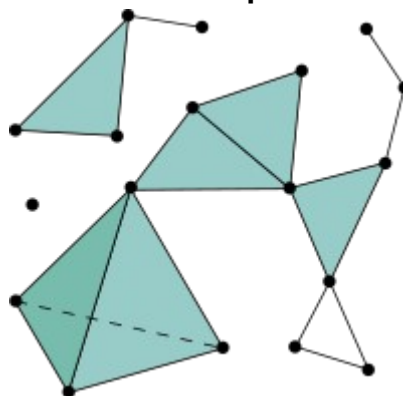


## Reconstruction de complexes simpliciaux



Complexe simplicial en dimension 3 (source : Wikipedia)

### 1. Problématique générale

La reconstruction de surface est un sujet de géométrie algorithmique très étudié. Elle vise, pour un nuage de points en 3D à déterminer la surface des objets représentés par ce nuage. C'est un problème mal posé et sa résolution dépend de nombreux a priori sur le niveau de bruit, la proportion d'outliers (points aberrants), la présence d'occlusions comme détaillé dans [Berger et.al. 2014]. De plus on peut imposer ou non différentes propriétés sur le résultat : surface fermée ou ouverte (avec ou sans trous), imposer à la surface de passer exactement par les points en entrée, préservation des discontinuités, exploitation des redondances...

L'objectif principal de cette thèse est de reconstruire non pas une surface triangulée de la scène imagée mais une représentation plus riche pouvant contenir des triangles, des arêtes et des points. Cet objet mathématique se nomme un complexe simplicial. Cette idée est motivée par le fait qu'à l'échelle où elle est numérisée, la réalité ne peut pas toujours être appréhendée comme une interface 2D entre volumes perméables ou non aux rayons lumineux. En particulier, des fils électriques, grilles, chaînes, barrières, ... peuvent apparaître localement comme linéaires et non surfaciques à la résolution de la données, et le feuillage d'un arbre apparaîtra comme ponctuel. Au delà de la construction de tels complexes simpliciaux, l'objectif de cette thèse est aussi de redéfinir pour eux des outils de traitement de surface triangulées comme la décimation, la segmentation et la texturation.

Ces outils s'intègrent naturellement dans la chaîne de traitement de données image et laser, en particulier pour la production de données structurées et sémantisées comme décrit dans [Vallet et.al. 2015] puisque ces outils ont vocation à produire une représentation continue plus fidèle de la réalité.

## 2. Contexte

La modélisation tridimensionnelle précise de la réalité est nécessaire pour de nombreuses applications (simulations, visualisation, ...) A l'IGN où l'on cherche à modéliser la France, le niveau de détail de telles modélisations est lié à la résolution des capteurs utilisés pour imager la France à partir du ciel. Sur les coeurs urbains dense, les responsables de l'aménagement recherchent maintenant une précision et un niveau de détail sub-décimétriques qui ne peuvent être obtenus qu'en imageant la ville au niveau de la rue. Ce besoin est à l'origine du développement de la cartographie mobile qui embarque les capteurs sur des véhicules pour imager la ville depuis la rue. Ces données et leur traitement posent de nombreux problèmes :

- leur complexité : elle impose de travailler en vraie 3D avec une gestion fine des occlusions, des problèmes radiométriques et de la forte hétérogénéité et anisotropie des résolutions
- leur volume : il impose de réfléchir aux infrastructures de calcul et de stockage à utiliser, au passage à l'échelle des méthodes de traitement et à leur automatisation.

Parmi ces traitements, la reconstruction de surface joue un rôle central car c'est elle qui passe d'une représentation discrète (pixels, points 3D) à une représentation continue de la géométrie de la scène, et elle est particulièrement sensible aux problèmes évoqués. Ainsi, dans le monde de la cartographie, le problème de la reconstruction de surface s'est principalement focalisé sur la construction de Modèles Numériques d'Elevation, des images en géométrie terrain dont les pixels portent une information d'élévation. Cette approche de reconstruction aussi appelée 2.5D a le mérite de proposer une résolution homogène, de bien passer à l'échelle et d'être assez simple car se basant sur des outils de traitement d'image. Pour la cartographie mobile, ce type d'approche n'est plus possible que pour certains types d'objets relativement plans comme les façades [Demantké et.al. 2013] et la chaussée [Vallet and Papeard 2015] et doit être remplacé pour plus de généralité par une reconstruction de surface triangulée en vraie 3D [Caraffa et. al. 15], plus complexe mais plus flexible. Cependant, à cause de l'application du théorème de Nyquist-Shannon à l'échantillonnage géométrique, si le niveau de détail géométrique de la scène est supérieur à la résolution d'échantillonnage, ce niveau de détail est perdu par l'échantillonnage. Une conséquence surprenante est que la dimensionnalité apparente de la surface peut alors changer : un poteau dont le diamètre est inférieur à la résolution de l'échantillonnage peut apparaître linéaire, un scan d'un feuillage apparaît ponctuel. Dans le premier cas, une reconstruction de surface classique échoue ou produit des triangles très dégénérés. Dans le second cas, le résultat est une connection très aléatoire des points. C'est pourquoi, nous proposons de prendre en compte explicitement cette dimensionnalité locale dans la structure de l'objet reconstruit qui devient alors un complexe simplicial.

## 3. Objectifs et programme détaillé

La thèse se déroulera en trois temps: (i) une analyse de l'état de l'art en reconstruction de surface 3D ; (ii) sa généralisation aux complexes simpliciaux de la méthode qui s'y prêtera le mieux puis (iii) la généralisation à ces complexes simpliciaux d'outils de traitement de surfaces triangulées 3D.

L'état de l'art devra être conduit relativement à deux objectifs majeurs :

- Adaptabilité au contexte de données de cartographie mobile terrestre volumineuses et complexes.
- Facilité de généralisation aux complexes simpliciaux

On n'imposera pas à la méthode de produire un résultat étanche car la meilleure façon de garantir l'étanchéité est de définir la surface cherchée comme un isocontour (de dimension 2) d'une fonction en dimension 3. Les approches à base de tétrahédralisation de Delaunay semblent les plus appropriées car un complexe simplicial pourra être défini comme un de leurs sous ensembles. Le travail sur la dimensionnalité du complexe pourra s'appuyer sur l'étude de la dimensionnalité des nuages de points de [Demantké et.al. 2011].

Concernant les traitements, on s'attachera en priorité à la décimation qui est structurellement liée à la reconstruction. On pourra dans ce cadre s'intéresser aux méthodes de décimation de surface et de nuages de points et se baser sur leurs synergies pour définir la méthode de décimation plus générale sur les complexes simpliciaux.

Concernant la segmentation, on pourra utiliser la même démarche, la littérature sur les méthodes de segmentation de surface et de nuages de points étant bien fournie.

#### 4. Données et zones d'étude

La méthode sera principalement développée pour traiter des scans laser de cartographie mobile, mais devrait pouvoir s'étendre à n'importe quel nuage de points. Pour les données de cartographie mobile, le laboratoire MATIS dispose de plus de 100To de données couvrant en particulier tout Paris, ce qui est plus que suffisant pour valider le passage à l'échelle de la méthode

#### 5. Encadrement scientifique

Cette thèse s'effectuera au sein du laboratoire MATIS de l'IGN. Elle sera dirigée par Bruno Vallet. Loïc Landrieu participera à l'encadrement. Bruno Vallet mène les recherches du laboratoire MATIS sur les techniques de traitement de données image et laser depuis la calibration et le recalage jusqu'à la modélisation 3D et la sémantisation, avec un intérêt particulier pour les données de cartographie mobile. Loïc Landrieu est chargé de recherche au laboratoire MATIS sur la thématique de la reconstruction de surface structurée et sémantisée. Il a effectué sa thèse sur des méthodes de segmentation et de généralisation de données.

#### 6. Mots clef

Nuage de points, reconstruction de surface, cartographie mobile, complexes simpliciaux

#### 7. Environnement technique

Pour des raisons pratiques, le travail de thèse se déroulera en C++ sous Ubuntu.

#### 8. Profil recherché

- Master II recherche en vision par ordinateurs, traitement d'image (ou du signal), géométrie algorithmique.
- Forte expérience en développement C++
- Autonomie, pragmatisme, rigueur, initiative
- Goût prononcé pour la recherche scientifique

## 8. Conditions

Contrat de thèse de 3 ans débutant entre septembre et décembre 2016.

Localisation : Laboratoire MATIS - Institut Géographique National, 73 avenue de Paris 94165 Saint Mandé, France

Le salaire se situera entre 2000 et 2300 € par mois en fonction de l'expérience du candidat.

## 9. Contacts

Les candidatures doivent consister d'une lettre de motivation décrivant comment votre formation et votre expérience de la recherche correspondent à la thèse proposée et d'un CV envoyés aux deux contacts ci dessous. Vous pouvez aussi envoyer des demandes d'information complémentaires à ces contacts :

- Bruno VALLET, Tél : 01 43 98 80 81, Mail : [bruno.vallet@ign.fr](mailto:bruno.vallet@ign.fr)
- Loïc LANDRIEU, Mail : [loic.landrieu@ign.fr](mailto:loic.landrieu@ign.fr)

## 10. Référence

[Berger et.al. 2014] Matthew Berger, Andrea Tagliasacchi, Lee Seversky, Pierre Alliez, Joshua Levine, Andrei Sharf, Claudio Silva

State of the Art in Surface Reconstruction from Point Clouds

Eurographics 2014 – State of the Art Reports, Apr 2014, Strasbourg, France. 1 (1), pp.161-185, 2014, EUROGRAPHICS star report.

[Caraffa et. al. 15] L. Caraffa, M. Brédif, B. Vallet.

3D octree based watertight mesh generation from ubiquitous data.

International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences (GeoBigData) 2015, Volume : XL-3/W5

[Demantké et.al. 2011] J. Demantké, C. Mallet, N. David, B. Vallet.

Dimensionality based scale selection in 3D lidar point cloud.

International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (IAPRS), Laserscanning 2011, Calgary, Canada, August 2011

[Demantké et.al. 2013] J. Demantké, B. Vallet, N. Paparoditis.

Facade Reconstruction with Generalized 2.5D Grids.

International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Laser Scanning, 2013.

[Vallet and Papelard 2015] B. Vallet, J.-P. Papelard.

Road Orthophoto/DTM generation from mobile laser scanning.

CMRT15, La Grande Motte, France, October 2015

[Vallet et.al. 2015] B. Vallet, M. Brédif, A. Serna, B. Marcotegui, N. Paparoditis. TerraMobilita/iQmulus Urban Point Cloud Analysis Benchmark. Computers & Graphics 49, pp.126-133, February 27, 2015.