



HAL
open science

Rendu et représentation graphiques d'informations spatio-temporelles

Sidonie Christophe, Mathieu Brédif

► **To cite this version:**

Sidonie Christophe, Mathieu Brédif. Rendu et représentation graphiques d'informations spatio-temporelles. Journées Françaises d'Informatique Graphique et de Réalité Virtuelle, Nov 2019, Marseille, France. pp.sciencesconf.org:jfigrv2019:297341. hal-02354598

HAL Id: hal-02354598

<https://hal.science/hal-02354598>

Submitted on 7 Nov 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.

Rendu et représentation graphiques d'informations spatio-temporelles

S. Christophe¹ et M. Brédif¹

¹Univ. Paris-Est, LASTIG GEOVIS, IGN, ENSG, F-94160 Saint-Mande, France

Résumé

Cet article de positionnement expose une partie des questions de recherche et travaux en cours de notre équipe en géovisualisation (équipe GEOVIS du laboratoire LaSTIG), concernant la visualisation et l'analyse visuelle d'informations spatio-temporelles sur le territoire, via l'interaction et l'immersion. Les questions classiques de la géovisualisation perdurent –quelles représentations graphiques, quelles interfaces, quelle qualité. Néanmoins, le contexte a évolué : la complexité des phénomènes et dynamiques physiques, historiques, sociologiques et leurs interactions avec l'espace géographique, ainsi que le volume de données spatiales hétérogènes, et les besoins d'utilisateurs très variés en capacités de vision, perception et cognition, nécessitent de faire encore plus converger des domaines connexes sur la représentation graphique et l'exploration de données, pour améliorer les capacités d'analyse visuelle en géovisualisation.

En particulier, nous présentons ici des questions et travaux de recherche spécifiques à l'exploration interactive des capacités de rendu et de représentation (carto)graphique de données spatio-temporelles dans le contexte de la géovisualisation. Ces travaux s'appliquent à des problématiques liées à la visualisation des espaces géographiques urbains et à des problématiques d'analyse de dynamiques urbaines (historique, planification), et de dynamiques géophysiques (inondations, météorologie). Ces travaux sont implémentés sur une plateforme open source de visualisation 3D.

Mots clés : géovisualisation, analyse visuelle, style, rendu, abstraction, réalité augmentée.

1. Introduction

La quantité et le volume de données hétérogènes, multi-capteurs, multi-sources, multi-échelles, plus ou moins précises, plus ou moins massives, plus ou moins bien localisées et localisables, motivent les utilisateurs à vouloir tout visualiser en même temps (**co-visualisation**), à explorer ces données dans l'espace et dans le temps (**navigation**), ou d'un point de vue à un autre (**multi-dimension**). Selon les contextes, il s'agit d'expliquer, d'analyser, de comprendre, voire de prendre des décisions sur des phénomènes et dynamiques spatiales et temporelles complexes, à partir de l'interprétation de données brutes, sémantisées, enrichies, simulées. Même si il existe des outils cartographiques, de géovisualisation, de data visualisation, et de visualisation scientifique, il n'existe pas de système de visualisation, capable de s'adapter aux capacités visuelles, perceptives et cognitives de l'utilisateur, et à ses usages, de balayer l'espace des représentations possibles, pour simplifier le phénomène à observer,

en comprendre la complexité, et explorer cette complexité de différentes façons. Soit les outils sont trop simples pour les tâches à réaliser, soit ils visent des experts des données et des outils. L'exploration interactive de données spatio-temporelles passent par une exploration des rendus et représentations graphiques possibles, pouvant être adaptées, hybridées, intégrées dans des techniques d'interaction spécifiques, afin de faciliter le raisonnement visuel et l'interprétation de phénomènes spatio-temporels sur le territoire.

La géovisualisation est un champ interdisciplinaire formalisant et développant un ensemble de connaissances, méthodes et outils permettant la visualisation et l'analyse visuelle de données spatio-temporelles, à partir de l'exploration interactive de ces données par les utilisateurs. Ce champ de recherche existant depuis de nombreuses années recouvre, dans sa définition-même, des objectifs et des enjeux de la visualisation d'informations, du traitement de données, de la cartographie et de l'exploration interactive de données, sur l'espace géographique et les phénomènes s'y produisant, dans une conception centrée utilisateur [MK01, DMK05, LD11, MT13, Mac15], entre autres. La complexité des phénomènes et dynamiques sur l'es-



Figure 1 : Styles abstraits pour la représentation 3D de bâtiments [BCJ* 16].

pace (physiques, historiques, sociologiques, etc.) à représenter, et leurs interactions avec la nature, les caractéristiques et les dynamiques de l'espace géographique, ainsi que le volume de données spatiales hétérogènes, et les besoins d'utilisateurs très variés en capacités de vision, perception et cognition, demandent une convergence encore plus grande entre domaines connexes de l'informatique graphique pour résoudre des problèmes complexes liés au territoire.

L'objectif principal de la géovisualisation est "de donner à voir, à percevoir et à comprendre", à partir de ce qui a du sens dans l'espace ou le phénomène représenté pour l'utilisateur, et à partir de moyens d'interaction avec les données sur l'espace et sur le phénomène à disposition. Tous ces paramètres diffèrent selon les utilisateurs et leurs usages, et il ne s'agit pas de développer des outils de géovisualisation ad-hoc pour un jeu de données, un usage spécifique, ou un type d'utilisateurs. Nous assumons ici que les enjeux en géovisualisation sont de permettre aux utilisateurs d'explorer des possibilités de co-visualisation, de navigation et d'immersion, selon leurs usages et leurs besoins, afin de faciliter l'interprétation, l'analyse et le raisonnement. Ce caractère multi-dimensionnel nécessite de formaliser, concevoir, expérimenter et évaluer l'exploration de cet espace des possibles en géovisualisation.

Dans cet article, nous présentons des questions et travaux de recherche en géovisualisation, ayant trait plus spécifiquement au rendu et à la représentation graphique d'informations spatio-temporelles. Cet article a donc pour vocation de souligner des objectifs et des enjeux, ainsi que des résultats liés à des cas d'usages réels, illustrant le besoin d'une convergence entre domaines connexes. Nous présentons trois catégories de problèmes, faisant converger sciences de l'information géographique, conception (carto)graphique, informatique graphique, et interaction homme-machine, pour améliorer la navigation dans les données spatio-temporelles, leur perception (visuelle ou pas) et déclencher les mécanismes cognitifs recherchés, comme la reconnaissance, l'interprétation, l'analyse, la mémorisation et le raisonnement visuel :

1. Exploration de styles abstraits (carto)graphiques ;
2. Navigation temps-réel dans des données 3D massives et hétérogènes ;
3. Immersion spatio-temporelle en réalité mixte.

Ces travaux sont implémentés sur une plateforme open source de visualisation 3D.

2. Exploration de styles abstraits (carto)graphiques

La géovisualisation emprunte, revisite et étend les cadres conceptuels et pratiques de la conception cartographique. Concevoir une représentation (carto) graphique, c'est-à-dire inspirée par les connaissances et méthodes propres à la cartographie, reste un problème mal structuré [Sim73], au sens où l'ensemble des contraintes n'est pas totalement formalisé et dépend principalement de la satisfaction de l'utilisateur. Or, une solution optimale au regard des contraintes exprimées par un utilisateur, ne sera peut-être pas satisfaisante pour cet utilisateur. De plus, faire exprimer des contraintes sur le résultat visuel à obtenir, est particulièrement difficile, ne sachant pas toujours (ne "visualisant" pas mentalement) ce que l'on souhaite obtenir ; mais même si on peut s'en faire une représentation mentale, le passage à l'expression d'un ensemble de contraintes associées est particulièrement complexe.

Depuis quelques années, nous formalisons le style en cartographie, à partir de la définition générique, "ensemble de caractéristiques formelles et esthétiques de quelque chose". Plus spécifiquement nous utilisons les apports de [WD05], faisant se rapprocher linguistique et informatique graphique, reformulés pour notre propre objectif : tout ce qui rend distinctif et reconnaissable la manière dont une représentation graphique a été conçue, à partir de la connaissance implicite de règles graphiques et de grammaire nécessaires à la génération de cette représentation [WD05]. Notre objectif, avec l'aide des utilisateurs et/ou de l'analyse des phénomènes à représenter, est de spécifier des styles abstraits, pouvant aussi se combiner avec un certain degré de photo-réalisme, afin de concevoir de

nouveaux styles pour bénéficier de l'expressivité de chacun [HC17, CDT*16], ou, de concevoir des outils de co-visualisation permettant de combiner des styles à différents endroits de la scène, pour attirer/diminuer l'attention sur une zone ou sur un objet en particulier [LAP17].

Les capacités offertes par les abstractions (carto)graphiques et les techniques de rendu expressifs [BTT07] nous ont permis de spécifier plusieurs styles cartographiques abstraits pouvant répondre à des besoins des utilisateurs, sur des représentations cartographiques plus expressives [CDT*16]. Ces techniques de rendu expressif ont été adaptées et transférées à la visualisation topographique 3D, afin de faciliter la compréhension des formes, des volumes, des espaces en 3D, sans que l'utilisateur ne soit perturbé par l'hyper-réalisme des modèles texturés de façades, ou la surabondance de détails dans le mobilier urbain, alors que l'usage était spécifiquement de travailler sur les formes à bâtir dans des espaces vides, pour co-construire l'élaboration des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) (voir figure 1). A contrario, une visualisation 3D très réaliste via des modèles texturés de façades et de toits, permettra de proposer aux utilisateurs une visite historique dans le passé d'une ville, alors qu'une modélisation stylisée de bâtiments 3D avec une représentation très réaliste d'une montée des eaux permettra éventuellement de mieux expliquer des phénomènes de crues rapides par exemple [BCJ*16]. Actuellement, nous travaillons sur :

1. La spécification de styles pour la 2D, la 3D, la 3D+T ou 3D+mesure, permettant de jouer sur les niveaux de complexité visuelle, perceptive et cognitive des représentations, mais aussi de la propre complexité du phénomène spatio-temporel à représenter : que ce soit les résultats d'un modèle de simulation, de prédiction, d'apprentissage, il va être nécessaire d'identifier avec les scientifiques producteurs de ces modèles, quels sont les paramètres et dimensions du problème et/ou des données d'entrée ou de sortie, ou la configuration initiale du modèle, les mesures et leurs évolutions, les ruptures, les outliers et les signaux faibles, les distributions spatio-temporelles qui ont du sens. Ces questions pourront être ensuite poussées vers les utilisateurs grand public ou décideurs, afin de démontrer comment l'interprétation amène à la compréhension d'une dangerosité (d'un événement de canicule, de crue rapide, etc.) par exemple.
2. La conception de méthodes d'optimisation, semi-automatiques, pour explorer l'espace des styles de représentation possibles en géovisualisation, via l'interpolation des ensembles de paramètres visuels et graphiques, et des opérateurs de rendu associés, tel qu'initié dans la thèse de Charlotte Hoarau et le travail d'optimisation sur l'exploration des palettes de couleurs possibles [MVH*17].

En parallèle des styles abstraits, un style photoréaliste recherche à reproduire une vue réelle ou réaliste en se basant, dans notre domaine, sur des données d'acquisitions 3D+T laser ou image. Outre les problématiques spécifiques au rendu temps réel photoréaliste de ces données brutes, nous visons à offrir la possibilité d'explorer des styles hybrides (abstrait et réalistes), en extension de travaux similaires en cartographie 2D [HC17].

3. Navigation temps-réel dans des données 3D massives et hétérogènes

Avec les avancées technologiques récentes des capteurs d'acquisition lidar, image (optique) et de positionnement, des jeux de données massifs sont maintenant acquis quotidiennement à diverses échelles et pour de multiples usages (urbanisme, véhicule autonome, tourisme, gestion de crise, héritage culturel, etc.). Ces jeux de données sont géoréférencés, c'est à dire que la position absolue (trajectoire) du capteur est mesurée de façon directe ou indirecte et que ces capteurs sont calibrés afin que chaque mesure (pixel image ou point 3D laser) soit portée par un rayon 3D connu de façon plus ou moins précise.

Notre objectif est ici de permettre une navigation temps-réel dans ces données 3D massives et hétérogènes (images, nuages de point, modèles 3D texturés). En effet, ces données peuvent être hétérogènes par de multiples aspects, ce qui implique des problématiques de rendu pour réduire l'impact des artefacts visuels causés par cette hétérogénéité :

Point de vue : Les capteurs image et/ou lidar sont montés sur de multiples plateformes, telles que des satellites, des avions, des drones, des véhicules (de Cartographie Mobile) ou tout simplement par des smartphones ou appareils photographiques... La co-visualisation de données issues de points de vue et de capteurs multiples implique des problèmes de visibilité, et de différences de résolution.

Précision : La qualité du géoréférencement des capteurs et de leur calibration peut être variable. Comment co-visualiser un modèle 3D métrique (telle que la base de données de bâtiments BDTopo de l'IGN), un nuage de point lidar très précis en relatif mais approximativement recalé en absolu et un ensemble d'image de la même scène ?

Complétude : On ne peut généralement pas pré-supposer que la scène d'intérêt telle qu'une ville entière soit acquise intégralement. Même en multipliant les points de vue, il pourra rester des surfaces non mesurées par le capteur laser ou non photographiées par le capteur image. Comment représenter ces données incomplètes ?

Temporalité : Ces acquisitions numérisent un point de vue instantané d'une scène dynamique (trafic au niveau de la rue par exemple). Au delà de ces acquisitions récentes, il est aussi intéressant de (co-)visualiser des jeux de données d'archives pour mieux

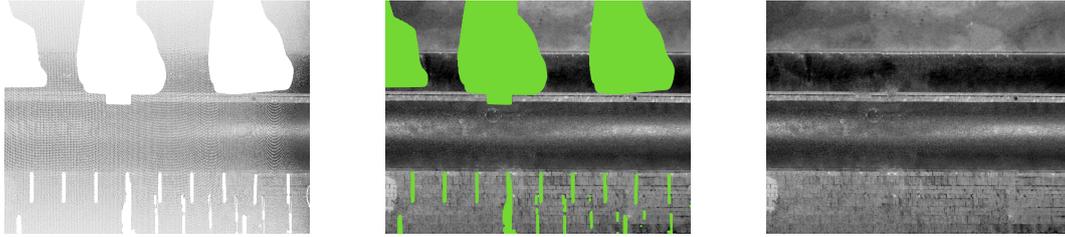


Figure 2 : a) Nuage de points laser d'une chaussée, vue de dessus. Les zones blanches correspondent à des surfaces non acquises car cachées par des véhicules ou des poteaux. b) Détection des parties cachées et interpolation des zones sous-échantillonnées. c) inpainting des parties cachées [BABB18]

comprendre l'évolution d'un territoire. Que cherche-t-on alors à représenter? Jusqu'où faut-il chercher à comprendre la dynamique et l'évolution de la scène à travers ses diverses acquisitions pour la représenter?

Dans ce contexte, nos problématiques de recherche sont les suivantes :

- La masse des données à visualiser demande de mettre en place des moyens de prétraitement, de stockage et d'indexation de ces données en amont, et des algorithmes de rendu efficaces pour leur visualisation en temps réel. Pour les nuages de points 3D, PoTree propose le précalcul d'une structure hiérarchique en octree [Sch16]. Pour des images géoréférencées, nous proposons de stocker dans une base de données géographique les métadonnées de ces images en créant un index géométrique sur leur pyramide de vue (*frustum*, limitée par une distance proche et une distance lointaine) afin de répondre efficacement à des requêtes de visibilité "Dans quelles images ce point ou cet objet 3D est-il visible?", tout en permettant un filtrage et un tri des résultats en fonction de divers critères (temporel, sémantique, résolution image...)
- l'incomplétude et l'incertitude des données rend difficilement applicable les approches classiques de rendu temps-réel basées sur des géométries texturées. Les approches de rendu basé image permettent de prendre en compte l'absence de géométrie et son imprécision. Le rendu basé image en temps réel d'une géométrie incertaine est ainsi possible en appliquant un flou dans la direction de l'imprécision géométrique projetée [Bré14]. Enfin, les données images ou géométriques manquantes peuvent être complétées par *inpainting* [BABB18] (figure 2).
- Temporalité : afin de limiter les artefacts de visualisation de données diachroniques (eg : la texturation d'un nuage de point laser par une image prise de façon non synchronisée ne sera pas cohérente sur les objets mobiles), une approche est d'analyser sémantiquement les données afin de détecter les objets mobiles et ainsi covisualiser uniquement les données laser et/ou image des objets fixes de la scène. Par exemple, [BLA*19] propose une approche par apprentissage profond

permettant de détecter en temps réel les objets mobiles dans un flux de point laser Velodyne. Pour aller plus loin, il serait intéressant non pas de détecter les objets mobiles, mais de prédire la donnée laser/image qui aurait été acquise en l'absence de ces objets, voire même d'effectuer cette prédiction multi-modale conjointement sur l'ensemble des données.

Les connaissances et méthodes en rendu image et temps-réel, combinées aux techniques de représentation (carto)graphique, permettent d'envisager une approche hybride, pouvant être expérimentée sur les questions d'analyse des dynamiques urbaines : un enjeu supplémentaire, attendue par les utilisateurs finaux (scientifiques, grand public, décideurs) permettant à la fois de spécifier de nouveaux objectifs et enjeux, ainsi que de nouvelles contraintes, sur les deux axes de recherche précédents est de profiter des dispositifs de réalité augmentée, voire mixte, pour augmenter l'exploration des données et des styles, pour une meilleure perception et compréhension de l'espace géographique considéré.

4. Immersion spatio-temporelle en réalité mixte

La navigation dans les données comme dans les styles de représentation de ces données, permet d'envisager des interactions plus poussées sur des supports immersifs, par exemple. En termes d'usages, la réalité augmentée ou mixte permettrait de préparer des visites sur site, pour différents types de chantiers d'aménagement (construction, planification, architecture, etc.) ou de gestion des infrastructures (sous-sol). Méthodologiquement, nous nous interrogeons sur la possibilité d'augmenter l'expérience de l'utilisateur, via des formes d'interaction 3D et par une perception accrue de son environnement, et pas uniquement visuelle. Notre objectif est donc de faciliter encore la perception et la compréhension de géométries et volumes 3D complexes, et donc les arrangements et la morphologie de la ville, en particulier. Le fait de vouloir faire combiner représentation de l'espace urbain et représentation d'un phénomène physique sur le territoire, comme une montée des eaux ou une élévation de température, pose la question des données utilisées

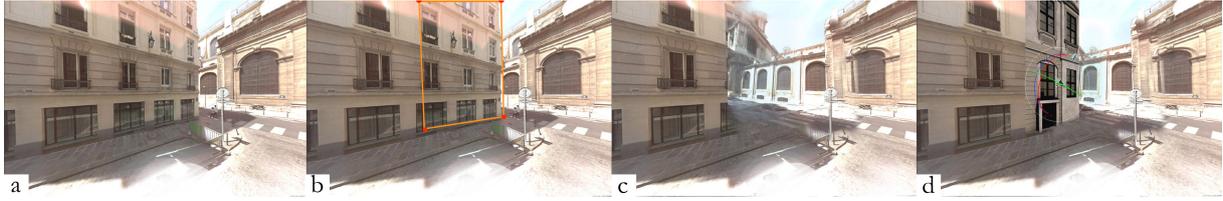


Figure 3 : Design urbain en réalité augmentée : (a) Vue originale in situ; (b) Sélection par l'utilisateur d'une partie ou l'ensemble d'un bâtiment à supprimer; (c) Une fois le bâtiment retiré, la scène doit être reconstruite; (d) Ajout d'un nouveau modèle 3D de bâtiment. [DHBC18]

pour représenter les entités de l'espace ou du phénomène qui ont du sens pour la compréhension et l'analyse visuelle, de l'échelle de visualisation, spatiale et temporelle, sans parler de la dynamique temporelle ou de la caméra. Ces questions déjà valables pour une géovisualisation 3D "classique" vont avoir un effet sur l'expérience vécue de l'utilisateur.

Nous avons travaillé au design de l'extension d'une application "classique" de géovisualisation 3D dans le cadre de la réalité mixte, afin d'identifier les briques communes nécessitant d'être adaptées (rendu, stylisation, interaction 3D), et les briques nouvelles à prendre en compte de façon plus spécifique (estimation de pose 6D, occlusions et *inpainting*). Ce type d'application en réalité mixte (RM) requiert non seulement l'intégration d'un modèle 3D de haute qualité, provenant d'une acquisition photogrammétrique par exemple, d'avoir capturé la scène grâce au support de réalité augmentée d'une part, mais également de prévoir des modalités d'interaction intuitives avec les données, que ce soit le modèle 3D lui-même, ou l'échelle de visualisation. Différentes réalisations ont été mises en oeuvre – modification d'échelle, adaptation géométrique entre scène virtuelle et scène réelle, alignement des styles entre objets à rajouter et objets du modèle 3D en entrée – permettant l'interaction et l'hybridation du réel et du virtuel. L'application concerne le *design* urbain, c'est-à-dire l'implantation d'un nouveau bâtiment, de volume, surface au sol et textures de façades potentiellement différent, dans une scène urbaine, via le support de lunettes de réalité mixte [DHBC18] (voir figure 3).

Après cette première série d'expérimentations, les pistes à poursuivre concernent principalement l'*inpainting* dans la scène à reconstruire, et le contrôle des effets d'illumination et de ré-éclairage de la scène, afin de limiter la discontinuité de représentation entre la scène réelle visible directement et la partie synthétisée par *inpainting*. Si la qualité de l'estimation de pose 6D *in situ* est techniquement au point en *indoor* sur les dispositifs de réalité augmentée actuels, elle n'est pas encore suffisante pour une utilisation confortable en *outdoor*.

5. Conclusion

Dans cet article, nous présentons trois axes de recherche permettant d'envisager une exploration multi-

dimensionnelle des données hétérogènes et de styles abstraits et photoréaliste, pour améliorer la perception et la cognition de l'espace géographique ou d'un phénomène spatio-temporel sur cet espace. La spécification de contraintes et de styles attendus ou à inventer, restent une difficulté, ainsi que le développement de techniques de rendu et d'optimisation du rendu, selon les différents supports de géovisualisation qui peuvent être utilisés dans des contextes d'usage divers et variés, auxquels nous faisons face.

Il est important de noter que les problèmes identifiés ici ne représentent pas toutes les catégories de problèmes auxquelles nous sommes confrontés en géovisualisation : la question de la navigation spatio-temporelle dans les données implique des travaux transverses sur la représentation multi-échelles (spatiales et temporelles) des données, des phénomènes représentés, et de la visualisation attendue ou nécessaire. Par ailleurs, nous insistons sur le fait que le *design* de techniques comme l'amélioration ou l'hybridation de techniques existantes se font toujours dans une approche centrée utilisateur, où les critères de qualité restent, la lisibilité, la compréhensibilité, et l'utilisabilité des méthodes et des outils fournis pour une meilleure interprétation et analyse visuelle des données, phénomènes et dynamiques spatio-temporelles.

Références

- [BABB18] BIASUTTI P., AUJOL J.-F., BRÉDIF M., BUGEAU A. : Diffusion and inpainting of reflectance and height LiDAR orthoimages. *Computer Vision and Image Understanding* (novembre 2018).
- [BCJ*16] BRASEBIN M., CHRISTOPHE S., JACQUINOD F., VINESSE A., MAHON H. : 3d geovisualization stylization to manage comprehensive and participative local urban plans. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. IV-2/W1* (2016), 83–91.
- [BLA*19] BIASUTTI P., LEPETIT V., AUJOL J.-F., BRÉDIF M., BUGEAU A. : LU-Net : An efficient network for 3D lidar point cloud semantic segmentation based on end-to-end-learned 3D features and U-Net. In *ICCV Workshop* (2019).
- [Bré14] BRÉDIF M. : Projective Texturing Uncertain Geometry : silhouette-aware box-filtered blending using integral radial images. In *ISPRS Technical Commission III Symposium* (Zurich, Switzerland, septembre 2014), vol. II-3, pp. 17–23.
- [BTT07] BARLA P., THOLLOT J., THOMAS G. : Rendu expressif. In *Informatique graphique et rendu*, Péroche B., Bechmann D., (Eds.). Hermès - Lavoisier, 2007.
- [CDT*16] CHRISTOPHE S., DUMÉNIÉU B., TURBET J., HOARAU C., MELLADO N., ORY J., LOI H., MASSE A., ARBELOT B., VERGNE R., BRÉDIF M., HURTUT T., THOLLOT J., VANDERHAEGHE D. : Map Style Formalization : Rendering Techniques Extension for Cartography. In *Expressive 2016 The Joint Symposium on Computational Aesthetics and Sketch-Based Interfaces and Modeling and Non-Photorealistic Animation and Rendering* (Lisbonne, Portugal, mai 2016), Bénard P., Winemöller H., (Eds.), Non-Photorealistic Animation and Rendering, The Eurographics Association, The Eurographics Association, pp. 59–68.
- [DHBC18] DEVAUX A., HOARAU C., BRÉDIF M., CHRISTOPHE S. : 3D urban geovisualization : in situ augmented and mixed reality experiments. In *ISPRS Technical Commission IV Symposium* (Delft, Netherlands, octobre 2018), vol. IV-4 de *International Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Annals)*, pp. 41 – 48.
- [DMK05] DYKES J., MAC EACHREN A., KRAAK M. : *Exploring geovisualization*. Elsevier, 2005, pp. 3–19.
- [HC17] HOARAU C., CHRISTOPHE S. : Cartographic continuum rendering based on color and texture interpolation to enhance photo-realism perception. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 127* (mai 2017), 27–38.
- [LAP17] LOBO M.-J., APPERT C., PIETRIGA E. : Mapmosaic : dynamic layer compositing for interactive geovisualization. *International Journal of Geographical Information Science. Vol. 31*, Num. 9 (2017), 1818–1845.
- [LD11] LLOYD D., DYKES J. : Human-centered approaches in geovisualization design : Investigating multiple methods through a long-term case study. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. Vol. 17*, Num. 12 (Dec 2011), 2498–2507.
- [Mac15] MAC EACHREN A. M. : Visual Analytics and Uncertainty : Its Not About the Data. In *EuroVis Workshop on Visual Analytics (EuroVA)* (2015), Bertini E., Roberts J. C., (Eds.), The Eurographics Association.
- [MK01] MAC EACHREN A. M., KRAAK M. J. : Research challenges in geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science (CaGIS). Vol. 28* (2001), 3–12.
- [MT13] MAC EACHREN A., TAYLOR D. : *Visualization in Modern Cartography*. ISSN. Elsevier Science, 2013.
- [MVH*17] MELLADO N., VANDERHAEGHE D., HOARAU C., CHRISTOPHE S., BRÉDIF M., BARTHE L. : Constrained Palette-Space Exploration. *ACM Transactions on Graphics. Vol. 36*, Num. 4 (juillet 2017), 60.
- [Sch16] SCHÜTZ M. : *Potree : Rendering Large Point Clouds in Web Browsers*. Master's thesis, Institute of Computer Graphics and Algorithms, Vienna University of Technology, Favoritenstrasse 9-11/186, A-1040 Vienna, Austria, septembre 2016.
- [Sim73] SIMON H. A. : The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence. Vol. 4* (1973), 181–201.
- [WD05] WILLATS J., DURAND F. : Defining pictorial style : Lessons from linguistics and computer graphics. *Axiomathes. Vol. 15*, Num. 3 (2005), 319–351.