approche computationnelle du cadastre napoléonien de venise*. *Humanités numériques*, 3.
- Eugène Mottaz. 1921. *Plans cadastraux*. In *Dictionnaire historique, géographique et statistique du Canton de Vaud*, pages 460–463, Lausanne. L. Corbaz et comp.
- Sofia Ares Oliveira, Isabella di Lenardo, et Frederic Kaplan. 2017. *Machine vision algorithms on cadaster plans*. In *Première Annual Conference of the International Alliance of Digital Humanities Organizations*, Montreal, Canada.
- Sofia Ares Oliveira, Isabella di Lenardo, Bastien Tourenc, et Frederic Kaplan. 2019. *A deep learning approach to cadastral computing*. In *Digital Humanities Conference*, Utrecht, Pays-Bas.

- Federica Pardini et Paul Guhenec. 2022. [Cartographeur l'exception. variations on the napoleonic cadastral space](#). In *15th Conference of the European Association for Urban History (EAUH 2022)*, Anvers, Belgique.
- Rémi Petitpierre et Paul Guhenec. 2023. [Effective annotation for the automatic vectorization of cadastral maps](#). *Digital Scholarship in the Humanities*. Fqad006.
- Rémi Petitpierre, Frédéric Kaplan, et Isabella di Leonardo. 2021. [Generic semantic segmentation of historical maps](#). In *CHR 2021 : Computational Humanities Research Conference*, volume 2989, page 228–248.
- Joan Puigcerver. 2017. [Are multidimensional recurrent layers really necessary for handwritten text recognition?](#) In *2017 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, volume 01, pages 67–72, Kyoto, Japon.
- Anne Radeff. 2007. Les premiers plans terriers de suisse occidentale (XVIIe siècle). In *De l'estime au cadastre en Europe. L'époque moderne*, page 43, Paris. Comité pour l'histoire économique et financière de la France.
- Kazuma Sasaki, Satoshi Iizuka, Edgar Simo-Serra, et Hiroshi Ishikawa. 2017. [Joint gap detection and inpainting of line drawings](#). In *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 5768–5776.
- Soulier et Berdez, éditeurs. 1827. *Instructions données par le Département des Finances pour la levée des plans et l'établissement du cadastre, ensuite de la décision du Conseil d'Etat du 6 décembre 1826*. Frères Blanchard, Lausanne.
- Nadine Vivier. 2007. 1814-1870, les débats pour définir le cadastre. In *Cent millions de parcelles en France : 1807, un cadastre pour l'Empire*, Paris. Editions Publi-Topex.
- Jingdong Wang, Ke Sun, Tianheng Cheng, Borui Jiang, Chaorui Deng, Yang Zhao, Dong Liu, Yadong Mu, Mingkui Tan, Xinggang Wang, Wenyu Liu, et Bin Xiao. 2021. [Deep high-resolution representation learning for visual recognition](#). *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 43(10) :3349–3364.
- Yuhui Yuan, Xiaokang Chen, Xilin Chen, et Jingdong Wang. 2021. [Segmentation transformer: Object-contextual representations for semantic segmentation](#). In *arXiv [cs.CV]*.
- Yuhui Yuan, Xilin Chen, et Jingdong Wang. 2020. Object-contextual representations for semantic segmentation. In *Computer Vision – European Conference on Computer Vision (ECCV'21)*, pages 173–190, Cham. Springer International Publishing.