



HAL
open science

Mise en place d'une chaîne de traitement semi-automatisée au sein d'une cellule de dessins sur nuage de points

Thibault Noellat

► To cite this version:

Thibault Noellat. Mise en place d'une chaîne de traitement semi-automatisée au sein d'une cellule de dessins sur nuage de points. Science non linéaire [physics]. 2019. dumas-02942169

HAL Id: dumas-02942169

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02942169>

Submitted on 17 Sep 2020

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.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ECOLE SUPERIEURE DES GEOMETRES ET TOPOGRAPHES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : Géomètre et Topographe

par

Thibault NOELLAT

Mise en place d'une chaîne de traitement semi-automatisée au sein d'une
cellule de dessin sur nuage de points

Soutenu le 06 septembre 2019

JURY

| | |
|------------------------|---------------------|
| Monsieur José Cali | Président du jury |
| Monsieur Gabriel DUPRE | Maître de stage |
| Monsieur Jérôme VERDUN | Enseignant référent |

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Messieurs Cédrik FERRERO, Mathis SAURA et Lionel RAFFIN de m'avoir permis de réaliser ce travail de fin d'études au sein de leur entreprise.

Je remercie particulièrement mon maître de stage Gabriel DUPRE pour son aide et pour toutes les idées qu'il aura apportées et qui auront rendu ce travail passionnant.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers mon professeur référent, Monsieur Jérôme VERDUN pour sa disponibilité et ses conseils précieux.

Enfin, mes pensées se tournent vers l'ensemble des membres de l'équipe du pôle MMS de GeoSAT pour leur accueil chaleureux et pour le temps qu'ils m'ont accordé.

Glossaire

Attribut dans un nuage de points : Chaque point est décrit grâce à des attributs, ceux-ci décrivant les coordonnées du point, son intensité et tous les autres éléments servant à définir les caractéristiques du point.

Histogramme : Représentation graphique de la fonction décrivant la répartition d'une variable aléatoire continue.

Résolution d'une image : La résolution d'une image numérique est la taille équivalente sur le terrain du côté d'un pixel.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Remerciements | 2 |
| Glossaire | 3 |
| Introduction | 6 |
| PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL | 6 |
| CONTEXTE DE L'ETUDE | 6 |
| PROBLEMATIQUE | 7 |
| I. Introduction à la cartographie mobile..... | 8 |
| I.1 ÉTAT DE L'ART | 8 |
| I.1.1 PRINCIPE GENERAL | 8 |
| I.1.2. DESCRIPTION DES COMPOSANTS DU SYSTEME | 9 |
| I.1.3. PERSPECTIVES | 11 |
| I.2. CHAINE DE TRAITEMENT MISE EN PLACE CHEZ GEOSAT | 12 |
| I.2.1. LES SYSTEMES D'ACQUISITION : LE ROAD-SCANNER 4 ET LE ROBIN..... | 12 |
| I.2.2. ORGANISATION, PRESENTATION DES MISSIONS ET TRAITEMENT DES DONNEES..... | 14 |
| I.2.3. DIFFICULTES RENCONTREES ET SOLUTIONS | 16 |
| I.3. TEST ET CHOIX DES LOGICIELS POUR LE DESSIN SUR NUAGE DE POINTS..... | 16 |
| I.3.1. BESOINS ET CONTRAINTES | 16 |
| I.3.2. DECOUVERTE DES LOGICIELS | 18 |
| I.3.3. TEST ET CHOIX DES LOGICIELS..... | 20 |
| II. Développement d'une classification et d'une segmentation des nuages de points..... | 22 |
| II.1. OBJECTIFS..... | 22 |
| II.1.1. DEFINITION | 22 |
| II.1.2. METHODE RETENUE | 23 |
| II.2. CLASSIFICATION D'UN NUAGE TYPE CORPS DE RUE..... | 24 |
| II.2.1. EXTRACTIONS DES ELEMENTS SURFACIQUES..... | 24 |
| II.2.2. EXTRACTION DES ELEMENTS VERTICAUX..... | 26 |
| II.3. CLASSIFICATION D'UN NUAGE TYPE VOIE FERROVIAIRE | 28 |
| II.3.1. EXTRACTION DU SOL, DES RAILS ET DES CABLES..... | 28 |
| II.3.2. EXTRACTION DES ELEMENTS VERTICAUX..... | 29 |
| II.4. COMPARAISON DES METHODES DE CLASSIFICATION..... | 29 |
| II.4.1. COMPARAISON DE LA METHODE SUR CORPS DE RUE AVEC UNE CLASSIFICATION MANUELLE | 29 |
| II.4.2. COMPARAISON DE LA METHODE SUR VOIE FERROVIAIRE AVEC UNE CLASSIFICATION EN DEEP-LEARNING | 31 |
| III. Développement de la solution semi-automatisée pour le dessin sur nuage de points ... | 36 |
| III.1. PRESENTATION DE LA METHODE | 36 |
| III.2. VECTORISATION DES LINEAIRES ET DES SURFACIQUES | 37 |
| III.2.1. VECTORISATION DES BORDURES DE CHAUSSEE..... | 37 |
| III.2.2. VECTORISATION SEMI-AUTOMATIQUE DE LA SIGNALISATION HORIZONTALE | 40 |
| III.3. VECTORISATION DES PONCTUELS..... | 41 |
| III.3.1. DESSIN SEMI-AUTOMATIQUE DES PONCTUELS..... | 41 |
| III.3.2. CREATION DES TABLES D'ATTRIBUTS | 42 |
| III.4. INTEGRATION DE LA PROCEDURE DANS UNE CELLULE DE DESSIN..... | 43 |
| III.4.1. REDACTION DE LA PROCEDURE POUR LE DESSIN | 43 |

| | |
|--|-----------|
| III.4.2. SUIVI DE LA PRODUCTION ET ANALYSE | 44 |
| IV. Mise en place de contrôles qualités | 46 |
| IV.1. REFLEXIONS SUR LE CONTROLE DU DESSIN | 46 |
| IV.1.1. CONTROLE VISUEL | 46 |
| IV.1.2. METHODES DE CONTROLES AUTOMATISEES POUVANT ETRE MISES EN PLACE | 47 |
| IV.2. PRESENTATION DE LA METHODE DE CONTROLE DES PLAQUES D'ASSAINISSEMENT | 48 |
| IV.2.1. UTILISATION D'ORTHO-IMAGES | 48 |
| IV.2.2. TRANSFORMATION DE NUAGES EN ORTHO-IMAGES..... | 49 |
| IV.2.3. PRE-TRAITEMENT DE L'ORTHO-IMAGE..... | 50 |
| IV.3. TEST DU CONTROLE DES PLAQUES D'ASSAINISSEMENTS | 52 |
| IV.3.1. DETECTION DU CENTRE DES PLAQUES PAR INTENSITE ET RUGOSITE | 52 |
| IV.3.2. EXEMPLE D'UTILISATION | 53 |
| Conclusion | 55 |
| Bibliographie | 57 |
| Table des annexes | 59 |
| Liste des figures..... | 63 |
| Liste des tableaux | 65 |
| Résumé - Summary | 66 |

Introduction

Présentation de l'entreprise d'accueil

Ce stage de fin d'études a été réalisé au sein du siège social de GEOSAT. GEOSAT est un groupe composé de 8 agences. Le siège social est lui situé à Pessac, commune de l'agglomération bordelaise. A sa création en 2000, l'entreprise comptait 36 collaborateurs. Aujourd'hui, elle emploie près de 260 personnes et croît à un rythme de 40% par an depuis 3 ans.

Les activités de l'entreprise sont très variées, allant de la détection de réseaux, à la modélisation 3D ou encore aux opérations foncières. Elle est ainsi divisée en plusieurs pôles d'activité. Un pôle dédié à la topographie, un pôle chargé de la détection de multi et de mono réseaux, un pôle foncier, un pôle 2D/3D, un pôle SIG et également un pôle Recherche & Développement (R&D). Le pôle ayant accueilli ce Travail de Fin d'Études est le pôle MMS (Mobile Mapping System). Ce pôle a été créé en 2013 et compte aujourd'hui une quinzaine de collaborateurs. Il réunit quatre technologies pour acquérir de l'information 3D à grande échelle : des capteurs LiDAR de haute précision et des caméras pour la collecte des données, des systèmes GNSS et une centrale inertielle pour le géoréférencement.

Contexte de l'étude

Depuis la création du pôle MMS, l'entreprise a vu ses capacités d'acquisition de données 3D exploser. En effet, ces systèmes d'acquisition permettent de scanner à une vitesse de 90 km/h près de 1 million de points par seconde. Les nuages de points obtenus sont ainsi très denses, et nous nous rendons très vite compte des gains de production que cela implique par rapport aux méthodes de lever traditionnelles. Ces applications sont aussi très variées, permettant de cartographier de longues infrastructures routières ou de réaliser des maquettes 3D de villes entières (dans l'optique d'aider à la création et au développement des Smart Cities par exemple).

Cette technologie performante est ainsi au cœur des recherches effectuées par le pôle R&D de l'entreprise afin d'aider à traiter et stocker cette quantité de données très importante. En effet, si le gain de productivité sur les phases de lever est considérable, la chaîne de

traitement est nettement complexifiée et nécessite un personnel plus important et possédant des compétences techniques différentes. C'est près de 4 500 km de routes qui sont scannées tous les ans par l'entreprise et autant de données à traiter.

Les procédures mises en place sont novatrices mais ont parfois du mal à répondre efficacement aux objectifs de production de la société. La réduction des tâches chronophages, la mise en place de processus et l'optimisation des procédures déjà existantes sont ainsi au cœur des problématiques soumises au pôle MMS.

Ce sujet de TFE s'intègre ainsi dans ce processus d'amélioration du traitement des données acquises via des systèmes de cartographie mobile.

Problématique

Les deux clients principaux du pôle sont la SNCF et Bordeaux Métropole. Les livrables sur lesquels nous nous intéressons particulièrement sont ceux de la Métropole de Bordeaux, autrement dit des plans de corps de rue. Aujourd'hui, le pôle a déjà observé la totalité de l'agglomération de Bordeaux avec son système d'acquisition et possède quelques milliers de kilomètres de nuage de points à traiter. GEOSAT venant de doubler sa capacité d'acquisition, le souhait de l'entreprise serait d'optimiser sa cellule de dessin afin de traiter ce flux de donnée conséquent.

L'objectif de cette étude est donc d'intégrer une chaîne de traitement semi-automatisée permettant le dessin (type DAO) à partir des nuages de points acquis via Mobile Mapping System dans le but d'obtenir un livrable. Il s'agit de définir les différents éléments essentiels à la mise en place de la chaîne de traitement des nuages avec la définition de contrôles de qualité des dessins.

Après une intégration au sein du pôle via divers travaux qui ont permis une découverte de ce qu'est la cartographie mobile, ce travail a débuté par un état de l'art de cette technologie et des opportunités qu'elle offre. S'en est suivi le développement de la solution semi-automatisée retenue pour le dessin sur nuage de points, et enfin, l'intégration de cette chaîne de traitement dans le processus global de cartographie mobile de GEOSAT. La mise en place des critères de contrôle et de conformité a clôturé cette étude.

I. Introduction à la cartographie mobile

Cette première partie cherche à initier le lecteur au monde de la cartographie mobile. Nous nous intéresserons à l'évolution de cette technologie et son état actuel, puis nous présenterons les avantages et inconvénients de celle-ci. Après avoir présenté les perspectives qu'offre la cartographie mobile, nous étudierons la chaîne de traitement mise en place par GEOSAT pour répondre aux demandes des clients. Enfin, nous testerons les suites logicielles les plus adaptées au dessin sur nuage de points.

I.1 État de l'art

I.1.1 Principe général

La cartographie mobile est une technologie ayant vu le jour dans les années 90, c'est une technologie qui permet d'acquérir de la donnée 3D d'un environnement via un véhicule en mouvement. Elle a permis une collecte de l'information géographique plus rapide et a pu répondre aux besoins toujours plus importants de ce type d'information. La méthode la plus couramment utilisée emploie alors des images aéroportées [Goulette, (2009)]. Pour exemple, ces nouvelles données ont notamment permis le développement des navigateurs GPS à usage privé.

Les Systèmes Mobiles de Cartographie, dit MMS (Mobile Mapping System), ont quant à eux mis plus de temps à apparaître sur le marché, soit 20 ans plus tard. Remplaçant peu à peu les systèmes aéroportés par des systèmes terrestres, ils permettent une collecte d'information sous deux formes distinctes : des photographies ou des nuages de points, les deux étant géoréférencés. Ils offrent une donnée bien plus dense et détaillée et ainsi plus précise.

Les relevés scanner mobiles auxquels nous nous intéressons utilisent une approche « on-drive », c'est-à-dire que les observations s'effectuent pendant le déplacement du système d'acquisition. Deux solutions répondent ainsi à ce besoin, l'une proposant une mobilité en montant le système d'acquisition sur un moyen de transport (véhicule, train, avion), l'autre en le déplaçant avec la seule force du corps.

Ces systèmes sont composés généralement de 4 types d'instruments :

- Laser(s) scanner(s) 3D : relevant généralement plusieurs millions de points par seconde
- Caméra(s) : permettant la prise des photographies, souvent utilisées pour coloriser les nuages de points
- Récepteur(s) GNSS : assurant la géolocalisation du système
- Centrale inertielle : estimant l'orientation, la vitesse et la position du système

Pour obtenir des précisions centimétriques, l'étalonnage des appareils est indispensable.

La précision des nuages acquis va également dépendre d'autres facteurs. En effet, comme l'ont montré [Pirotti et al. (2012)], la précision est plus sensible au géoréférencement du système qu'à la densité du nuage de points qui a moins d'impact. Après avoir étudié les classes de précision obtenues avec différents intervalles entre les points de calage [Despres (2013)] vérifie que la classe de précision du nuage dépend de ces intervalles, et qu'il est ainsi préférable de privilégier une répartition homogène et assez dense des points de calage lors d'une opération de lever avec un MMS.

1.1.2. Description des composants du système

Comme nous l'avons vu précédemment, les systèmes de cartographie mobile sont composés généralement de quatre types de capteurs. Deux d'entre eux sont destinés à déterminer le géoréférencement du système et les deux autres à effectuer les observations de l'environnement.

Système de navigation :

Le système de navigation du système ou POS (Position and Orientation System) est donc composé de deux éléments : un récepteur GNSS (positionnement différentiel) et une centrale inertielle (positionnement relatif).

Le récepteur GNSS va mesurer la position du véhicule en différentiel, les corrections vont être appliquées en temps réel au récepteur, sa position est donc calculée en direct. Il est nécessaire d'utiliser une station du RGP (Réseau GNSS Permanent) comme pivot. En effet, les levés étant étendus, il serait trop contraignant d'installer des stations de référence le

long des trajectoires.

Cependant, l'utilisation d'un récepteur GNSS pour le géoréférencement du système n'est pas suffisante. Premièrement, il ne mesure pas l'orientation du système (seulement sa position). De plus, il est soumis à des contraintes liées à l'environnement puisqu'il nécessite une constante connexion avec les satellites pour calculer sa position. En environnement urbain par exemple, il sera fréquent que des masques viennent limiter la réception des observations des satellites ou que des éléments des façades viennent provoquer des erreurs dues aux multi trajets.

L'utilisation d'une centrale inertielle va ainsi permettre de combler les lacunes du récepteur GNSS. Elle est constituée de trois accéléromètres (mesurant les composantes du vecteur force spécifique afin de calculer l'accélération du véhicule) et de trois gyromètres (mesurant les vitesses de variation des angles de roulis, de tangage et de lacet afin de connaître l'orientation du véhicule et ainsi celle de la plate-forme de la centrale). Elle va ainsi caractériser les mouvements du véhicule.

Les observations du récepteur GNSS et de la centrale inertielle sont ensuite combinées et permettent d'obtenir la position du système à intervalle de temps régulier. Ce type de positionnement est appelé positionnement hybride.

Système d'observation :

Le système d'observation est constitué de scanners lasers, c'est le capteur essentiel de tout MMS. Ces scanners vont être caractérisés par une haute fréquence de rotation de la tête du scanner (en moyenne 200 Hz) permettant au système d'observer des millions de points par seconde.

Les derniers éléments composant le système d'observation d'un système de cartographie mobile sont les caméras. Elles sont destinées à prendre des images panoramiques et en 360° des lieux qui sont levés. Les images recueillies peuvent ensuite permettre de coloriser le nuage ou de lui appliquer des textures. Elles sont également très utiles lors de l'exploitation des données afin de visualiser les lieux qui ont été observés.

1.1.3. Perspectives

En roulant à une vitesse allant jusqu'à 90 km/h et en observant plus d'un million de points par seconde, les systèmes utilisés aujourd'hui chez GEOSAT permettent d'acquérir une masse de données conséquente en des temps records. Les applications qu'offre cette technologie sont nombreuses : réalisation des Plans de Corps de Rue Simplifiés (PCRS), cartographie des réseaux, inventaire de mobilier urbain, alimentation des Systèmes d'Information Géographique, inspection de tunnel ou encore relevés routiers et ferroviaires.

Cependant, certains éléments freinent encore le développement de cette technologie. Tout d'abord, elle nécessite de travailler avec des ordinateurs puissants. Les nuages étant toujours des fichiers de taille très importante, il est difficile d'utiliser ces données avec des machines n'ayant pas de grandes capacités de calcul. Il est également indispensable de posséder différents logiciels de traitement, qui ont aussi un coût. En effet, il existe aujourd'hui peu de logiciels permettant de traiter à la fois les données du système de position et du système d'observation. L'investissement, qui est déjà non négligeable lors de l'achat d'un MMS, peut effrayer certaines sociétés. Enfin, le traitement des nuages de points est confronté à de nombreux facteurs qui entravent l'automatisation de certaines tâches : les nuages sont souvent bruités et nous obtiendrons des résultats différents suivant les environnements scannés.

GEOSAT venant de doubler ses capacités d'acquisition, le pôle MMS souhaite optimiser sa cellule de dessin afin de traiter un flux de données toujours plus important. À noter que nombre de travaux qui sont entrepris pour améliorer lesdits traitements pourront être utilisés par d'autres pôles de la société travaillant sur des nuages de points (nuages observés en statique).

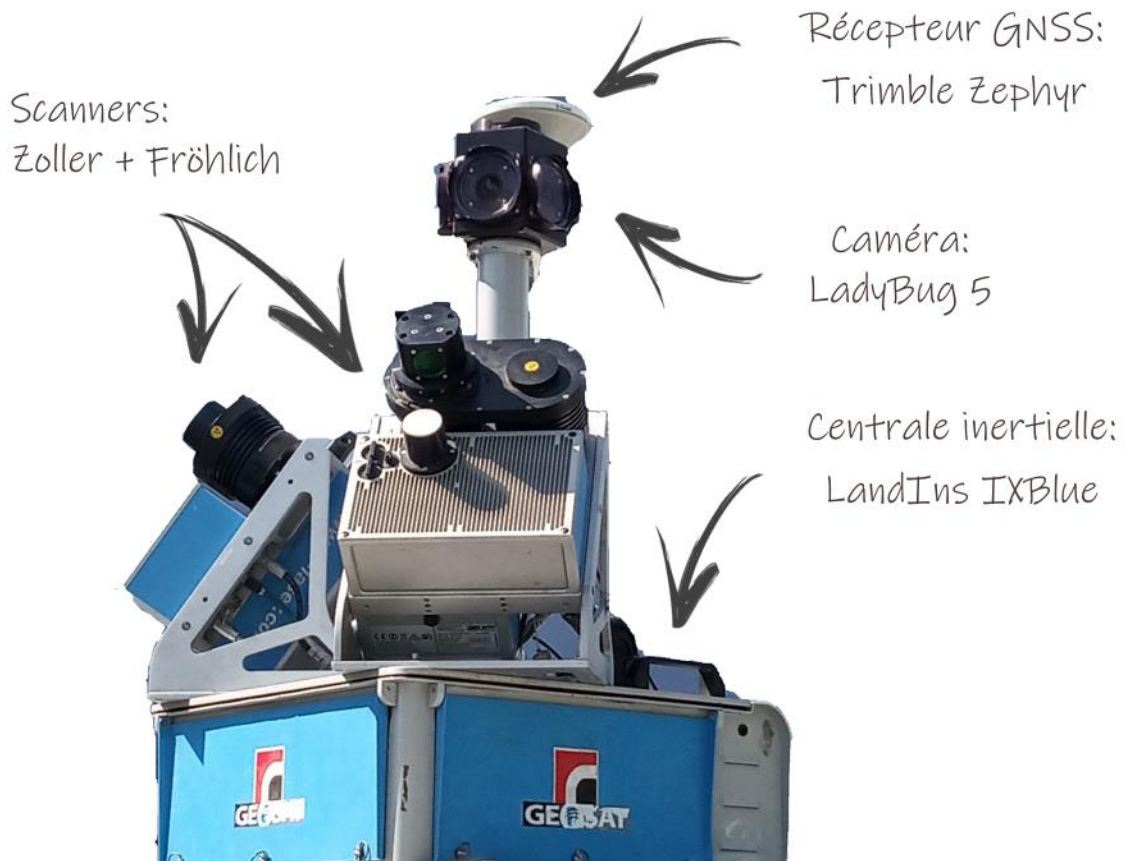
Les perspectives d'évolution du MMS sont donc très variées. En effet, même si le gain de temps sur le terrain est conséquent, les traitements sont, à l'inverse, beaucoup plus longs. Il existe aujourd'hui de nombreuses recherches qui sont entreprises pour diminuer ces temps de traitement, automatiser ou supprimer certaines tâches et exploiter au maximum les possibilités qu'offre cette technologie. Ce TFE a pour l'objet l'un de ces travaux.

I.2. Chaîne de traitement mise en place chez GEOSAT

I.2.1. Les systèmes d'acquisition : Le Road-Scanner 4 et le Robin

Méthode principale d'acquisition

Le système étant le plus utilisé par le pôle aujourd'hui est le Road-Scanner 4, développé par la société italienne SITECO Informatica. Il s'agit d'un dispositif qui se monte directement sur le toit du véhicule, composé des éléments représentés sur la figure 1.



Le système comprend donc deux scanners Zoller+Fröhlich qui sont montés avec des angles de 225° par rapport à la direction du véhicule, permettant aux scanners d'observer deux profils faisant un angle de 45° (cf. fig.2).

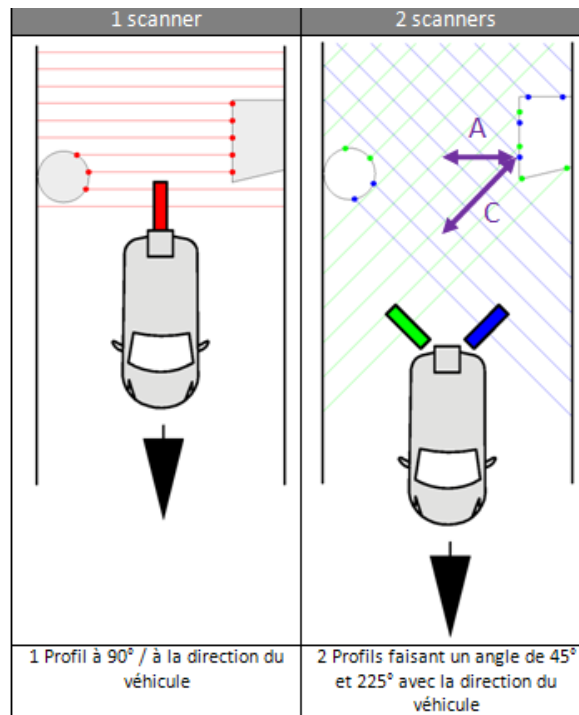


Figure 2 : Illustration de différents montages de scanners [source : Note méthodologique pôle MMS, GeoSAT]

Comme nous pouvons le voir sur la figure 2, le montage avec deux scanners permet aux lasers d'atteindre la totalité des surfaces et de réduire considérablement les zones de masques en perdant néanmoins de la portée (la distance de visée d'un même point est environ multipliée par 1.4).

Ces scanners possèdent également une grande portabilité et une rapidité d'installation en acquisition dynamique par rapport à d'autres systèmes.

Méthode complémentaire d'acquisition

Afin de combler les lacunes du road-scanner, notamment l'impossibilité de lever certaines zones difficiles d'accès (accès non autorisés aux véhicules, espaces réservés aux piétons), la solution adoptée est le Robin de la société 3D Laser Mapping. C'est un système plus compact proposant trois options d'utilisations différentes : à pied, en voiture ou en avion/drone (cf. fig.3).

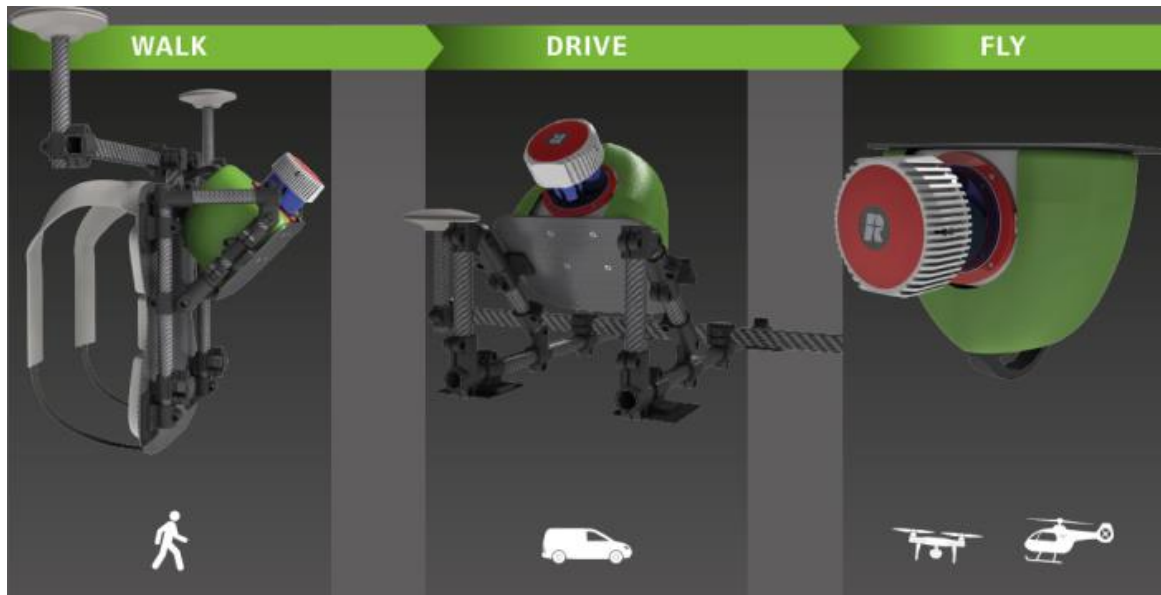


Figure 3 : Illustration des montages pris en compte par le Robin [source : 3DLaserMapping]

A l'heure actuelle, le système est principalement utilisé en sac à dos en tant que méthode complémentaire ; toutes les zones qui n'ont pu être observées par le Road-Scanner 4 sont alors capturées à l'aide du Robin.

Enfin, si certaines zones sont inaccessibles avec ce système, des levés topographiques au tachéomètre et/ou GNSS peuvent être entrepris.

1.2.2. Organisation, présentation des missions et traitement des données

Un des aspects à prendre en compte lors de la mise en place de ce genre de procédure de dessin est le type de rendu qui est attendu par le client. Il faut savoir que les principaux clients dont les demandes sont prises en charge par le pôle MMS sont des collectivités territoriales (par exemple Bordeaux Métropole) ou des grands groupes de l'industrie des transports (SNCF, ASF). Leurs demandes concernent principalement la livraison de plans de grande envergure parfois soumis à des normes et toujours avec une charte graphique précise qu'il faut parfaitement respecter.

Le processus de traitement des données actuellement mis en place est illustré sur la figure 4.

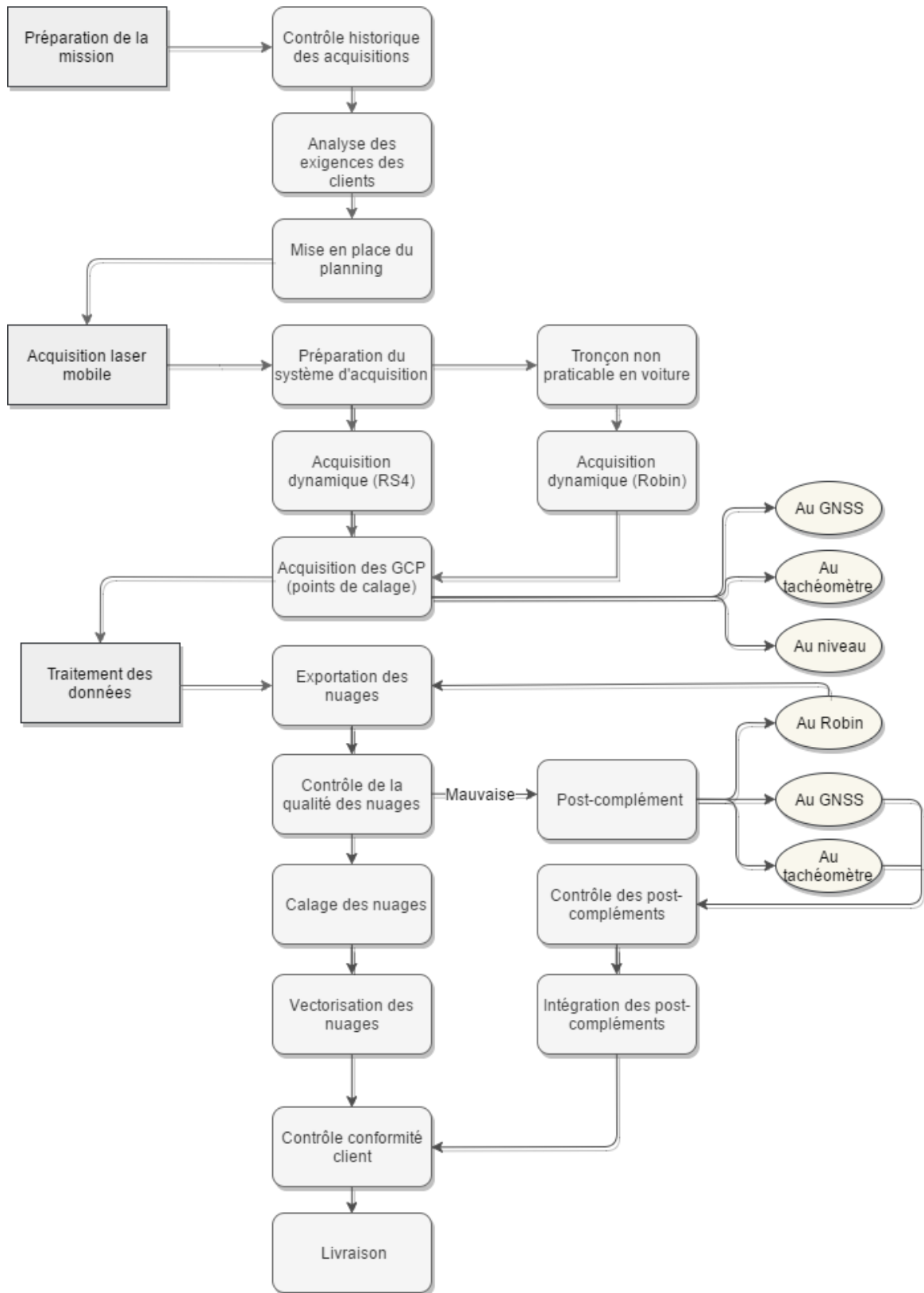


Figure 4 : Organigramme de la chaîne de traitement du pôle MMS

Les travaux entrepris par la suite cherchent donc à perfectionner les processus liés à l'exploitation des nuages, notamment leur vectorisation.

1.2.3. Difficultés rencontrées et solutions

À ce jour, les difficultés rencontrées pour vectoriser un nuage sont nombreuses. Le surplus de données rend plus complexes les traitements, obligeant les dessinateurs à être beaucoup plus attentifs et minutieux. Il s'avère que le dessin tel qu'il est mis en place actuellement est extrêmement chronophage. De facto, la surabondance de données, la complexité de celles-ci et la redondance des tâches rendent le travail pénible. Le gain de productivité et d'efficacité devant être offert par les systèmes de cartographie mobile en est donc diminué.

Par conséquent, on remarque très rapidement qu'un prétraitement des données est indispensable si l'on souhaite gagner en efficacité, automatiser certaines tâches de vectorisation, mais aussi pour faciliter le travail du dessinateur. La mise en place d'une procédure de classification et de segmentation du nuage répond à ces problématiques et sera employée en amont du dessin. Cette étape doit permettre d'extraire les éléments du sol, du sursol et d'éliminer le bruit. Ensuite, suivant les résultats obtenus, de différencier des éléments plus fins comme un luminaire de plusieurs mètres de haut d'un simple panneau de signalisation voire d'un véhicule.

Pour ce qui est de la vectorisation, il faudra mettre en place une procédure qui devra semi-automatiser voire automatiser le plus de tâches possibles, ou sinon les rendre plus efficaces et intuitives que possible.

Nous allons maintenant voir et étudier quelles sont les solutions logicielles qui permettent cette évolution.

1.3. Test et choix des logiciels pour le dessin sur nuage de points

1.3.1. Besoins et contraintes

Avant de tester les différents logiciels permettant de vectoriser les éléments caractéristiques présents dans les nuages de points, il a été nécessaire de définir précisément les critères permettant de passer efficacement d'un nuage de points à un livrable (type DAO).

Ces critères sont les suivants :

- Performances du logiciel : le logiciel doit supporter un gros flux de données, en effet, les nuages de points correspondent le plus souvent à des corps de rue entiers de plusieurs centaines de mètres, les fichiers traités font donc plusieurs giga-octets de données.

Il doit également être assez polyvalent, permettant de classifier ou segmenter le nuage afin de simplifier le dessin, mais il doit également proposer des outils de digitalisation performants. Les logiciels proposant de nombreux outils « exclusifs » et utiles seront avantagés.

- Accessibilité : l'outil sera utilisé par plusieurs collaborateurs. Il faut alors que son prix soit le moins important possible pour la société (même si l'ensemble des logiciels manipulant des nuages de points ont un prix comparable). Le logiciel doit également être le moins pénible à utiliser. En effet, plus il sera fluide, intuitif et facile à prendre en main, plus ses utilisateurs pourront s'approprier ses fonctions et être efficaces. De plus, il faudra vérifier comment le logiciel est documenté, s'il possède une communauté active ce qui permet bien souvent d'en faciliter l'utilisation.

- Compatibilité : le logiciel doit en effet pouvoir être compatible avec les logiciels déjà intégrés dans la chaîne de traitement de GEOSAT, notamment ceux utilisés pour le calage (TerraMatch et TerraScan) ou pour le dessin (Microstation, Autocad), tout en acceptant de lire les nuages sous le format « las » et en proposant l'export sous le format « dwg » (format classique de DAO). Le logiciel doit aussi pouvoir s'adapter le mieux possible aux livrables demandés par les clients (Plan de Corps de Rue Simplifié), la possibilité d'intégrer les chartes graphiques des clients dans les projets en cours sera ainsi appréciée.

- Flexibilité : la possibilité d'évolution du logiciel est également un aspect qui sera pris en compte, ainsi, l'intégration de plug-in ou d'éventuelles extensions peut-être très utiles. Il faudra également étudier si le logiciel subit régulièrement des mises à jour avec de nouvelles fonctions répondant aux besoins de ses utilisateurs.

Le logiciel doit aussi permettre d'automatiser le plus de tâches possibles, le but étant toujours de diminuer les temps de traitement et simplifier le maniement des nuages de

points.

1.3.2. Découverte des logiciels

Nous allons ici présenter les différents logiciels qui ont été testés afin de répondre au mieux aux besoins et contraintes qui ont été formulés plus haut (liste non exhaustive).

- VisionLidar : Ce logiciel VisionLidar s'est révélé être un outil très polyvalent pour tous les aspects concernant la gestion de nuages de points. Il propose effectivement des outils de classification efficaces, mais aussi de digitalisation. On peut par exemple mesurer les éléments caractéristiques des arbres (diamètre du tronc ou de la couronne) par région. Il est utilisé par de nombreux corps de métier, allant du génie civil à l'architecture, au BIM ou encore aux transports. Cependant, c'est un outil tourné davantage vers la géomatique et il est aujourd'hui incompatible avec les rendus qui types plan topographique de masse.

- RealWorks : RealWorks est le seul logiciel constructeur que j'ai voulu tester. Il a été développé par la société Trimble afin de modéliser, visualiser, parcourir et manipuler des nuages de points. Il permet la gestion de nuages de points denses et vastes avec une bonne vitesse d'exécution ou encore le recalage automatique des stations (dans le cas de scanner statique). Il dispose aussi d'outils intéressants pour la classification du nuage, mais il est trop contraignant concernant le format du nuage de points. En effet, étant le logiciel de Trimble, il privilégie les nuages observés par du matériel de la même marque, et n'est donc pas compatible avec les scanners utilisés par le pôle MMS.

- TerraSolid : TerraSolid propose une suite de logiciels destinés au traitement des données LiDAR dont notamment TerraMatch déjà utilisé chez GEOSAT pour le calage des nuages de points. Il a ainsi l'avantage d'être connu des membres du pôle et d'être exploitable via MicroStation. C'est un logiciel assez complexe, mais qui dispose de modules intéressants dont notamment TerraScan avec de nombreuses fonctions de classification/segmentation et la possibilité de développer des macros. TerraPhoto pourra également s'avérer être utile afin d'intégrer les photos prises par la caméra.

- PointCab : Ce logiciel est surtout adapté à des travaux d'architecture, permettant

d'effectuer des coupes ou des plans 2D de manière semi-automatique. La digitalisation peut s'effectuer manuellement lorsque le processus automatique n'offre pas de résultats précis. PointCab va ainsi convertir les nuages en ortho-images afin d'effectuer ses calculs. Cependant, après quelques tests, il s'avère que cet outil n'est pas adapté à des dessins de corps de rue ou d'ensemble routiers, mais principalement pour des plans d'intérieur.

- TopoDOT : Ce logiciel a été conçu et développé afin de convertir des nuages de points 3D en dessin (type DAO) livrables directement au client. Son objectif est simple : extraire des données vectorisées à partir de nuages.

Le logiciel doit également permettre d'automatiser le plus de tâches possibles en proposant des outils de dessin variés en utilisant lui aussi comme logiciel hôte MicroStation. C'est l'outil le plus complet que j'ai été amené à tester concernant le dessin, il propose de nombreuses méthodes pour digitaliser les linéaires comme les ponctuels, par exemple la vectorisation semi-automatique des bandes blanches, des fils d'eau et bordures de trottoir. Il permet également d'utiliser les photographies pour faciliter la visualisation des lieux à vectoriser. Enfin, il dispose d'outils qui vont renseigner les caractéristiques de certains éléments via la création de tables d'attributs (pour de futures utilisations dans des projets de SIG par exemple). Son seul défaut concerne les outils de classification et de segmentation qui sont, hélas, trop sommaires.

- CloudCompare : Développé dans le cadre d'une thèse (Girardeau-Montant, 2006), Cloud Compare est un logiciel libre qui, à l'origine, réalise des comparaisons entre deux nuages de point 3D ou entre un nuage de point et un réseau de triangulation. Il a aujourd'hui beaucoup évolué et il est considéré comme le logiciel open source le plus abouti concernant le traitement des nuages de point. Il dispose de nombreux plug-in et d'une communauté active. Ce logiciel dispose de capacité d'évolution très importante (c'est par ailleurs celui qui est utilisé par le pôle R&D de la société pour travailler sur des nuages de points), cependant, son utilisation est très limitée et ne répond pas aux questions de performances. Les nuages de plus d'une centaine de mètres mettent à mal les performances du logiciel. Enfin, il n'est pas adapté à la vectorisation d'éléments.

1.3.3. Test et choix des logiciels

Le tableau 1 répertorie les logiciels testés.

Tableau 1 : Comparatif des logiciels de traitement de nuage de points testés

| Solution logiciel | Performances | Accessibilité | Compatibilité | Flexibilité |
|-------------------|---|--|--|--|
| VisionLidar | **** | **** | *** | *** |
| | Complet avec une polyvalence intéressante | Plusieurs types de documentation disponibles (tutoriels, faq) Prise en main rapide | Logiciel destiné à la géomatique plus qu'à la topographie | Logiciel ayant de nouvelles fonctionnalités innovantes à chaque mise à jour |
| RealWorks | **** | ** | * | * |
| | Logiciel puissant traitant de grandes quantités de données | Coût important pour la société Documentation seulement fournie par le constructeur | Nécessite des nuages issus de la technologie Trimble afin de profiter pleinement du logiciel | Logiciel très fermé proposant peu de possibilités de développement |
| TerraSolid | ***** | **** | ***** | ***** |
| | Logiciel ayant des modules complet et polyvalent Outils de classification puissants | Logiciel étant déjà intégré à la chaîne de traitement et donc maîtrisé par de nombreux membres du pôle | Logiciel compatible avec les rendus attendu grâce à son hôte MicroStation | Possibilité de développer des macros afin d'automatiser des traitements |
| PointCab | ** | **** | ** | * |
| | Performant pour des nuages de points en intérieur, mais inadapté à des nuages de grandes ampleurs Impossibilité de classifier les nuages | Logiciel intuitif avec une interface agréable | Logiciel compatible avec les rendus même s'il est plus enclin à la mise en place de maquette BIM par exemple | Utilisation destinée à un type de travaux trop spécifique |
| TopoDOT | ***** | ***** | ***** | *** |
| | De nombreux outils de vectorisation d'éléments exclusifs au logiciel Possibilité de travailler sur le nuage en le classifiant | Possibilité de travailler sur plusieurs ordinateurs avec une seule licence. Similaire aux logiciels classiques de DAO | Compatible avec les rendus attendus avec une prise en compte des blocs et des formats via MicroStation | Limité malgré la possibilité de dessiner via plusieurs méthodes un même élément |
| CloudCompare | ** | *** | * | **** |
| | Logiciel ayant beaucoup de mal à traiter des données importantes | Logiciel gratuit Logiciel complexe à utiliser pour un non-initié | Logiciel qui ne possède aucune solution pour vectoriser des éléments et ne prend donc pas en compte les formats de fichiers attendus | Outil très intéressant pour développer des fonctions ou des logiciels en interne |

À la suite de ces différents tests, le choix s'est finalement porté sur deux solutions : la suite TerraSolid et le logiciel TopoDOT.

En effet, le premier offre des solutions intéressantes pour la classification et la segmentation du nuage et a l'avantage d'être utilisé en amont pour le calage des nuages. Il n'engage pas de frais supplémentaire pour l'entreprise. De plus, la possibilité de créer des macros pour automatiser l'étape de classification a paru être une solution intéressante.

TopoDOT constitue la meilleure solution concernant le dessin sur le nuage, avec de nombreuses fonctions et outils qui permettent de dessiner plus facilement sur le dessin. Aucun autre logiciel ne dispose aujourd'hui d'outils aussi variés que TopoDOT, proposant

même une approche SIG en permettant le renseignement de tables d'attribut. TopoDOT s'avère donc être la meilleure solution pour passer des nuages à des dessins livrables.

Comme nous le verrons par la suite, TerraScan sera utilisé dans un premier lieu pour classier le nuage afin d'en faciliter le dessin qui sera lui effectué sur TopoDOT.

II. Développement d'une classification et d'une segmentation des nuages de points

Dans cette seconde partie, nous présenterons les méthodes qui ont été mises en place pour classifier les nuages de points. Nous présenterons tout d'abord les objectifs de ces classifications, puis nous décrirons les macros développées pour classifier un nuage de type corps de rue et un nuage de type voie ferroviaire. Nous effectuerons ensuite des analyses de ces classifications en les comparant à une classification manuelle ou en deep-learning.

II.1. Objectifs

II.1.1. Définition

La classification et la segmentation d'un nuage de points sont des étapes clés au traitement et à l'exploitation de ces nuages. Ils ont tout d'abord été initié par le traitement numérique des images 2D puis développés afin de répondre aux problématiques des nuages de points 3D [Ait-Mansour, (2014)]. L'objectif d'une classification est d'attribuer à chaque point du nuage une classe correspondant à un élément caractéristique comme le sol ou les mobiliers urbains. Les algorithmes de classification servent ainsi plusieurs buts permettant notamment une visualisation des objets présents plus directe. Pour exemple, si l'on souhaite étudier la végétation d'un nuage de points, il pourra être intéressant de classifier les points du nuage appartenant à des arbres pour les extraire et ainsi alléger considérablement le traitement qui s'en suit, comme illustré sur la figure 5.

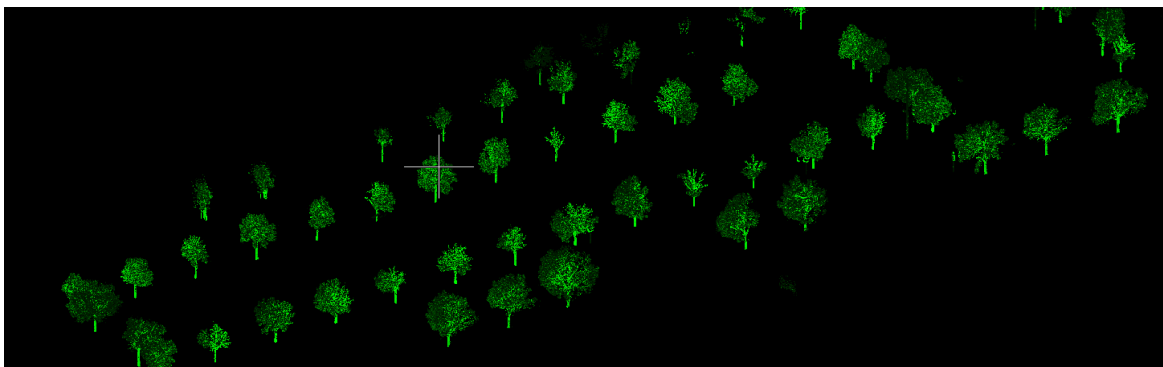


Figure 5 : Exemple d'une classification de la végétation via la macro développée dans cette partie [TerraScan]

La segmentation du nuage est utilisée pour séparer les objets du nuage en fonction de caractéristiques d'homogénéité au regard d'un certain nombre de critères [Boulaassal, (2010)]. Elle consiste donc à regrouper les éléments du nuage dans des groupes correspondant à des objets.

Comme nous le verrons par la suite, le nuage sera dans un premier temps classifié afin d'éliminer le bruit présent et d'extraire les éléments surfaciques les plus imposants (façades de bâtiments et sol) pour améliorer la segmentation des éléments restants (détails urbains). Ce regroupement des objets permettant ensuite leur classification via des algorithmes de reconnaissance de forme.

Cette classification du nuage est une étape essentielle dans la procédure de dessin mise en place. Celle-ci aidera ainsi le dessin des nuages en optimisant les fonctions de vectorisation qui seront présentées dans la partie suivante. Cette classification permettra aussi de faciliter le travail du dessinateur en lui offrant la possibilité de visualiser les nuages suivant ces classes, rendant ainsi le travail plus intuitif et les contrôles plus rapides.

II.1.2. Méthode retenue

Plusieurs approches sont alors envisagées afin de classier/segmenter un nuage. Tout d'abord, le développement d'un programme sur Python a été envisagé. Il existe en effet des bibliothèques de fonction permettant de traiter les nuages de points, une des plus populaires étant la Point Cloud Library [Ait-Mansour, (2014)]. Cependant, cette possibilité a vite été écartée compte tenu des temps de traitement et de développement plus conséquents.

La méthode qui a été retenue est la mise en place de macros sous le logiciel TerraScan. En effet, TerraScan propose de nombreuses routines de classification et il est possible d'y développer des macros. Ces macros représenteront donc un ordre d'enchaînement des routines afin d'automatiser la phase de classification et de segmentation.

Deux environnements bien distincts sont traités par le pôle MMS : des nuages de points observés dans des environnements urbains ou périurbains et des environnements le long des voies ferroviaires. Il a alors été nécessaire de développer deux routines différentes, tout

d'abord car les objets à classer sont de natures différentes, mais aussi parce que les nuages ont des géométries globales différentes (par exemple, la végétation est bien plus présente aux alentours des voies ferroviaires alors que les façades de bâtiments sont plus importantes en environnement urbain, périurbain).

Avant chaque classification, l'ensemble des points doubles du nuage est supprimé. Ce sont la plupart du temps des points représentant une même réalité et observés par les deux scanners.

II.2. Classification d'un nuage type corps de rue

Le nuage utilisé pour présenter la macro est un nuage correspondant à une rue de la ville de Bordeaux, d'une longueur de 250 m et comportant 25 millions de points. Afin de ne pas fausser les tests, ce nuage n'est pas celui qui a été utilisé pour mettre en place la macro.

II.2.1. Extractions des éléments surfaciques

Ici, le rôle de ces étapes de calculs est de différencier les éléments du sol des éléments du sursol et d'éliminer le bruit. Les éléments verticaux seront traités par la suite.

La première étape de calcul consiste à trouver le plus grand plan médian présent dans le nuage. La routine va ainsi classer les points qui sont compris dans la surface médiane dominante du nuage puis ajouter d'autres points à cette surface par triangulation. Cette routine est donc itérative et quelques paramètres sont pris en compte pour obtenir une bonne estimation du sol, quel que soit l'environnement. Le plan médian devra avoir une surface minimum 20 m² et posséder une pente de maximum 20°. L'angle d'itération maximal, c'est-à-dire l'angle entre le point, sa projection sur le plan et le sommet du triangle le plus proche est fixé à 5° et sa distance par rapport au triangle de 10 cm afin de privilégier les points bas. Ce plan sera considéré par la suite comme une estimation du sol.

Puis un calcul des normales en tout point du nuage est réalisé. Cette routine va permettre de stocker deux attributs supplémentaires pour chaque point du nuage : une dimension et

un vecteur normal. Le premier attribut va analyser la position du point avec ses plus proches voisins (parmi les points observés cinq secondes avant et après le temps d'observation du point) et classer le point selon trois types de dimensions :

- linéaire lorsque les points forment une entité linéaire
- planaire lorsque les points forment une surface plane
- complexe pour les groupes de points aléatoires

Un vecteur normal sera ensuite calculé pour les points de dimension plane. Les trois composantes du vecteur normal (coordonnées XYZ comprises entre -1 et 1 et ayant pour origine les coordonnées du point) sont alors stockées.

Ces vecteurs normaux vont être utilisés pour extraire les façades des bâtiments. Pour cela, nous allons affecter à la classe des façades tous les points de dimension planaire, comportant des vecteurs normaux ayant une direction horizontale (faisant un angle d'environ 10° par rapport au sol, autrement dit ayant une composante Z comprise entre -0,18 et 0,18). Les surfaces retenues posséderont des aires minimums de 50 m² pour les environnements urbains (les bâtiments étant principalement des immeubles) et des aires minimums de 5 m² pour les environnements périurbains (les façades étant principalement celles de maisons).

Afin d'affiner cette détection, l'étape suivante de la macro consiste à intégrer aux points des façades leurs plus proches voisins. Les points compris dans un rayon de 15 cm par rapport à chaque point seront classifiés comme des façades de bâtiments. Les points ayant des élévations inférieures aux points les plus bas des façades ne seront pas pris en compte dans le calcul, évitant ainsi d'intégrer à cette classe des points du sol.

Tous les autres points ayant une dimension planaire et une direction de normale verticale sont ensuite disposés dans une seconde classe qui s'apparente aux éléments surfaciques horizontaux. On remarque effectivement que des éléments tels que les toits des voitures appartiennent à cette classe, mais aussi tout ce qui s'apparente au sol. Afin d'obtenir une classification efficace du sol, nous allons utiliser l'estimation du sol calculée précédemment et cette seconde classe.

La routine utilisée maintenant va créer un MNT (Modèle Numérique de Terrain) à partir des points contenus dans la classe d'estimation du sol. Les triangles de ce MNT sont alors considérés comme les points bas du sol et des itérations successives vont ajouter les autres

points appartenant au sol à ce modèle. Les paramètres d'itération de cette routine permettent de déterminer quels seront les points qui seront ajoutés au modèle suivant son angle d'itération et sa distance par rapport au modèle.

À la suite de cet enchaînement de routines, nous obtenons une classe correspondant au sol et une classe correspondant aux bâtiments. Un exemple des résultats obtenus sur un nuage de 200 m en environnement urbain est présenté sur la figure 6.

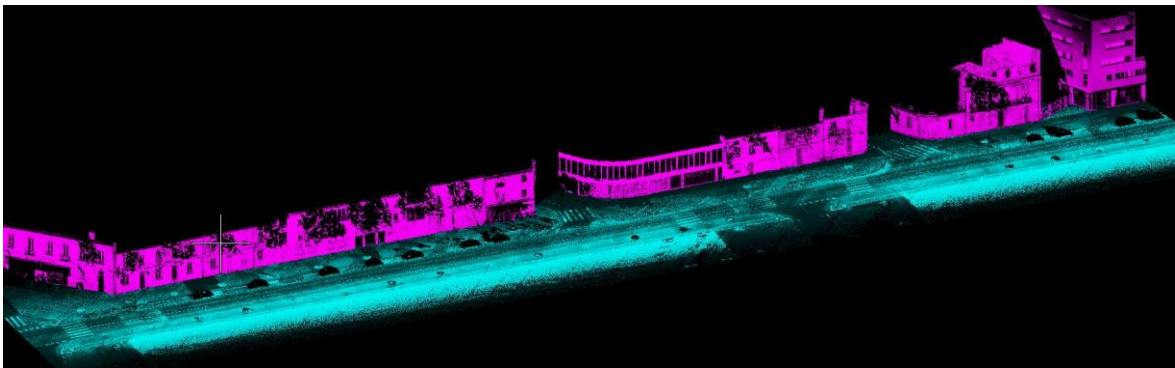


Figure 6 : Nuage de points tests avec affichage des classes correspondantes au sol et aux façades [TerraScan]

II.2.2. Extraction des éléments verticaux

Comme on peut le voir sur la figure 7, les points n'étant pas encore classifiés sont ceux correspondant aux éléments verticaux (signalisation verticale, caténaire, mobilier urbain divers), les bordures de trottoir et certains points s'apparentant à du bruit (comme des points isolés des façades). Nous allons donc chercher à classifier ces éléments afin d'affiner le processus de classification.

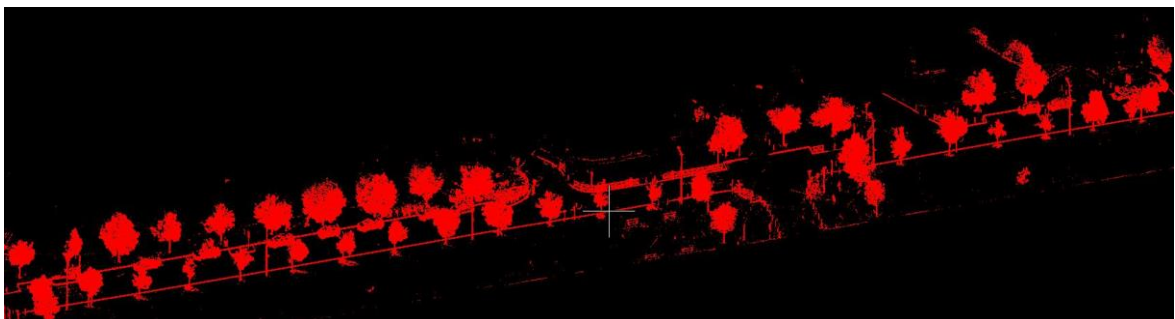


Figure 7 : Nuage avec les points n'étant pas encore classifiés [TerraScan]

Tout d'abord en calculant la distance séparant ces points au MNT des points du sol. Cette distance sera stockée comme un nouvel attribut. Cet attribut va nous permettre d'extraire

les bordures de trottoirs en classant tous les points présents dans une distance de 20 cm au-dessus du sol parmi les points non classifiés. Visuellement, on remarque sur la figure 8 que de nombreux points sont faussement classifiés comme des trottoirs et nous verrons plus tard comment ces erreurs seront corrigées.

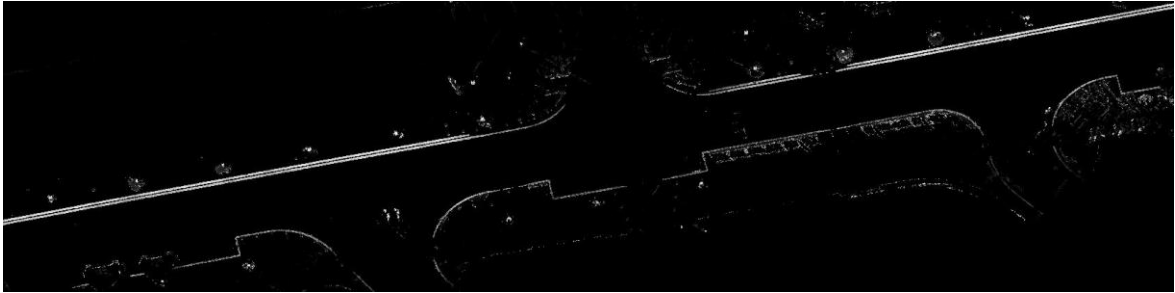


Figure 8 : Nuage de points avec détection brut des trottoirs [TerraScan]

Les points restants à classer sont les éléments verticaux du nuage. Afin d'effectuer une classification efficace de ces points, il va falloir les segmenter. En effet, lors d'une segmentation, des groupes de points vont être créés. Ce ne seront plus des points pris individuellement qui seront classifiés, mais des groupes de points, ce qui rendra les détections plus justes. La segmentation effectuée par TerraScan va prendre en compte trois critères pour assigner les points à un groupe. Le premier critère va regrouper les points qui forment des surfaces planes avec une aire minimum fixée à 5 m². Le second va utiliser un algorithme regroupant les points à partir des points ayant l'élévation la plus élevée localement. Enfin, le dernier critère va regrouper les points selon leurs distances par rapport à leurs voisins. C'est le critère le plus efficace puisque, ayant éliminé les éléments du sol et les trottoirs préalablement, les groupes de points restants sont isolés les uns des autres. Un seuil minimum de point pour former un groupe a été fixé afin d'éviter tout problème de sur-segmentation. Le nuage segmenté est proposé en figure 9.

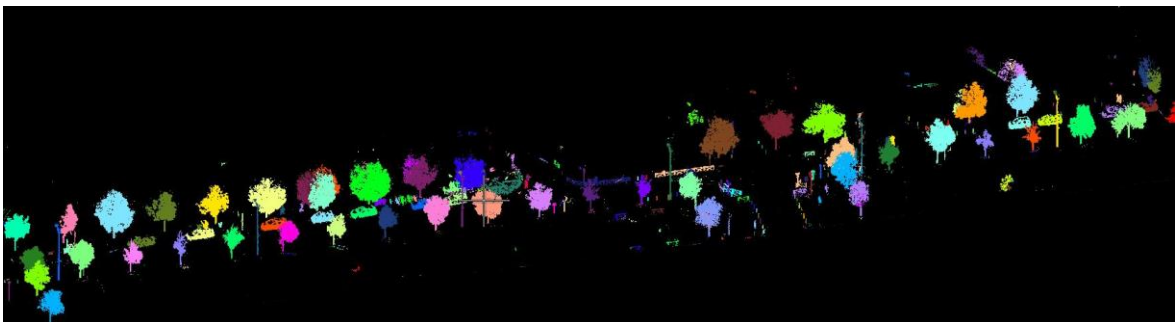


Figure 9 : Nuage de points segmenté [TerraScan]

Une fois les points groupés, plusieurs routines de reconnaissance de formes sont utilisées pour extraire : les luminaires, les véhicules, les arbres et les mobiliers urbains. Nous allons ainsi classifier ces groupes selon la probabilité de ceux-ci d'appartenir à tel ou tel autre type d'objet, selon la hauteur du groupe, sa forme, la densité des points qui le compose ou encore sa surface. À la suite de cette étape, les points appartenant à la classe des trottoirs et étant positionnés à 20 cm en dessous des objets sont déplacés dans la classe correspondante. Les classes correspondant aux luminaires, véhicules, arbres, mobiliers urbains et trottoirs sont présentés en figure 10.

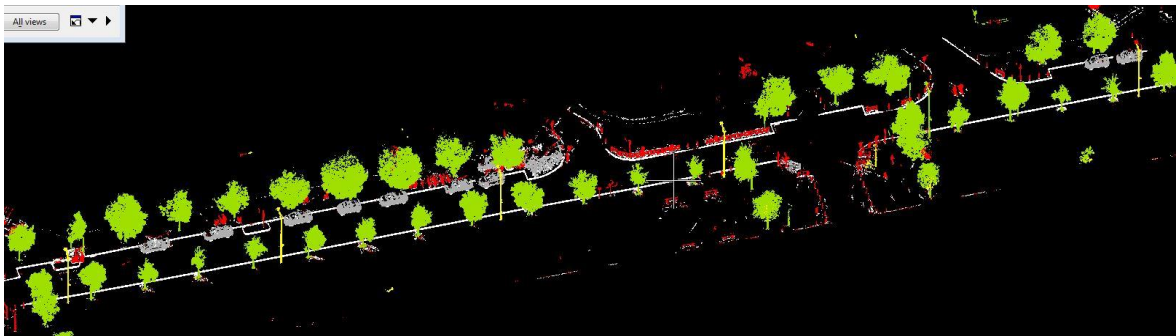


Figure 10 : Nuage test avec : classe des véhicules (points gris), classe des arbres (points verts), du mobilier urbain (points rouges), des luminaires (points jaunes) et des trottoirs (points blancs) [TerraScan]

Un organigramme décrivant cette classification est disponible en annexe 1.

II.3. Classification d'un nuage type voie ferroviaire

II.3.1. Extraction du sol, des rails et des câbles

Afin d'extraire efficacement le sol en milieu ferroviaire, l'enchaînement des routines est assez similaire que pour des environnements urbains. On commence ainsi par calculer une surface globale du nuage qui s'apparente à une première estimation du sol. Puis, on utilise la routine créant un MNT à partir de cette classe. Ce MNT est ensuite moulé par itération sur les autres points du sol. Les paramètres d'itération de cette routine sont un peu différents puisqu'ici il n'y a pas d'enrobé, le terrain est principalement composé de végétation éparse. On remarque ainsi que des éléments du sol n'ont pas été détectés. Après plusieurs itérations successives, nous obtenons une classe contenant le sol et la basse végétation.

La prochaine étape de la macro consiste à calculer les vecteurs normaux des points du

nuage. En extrayant les points ayant une dimension linéaire et se situant au-dessus du sol, on obtient une classe composée des câbles des caténaires. Il est possible d'effectuer une détection des rails. Pour cela, nous allons créer un tampon autour de la trajectoire du scanner, les points appartenant à ce tampon (de 5 m autour de la trajectoire) seront sélectionnés pour la détection des rails. Avec ces points, une détection type façade est effectuée, ayant comme paramètre une aire minimale de 10 cm. Une segmentation est ensuite effectuée puis les rails sont détectés via un algorithme de détection de forme.

II.3.2. Extraction des éléments verticaux

Les éléments verticaux du nuage sont classifiés en utilisant la direction de leur normale, horizontale par rapport au sol. En effet, aux abords des voies ferroviaires, les éléments de signalisation ou les caténaires possèdent une dimension planaire, étant des objets imposants. Suite à une segmentation, la macro va différencier les caténaires des objets de signalisation, mais aussi les façades et autres trains. Après cette détection, les éléments restants correspondent à la végétation basse.

II.4. Comparaison des méthodes de classification

II.4.1. Comparaison de la méthode sur corps de rue avec une classification manuelle

Afin d'évaluer les résultats de la classification sur ces nuages type corps de rue, une classification manuelle a été effectuée sur le nuage étudié précédemment. Cette classification manuelle, longue et fastidieuse sera considérée comme parfaite et prise comme référence. Le but de la classification automatique développée sera ainsi de s'en rapprocher le plus possible.

Visuellement, on remarque quelques différences notables entre ces deux classifications. Dans la classification automatique, on voit que certains objets trop proches des façades sont classifiés comme tels alors qu'ils appartiennent à d'autres types d'objets. Les trottoirs possèdent également un bruit assez important, certains d'entre eux n'étant pas classifiés dus à leur trop faible épaisseur ou à leur proximité avec d'autres objets. On note globalement que la classification offre des résultats très bons et répond à sa fonction.

Afin de comparer quantitativement les deux classifications, nous avons pris en compte les classes appartenant au sol, aux trottoirs, aux façades, aux véhicules, aux arbres et aux luminaires et le nombre de points étant correctement classifiés. Le tableau 2 retranscrit cette comparaison (les points correspondant au bruit n'ont pas été pris en compte).

Tableau 2 : Comparaison du nombre de points appartenant aux classes de la classification manuelle avec la classification de la macro

| Classe | Classification manuelle | Classification macro | Points communs | Pourcentage de réussite |
|--------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Sol | 15 987 258 | 15 989 668 | 15 891 165 | 99,40 |
| Trottoirs | 576 393 | 673 025 | 563 622 | 97,78 |
| Façades | 3 664 988 | 3 671 566 | 3 568 738 | 97,37 |
| Véhicules | 478 621 | 413 959 | 339 311 | 70,89 |
| Mobiliers Urbains | 256 340 | 325 018 | 176 904 | 69,01 |
| Arbres | 3 245 426 | 3 153 901 | 3 117 441 | 96,06 |
| Luminaires | 84 919 | 66 808 | 63 429 | 74,69 |
| Total | 24 293 945 | 24 293 945 | 23 720 610 | X |
| Moyenne | X | X | X | 86,46 |
| Ecart-type | X | X | X | 14,10 |

La comparaison des deux classifications démontre la qualité de la classification automatique. En effet, sur un total de 24.29 millions de points, on dénombre 23.72 millions de points étant correctement classifiés, soit plus 97% des points. Cependant, les points appartenant au sol représentent plus de la moitié des points du nuage. Le sol étant l'élément le plus simple à classer il fausse cette conclusion. Il est donc nécessaire d'étudier indépendamment le pourcentage de réussite pour chaque classe, et on remarque alors qu'en moyenne, 86% des points sont rangés dans la bonne classe grâce à la macro. La dispersion de cette réussite montre également que la classification est efficace puisque celle-ci est nettement inférieure à la moyenne.

On voit ainsi que les éléments plus complexes comme les véhicules, les luminaires et les mobiliers urbains divers sont plus difficilement détectables. En effet, ce sont des objets dont la forme peut varier fortement et dont la disposition et l'environnement proche vont

complexifier la détection, limitant les résultats de la classification automatique face à une classification manuelle.

Enfin, on remarque que même si le pourcentage de réussite de la classification des trottoirs est très satisfaisant, le nombre de points classifiés par la macro est plus important que le nombre de points classifiés manuellement. Ceci est principalement dû au bruit cité plus tôt qui correspond la plupart du temps aux éléments de la végétation basse à proximité du sol.

II.4.2. Comparaison de la méthode sur voie ferroviaire avec une classification en deep-learning

II.4.2.1. Introduction au deep-learning

Pour comprendre la puissance du deep-learning, il faut posséder quelques notions en machine-learning.

Le machine-learning consiste à utiliser un jeu de données d'exemples, un training set pour entraîner un algorithme à effectuer une tâche sur d'autres jeux de données similaires. Ces tâches peuvent être très variées, allant de la prévision à partir de données statistiques, à la reconnaissance de formes ou encore à la gestion et l'extraction de données. Ce type d'algorithme va souvent de pair avec des gros jeux de données type « big data », auxquels des nuages de points de plusieurs millions de points peuvent s'apparenter. Après avoir résolu sa tâche, l'algorithme va vérifier si le training set qu'on lui a fourni améliore ses performances, si c'est le cas, cette information est retenue dans le training set et améliorera la qualité de celui-ci.

La différence fondamentale entre un algorithme classique et un algorithme de machine-learning est que ce dernier s'adapte et s'affine au fur et à mesure. Ce n'est pas un enchaînement de commandes statiques.

Cependant, le défaut principal de ce type d'algorithme est la nécessité pour son développeur de trier les données prises en compte. Cette étape peut s'avérer être très fastidieuse lorsque l'on prend en compte des données importantes par exemple un nuage de plusieurs centaines de millions de points. C'est sur ce point essentiel que le deep-learning (sous-ensemble du machine-learning) va être privilégié et bien plus efficace.

Le deep-learning est un genre évolué de machine-learning puisqu'il va effectuer de manière autonome un tri dans les données que va lui fournir son développeur. En effet, contrairement à son homologue, il va se construire un réseau de neurones et sous neurones semblables au cerveau humain grâce à un training set composé de plusieurs millions d'éléments.

Le deep-learning est ainsi beaucoup plus puissant que le machine-learning puisqu'il peut prendre en compte un plus grand nombre de données complexes et effectuer des calculs de classification plus poussés.

La comparaison suivante étudie ainsi un algorithme de classification basé sur le deep-learning développé par le pôle Recherche & Développement de GeoSat et utilisé pour classifier des nuages de voies ferroviaires.

II.4.2.2 Comparaison qualitative et quantitative

Avant de comparer les résultats des deux classifications, il faut savoir qu'un nuage de points sur voie ferroviaire peut s'avérer plus complexe à classifier qu'un corps de rue urbain. En effet, les éléments que l'on cherche à extraire sont plus complexes à détecter. Il ne va pas s'agir de différencier un arbre d'un panneau de signalisation, mais des rails du sol ou des câbles de caténaires de quelques centimètres de diamètre.

La comparaison a d'abord été qualitative. Visuellement, on remarque donc que les deux classifications comportent beaucoup de bruit. Comme expliqué précédemment, cela est surtout dû à l'environnement scanné qui est plus complexe. Les voies ferroviaires sont en effet bordées de végétations éparses et les objets caractéristiques sont parfois entourés de végétation ou autres éléments inclassifiables. Les objets faussement classifiés sont ainsi multipliés par rapport à une classification sur corps de rue et les classes résultantes sont facilement bruitées comme illustré sur la figure 11 avec la détection des câbles :

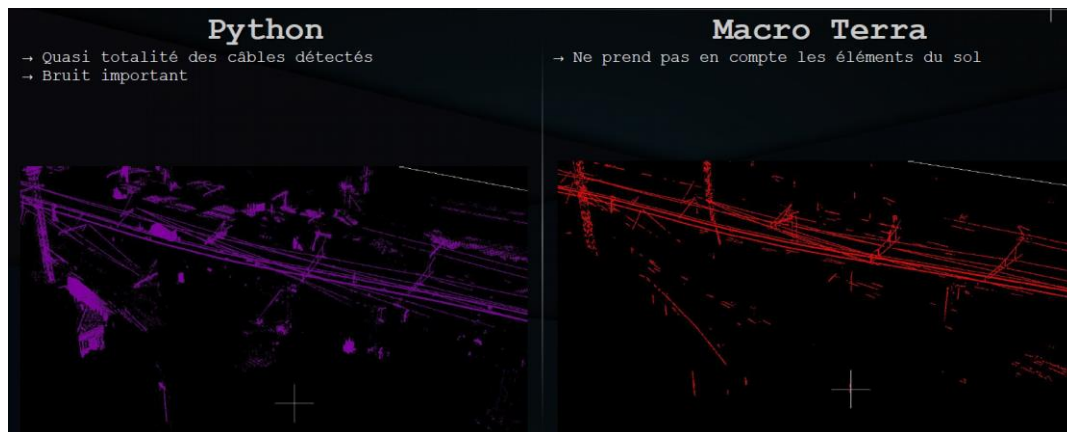


Figure 11 : Comparaison visuelle de la détection des câbles de caténares [TerraScan]

Afin d'évaluer plus finement ces deux méthodes, une comparaison quantitative a été effectuée avec une classification manuelle (cf. tab.3).

Tableau 3 : Comparaison quantitative des deux classifications avec une classification manuelle

| Classe | Classification manuelle | Deep-learning | Points communs | Pourcentage de réussite | Classification Macro | Points communs | Pourcentage de réussite |
|-------------------|-------------------------|---------------|----------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|
| Sol | 13 630 088 | 13 448 251 | 13 278 703 | 98,74 | 13 437 736 | 13 296 190 | 98,95 |
| Câbles | 170 705 | 844 911 | 167 652 | 19,84 | 342 017 | 149 190 | 43,62 |
| Mobiliers urbains | 202 932 | 19 422 | 10 643 | 54,80 | 186 616 | 135 845 | 72,79 |
| Caténares | 514 373 | 446 522 | 408 164 | 91,41 | 557 890 | 485 905 | 87,10 |
| Rails | 618 285 | 377 277 | 125 572 | 33,28 | 612 124 | 400 645 | 65,45 |
| Total | 15 136 383 | 15 136 383 | 13 990 734 | X | 15 136 383 | 14 467 775 | X |
| Moyenne | X | X | X | 59,61 | X | X | 73,58 |
| Ecart-type | X | X | X | 34,78 | X | X | 21,16 |

Nous pouvons ainsi remarquer que les deux algorithmes offrent des résultats intéressants. Pour la classification en deep-learning, le pourcentage moyen de réussite est de 56.61%, soit plus de la moitié des points. De plus, l'écart-type est assez important, on voit effectivement que certaines classes ont un très bon taux de réussite comme le sol ou les caténares alors que d'autres ont un taux bien en deçà des 50%. On remarque en effet que la classification des câbles est trop approximative et prend en compte trop de points (cinq fois plus que la classification manuelle). À l'inverse, les caténares sont très bien détectés avec un pourcentage de réussite de 91%.

En ce qui concerne la classification de la macro TerraScan, le pourcentage moyen de réussite est plus important avec des taux de réussite pour chaque classe plus homogènes (l'écart-type étant ici de 21%). Les défauts de classifications sont similaires qu'avec du deep-learning, avec une difficulté à classifier les câbles ou les mobiliers urbains, trop complexes. La figure 12 montre que les résultats des deux classifications sont similaires

même si la méthode par macro est globalement plus précise.

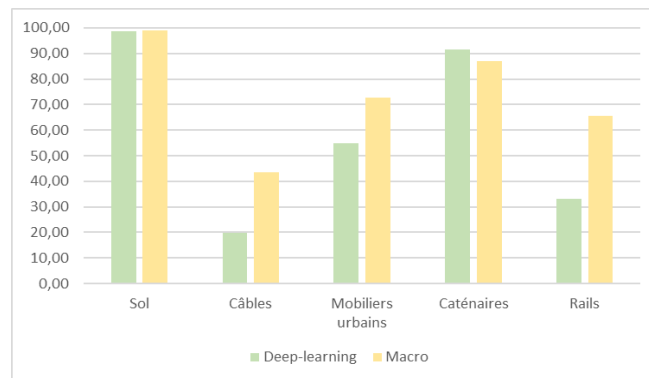


Figure 12 : Pourcentage de réussite des classes des deux classifications comparées à une classification manuelle

On remarque donc que ces deux méthodes offrent des résultats permettant d'être exploités et d'automatiser par exemple, des tâches de vectorisation. L'algorithme de deep-learning est pour le moment moins efficace que la macro compte tenu de l'environnement bien trop bruyé et aléatoire. Cependant, c'est un algorithme qui ne cesse de s'améliorer au fur et à mesure qu'il est utilisé. Avec un training set suffisamment complet, celui-ci offrira des résultats encore meilleurs.

Ces deux méthodes de classification ne sont pas forcément à confronter, et on peut imaginer une combinaison de celles-ci. C'est ce qui a été envisagé pour la classification des rails. En effet, nous avons remarqué que, visuellement, les rails détectés par un algorithme ne l'étaient pas par l'autre et inversement (cf. fig.13).

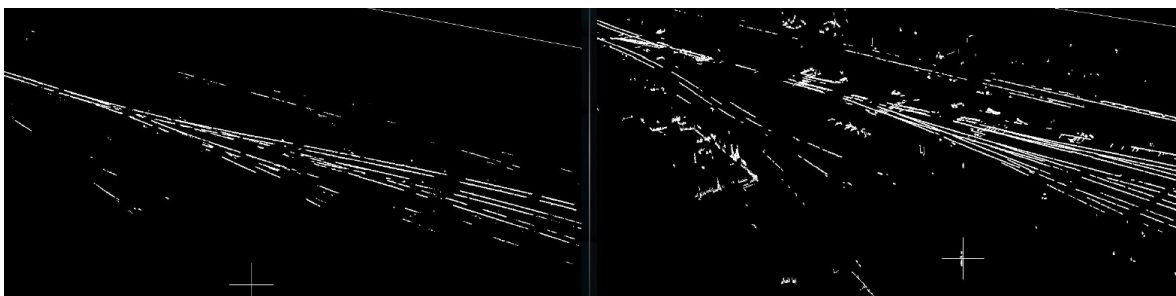


Figure 13 : Classification des rails en deep-learning à gauche et avec la macro développée à droite [TerraScan]

Une fusion de ces classes a alors été proposée avec des résultats très intéressants comme illustré sur la figure 14.

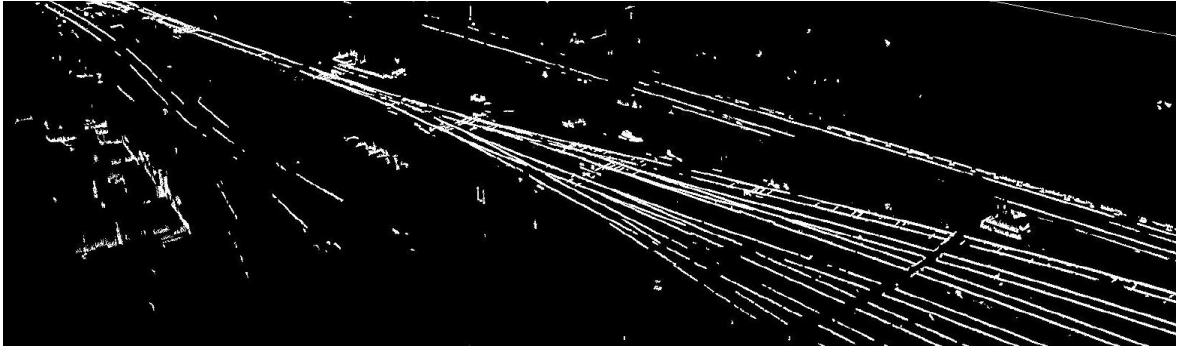


Figure 14 : Fusion des deux classifications [TerraScan]

L'algorithme de deep-learning pourra être également plus efficace si une macro effectuée au préalable les calculs les plus simples et pré-classifier le nuage de points.

III. Développement de la solution semi-automatisée pour le dessin sur nuage de points

Dans ce troisième chapitre, nous présenterons la méthode qui a été retenue pour passer d'un nuage de points calés à un plan livrable au client. Nous commencerons par décrire et justifier la méthode, puis nous découvrirons les méthodes les plus efficaces pour vectoriser les éléments sensibles étant commandés par les clients (linéaires puis ponctuels). Enfin, il s'agira de décrire comment cette procédure sera mise en place dans le pôle MMS de la société et ses probables évolutions.

III.1. Présentation de la méthode

Afin de vectoriser les éléments caractéristiques d'un nuage de points, la méthode retenue est donc l'utilisation du logiciel TopoDOT sur le nuage de points classifié. La classification du nuage sera essentielle dans plusieurs phases du dessin :

- Premièrement, elle facilite la visualisation des éléments verticaux lorsque le dessinateur masque les classes s'apparentant au sol et au bruit. La possibilité de masquer les véhicules, qu'on ne souhaite pas vectoriser, allège également le nuage et son affichage.
- La classification permet également d'alléger le nuage, en supprimant tous les points doubles.
- Comme nous le verrons, elle permet aussi une meilleure utilisation des fonctions de TopoDOT et facilite la semi-automatisation de certaines tâches.
- Enfin, elle permet de faciliter le contrôle visuel du dessin notamment des mobiliers urbains comme les linéaires

Il faut savoir que le logiciel hôte de TopoDOT, MicroStation, possède des outils de dessin qui sont par définition similaires à ceux de l'outil de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) le plus populaire : Autocad. Ainsi, les blocs générés par Autocad seront ici appelés des cellules et les calques seront remplacés par des niveaux.

Pendant la recherche des meilleurs moyens pour dessiner sur un nuage de points, nous nous sommes vite rendus compte qu'il serait impossible d'automatiser cette tâche. Les nuages sont bien trop complexes et uniques pour espérer automatiser ce processus. Cependant, il est aujourd'hui possible de le simplifier en semi automatisant certaines tâches ou en utilisant des outils adaptés à la vectorisation d'éléments sur nuages de points 3D.

Les éléments à vectoriser sont donc divisés en deux catégories dont la méthodologie de dessin est significativement différente : les ponctuels d'un côté et les linéaires et surfaciques de l'autre. Deux approches différentes seront ainsi décrites ci-après via les outils les plus utilisés (d'autres ont été mis en place dans la procédure de dessin, mais ne seront pas définis ici pour ne pas surcharger le mémoire).

III.2. Vectorisation des linéaires et des surfaciques

III.2.1. Vectorisation des bordures de chaussée

Il existe deux méthodes complémentaires afin de dessiner les éléments types bordures de trottoirs. La première est plutôt destinée à être employée pour de longs corps de rue unidirectionnelle alors que la seconde pourra être utilisée pour compléter la première et dessiner des bordures plus variées comme les angles de carrefours ou les terre-pleins.

iii.2.1.1. Méthode 1 : Extraction des lignes de ruptures

Cette méthode utilise un outil qui va effectuer une coupe verticale du nuage le long d'une direction et selon un intervalle donné. L'outil proposera alors des coupes successives à l'utilisateur où celui-ci pourra placer des points (dans différents niveaux/calques), ces points seront ensuite liés pour créer les lignes plaquées sur le nuage.

Une fois la ligne sélectionnée et l'outil lancé, le dessinateur pourra commencer l'extraction. Il s'agira alors de définir les points qui vont être placés sur la coupe afin de dessiner les bordures. Une fois les points de définition du modèle placés, il suffira

d'accepter leur position puis de les sélectionner pour les déplacer sur la coupe suivante afin de les positionner sur les bordures et ainsi de suite. L'intervalle entre chaque coupe est défini selon les besoins du client, souvent entre 10 et 20 m.

Un exemple de coupe avec les vectorisations du haut de la bordure du trottoir (point vert) et du fil d'eau (point rouge) est proposée sur la figure 15.

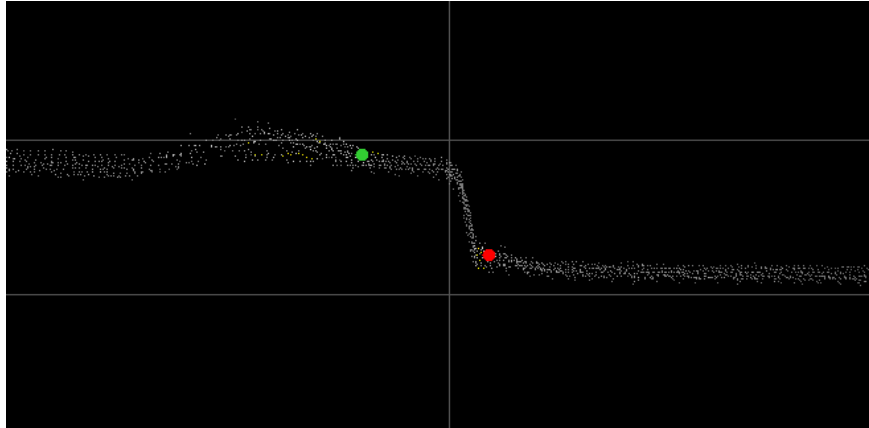


Figure 15 : Vue en coupe d'un nuage avec vectorisation des points caractéristiques [TopoDOT]

Après avoir positionné les points le long du trottoir, il suffira de quitter la commande et de vérifier les lignes qui ont été dessinées (les bordures que nous avons vectorisées ci-dessus en vue isométrique avec l'ensemble des classes activées) (cf. fig.16).

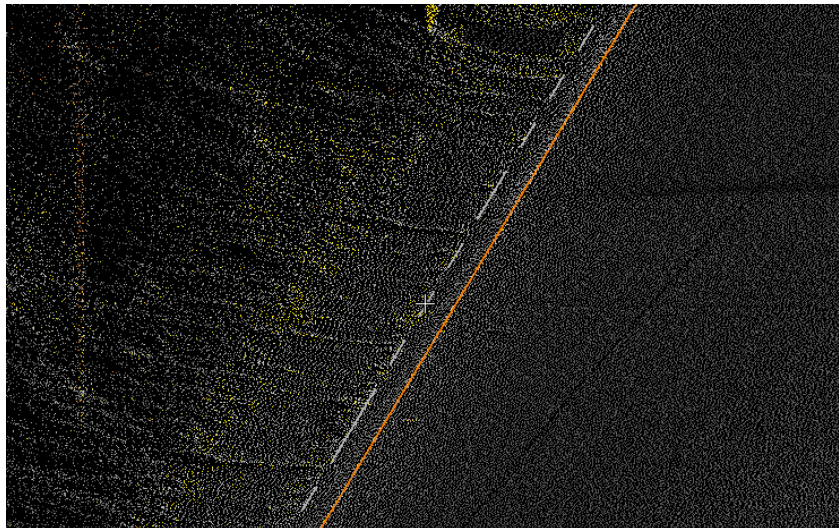


Figure 16 : Trottoir vectorisé avec les bordures de celui-ci et le fil d'eau [TopoDOT]

iii.2.1.2. Méthode 2 : Application de template suivant des chemins

La méthode vue précédemment possède certaines faiblesses et peut s'avérer redondante notamment lorsque de nombreuses bordures sont présentes dans une zone. En effet, elle ne permet pas de vectoriser plusieurs bordures à la fois.

L'outil que nous allons voir désormais s'avère être plus efficace pour dessiner des bordures moins longues et plus complexes ou simplement pour compléter l'outil précédent. Il va s'agir de mettre en place un template sous forme de cellule de l'appliquer avec d'autres fonctions. Les templates ou modèles sont très utiles pour dessiner sur des nuages de points, il faut les comprendre comme un ensemble de points qui caractérisent des lignes. Par exemple, le template d'un trottoir peut comprendre un point correspondant au fil d'eau et un autre en haut de bordure. Celui-ci représentera un type de trottoir qui pourra être présent de multiples fois sur le nuage et il suffira de l'appliquer dans une zone pour dessiner ledit trottoir. La figure 17 montre un template défini qui nécessite une direction pour être plaqué sur un nuage.

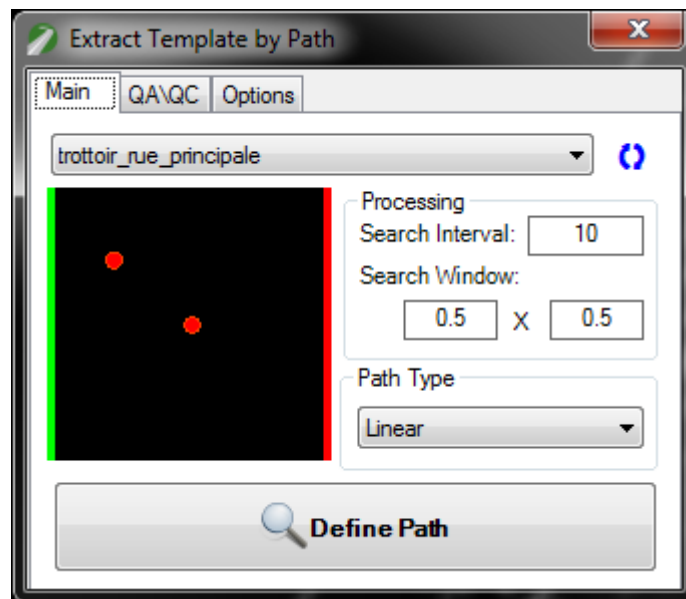


Figure 17 : Exemple d'un template d'un trottoir, avec les points correspondant en haut de bordure et au fil d'eau [TopoDOT]

Il est ensuite possible d'appliquer ces templates au nuage en indiquant à TopoDOT la direction du trottoir, le template sera alors plaqué sur le nuage de point le long de cette direction.

III.2.2. Vectorisation semi-automatique de la signalisation horizontale

Afin de vectoriser de manière semi-automatique les éléments de signalisation horizontale, il va être nécessaire de désactiver les classes ne s'apparentant pas au sol. L'élément qui va permettre d'automatiser cette étape du dessin est l'un des attributs des points du nuage : l'intensité. En effet, on remarque très rapidement que les valeurs d'intensité des points qui s'apparentent à de la signalisation horizontale ont des intensités plus importantes que la partie bétonnée brute de la route. Nous allons utiliser cette caractéristique pour extraire les lignes blanches. La méthode consiste tout d'abord à afficher l'histogramme des points d'une portion de route, comme on peut le voir sur la figure 18.

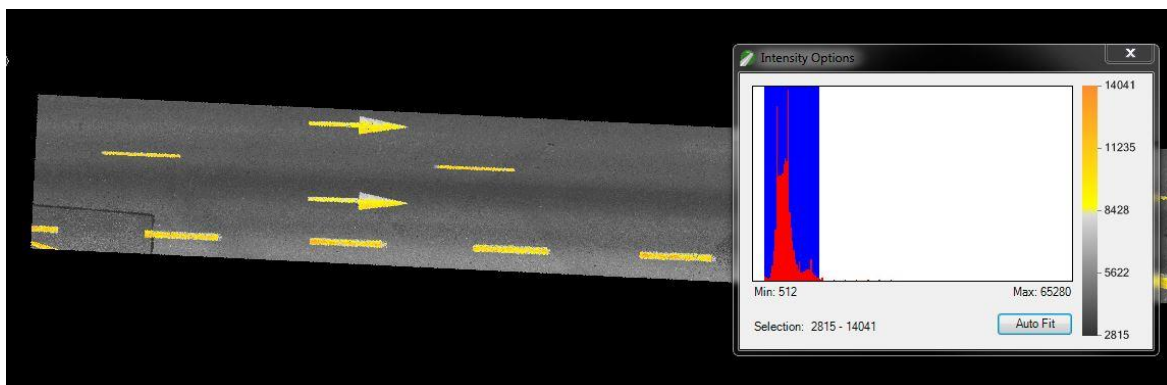


Figure 18 : Histogramme d'une portion de route [TopoDOT]

On voit ici que les valeurs d'intensité sont principalement comprises entre 2815 et 1404, nous allons donc choisir d'utiliser seulement les valeurs les plus importantes pour dessiner les lignes blanches (cf. fig.19).

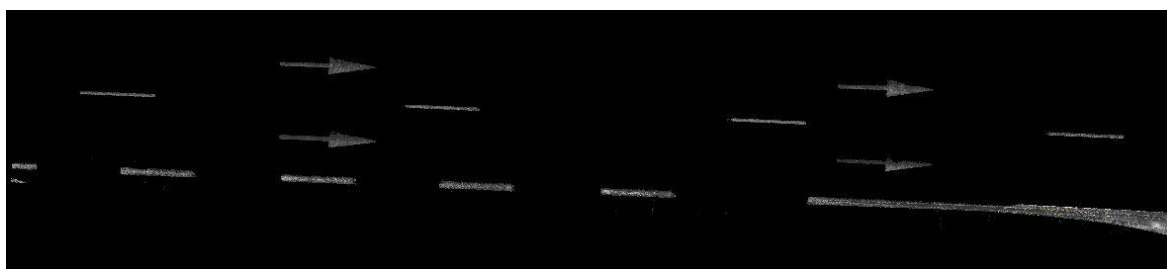


Figure 19 : Portion de route vue précédemment avec visualisation des intensités les plus hautes [TopoDOT]

Un outil de vectorisation semi-automatique de TopoDOT est ensuite utilisé. Il tracera une ligne le long d'une direction donnée et suivant un intervalle autour de cette direction. Cette ligne suivra les points affichés dans la plage d'intervalle défini précédemment. Un outil

similaire est utilisé pour dessiner automatiquement les passages piétons et autres éléments de signalisation horizontale surfaciques.

III.3. Vectorisation des ponctuels

III.3.1. Dessin semi-automatique des ponctuels

Le but initial de la classification était d'utiliser la segmentation pour affecter aux différents groupes de points un symbole choisi par l'utilisateur, celui-ci ayant juste à indiquer quel symbole insérer. Même s'il ne prend pas en compte les groupes de points, TopoDOT permet cette semi-automatisation du dessin des objets ponctuels en offrant un outil permettant de détecter automatiquement les éléments verticaux d'un nuage et d'insérer une cellule pour chaque élément détecté. Cette fonction s'avère inefficace sur un nuage non classifié puisque les façades de bâtiments ou les végétaux vont brouiller cette détection. Il faudra donc n'utiliser que les classes contenant les mobiliers urbains, les luminaires ainsi que le sol et ne pas afficher les arbres et façades (cette fonction ne prend en compte que les points affichés). La classe du sol va permettre à l'algorithme d'avoir un repère de l'élévation moyenne des points du nuage afin de détecter les objets verticaux puis il affichera ces objets verticaux et l'utilisateur pourra renseigner le point d'insertion de la cellule ainsi que la largeur de l'objet (cf. fig.20).

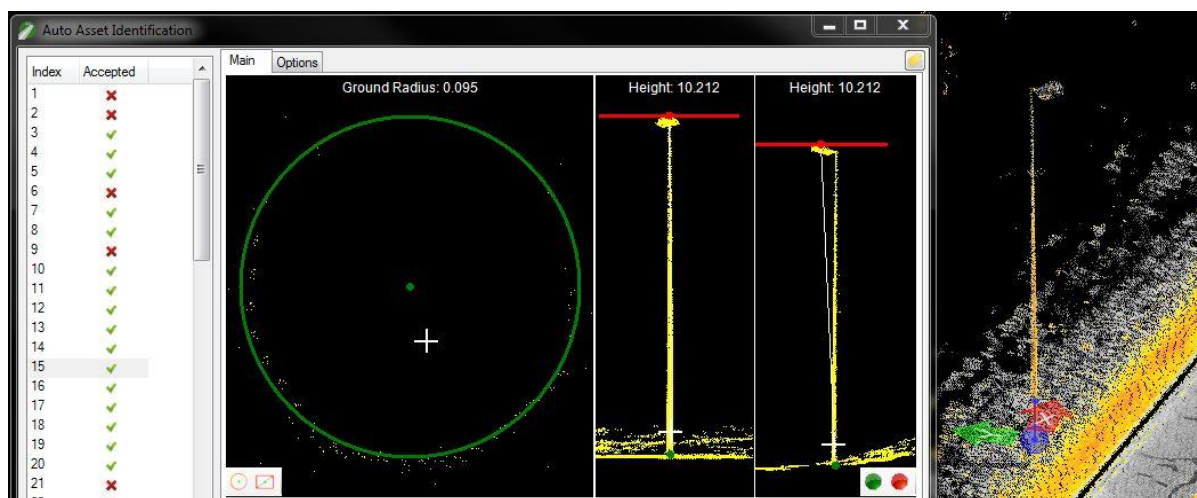


Figure 20 : Fonction testée sur un nuage de 70 millions de points et possédant 103 objets urbains. Sur ces 103 objets, 72 ont été détectés puis dessinés.

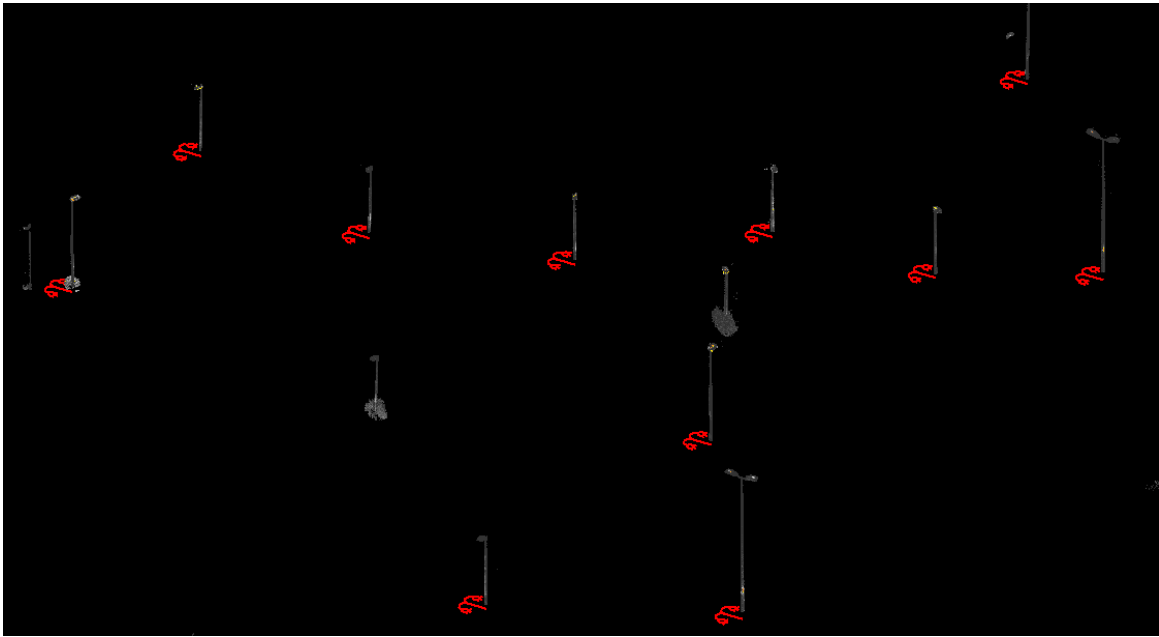


Figure 21 : Vectorisation des luminaires avec seulement la classe correspondante active [TopoDOT]

Plus la fonction est utilisée, plus elle va être efficace puisqu'un algorithme de machine-learning est implémenté dans celle-ci. Celui-ci choisira automatiquement quelle cellule utiliser suivant la forme de l'objet détecté en prenant en compte les choix précédents de l'utilisateur. La fonction détecte ainsi efficacement trois types d'objets verticaux : les arbres, les luminaires et les panneaux de signalisation (cf. fig.21).

III.3.2. Création des tables d'attributs

Une autre fonction qui a été mise en place est la création de tables d'attributs pour les objets ponctuels. Ces tables seront exportées afin d'être utilisées dans des bases de données ou des projets SIG (Système d'Information Géographique). En créant une table d'attribut pour un type d'objet, il sera possible de remplir cette table avec quatre types d'attribut :

- String : l'attribut est une chaîne de caractère
- Double : L'attribut est un nombre décimal
- Integer : L'attribut est un nombre entier
- Counter : L'attribut est un compteur dont l'utilisateur indique le démarrage

Les attributs sont ensuite complétés automatiquement suivant une suite de caractères utilisée pour définir l'attribut. Par exemple, l'utilisateur pourra définir l'attribut avec

« %e », celui-ci sera alors complété par la valeur d'élévation de l'élément. TopoDOT propose aujourd'hui plus de 50 formules pour définir les valeurs des attributs des objets vectorisés. La figure 22 montre un exemple de table d'attributs mise en place pour les arbres :

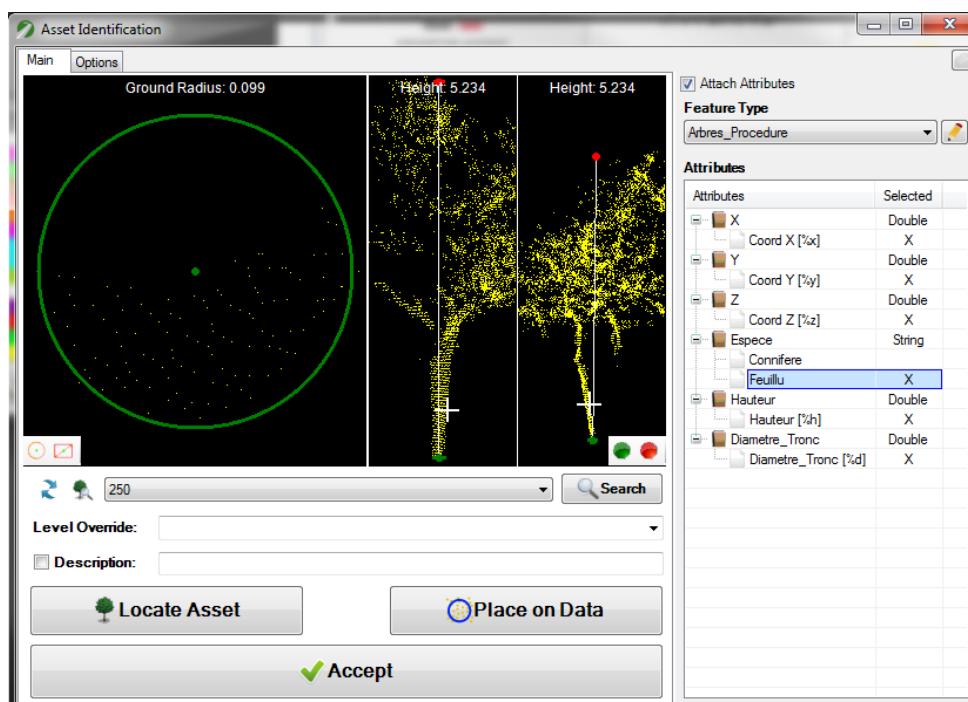


Figure 22 : À droite de la fenêtre, une table d'attributs mise en place pour les arbres [TopoDOT]

III.4. Intégration de la procédure dans une cellule de dessin

III.4.1. Rédaction de la procédure pour le dessin

Afin de mettre en place une procédure nouvelle de dessin au sein de GeoSat, un document de procédure est rédigé. Une fois qu'il a été validé par les responsables du pôle concerné, celui-ci est transmis aux collaborateurs de la société. Ces documents sont strictement confidentiels et ne peuvent pas être reproduits ou diffusés à des tiers.

La rédaction de ce guide/manuel a donc été essentielle à la bonne mise en œuvre de la procédure et celle-ci a été soumise à plusieurs contraintes. En effet, il a été nécessaire de se placer dans la peau d'un néophyte afin de faciliter le plus possible la prise en main du logiciel et d'éviter toute confusion lors de la découverte de ce guide. Le document décrit et

étudie donc les différents outils proposés par le logiciel TopoDOT pour MicroStation et doit permettre à un non-initié de dessiner de façon indépendante à partir d'un nuage de point (de type corps de rue) et de la charte graphique du client.

Avant de décrire en détail les fonctions de TopoDOT, un ensemble de fonctions généralistes de MicroStation est présenté ainsi qu'une présentation du logiciel avec une mise en place d'un environnement de travail efficace (description et placement des barres d'outils, importation de cellules et de niveaux).

Un organigramme décrivant la procédure de dessin est proposé en annexe 2 ainsi qu'un extrait en annexe 3.

III.4.2. Suivi de la production et analyse

Une fois cette procédure mise en place, des contrôles et des suivis de celle-ci seront entrepris afin d'en vérifier l'efficacité. Un premier test de suivi d'un projet a été effectué et est proposé en figure 23. Celui-ci porte sur un plan de corps de rue d'une longueur total de 4 km comprenant l'ensemble de l'Avenue de la Libération avec au total plus de 500 millions de points. Chaque dessinateur doit alors compléter ce tableau en fin de journée.

| Opérateur | Projet | Tâche | Linéaire (m) | Temps (h) | Date | Cadence horaire (m/h) | Cadence jour (m/j) | Objectif (jour) | Δ Obj/Réel (heure) | Remarques |
|-----------|-----------------|--------|--------------|-----------|------------|-----------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|---|
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 100 | 8 | 07/01/2019 | 12,50 | 100 | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 100 | 6 | 07/02/2019 | 16,67 | 200 | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 100 | 2 | 07/02/2019 | 50,00 | 250 | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 250 | 8 | 07/03/2019 | 31,25 | | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 250 | 8 | 07/04/2019 | 31,25 | 250 | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 160 | 5 | 07/05/2019 | 32,00 | 210 | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 50 | 2 | 07/05/2019 | 25,00 | | - | - | Incident logiciel |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 400 | 8 | 07/09/2019 | 50,00 | 400 | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 500 | 9 | 07/10/2019 | 55,56 | 500 | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 116 | 8 | 07/11/2019 | 14,50 | 116 | - | - | Problème pour vectoriser certaines bordures |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 300 | 8 | 7/15/2019 | 37,50 | 300 | - | - | |
| M. X | LIMOGES-PANAZOL | Dessin | 200 | 8 | 7/16/2019 | 25,00 | 200 | - | - | |

Figure 23 : Tableau de suivi de production du projet de Limoges-Panazol

Avec ce premier dessin effectué par un néophyte et ayant été formé grâce à la procédure mise en place ultérieurement, on peut voir que les cadences horaires et journalières présentent des évolutions aléatoires. On remarque bien que la cadence horaire augmente assez rapidement mais qu'elle subit ensuite des variations imprévisibles dûes par exemple à des problèmes de logiciels ou encore à des soucis d'utilisation du dit logiciel.

Des objectifs journaliers seront par la suite définis une fois que la cadence journalière se sera stabilisée et que plusieurs dessins auront été livrés dans le but de ne pas imposer aux dessinateurs des cadences qui soient déconnectées de la réalité. Actuellement, notre souhait serait d'avoisiner des cadences de 50 m par heure, soit 400 m par jour pour un dessinateur par journée de 8 h. Cette cadence devra ensuite être améliorée grâce à une maîtrise complète des logiciels de dessin mais aussi avec la mise en place de nouveaux outils de dessins automatisés via une collaboration plus prononcée avec le service Recherche et Développement.

IV. Mise en place de contrôles qualités

Cette dernière partie du mémoire étudie les méthodes de contrôle d'un plan dessiné à partir de nuages de points. Il s'agit ici de définir les caractéristiques du dessin qui peuvent être contrôlées et quelles sont les méthodes possibles pour effectuer ces contrôles. Une de ces méthodes est ensuite testée sur un nuage de points afin de contrôler le dessin des plaques d'assainissement.

IV.1. Réflexions sur le contrôle du dessin

IV.1.1. Contrôle visuel

Les dessins qu'il s'agit de contrôler représentent des zones étendues. Les plans livrés font effectivement plusieurs kilomètres de long. Un contrôle visuel est tout d'abord effectué, avec l'aide des photos capturées par les caméras embarquées et la fonction Street View de Google Map. Dans le cas où des éléments ne sont pas vectorisés pour cause de manque d'information disponible (scan de mauvaise qualité, présence de gros masques sur le nuage, etc.) des opérations de levés complémentaires dans les zones en question sont entreprises (cf. fig.24).



Figure 24 : Exemple d'une zone masquée par un véhicule tiers [TerraScan]

Cependant, ces contrôles visuels ne sont que trop superficiels et il est nécessaire de procéder à des contrôles automatisés. Effectivement, certains éléments plus complexes ne sont pas visibles à l'œil nu ou nécessiteraient un temps de contrôle trop important. Le but

de ces contrôles, outre la vérification du plan, est qu'ils soient le plus rapide et le moins fastidieux possible. Un contrôle du dessin qui prendrait autant de temps que le dessin lui-même n'est évidemment pas justifiable. Il faut donc que cette étape de la procédure propose des outils automatisés, rapides et complets.

IV.1.2. Méthodes de contrôles automatisés pouvant être mises en place

Les éléments qui posent souvent problèmes sont liés à la géométrie des éléments. En effet, les demandes des clients en ce qui concerne le format des rendus se basent sur ce qui est le plus couramment utilisé pour des levés topographiques, c'est-à-dire des fichiers au format « dwg » (format natif du logiciel AutoCAD). Les éléments vectorisés doivent alors appartenir à une certaine nature géométrique : des références de blocs pour les ponctuels et des polylignes (2D ou 3D) pour les linéaires et surfaciques. Comme nous l'avons vu, les logiciels de dessin pour le nuage de points n'utilisent pas les mêmes natures d'objets (cellules pour les ponctuels et lignes intelligentes pour les linéaires). Lors de l'export du dessin (initialement au format « dgn ») vers le format « dwg », certains éléments vont être transformés dans des géométries non souhaitées. Une première correction consiste alors à transformer toutes ces géométries en polylignes ou à vérifier que les blocs du dessin correspondent aux blocs présents dans la charte graphique du client.

Il est ensuite préférable de vérifier l'altitude des points vectorisés. Une routine de contrôle va être mise en place et consistera à vérifier la cohérence des altitudes. Une moyenne locale des altitudes des éléments du dessin sera alors calculée avec l'écart-type autour de cette moyenne. Ces valeurs permettront alors d'obtenir un intervalle et de corriger les altitudes hors de celui-ci.

Ces routines de contrôle sont intéressantes à mettre en place et elles seront développées à la suite de ce TFE. En effet, les contrôles qui ont été développés pour ce travail concernent la véracité des éléments vectorisés. On remarque effectivement que l'excès d'informations présent dans un nuage de points de corps de rue complexifie la visualisation du dessin et amène inéluctablement le dessinateur à oublier de dessiner certains éléments ou à faire des erreurs d'interprétation. Des contrôles sur la nature même des entités dessinées doivent

donc être entrepris. Il va alors falloir trouver une méthode pour détecter ces objets sur le nuage puis vérifier s'ils ont bien été vectorisés sur le plan. Afin de mettre en place un de ces contrôles, nous nous sommes intéressés tout d'abord aux plaques d'assainissement.

IV.2. Présentation de la méthode de contrôle des plaques d'assainissement

IV.2.1. Utilisation d'ortho-images

Tout d'abord, il est nécessaire de définir ce qui est une ortho-image. Une ortho-image est une image géoréférencée où tous les pixels de l'image sont connus dans un système de coordonnées [Simonetto et Pinte, 2018]. Elles sont habituellement produites grâce à des images aériennes et satellitaires.

En transformant les nuages en ortho-images, de nouvelles possibilités de traitement s'offrent à nous. En utilisant des ortho-images, il est effectivement possible d'effectuer du traitement d'images. De nombreux travaux ont ainsi été entrepris. L'IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière) par exemple, utilise des ortho-images pour créer des couches vectorielles en effectuant des calculs de segmentation, comme les couches des étendues d'eau ou de végétation. La segmentation d'une image répond aux mêmes objectifs que la segmentation d'un nuage de points, et elle peut permettre la détection de nombreux éléments (cf. fig.25).

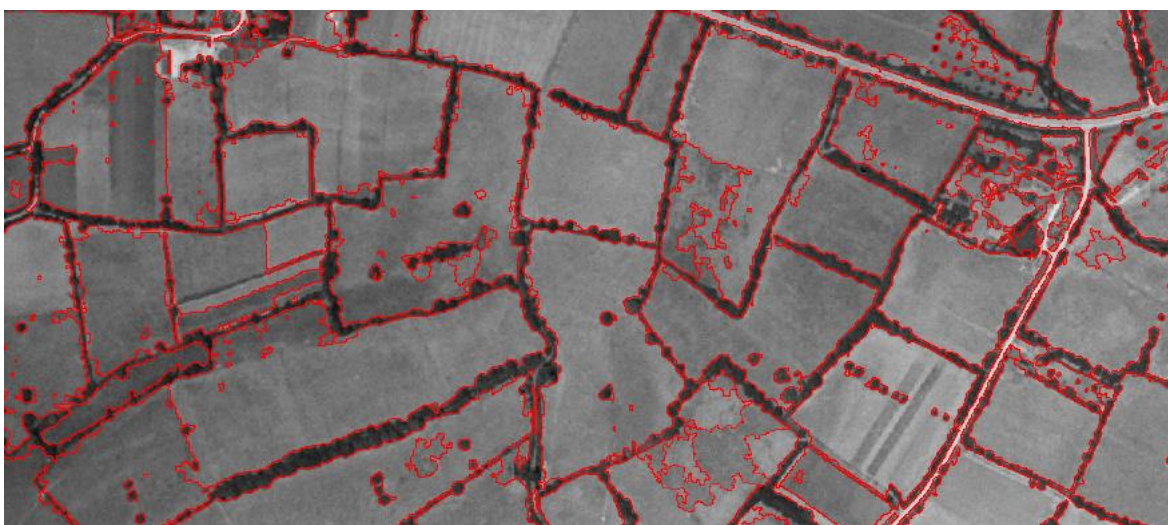


Figure 25 : Segmentation d'une ortho-image de l'IGN pour la détection des haies dans le cadre des projets pluridisciplinaires 2017/2018 de l'ESGT [ENVI]

Les plaques d'assainissement sont des éléments ayant des caractéristiques qui les rendent facilement détectables sur un nuage de points. Le but de ce contrôle est ainsi de transformer le nuage de points en ortho-image pour ensuite détecter le centre de ces plaques et de vérifier l'écart entre le centre de la plaque détectée par photo-interprétation avec le centre de la plaque vectorisée par le dessinateur à partir du nuage de points.

IV.2.2. Transformation de nuages en ortho-images

Le programme qui est utilisé pour transformer les nuages de points en ortho-images a été développé par le pôle Recherche & Développement de GeoSat. Ce programme est importé dans le script de détection des plaques et permettra de transformer le nuage de points en deux ortho-images différentes : une ortho-image d'intensité et une ortho-image d'élévation. Les ortho-images sont générées à partir d'une vue du nuage en projetant les points sur un plan 2D, les points sont ensuite transformés en pixels. La résolution de l'image est définie par l'utilisateur et suivant la valeur de celle-ci, plusieurs points pourront correspondre à un seul pixel (l'inverse étant aussi possible dans le cas d'une résolution très fine). Plus la résolution sera proche de zéro, plus l'image sera complète. Cependant, une résolution trop fine rendra les traitements trop lourds pour la machine, il est donc important de trouver un juste milieu. Une résolution de 5 mm sera alors fixée pour la suite des tests.

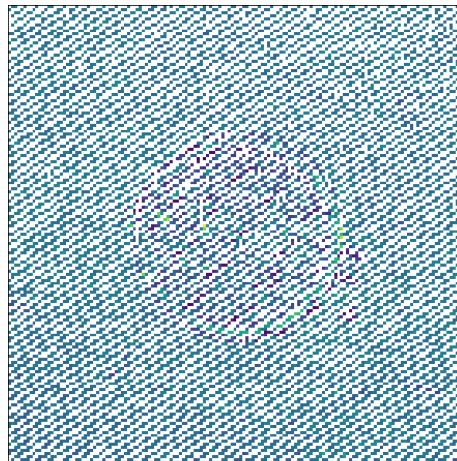


Figure 26 : Extrait d'un nuage transformé en ortho-image par intensité[Python]

Deux méthodes de création de l'ortho-image vont être utilisées. La première, par intensité, va affecter à chaque pixel de l'image la valeur d'intensité du point projeté dans le pixel (cf. fig.26). Pour l'ortho-image par rugosité, c'est la valeur de l'élévation du point qui sera intégrée dans le pixel. La détection des plaques prendra en compte ces deux ortho-images,

qui vont ensuite subir une série de traitement avant d'être utilisées pour contrôler les plaques.

IV.2.3. Pré-traitement de l'ortho-image

On remarque que sur l'ortho-image brute, certains pixels ne sont pas remplis dû à un manque de données. Afin de remplir la valeur de ces pixels, une interpolation au plus proche voisin est calculée. On prendra alors la valeur du pixel le plus proche du point (cf. fig.27).

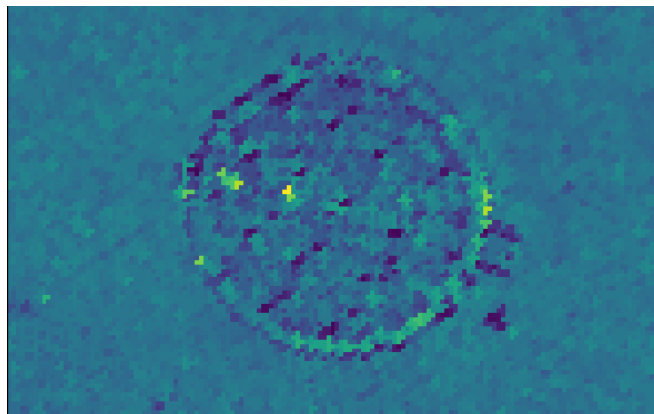


Figure 27 : Ortho-image précédente complétée par interpolation [Python]

L'ortho-image va ensuite être filtrée par convolution avec un filtre passe-haut afin d'extraire les hautes fréquences de l'image. Ce filtre va améliorer le contraste de l'image et ainsi simplifier la détection de la plaque.

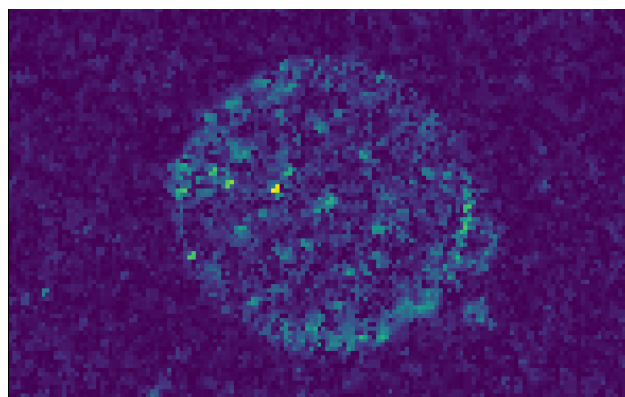


Figure 28 : Filtrage passe-haut de l'ortho-image [Python]

Comme on peut le voir sur la figure 28, ce filtre va avoir comme effet néfaste une augmentation du bruit environnant, cependant, ce bruit ne va pas déranger la détection des

plaques puisque généralement, celles-ci sont entourées par du béton ayant un rendu assez uniforme.

Cette image va ensuite subir un seuillage. Le seuillage d'une image va consister à binariser l'image en fonction d'un seuil. Si la valeur du pixel est supérieure au seuil, une valeur de 1 lui sera attribuée ; si la valeur du pixel est inférieure au seuil, une valeur de 0 sera alors attribuée au pixel. Le seuil de cette binarisation est ici calculé automatiquement par la méthode d'OTSU. Cette méthode utilise la forme de l'histogramme de l'image et va considérer celle-ci en deux classes : les objets environnants et l'arrière-plan. Une fois que ces classes sont définies, le seuil est calculé de manière itérative de sorte que la variance entre les deux classes soit minimale [Otsu, (1979)]. Le seuillage est ensuite nettoyé afin d'éliminer les pixels ayant une valeur de 1 trop isolés (cf. fig.29)

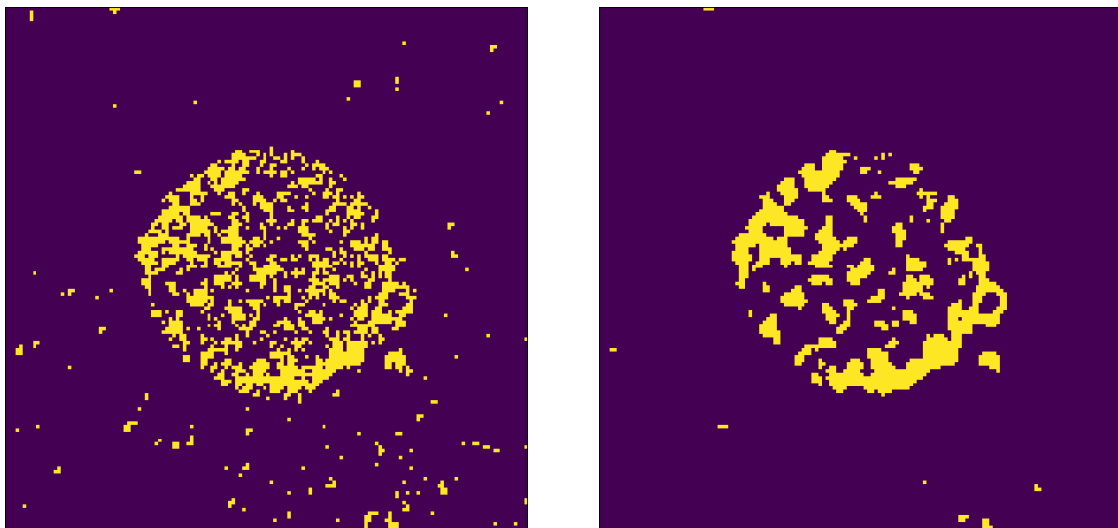


Figure 29 : Seuillage de l'ortho-image brut (gauche), seuillage filtré (droite) [Python]

Pour terminer le traitement de l'ortho-image, nous allons calculer le produit de convolution entre notre image binarisée et un élément morphologique représentant une estimation d'une plaque : un cercle de 35 cm de rayon (en sachant que les plaques ont un rayon moyen de 35 cm) (cf. fig.30).

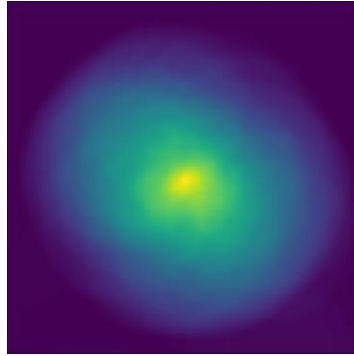


Figure 30 : Produit de convolution entre l'image binarisée et un cercle de 35 cm de rayon [Python]

Une recherche de disque de 35 cm de rayon est ensuite effectuée dans cette image afin de déterminer la position du centre du cercle, autrement dit du centre de la plaque.

IV.3. Test du contrôle des plaques d'assainissements

IV.3.1. Détection du centre des plaques par intensité et rugosité

Il serait trop complexe et peu efficace d'effectuer une détection de plaques sur l'ensemble de l'ortho-image, les nuages à contrôler mesurant plusieurs kilomètres, cette détection serait beaucoup trop lourde dans un premier temps et elle serait beaucoup trop entravée par d'autres éléments du nuage. La détection des plaques se fait ainsi localement, à partir d'un fichier texte comportant les coordonnées et l'identifiant des plaques dessinées sur le nuage. Nous partons ainsi des plaques dessinées, il n'est donc pas question ici de vérifier l'exhaustivité des plaques vectorisées.

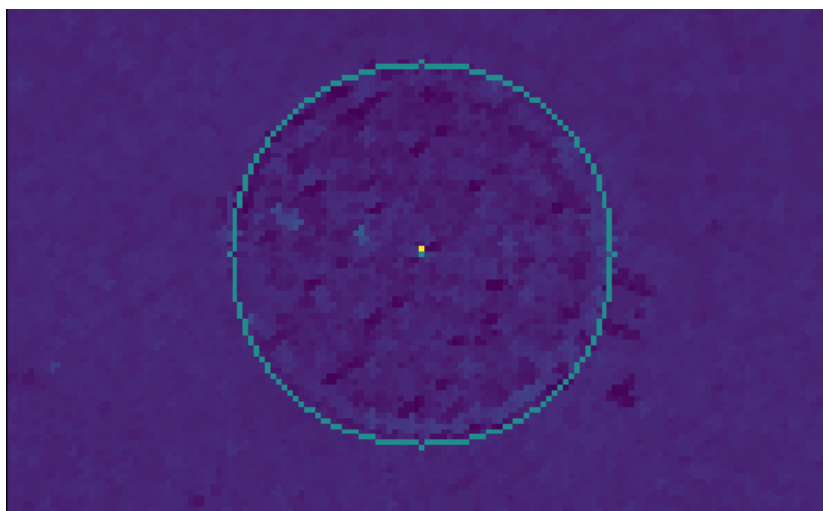


Figure 31 : Détection du centre d'une plaque (point et cercle vert) et point dessiné sur le nuage (point jaune)

Avec l'aide des deux ortho-images, nous obtenons pour chaque plaque deux jeux de coordonnées, l'une via l'ortho-image par intensité et l'autre via l'ortho-image de rugosité. La détection par intensité offrant des résultats plus précis, celle-ci est privilégiée par rapport à la détection par rugosité. Cette dernière est ainsi utilisée pour contrôler le résultat de la détection par intensité, la différence maximale entre les deux détections étant fixée à 5 cm (cf. fig. 31).

IV.3.2. Exemple d'utilisation

Afin d'utiliser ce programme, une interface a été mise en place pour son utilisateur sur la figure 32.

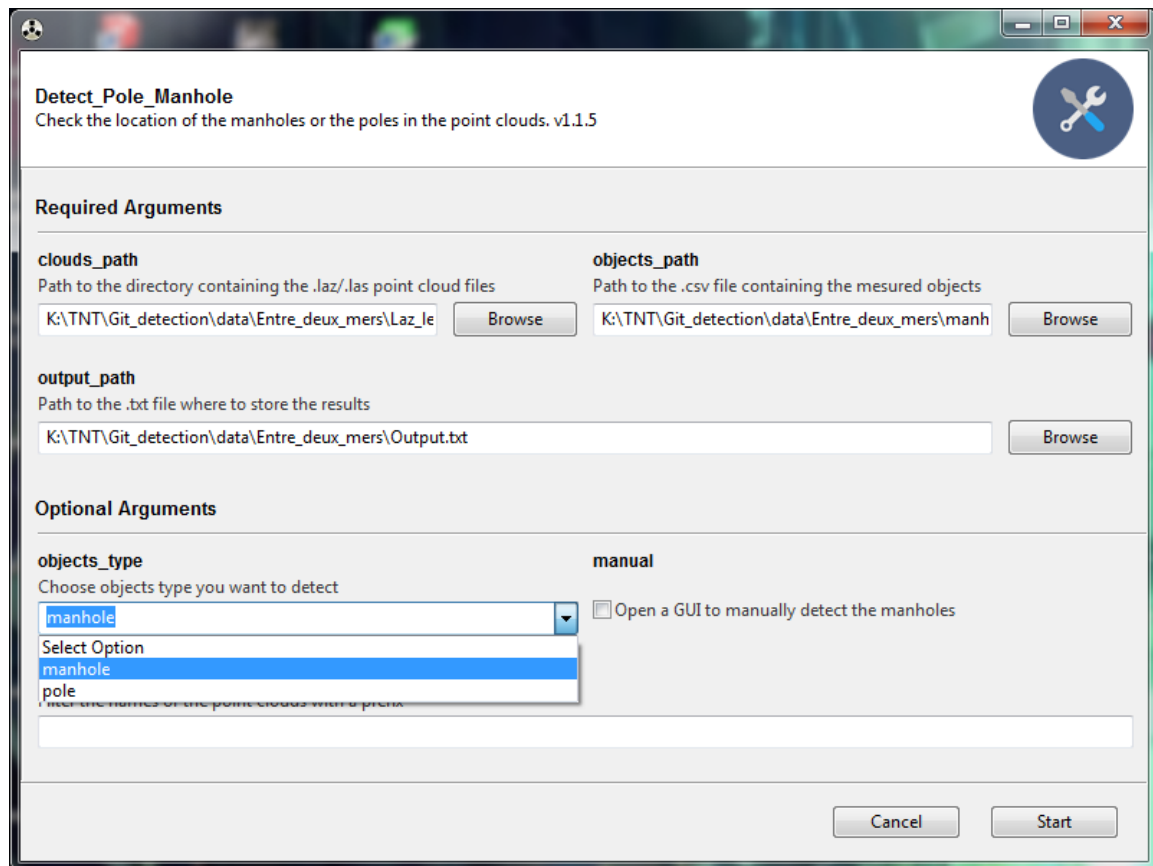


Figure 32 : Interface utilisateur mise en place grâce à la bibliothèque Goody sous Python

L'utilisateur indique ainsi au programme le dossier contenant le ou les nuages de points, le fichier contenant la liste des coordonnées des plaques à contrôler et leurs attributs ainsi que le fichier texte de sortie où seront notés les résultats (la distance entre la détection de la plaque et la plaque dessinée).

Finished

All done! You may now safely close the program.



```
Status
Mapping : {WindowsPath('K:\TNT\Git_detection\data\Entre_deux_mers\Laz_lege\R_23_F_0+000_0+50.laz'): array([2, 5], dtype=int64)}
Loading K:\TNT\Git_detection\data\Entre_deux_mers\Laz_lege\R_23_F_0+000_0+50.laz with 2 manhole(s)
Processing objects '45670'
Offset between object and detection: 0.038 meters
Processing objects '45673'
Offset between object and detection: 0.025 meters
Writing output at K:\TNT\Git_detection\data\Entre_deux_mers\Output.txt
Execution time: 111.39959979057312 seconds
Number of object: 8
Number of objects views: 2
Number of locations estimated: 2
```

Figure 33 : Exemple de résultats obtenus pour le contrôle de 8 plaques

Sur l'exemple représenté sur la figure 33, un ensemble de huit plaques est contrôlé. Cependant, afin de réduire les temps de calcul, le nuage a été divisé et celui utilisé comporte deux plaques. Avec cet exemple, on voit donc que l'ensemble des deux plaques dessinées comprises dans le nuage a été détecté sur le nuage et contrôlé. On remarque que les écarts sont compris entre 2 et 4 cm.

Cette méthode de contrôle pourra ainsi être efficace afin de contrôler si les plaques dessinées correspondent bien à une plaque sur le nuage de points. Cependant, les temps de calcul sont très importants, ici 111 secondes pour un nuage de quelques milliers de points. Une des étapes les plus lourdes de cet algorithme étant le calcul de l'ortho-image, le calcul d'ortho-images locales dans un rayon de 1.50 m autour des plaques, pourrait permettre d'alléger les temps de calcul. Ce type de contrôle deviendrait alors plus efficace pour contrôler des plans de nuages de plusieurs centaines de millions de points.

Conclusion

L'objectif de ce travail de fin d'études était d'établir les éléments essentiels à une chaîne de traitement semi-automatisée pour le dessin sur nuages de points. Cette chaîne de traitement devait pouvoir être adaptée à la cellule d'exploitation au sein du pôle MMS de GeoSat et devait permettre une semi-automatisation des tâches afin d'offrir au client un plan 2D ou 3D à partir de nuages de points de grande envergure.

Après une découverte du monde de la cartographie mobile, une première approche a d'abord consisté à tester les logiciels permettant de dessiner sur des nuages de grandes étendues, avec une étude des besoins et des réponses que devaient apporter ces logiciels. Nous avons ainsi pu remarquer que malgré le nombre important de logiciels de traitement de nuages de points, seulement quelques-uns proposent des outils de vectorisation efficaces. En effet, les problématiques liées au dessin de ces nuages sont variées et difficilement résolubles à cause de la variété et de l'étendue des environnements observés par les systèmes de cartographie mobile.

Une seconde étape de ce travail a porté sur la mise en place d'une classification des nuages de points afin de simplifier et d'automatiser les traitements qui s'en suivent. Après avoir manipulé de nombreux nuages lors du test des logiciels de dessin, il a été très vite remarqué qu'une classification du nuage pourrait très largement améliorer les processus, diminuer la pénibilité du travail et augmenter les rendements et cadences de production. Deux classifications ont alors été développées, l'une destinée à classer les nuages de corps de rue et l'autre des nuages de voie ferroviaire. Des études sur la qualité de ces classifications ont permis de confirmer leur efficacité tant qualitativement que quantitativement. On remarque cependant que malgré des résultats satisfaisants, les classifications comportent toujours des erreurs éparses.

À la suite de ces classifications, des outils de vectorisation de nuage de points ont été étudiés. Une automatisation des tâches étant impossible, le but était d'en semi-automatiser le plus grand nombre ou d'en simplifier l'usage. Trois différents types d'objets à vectoriser ont donc été définis :

- Les objets surfaciques, qui sont généralement dessinés manuellement mis à part les éléments de signalisation horizontale.
- Les objets linéaires, qui sont dessinés manuellement via l'utilisation de coupes et semi automatiquement par l'application de template ou l'utilisation de l'attribut d'intensité des points.
- Les objets ponctuels qui sont vectorisés de manière semi-automatique par détection des éléments verticaux et reconnaissance de forme.

Après avoir sélectionné les outils les plus performants, une méthode de dessin a été mise en place via la rédaction d'une procédure de dessin, distribuée par la suite au sein de la cellule de dessin.

Pour finir, des outils de contrôles des plans ont été proposés. Parmi eux, la transformation du nuage en ortho-image afin d'utiliser des outils de traitement numérique des images afin de contrôler les plaques préalablement vectorisées.

Cette chaîne de traitement des nuages est encore perfectible et des améliorations lui seront apportées à la suite de ce TFE. Parmi elles, l'utilisation des images capturées par les caméras des scanners pour coloriser le nuage, mais aussi pour faciliter la vectorisation en offrant au dessinateur une autre vision de l'environnement scanné. Les routines de classification seront également améliorées afin de proposer une automatisation plus complète du dessin, en cherchant dans un premier temps à dessiner automatiquement les trottoirs. Une attente est également présente concernant les logiciels de traitement de nuages qui devraient proposer des fonctions de plus en plus rapides et efficaces afin de révolutionner les outils de dessin assisté par ordinateur.

Bibliographie

Ouvrages, articles et thèses

[GOULETTE François, 2009], Relevés laser urbains par Systèmes Mobiles de Cartographie, Revue XYZ, Association Française de la Topographie, 2009, 5p., p.15-19.

[PIROTTI et Al., 2012], State of the Art of Ground and Aerial Laser Scanning Technologies for High-Resolution Topography of the Earth Surface, European Journal of Remote Sensing, 2012, 12p., p.66-78.

[DESPRES Marc, 2013], La cartographie mobile au service des communautés urbaines, Revue XYZ, Association Française de la Topographie, 2013, 4p., p.14-18.

[AÏT-MANSOUR Mounir, 2014], Extraction d'éléments géométriques dans un nuage de points LiDAR terrestre, Mémoire TFE, soutenu le 17 septembre 2014, ESGT, 85p.

[BOULAASSAL Hakim, 2010], Segmentation et modélisation géométriques dans un nuage de points LiDAR terrestre, Mémoire TFE, soutenu le 03 février 2010, INSA, 214p.

[OTSU Nobuyuki, 1979], A Threshold Selection Method Fromgrey-Level Histograms. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, 1979, 9p., p.62-66.

[BERGOUNIOUX Maïtine, 2010], Quelques méthodes de filtrage en Traitement d'Image, Université d'Orléans, 2010, 52p.

Documents de formation

[SIMONETTO E., PINTE A., 2018], Cours de Photogrammetrie, Ecole Supérieur des Géomètres-Topographes, 2018, 77p.

Sites Internet

[3D Laser Mapping], ROBIN – The New Multi-Platform Mobile Mapping System is launched, disponible sur <<https://geoslam.com/blog-post>>. (consulté le 24/05/2019)

[TerraSolid], TerraScan User's Guide, disponible sur <<https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>>. (consulté le 01/03/2019)

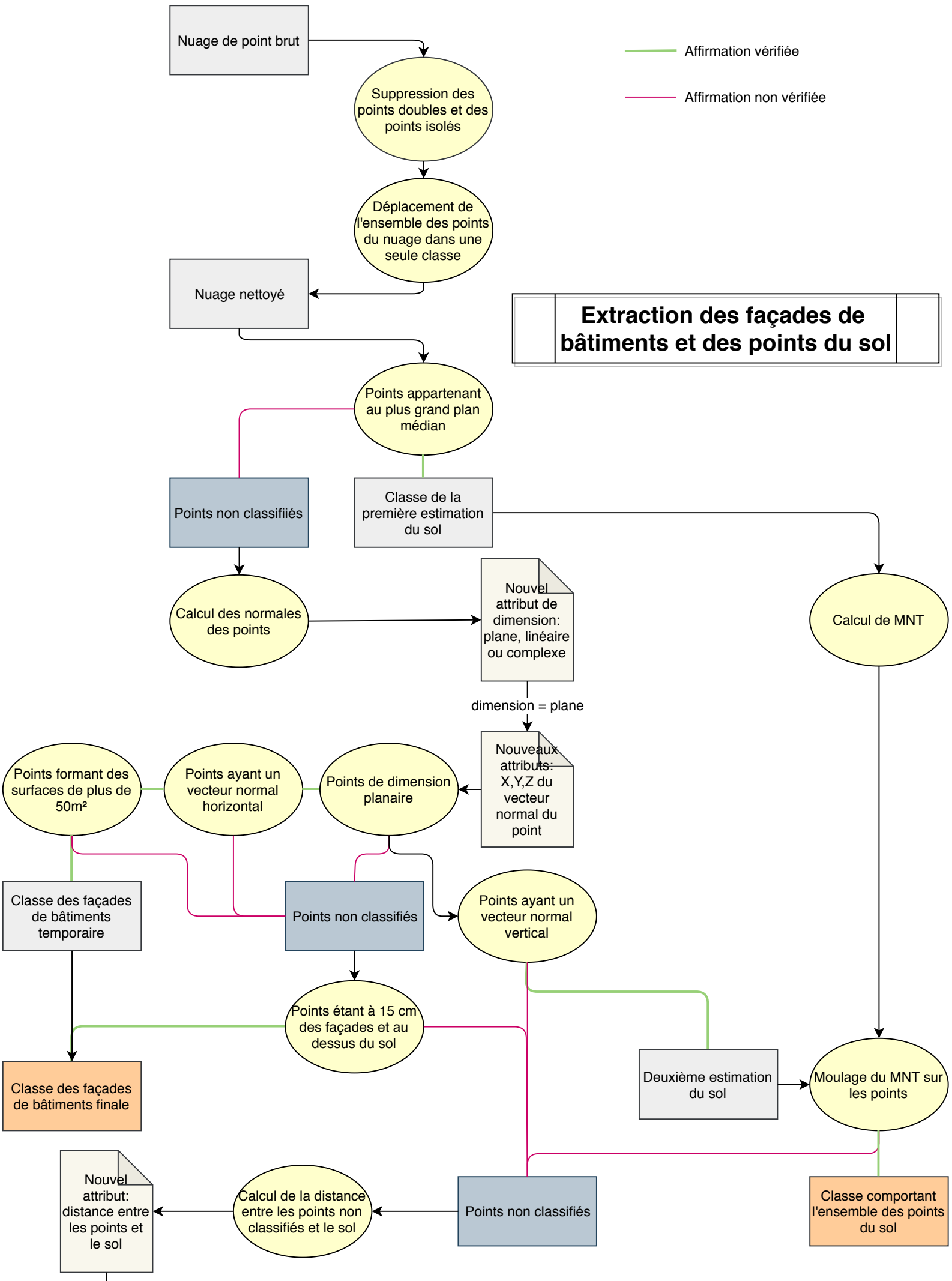
[TopoDOT], Certainty 3D – C3D University Technotes – TopoDT, disponible sur <<https://certainty3d.com/university/technotes>>. (consulté le 14/03/2019)

Table des annexes

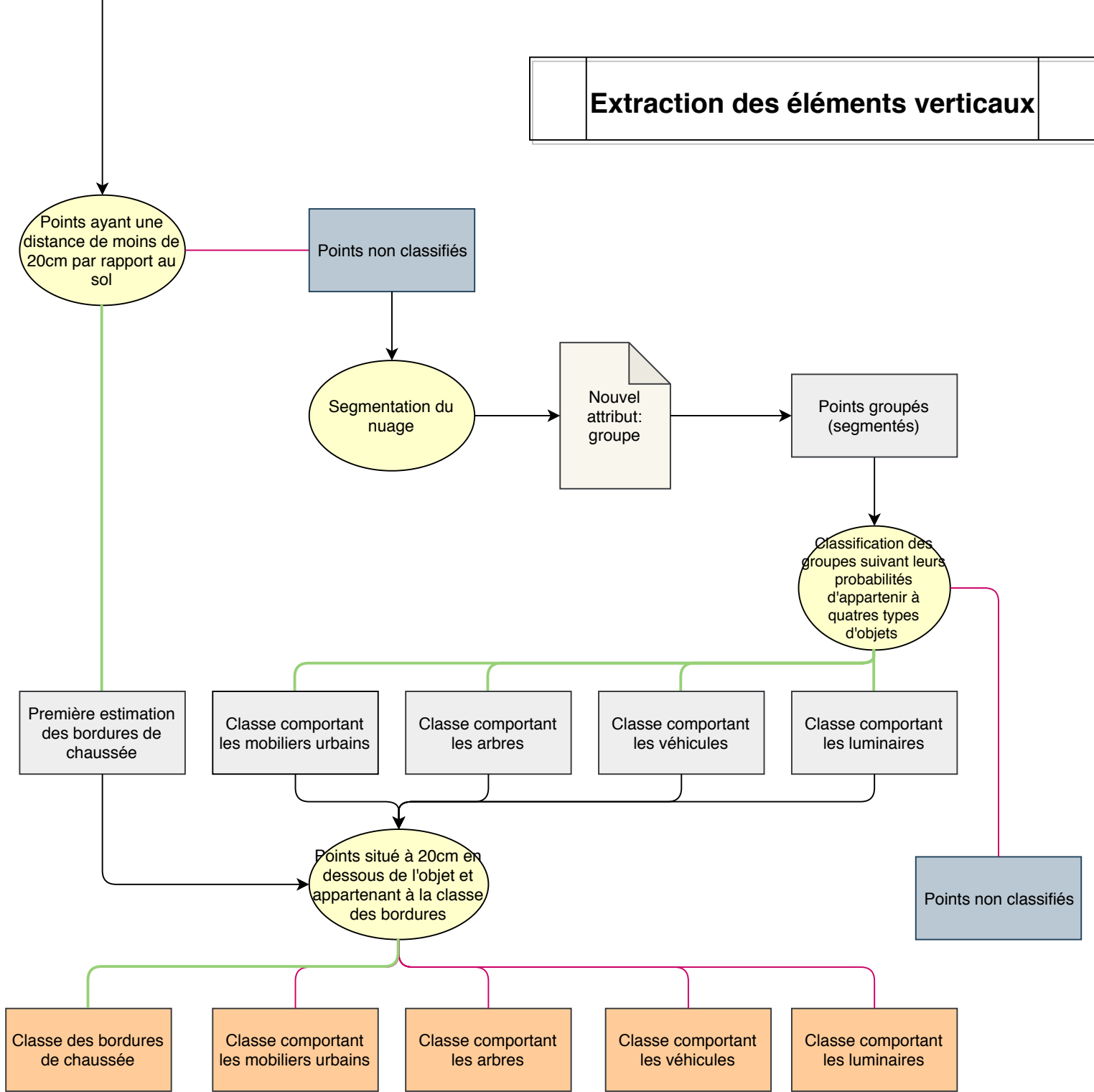
| | |
|---|----|
| Annexe 1 Organigramme de la classification développée sous TerraScan | 60 |
| Annexe 2 Organigramme de la procédure de dessin sur nuage de points avec TopoDOT | 61 |
| Annexe 3 Extrait de la procédure mise en place dans la cellule pour le dessin sur nuage de points type corps de rue avec TopoDOT | 62 |
| Annexe 4 Extrait du plan effectué Avenue de la Libération à Limoges | 63 |

Annexe 1

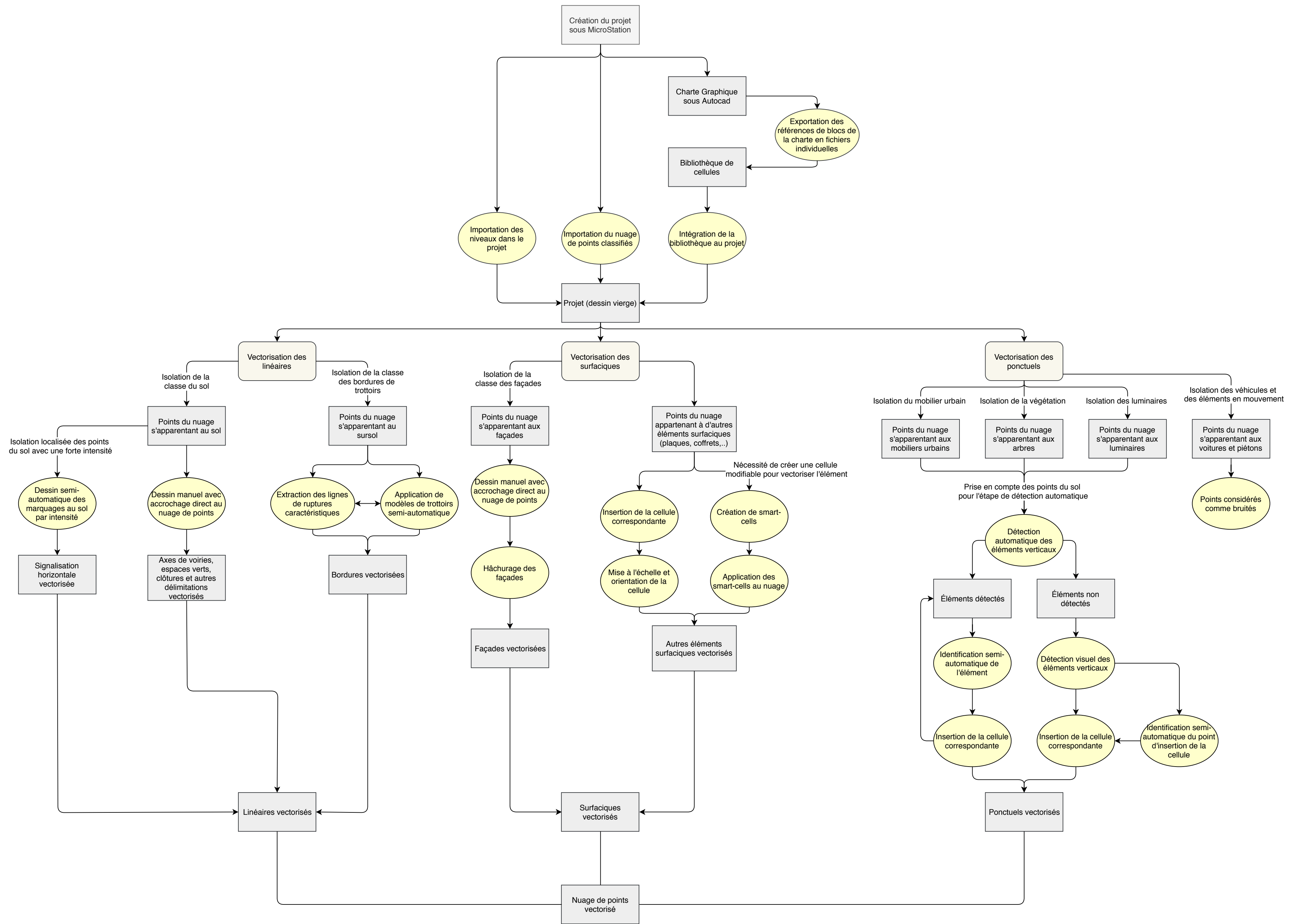
Organigramme de la classification développée sous TerraScan



Extraction des éléments verticaux



Annexe 2
Organigramme de la procédure de dessin sur nuage de points
avec TopoDOT



Annexe 3

Extrait de la procédure mise en place dans la cellule pour le dessin sur nuage de points type corps de rue avec TopoDOT

PROCEDURE

« Dessin sur nuage avec TopoDOT (type corps de rue) »

Documents
Associés

| | Fonction | Nom | Date | Visa |
|--------------|------------|------------------|------------|------|
| Rédacteur | TFE (ESGT) | NOELLAT Thibault | 27/05/2019 | - |
| Vérificateur | - | - | - | - |
| Approbateur | - | - | - | - |

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

| Révisions | | Modifications |
|--------------|------------|-----------------------|
| Version | Date | |
| 1.0 | 27/05/2019 | Création du document. |
| Confidentiel | | |

SOMMAIRE

| | | |
|------|--|----|
| I. | Généralités..... | 5 |
| 1. | Objectifs et domaine d'application..... | 5 |
| 2. | Responsabilités | 5 |
| 3. | Documents de référence | 5 |
| 4. | Définitions..... | 5 |
| II. | Préalables..... | 6 |
| 1. | Organisation du document | 6 |
| 2. | Présentation succincte du logiciel..... | 6 |
| 3. | Mise en place des éléments nécessaires au dessin | 6 |
| k. | Démarrage de TopoDOT | 6 |
| l. | Importation des niveaux..... | 6 |
| m. | Importation des cellules..... | 8 |
| n. | Enregistrement de l'environnement de travail..... | 10 |
| o. | Ouverture d'un nuage avec TopoDOT | 10 |
| p. | Barre d'outils de TopoDOT..... | 10 |
| q. | Affichage des classes..... | 11 |
| r. | Affichage du nuage | 11 |
| s. | Importer un fichier de définition des classes..... | 12 |
| j. | Accrochage au nuage..... | 13 |
| III. | Dessin des linéaires..... | 15 |
| 1. | Linéaires généraux (axe de voirie, délimitations diverses)..... | 15 |
| 2. | Dessin des bordures de chaussée (trottoirs, fil d'eau, etc.) | 17 |
| a. | Méthode 1 : Extraction des lignes de ruptures..... | 17 |
| b. | Méthode 2 : Application de template à des chemins | 22 |
| c. | Jointure des bordures | 27 |
| IV. | Dessin des ponctuels..... | 29 |
| 1. | Dessin semi-automatique des ponctuels..... | 29 |
| 2. | Identification et dessin des ponctuels | 32 |
| 3. | Insertion d'attributs aux ponctuels..... | 34 |

| | | |
|-----|---|----|
| V. | Dessin des surfaciques | 37 |
| 1. | Création de smart-cells | 37 |
| 2. | Dessin des façades de bâtiments..... | 42 |
| VI. | Outils divers | 43 |
| 1. | Certainty3D | 43 |
| 2. | Dessin de points rapides | 43 |
| 2. | Sélection d'éléments..... | 44 |
| 3. | Paramètres d'affichage (lorsque les points sont affichés selon leur intensité)..... | 44 |
| 4. | Coupe du nuage de points et création de clôtures..... | 47 |
| 5. | Dessin de points d'élévation | 47 |
| 6. | Insertion référence | 48 |
| 7. | Outils divers de MicroStation (similaire à Autocad) | 49 |

Confidentiel

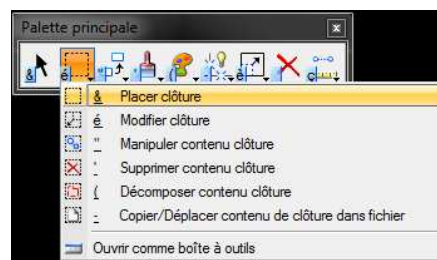
4. Coupe du nuage de points et création de clôtures

Pour effectuer une coupe du nuage avec TopoDOT, une série d'outils est disponible dans la boîte à outils « Scan Data Manager Toolbox » :



Il est alors possible d'effectuer des coupes horizontales et verticales en indiquant la largeur de ces coupes ou d'effectuer une coupe dans une direction quelconque selon deux points.

Il est également possible de dessiner des clôtures avec MicroStation et d'afficher seulement les points qui seront contenus dans l'emprise de cette clôture. Cela peut s'avérer utile si des éléments du sursol nous empêchent de visionner les éléments du sol et qu'on souhaite masquer ces éléments. Pour cela, dessiner une clôture :



Puis, utiliser les outils suivants pour afficher ou non les points :

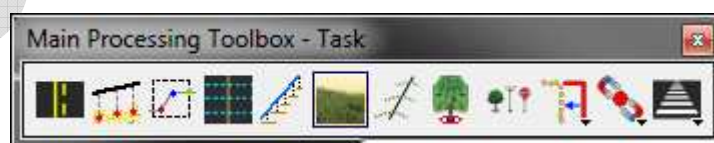


Il est aussi possible d'afficher les points dans une emprise le long d'une polygone :

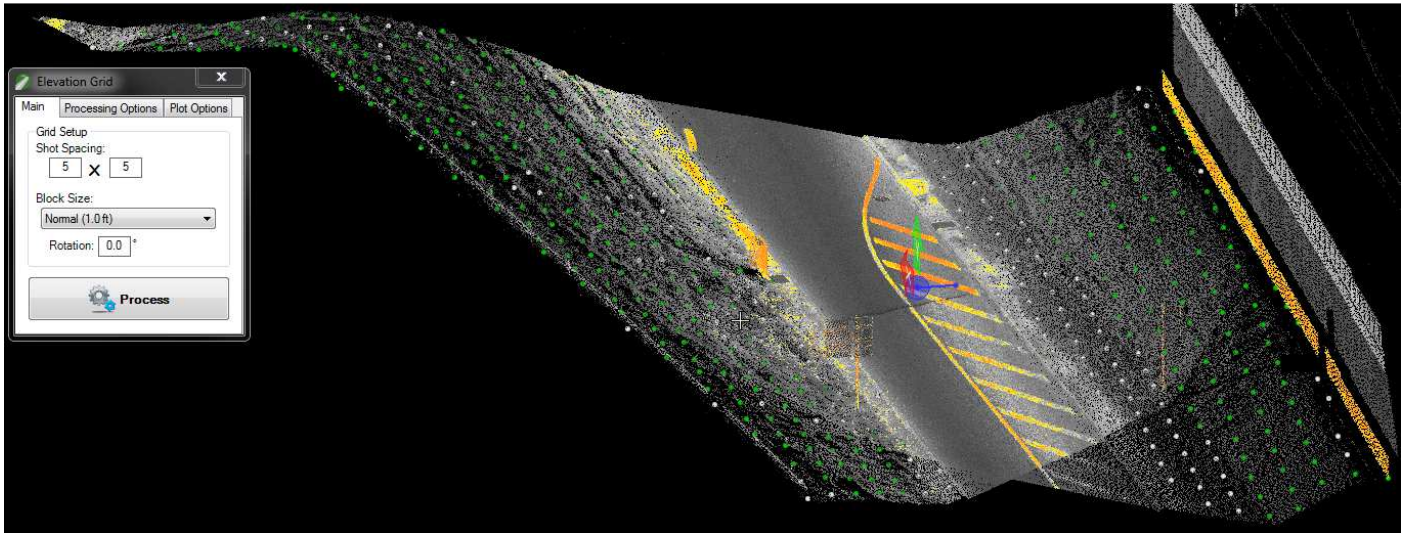


5. Dessin de points d'élévation

Afin de dessiner des points d'élévation (afin de créer par exemple un MNT), l'outil « Elevation grid » de la barre d'outils « Main Processing Toolbox » peut être utilisé :



Cette fonction créera ainsi une grille de point avec un espacement déterminé par le dessinateur. Si une clôture est dessinée, les points ne seront affichés que dans cette clôture :



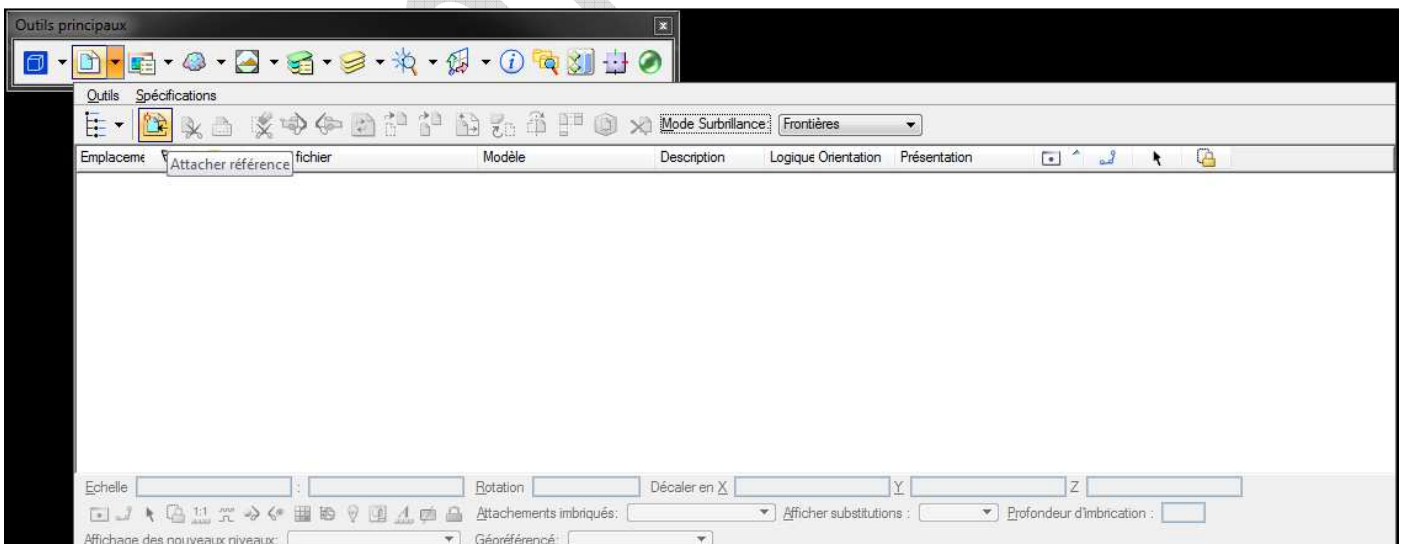
Il est possible de dessiner seulement un certain type de points en cochant le type sélectionné dans l'onglet « Plot Options » :

- ➔ **Plot Buildings**: Affiche les points présents sur les toits ou avec des élévations élevés (couleur Magenta)
- ➔ **Plot Hard Surfaces** : Affiche les points présents sur des grandes surfaces (couleur Blanche)
- ➔ **Plot Terrain Points** : Affiche les points présents sur de la végétation (couleur Verte)
- ➔ **Plot Key Points** : Affiche des points de détails (couleur Rouge)
- ➔ **Plot Sparse Data** : Affiche les points présents dans une zone avec une faible densité (couleur Magenta)

Pour afficher des points du terrain naturel, il est conseillé d'activer les points de surfaces et de végétation.

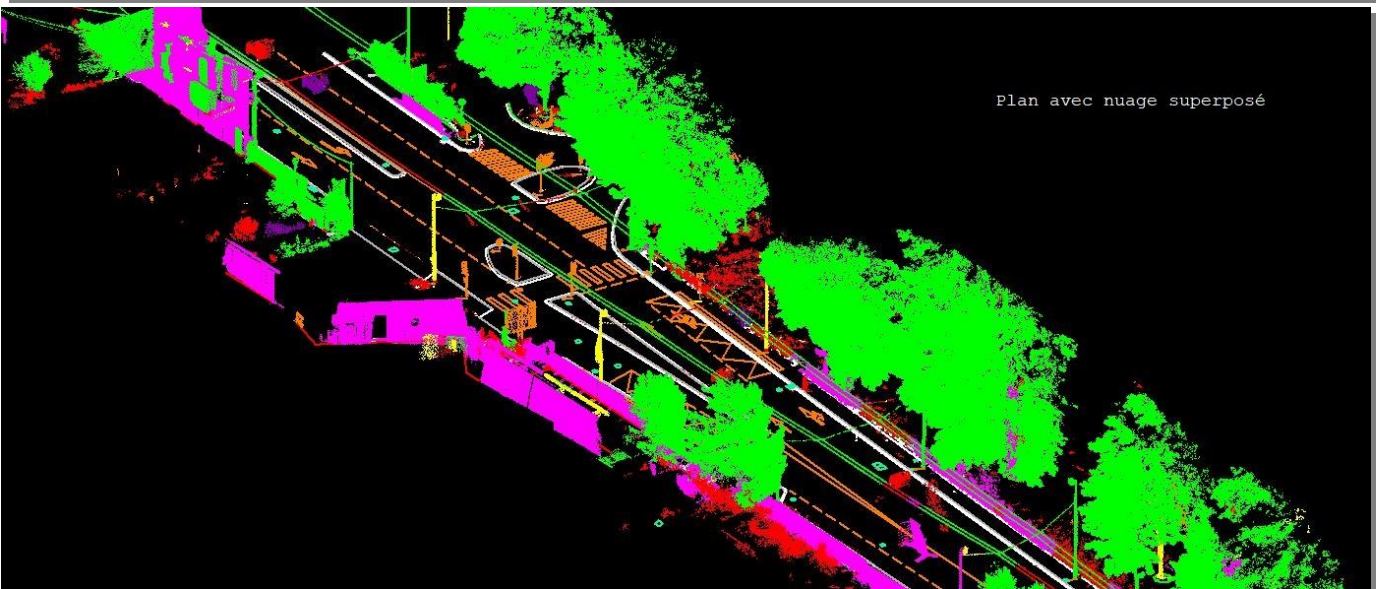
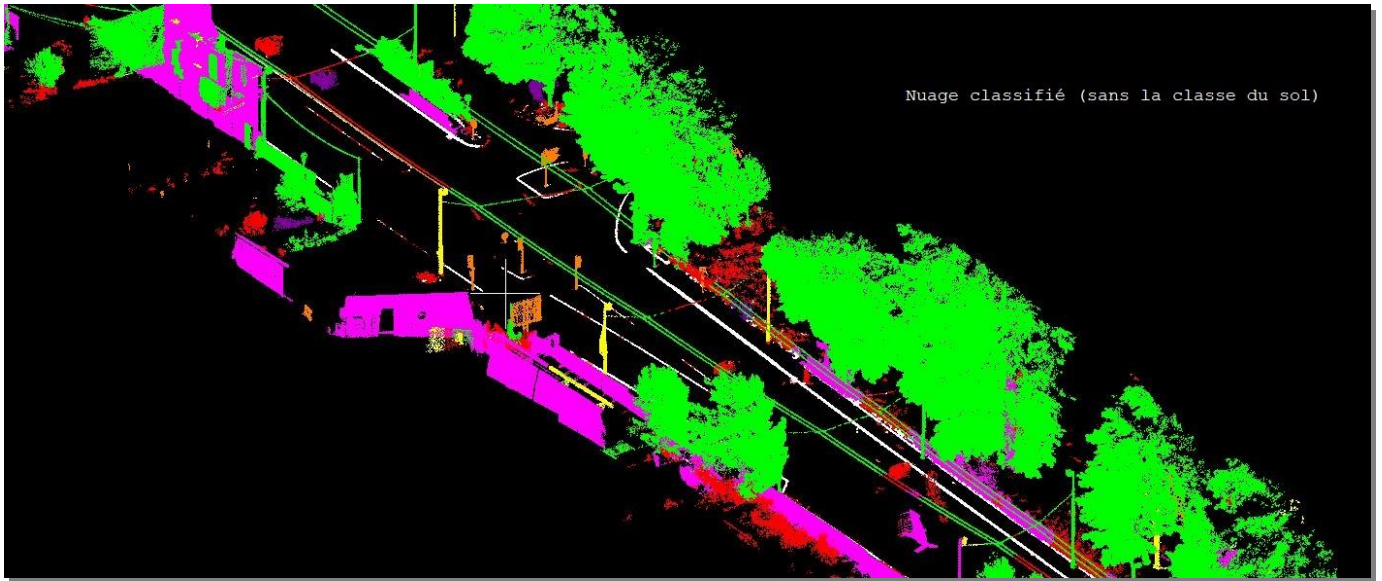
6. Insertion référence

Afin d'insérer un fichier de référence (ou plusieurs) sur le projet en cours, utiliser la boîte de dialogue « Référence » des outils principaux de MicroStation. Il est possible d'attacher aussi bien des projets .dgn que des plans .dwg :



Annexe 4

Extrait du plan effectué Avenue de la Libération à Limoges



Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Description des éléments composants le Road-Scanner 4..... | 12 |
| Figure 2 : Illustration de différents montages de scanners [source : Note méthodologique pôle MMS, GeoSAT] | 13 |
| Figure 3 : Illustration des montages pris en compte par le Robin [source : 3DLaserMapping]..... | 14 |
| Figure 4 : Organigramme de la chaîne de traitement du pôle MMS | 15 |
| Figure 5 : Exemple d'une classification de la végétation via la macro développée dans cette partie [TerraScan] | 22 |
| Figure 6 : Nuage de points tests avec affichage des classes correspondantes au sol et aux façades [TerraScan] | 26 |
| Figure 7 : Nuage avec les points n'étant pas encore classifiés [TerraScan]..... | 26 |
| Figure 8 : Nuage de points avec détection brut des trottoirs [TerraScan] | 27 |
| Figure 9 : Nuage de points segmenté [TerraScan] | 27 |
| Figure 10 : Nuage test avec : classe des véhicules (points gris), classe des arbres (points verts), du mobilier urbain (points rouges), des luminaires (points jaunes) et des trottoirs (points blancs) [TerraScan] | 28 |
| Figure 11 : Comparaison visuelle de la détection des câbles de caténares [TerraScan] | 33 |
| Figure 12 : Pourcentage de réussite des classes des deux classifications comparées à une classification manuelle | 34 |
| Figure 13 : Classification des rails en deep-learning à gauche et avec la macro développée à droite [TerraScan] | 34 |
| Figure 14 : Fusion des deux classifications [TerraScan]..... | 35 |
| Figure 15 : Vue en coupe d'un nuage avec vectorisation des points caractéristiques [TopoDOT].. | 38 |
| Figure 16 : Trottoir vectorisé avec les bordures de celui-ci et le fil d'eau [TopoDOT]..... | 38 |
| Figure 17 : Exemple d'un template d'un trottoir, avec les points correspondant en haut de bordure et au fil d'eau [TopoDOT]..... | 39 |
| Figure 18 : Histogramme d'une portion de route [TopoDOT]..... | 40 |
| Figure 19 : Portion de route vue précédemment avec visualisation des intensités les plus hautes [TopoDOT]..... | 40 |
| Figure 20 : Fonction testée sur un nuage de 70 millions de points et possédant 103 objets urbains. Sur ces 103 objets, 72 ont été détectés puis dessinés. | 41 |
| Figure 21 : Vectorisation des luminaires avec seulement la classe correspondante active [TopoDOT]..... | 42 |
| Figure 22 : À droite de la fenêtre, une table d'attributs mise en place pour les arbres [TopoDOT] | 43 |
| Figure 23 : Tableau de suivi de production du projet de Limoges-Panazol..... | 44 |
| Figure 24 : Exemple d'une zone masqué par un véhicule tiers [TerraScan]..... | 46 |
| Figure 25 : Segmentation d'une ortho-image de l'IGN pour la détection des haies dans le cadre des projets pluridisciplinaires 2017/2018 de l'ESGT [ENVI] | 48 |
| Figure 26 : Extrait d'un nuage transformé en ortho-image par intensité[Python]..... | 49 |
| Figure 27 : Ortho-image précédente complétée par interpolation [Python]..... | 50 |
| Figure 28 : Filtrage passe-haut de l'ortho-image [Python] | 50 |
| Figure 29 : Seuillage de l'ortho-image brut (gauche), seuillage filtré (droite) [Python]..... | 51 |
| Figure 30 : Produit de convolution entre l'image binarisée et un cercle de 35 cm de rayon [Python] | 52 |
| Figure 31 : Détection du centre d'une plaque (point et cercle vert) et point dessiné sur le nuage (point jaune)..... | 52 |
| Figure 32 : Interface utilisateur mise en place grâce à la bibliothèque Goocy sous Python | 53 |
| Figure 33 : Exemple de résultats obtenus pour le contrôle de 8 plaques | 54 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Comparatif des logiciels de traitement de nuage de points testés | 20 |
| Tableau 2 : Comparaison du nombre de points appartenant aux classes de la classification manuelle avec la classification de la macro | 30 |
| Tableau 3 : Comparaison quantitative des deux classifications avec une classification manuelle .. | 33 |

Résumé - Summary

Mise en place d'une chaîne de traitement semi-automatisée au sein d'une cellule de dessins sur nuage de points

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2019

RESUME

L'exploitation de nuages de points issus de la cartographie mobile est au cœur des problématiques futures du métier de géomètre. En effet, les données acquises étant massives et très complexes, les outils informatiques ne proposent que depuis peu des solutions viables pour traiter ces nuages. Ces évolutions récentes permettent ainsi de profiter des nombreux avantages offerts par la cartographie mobile. De nouvelles problématiques naissent alors et une maîtrise de la chaîne de traitement de nuages de points de grande envergure est indispensable à une société souhaitant être ouverte sur les nouveaux marchés qui en découlent.

Cette étude propose ainsi une chaîne de traitement afin de dessiner un plan topographique à partir d'un nuage de points avec la mise en place d'une procédure au sein d'une cellule de dessin sur nuage. Une réflexion sur des méthodes de contrôle des plans est proposée pour conclure ce travail.

Mots clés : LiDAR, mobile mapping, exploitation de nuages de points, classification, segmentation, plan topographique.

SUMMARY

The processing of point clouds provided by the mobile mapping systems is a major problematic of the surveyor profession's future. In fact, the acquired data is massive and complex and the modern computer tools propose effective solutions for a very short time. Those evolutions allow us to embrace the mobile mapping benefits wich brings a new set of problems. A mastering of the point clouds processing of far-reaching project become essential for a company who wants to win this new type of contracts.

This study proposes a processing chain to vectorize the point clouds into a topographical plan through a procedure distributed to employees. A thought about the control of the plans is proposed to conclude the study.

Key words : LiDAR, mobile mapping, point cloud exploitation, segmentation, feature extraction, topographical plan