

Du nuage à la maquette 3D avec des logiciels libres



Thèse de Bachelor

2017

Auteur : Perler Florian

Professeur responsable : M. Vincent Barras

Expert : M. Guillaume Chapotte

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement :

M. Vincent Barras, professeur à la HEIG-VD et professeur responsable de ce travail de Bachelor, pour le soutien apporté, la mise à disposition des données et la disponibilité tout au long du projet.

M. Guillaume Chapotte, expert de ce travail de Bachelor, pour les conseils fournis lors de la séance intermédiaire qui ont été grandement utiles.

M. Arthur Mancini, assistant HES académique à la HEIG-VD, pour la disponibilité tout au long du projet et pour la fourniture des données de base.

Le laboratoire de topométrie de l'institut « INSIT » pour la proposition du sujet de ce travail.

M. Bertrand Cannelle, professeur à la HEIG-VD, pour l'aide et les idées apportées concernant la diffusion des données.

Ma famille pour la relecture du rapport et des annexes.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

| | |
|---------|---|
| GGT | Géomatique et gestion de l'environnement |
| HEIG-VD | Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud |
| INSIT | Institut d'ingénierie du territoire |
| MNT | Modèle numérique de terrain |
| 3D | Trois dimensions |
| 3DR | 3DReshaper (logiciel de traitement de nuages de points payant) |
| GB | « Gigabyte » est une unité de mesure de stockage en informatique |
| ICP | « Interactive Closest Point » ¹ est une méthode d'assemblage de nuages |
| CC | CloudCompare (logiciel de traitement de nuages de points « open source ») |

¹ http://www-evasion.inrialpes.fr/people/Franck.Hetroy/Teaching/ProjetsImage/2007/Bib/besl_mckay-pami1992.pdf

AVANT-PROPOS

Cette thèse de Bachelor clôture les six semestres passés à la HEIG-VD au sein de l'orientation géomatique et gestion du territoire (GGT) à Yverdon-les-Bains. Elle se déroule du 22 mai au 28 juillet 2017, soit 10 semaines à temps plein. Etant le plus grand projet de ces trois années scolaires, chaque élève dispose d'un professeur responsable qui encadre son travail afin de le soutenir et de l'aider en cas de besoin.

Nombreux sont les objectifs d'une telle recherche. Tout d'abord, il y a l'organisation tout au long du projet. Il faut être autonome et réussir à bien gérer son travail de manière à l'optimiser au maximum. Un tel projet fait également appel à plusieurs de nos outils récoltés durant ces dernières années et bien évidemment en approfondir ou même en découvrir d'autres afin d'élargir encore de nouveaux horizons.

Les sujets de ces travaux sont souvent proposés par des bureaux privés mais peuvent également être amenés par les diplômants eux-mêmes. Durant toute la durée de l'étude, un professeur responsable encadre l'étudiant et par la suite l'évalue avec un expert désigné.

Ce travail s'adresse directement aux professionnels de la géomatique. De ce fait, plusieurs mots techniques ne seront pas expliqués car ce sont des termes connus de la profession.

Ce rapport fait partie intégrante du rendu final qui est composé de :

- Rapport
- Annexes
- CD/DVD qui contient les fichiers informatiques
- Poster de présentation

RÉSUMÉ

Depuis de nombreuses années, le laboratoire de topométrie travaille dans le relevé 3D via laser scanner terrestre. Les logiciels utilisés sont essentiellement des outils propriétaires des constructeurs ou des logiciels de modélisation du marché.

Le monde libre propose, depuis passablement de temps, des approches intéressantes de la lasergrammétrie. Même si les principaux développements ne sont pas orientés vers des traitements géomatiques, les algorithmes proposés peuvent aussi offrir d'intéressantes alternatives, voire même de remplacer avantageusement des outils payants.

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'intérêt technique et en termes d'efficience, l'utilisation des logiciels libres pour les différentes étapes auxquelles est confronté un bureau en géomatique qui doit traiter des mandats de lasergrammétrie, de son acquisition à sa diffusion, en passant par sa modélisation.

Ce travail est découpé en trois grandes phases. La première partie est une brève introduction afin de poser le contexte et décrire les différents éléments qui ont été utilisés tout au long de cette étude. La deuxième possède la plus grande part de ce rapport car elle concerne le côté pratique avec tous les essais et toutes les comparaisons qui ont été faits. Pour terminer, la dernière partie contient la conclusion où les difficultés et les perspectives d'amélioration de cette thèse seront mises en avant afin de poser un regard critique sur l'analyse de ce travail.

La partie pratique de ce travail mérite de s'y attarder un peu plus car c'est celle qui occupe la plus grande place de ce rapport et surtout la partie principale de cette thèse. Dans sa configuration, elle peut encore être subdivisée en quatre sous-groupes car dans un premier temps, c'est le côté prise en main des logiciels qui a été comparé. Puis, la deuxième partie est la plus conséquente, c'est celle de la réalisation d'une maquette. Ensuite, le troisième morceau est une phase de suivi de déformations entre deux états. Enfin, pour conclure, une dernière approche sera celle de la diffusion de ces données. Ces sous-groupes peuvent se résumer ainsi :

Comparaison entre logiciel

Dans la première phase, la comparaison entre les supports, les aides et les forums en ligne sont évalués. Le monde libre a bonne réputation en ce qui concerne ce type de documentation. Que ce soit, CloudCompare, MeshLab ou FreeCAD, tous possèdent des aides et des forums mais avec des réactivités plus ou moins différentes. De plus, une comparaison a également été faite entre la navigation et les limites des logiciels en termes de taille de fichiers. À ce niveau-là, MeshLab propose une navigation très pratique mais il se trouve plus vite limité lorsque des objets de tailles importantes sont importés par rapport à CloudCompare.

Réalisation d'une maquette

La plus grande phase de comparaison est celle de la réalisation d'une maquette où plusieurs étapes sont nécessaires afin d'y arriver. La partie terrain est mise de côté en prenant directement des données déjà acquises par des scanners. Mais très vite un problème se dresse devant l'utilisation des nuages de points exportés des scanners. Ceux-ci se trouvent, pour les données utilisées, souvent dans des formats qui sont propres aux constructeurs, à savoir « *.fls » pour FARO et « *.rxp » pour Riegl. Aucune solution gratuite de transformation d'extension n'a encore été trouvée et pour la suite, le logiciel 3DR a été nécessaire afin de poursuivre les prochaines étapes.

Ensuite, l'aspect assemblage et géoréférencement des nuages de points sont traités. Des solutions libres existent et obtiennent des résultats équivalents à ceux des logiciels propriétaires. Cependant, elles sont moins automatisées que les logiciels payants. Néanmoins, CloudCompare propose une détection semi-automatique de sphères et surtout laisse l'utilisation de grandes coordonnées possible, comme celles utilisées en Suisse ($E=1'200'000$ et $N=2'600'000$), ce qui n'est pas le cas de MeshLab.

Une fois les nuages assemblés et géoréférencés, une section « nettoyage et filtrage » est étudiée. Là encore, CloudCompare est la solution libre la plus intéressante pour ces deux étapes car il possède des outils plus variés que son homologue gratuit. Il est également largement concurrentiel face aux logiciels propriétaires en ayant des fonctions similaires à ceux-ci. Le nettoyage d'un nuage de points est très important car il conditionne et facilite le travail de la prochaine partie, à savoir la modélisation.

Cette prochaine étape est morcelée en trois parties, soit le maillage pour ce qui est de la triangulation, la digitalisation pour ce qui est de la construction en fonction d'un point du nuage et la modélisation qui est en fonction de plusieurs points du nuage (fonction de meilleur plan par plusieurs points, par exemple). C'est pour toutes les parties de digitalisation que le logiciel FreeCAD est nécessaire car une fonction de création de plans existe dans CloudCompare mais il est impossible de les modifier. Pour le maillage, MeshLab et CloudCompare offrent des résultats équivalents à ceux de 3DR mais l'outil utilisé donne un maillage fermé qui nécessite un post-traitement. De ce fait, c'est le second logiciel qui est recommandé car il propose une solution rapide de suppression des parties du maillage extrapolées.

Dans cette première partie expérimentale, une dernière étape a été étudiée. Il s'agit de la texturisation. Ce test démontre une possibilité gratuite avec MeshLab néanmoins elle n'est pas comparable à l'utilisation du logiciel 3DR. Étant trop fastidieuse et complexe, cette méthode, via le logiciel libre, ne procède pas avec des points homologues mais plutôt avec un positionnement manuel de la photo dans l'espace 3D.

Suivie des déformations

La troisième partie se concentre sur le suivi de déformations qui comprend le filtrage, le maillage ainsi que l'inspection entre deux états. Toutes ces étapes ont été précédemment faites par le laboratoire de topométrie de la HEIG-VD sur la falaise d'Hauterive (FR). Le but est de comparer si, à l'aide de logiciels libres, les conclusions entre deux états sont les mêmes que celles obtenues par le laboratoire. Le logiciel CloudCompare a assuré l'entier du processus à l'aide de l'outil « CANUPO » pour le filtrage (sur un plan vertical) ainsi que son outil de maillage déjà utilisé dans la partie précédente. C'est aussi ce logiciel qui a assumé l'inspection entre les états, autrement dit, la comparaison entre deux acquisitions différentes dans le temps. Les conclusions entre le procédé du laboratoire de topométrie (payante) et celui de cette thèse (gratuite) sont les mêmes. Cela signifie que la solution gratuite existe pour ce type de travail.

Diffusion des données

La dernière partie concerne la diffusion des données. Celle-ci concerne la visualisation 3D de produits finis. La correspondance en 2D pourrait être le plan. Plusieurs diffuseurs web ou « viewer » de logiciels existent. Malheureusement, ceux-ci dépendent beaucoup des besoins de l'utilisateur ou des clients et la solution miracle à ce sujet n'a pas encore été trouvée. Les possibilités de mesures de distances ou de texturisations sont les plus grandes spécificités entre les différentes solutions gratuites.

Tous les détails et toutes les démarches de ces propos sont à retrouver dans ce rapport.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| Remerciements | 1 |
| Avant-propos | 3 |
| Résumé..... | 4 |
| 1 Introduction | 11 |
| 1.1 Définition du mandat | 11 |
| 1.2 Cahier des charges..... | 12 |
| 1.3 Données à disposition | 12 |
| 1.4 Choix des logiciels libres | 12 |
| 1.5 Logiciels « open source » utilisés | 13 |
| 1.5.1 CloudCompare..... | 13 |
| 1.5.2 MeshLab | 13 |
| 1.5.3 FreeCAD | 13 |
| 1.6 Logiciels complémentaires (payants) | 14 |
| 1.6.1 FaroScene | 14 |
| 1.6.2 3DReshaper | 14 |
| 2 Comparaison de logiciels « open source »..... | 15 |
| 2.1 Supports des logiciels | 15 |
| 2.1.1 Récapitulatif | 16 |
| 2.2 Navigation dans les logiciels..... | 16 |
| 2.3 Limite de taille des nuages de points | 16 |
| 3 Réalisation d'une maquette | 17 |
| 3.1 Export des nuages de points du scanner..... | 17 |
| 3.2 Assemblage..... | 18 |
| 3.2.1 Résultat..... | 18 |
| 3.2.2 Contrôle | 21 |
| 3.2.3 Récapitulatif | 21 |
| 3.3 Géoréférencement | 22 |
| 3.3.1 Résultat..... | 22 |
| 3.3.2 Contrôle | 24 |
| 3.3.3 Récapitulatif | 25 |
| 3.4 Nettoyage | 26 |
| 3.4.1 Résultat..... | 26 |
| 3.4.2 Récapitulatif | 26 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.5 | Filtrage sur un plan horizontal | 27 |
| 3.5.1 | CloudCompare..... | 27 |
| 3.5.2 | Résultat..... | 28 |
| 3.5.3 | Comparaison..... | 29 |
| 3.5.4 | Récapitulatif | 30 |
| 3.6 | Maillage | 30 |
| 3.6.1 | CloudCompare..... | 31 |
| 3.6.2 | MeshLab | 33 |
| 3.6.3 | Comparaison des résultats | 35 |
| 3.6.4 | Récapitulatif | 37 |
| 3.7 | Modélisation..... | 37 |
| 3.7.1 | CloudCompare..... | 37 |
| 3.7.2 | FreeCAD (méthode digitalisation) | 39 |
| 3.7.3 | Mixte CloudCompare et FreeCAD (méthode modélisation) | 40 |
| 3.7.4 | Récapitulatif | 40 |
| 3.8 | « Texturisation »..... | 40 |
| 3.8.1 | MeshLab | 41 |
| 3.8.2 | Résultat..... | 41 |
| 3.8.3 | Récapitulatif | 42 |
| 3.9 | Conclusion de la « Réalisation d'une maquette »..... | 43 |
| 4 | Suivi de déformations | 45 |
| 4.1 | Filtrage sur un plan verticale | 45 |
| 4.1.1 | CloudCompare..... | 45 |
| 4.1.2 | Comparaison..... | 46 |
| 4.1.3 | Récapitulatif | 48 |
| 4.2 | Maillage | 48 |
| 4.2.1 | Comparaison..... | 49 |
| 4.2.2 | Récapitulatif | 50 |
| 4.3 | Comparaison | 50 |
| 4.3.1 | CloudCompare..... | 50 |
| 4.3.2 | MeshLab | 51 |
| 4.3.3 | Comparaison..... | 51 |
| 4.3.4 | Récapitulatif | 53 |
| 4.4 | Résultat final..... | 53 |
| 4.5 | Conclusion du « Suivi de déformation »..... | 55 |

| | |
|---|-------------|
| 5 Diffusion..... | 56 |
| 5.1 Web | 56 |
| 5.1.1 Sketchfab | 56 |
| 5.1.2 P3d.in..... | 57 |
| 5.1.3 3DVIEWERonline | 57 |
| 5.1.4 Récapitulatif | 58 |
| 5.2 « Logiciel » | 58 |
| 5.2.1 PDF 3D | 58 |
| 5.2.2 MiniMagics | 59 |
| 5.3 Conclusion de la « Diffusion » | 60 |
| 6 Difficultés | 61 |
| 6.1 Nouveaux logiciels..... | 61 |
| 6.2 Langue | 61 |
| 7 Perspectives | 62 |
| 7.1 Export des scanners (extensions)..... | 62 |
| 7.2 Marching Cube (maillage MeshLab)..... | 62 |
| 7.3 Texturisation..... | 62 |
| 7.4 Diffusion | 62 |
| 8 Conclusion | 63 |
| 9 Bibliographie | 65 |
| 10 Annexes..... | I |
| 11 Annexes informatiques (sur CD)..... | XLIV |

TABLE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : État des forums des logiciels gratuits au 07.07.2017 | 15 |
| Figure 2 : Tableau récapitulatif des supports des logiciels gratuits utilisés | 16 |
| Figure 3 : Style de navigation de FreeCAD | 16 |
| Figure 4 : Les étapes de la réalisation d'une maquette connues à l'aide de logiciels payants | 17 |
| Figure 5 : Éléments pour l'assemblage de scans | 18 |
| Figure 6 : Scannage d'une sphère entre deux scans | 18 |
| Figure 7 : Tableau des erreurs en sortie dans CloudCompare | 19 |
| Figure 8 : Tableau des erreurs en sortie dans SCENE..... | 19 |
| Figure 9 : Avant/après assemblage de deux nuages sur MeshLab | 20 |
| Figure 10 : Erreur ICP de CloudCompare..... | 20 |
| Figure 11 : Contrôles effectués pour l'assemblage des nuages sur CloudCompare | 21 |
| Figure 12 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des logiciels testés pour l'assemblage de nuages | 22 |
| Figure 13 : Résultat du géoréférencement des logiciels (SCENE, CloudCompare et MeshLab)..... | 23 |
| Figure 14 : Avant/après géoréférencement sur CloudCompare | 24 |
| Figure 15 : Contrôles effectués pour le géoréférencement..... | 24 |
| Figure 16 : Tableau des résultats des contrôles du géoréférencement..... | 25 |
| Figure 17 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des logiciels testés pour le géoréférencement du nuage..... | 25 |
| Figure 18 : Avant/après nettoyage du nuage de points, exemple sur CloudCompare | 26 |
| Figure 19 : Paramètre de CloudCompare pour le meilleur filtrage..... | 28 |
| Figure 20 : Résultat du filtrage de CloudCompare | 28 |
| Figure 21 : Résultat du filtrage de 3DReshaper..... | 28 |
| Figure 22 : Inspection nuage-nuage après filtrage entre 3DR et CloudCompare (coloré sur le nuage de 3DR) | 29 |
| Figure 23 : Inspection nuage-nuage après filtrage entre 3DR et CloudCompare (coloré sur le nuage de CloudCompare)..... | 29 |
| Figure 24 : Méthode de maillage « Delaunay » | 30 |
| Figure 25 : Méthode de maillage « Poisson Surface Reconstruction » | 30 |
| Figure 26 : Paramètres idéals du maillage pour un MNT sur l'échantillon testé avec la méthode « Poisson Surface Reconstruction » de CloudCompare | 31 |
| Figure 27 : Nuage de points utilisé pour le maillage (CloudCompare)..... | 31 |
| Figure 28 : Le maillage avec les meilleurs paramètres pour un MNT (CloudCompare)..... | 32 |
| Figure 29 : Histogramme du maillage méthode poisson sur CloudCompare | 32 |
| Figure 30 : Avant/après filtrage du maillage selon l'histogramme sur CloudCompare | 32 |
| Figure 31 : Triangulation et nuage de points du maillage (CloudCompare) | 33 |
| Figure 32 : Paramètres idéales de maillage pour un MNT sur l'échantillon testé avec l'outil « Screened Poisson Surface Reconstruction » de Meshlab | 33 |
| Figure 33 : Nuage de points pour comparaison avec le maillage (MeshLab) | 34 |
| Figure 34 : Le maillage avec la méthode « Screened Poisson Surface Reconstruction » avec les meilleurs paramètres pour un MNT (MeshLab)..... | 34 |
| Figure 35 : Le maillage avec la méthode « Marching Cubes (APSS) » de MeshLab | 34 |
| Figure 36 : Nuage de points utilisé pour les maillages avec une représentation Google Maps | 35 |
| Figure 37 : Résultat de la comparaison des maillages entre 3DR et CloudCompare (colorié sur 3DR) | 36 |
| Figure 38 : Résultat de la comparaison des maillages entre 3DR et MeshLab (colorié sur 3DR)..... | 36 |
| Figure 39 : Extraction d'un plan moyen sur le nuage de points..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Figure 40 : Paramètres de l'outil de détection de forme dans CloudCompare | 38 |
| Figure 41 : Outil de détection automatique de forme (plan) dans CloudCompare | 38 |
| Figure 42 : Résultat de la détection automatique de forme (plan) dans CloudCompare | 38 |
| Figure 43 : Étapes de la modélisation du bâtiment de la maquette | 39 |
| Figure 44 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des logiciels testés pour la modélisation..... | 40 |
| Figure 45 : Défaut de « texturisation » si la modélisation comporte plusieurs faces..... | 41 |
| Figure 46 : Résultats de la « texturisation » 3DR et MeshLab..... | 41 |
| Figure 47 : Espace de travail de MeshLab pour la « texturisation » | 42 |
| Figure 48 : Espace de travail de 3DR pour la « texturisation » | 42 |
| Figure 49 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des logiciels testés pour la texturisation | 42 |
| Figure 50 : Les étapes de la réalisation d'une maquette à l'aide de logiciels payants et gratuits | 43 |
| Figure 51 : Tableau comparatifs de chaque étape de la réalisation d'une maquette | 44 |
| Figure 52 : Premier test avec l'outil « CANUPO » de CloudCompare sur une falaise | 45 |
| Figure 53 : Comparaison via 3DR entre le nuage « brut » et le nuage filtré | 46 |
| Figure 54 : Deuxième test avec l'outil « CANUPO » de CloudCompare sur le nuage utilisé pour la maquette..... | 46 |
| Figure 55 : Comparaison via 3DR entre le filtrage du test 1 (figure 52) de « CANUPO » et celui de l'institut de topométrie | 47 |
| Figure 56 Comparaison via 3DR entre le deuxième filtrage de « CANUPO » et celui de l'institut..... | 47 |
| Figure 57 : Les paramètres utilisés pour le maillage de la falaise | 48 |
| Figure 58 : Comparaison via 3DR entre le maillage de CloudCompare et celui du laboratoire de topométrie (colorié sur CC) | 49 |
| Figure 59 : Comparaison via 3DR entre le maillage de CloudCompare et celui du laboratoire de topométrie (colorié sur 3DR) | 49 |
| Figure 60 : Outil de comparaison entre 2 entités 3D de CloudCompare | 50 |
| Figure 61 : Outil de comparaison entre 2 entités 3D de MeshLab..... | 51 |
| Figure 62 : Outil de coloriage de la comparaison d'entités 3D de MeshLab..... | 52 |
| Figure 63 : Outil de modification de l'histogramme pour la comparaison de deux entités 3D (CloudCompare et 3DR)..... | 52 |
| Figure 64 : Tableau récapitulatif de la comparaison d'objet 3D | 53 |
| Figure 65 : Résultat de la comparaison « maillage-maillage » entre l'état 3 et l'état 4 avec CloudCompare (coloré sur état 3)..... | 54 |
| Figure 66 : Résultat de la comparaison « maillage-maillage » entre l'état 3 et l'état 4 avec CloudCompare (Coloré sur l'état4) | 54 |
| Figure 67 : Comparaison de l'inspection via CloudCompare et 3DR..... | 55 |
| Figure 68 : Affichage de modèle 3D sur Sketchfab (maillage avec texture/nuage de points) | 56 |
| Figure 69 : Visualisation par section de « 3DVIEWERonline » | 57 |
| Figure 70 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des diffuseurs web | 58 |
| Figure 71 : Exemple de mesure sur le viewer « MiniMagics » | 59 |
| Figure 72 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des diffuseurs « logiciels »..... | 60 |

1 INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, le laboratoire de topométrie travaille dans le relevé 3D via laser scanner terrestre. Les logiciels utilisés sont essentiellement des outils propriétaires des constructeurs ou des logiciels de modélisation du marché. De ce fait, de nombreux bureaux investissent dans ces logiciels propriétaires, payants et souvent chers. L'école se trouve également dans la même situation, malgré des prix favorables grâce à son statut d'éducation, n'échappe pas à l'utilisation de ces logiciels.

Le monde libre propose, depuis passablement de temps, des approches intéressantes de la lasergrammétrie. Même si les principaux développements ne sont pas directement orientés vers des traitements géomatiques, les algorithmes proposés peuvent aussi offrir d'intéressantes alternatives, voire même de remplacer avantageusement des outils payants.

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'intérêt technique et en termes d'efficience, l'utilisation des logiciels libres pour les différentes étapes auxquelles est confronté un bureau en géomatique qui doit traiter des mandats de lasergrammétrie, de son acquisition à sa diffusion, en passant par sa modélisation.

Ce document peut se découper en trois parties bien distinctes. Tout d'abord, une introduction sera présentée, où le contexte sera posé et une brève description des logiciels utilisés sera exposée. Ensuite, la phase pratique sera mise en avant. Les différents tests faits à l'aide de plusieurs logiciels seront comparés. Pour terminer, la dernière partie avancera les difficultés rencontrées ainsi que les éléments d'améliorations potentiels afin de porter un regard critique sur cette étude.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il faut savoir que dans les premières annexes se trouvent plusieurs outils utiles et très pratiques concernant les logiciels gratuits utilisés. Vous pouvez également retrouver quelques modes d'emploi et paramètres d'outils qui ont permis la réussite de certaines tâches. La priorité était de mettre en avant les avantages ou les inconvénients des logiciels par rapport à d'autres plutôt que les méthodes utilisées. C'est pour cette raison que les résultats ainsi que les comparaisons sont mis en avant plutôt que les outils ou les méthodes utilisés.

1.1 Définition du mandat

Lors du travail de Bachelor, deux possibilités s'offrent à l'étudiant. Soit, il peut proposer lui-même un sujet à un professeur. Soit, il choisit un des sujets proposés par les enseignants qui sont souvent des demandes de bureaux privés.

Pour ma part, c'est la deuxième possibilité qui a été choisie et c'est le sujet « Du nuage à la maquette 3D avec des logiciels libres » proposé par le laboratoire de topométrie de l'institut « INSIT » qui a retenu mon attention.

Concernant ce sujet, le professeur responsable est Monsieur Vincent Barras. Après un entretien passé préalablement au travail de Bachelor, les grandes lignes ont pu être soigneusement définies à l'aide d'une liste précédemment faite sur les directions préférentielles de recherche de l'étudiant. C'est de cette manière que le mandat a pu être fixé définitivement.

1.2 Cahier des charges

Le cahier des charges a été écrit par le professeur responsable, Monsieur Vincent Barras. Un résumé de quelques lignes est proposé dans ce chapitre mais je vous invite à le retrouver entièrement en copie dans l'annexe 10.1.

Dans ce cahier des charges, trois grandes lignes peuvent être extraites. Il s'agit tout d'abord d'évaluer le potentiel des logiciels gratuits concernant la réalisation d'une maquette 3D. Est-ce que tout le processus est faisable à l'aide de ces programmes ? De l'assemblage des scans à la modélisation, en passant par le géoréférencement.

Puis, la recherche se penchera sur le suivi de déformations. Est-ce que des logiciels « open source » disposent d'outils de filtrage et d'inspection de nuages ou de maillages dans le but de suivre des décrochements de falaises, par exemple ?

Pour terminer, l'étude se concentrera sur la partie diffusion des données. Trouve-t-on des sites, des plateformes où l'on peut partager des modèles 3D ou alors en visualiser d'autres de manière gratuite.

1.3 Données à disposition

De nombreuses données étaient disponibles grâce aux importants travaux de lasergrammétrie qui sont effectués dans à la HEIG-VD. Dans un premier temps, un jeu de données d'une salle de classe (D01) de la HEIG-VD ont été transmis. Il est issu du scanner « Faro ». Deux nuages ont été utilisés pour effectuer les premières étapes du chapitre 3 (réalisation d'une maquette), à savoir l'assemblage et le géoréférencement du nuage de points.

Dans un second temps, un deuxième jeu de données est venu s'ajouter. Celui-ci est issu de scans faits à l'aide du scanner « Riegl » durant le travail de maquette du semestre de printemps 2016 (Pomy). Etant plus simple à modéliser du fait de se trouver à l'extérieur du bâtiment, c'est pour cette raison que le changement de données a été fait. Ces données ont également été demandées car le scanner avait balayé une grande surface autour des bâtiments, ce qui a permis d'effectuer les tests de maillage qui seront expliqués dans le chapitre 3.6 (Maillage).

Les derniers nuages de points qui ont été fournis sont ceux issus de plusieurs scannages d'une falaise. Ces données serviront à la partie « Suivie de déformations » au chapitre 4. Elles ont été acquises par le laboratoire de topométrie de la HEIG-VD et le but sera de reproduire quelques étapes clés du traitement qui ont été réalisées comme le filtrage et la comparaison entre deux états.

1.4 Choix des logiciels libres

Le choix des logiciels s'est passé en deux parties. La première phase s'est basée sur les propositions des softs fournis dans le cahier des charges. C'est le cas de CloudCompare et de MeshLab. Grâce à ces logiciels, les premières étapes ont rapidement avancé en raison des multiples possibilités qu'offraient ces programmes.

Dans un second temps, les recherches sur différents forums ou revues internet ont été nécessaires afin de compléter les étapes de la thèse qui n'était plus réalisable avec les précédents logiciels cités. C'est notamment le cas pour les parties « Modélisation » au chapitre 3.7 et « Diffusion » au chapitre 4.

1.5 Logiciels « open source » utilisés

1.5.1 CloudCompare

Version : v2.8.1



CloudCompare² est un logiciel « open source » qui est dédié au traitement 3D de nuages de points. Selon leur site, il a tout d'abord été conçu dans le but d'effectuer des analyses entre deux nuages ou entre un nuage de points et un maillage. Aujourd'hui, il est possible d'assembler des nuages de points, d'obtenir un maillage ou encore de filtrer un nuage.

Dans cette recherche, il a été utilisé pour :

- L'assemblage (chapitre 3.2)
- Le géoréférencement (3.3)
- Le nettoyage (3.4)
- Le filtrage
 - D'un plan horizontal (3.5)
 - D'un plan vertical (4.1)
- Le maillage (3.6)
- La modélisation (3.7)
- La comparaison d'entités 3D (4.3)

1.5.2 MeshLab

Version : 2016.12

Meshlab³ est également un logiciel de traitement de nuages de points 3D « open source ». Il est notamment possible de faire du nettoyage, du maillage ou encore de l'inspection de nuages de points.

Dans ce travail, il a été utilisé pour :



- L'Assemblage (chapitre 3.2)
- Le géoréférencement (3.3)
- Le nettoyage (3.4)
- Le maillage (3.6)
- La texturisation (3.8)
- La comparaison d'entités 3D (4.3)

1.5.3 FreeCAD

Version : 0.16



FreeCAD⁴ est un logiciel « open source » essentiellement consacré à la modélisation 3D. Facile d'accès, il permet une grande liberté et de multiples façons de construire un objet. Il a le grand avantage d'être en français et surtout de pouvoir importer un nuage de points, ce qui n'est pas le cas pour d'autres logiciels de digitalisation⁵.

Dans ce projet, il a été utilisé pour :

- La digitalisation (chapitre 3.7)

² Logo : https://pbs.twimg.com/profile_images/587904387621773313/Tx6UB69W_400x400.jpg

³ Logo : http://meshlab.sourceforge.net/images/icons/eye_cropped.png

⁴ Logo : <https://www.facebook.com/FreeCAD>

⁵ Ce terme est expliqué au chapitre 3.7 (modélisation)

1.6 Logiciels complémentaires (payants)

1.6.1 FaroScene

Version : 6.2.4.30



SCENE⁶ est le logiciel de traitement des nuages de points des scanners « FARO ». Ce programme dispose de fonctions d'assemblage et de géoréférencement avec une reconnaissance automatique de cibles.

Dans ce rapport, ce soft sera pris comme base de comparaison pour les étapes suivantes :

- L'assemblage (chapitre 3.2)
- Le géoréférencement (3.3)

1.6.2 3DReshaper

Version utilisée : 2016

3DReshaper⁷ est un logiciel payant développé par la société TECHNODIGIT. Il est destiné au traitement de nuages de points. Facile à prendre en main, c'est un outil aux multiples fonctions. Il possède énormément de fonctions que ce soit pour de la modélisation, pour le maillage ou encore pour l'inspection.



Dans cette thèse, ce logiciel a été utilisé pour :

- La transformation des extensions des nuages de points (chapitre 3.1 et 3.7.2)

Et il servira de base de comparaison pour les étapes suivantes :

- Le nettoyage (chapitre 3.4)
- Le filtrage (3.5)
- Le maillage (3.6)
- La modélisation (3.7)
- La texturisation (3.8)
- La comparaison entre deux entités 3D (4.3)

⁶ Logo SCENE : <http://www.cad-tec.co.uk/images/farosceneweb.jpg>

⁷ Logo : http://www.3dreshaper.com/images/3dr_icon_2016.png

2 COMPARAISON DE LOGICIELS « OPEN SOURCE »

Ce premier chapitre de comparaison servira à poser quelques bases sur les logiciels gratuits utilisés avant de parler de leurs outils à proprement dit. L'objectif est de comparer l'approche de ces logiciels lors d'une première utilisation et connaître leurs limites sur la taille d'importation des fichiers.

2.1 Supports des logiciels

Avant d'entrer dans les nuages de points, une première comparaison entre supports de logiciels va être faite afin de visualiser l'aide qui peut être fournie lorsqu'un nouveau logiciel est pris en main pour la première fois. Il est important de se renseigner sur les supports ou les documentations existantes qui permettent d'entrer rapidement et plus facilement en matière. Les softs gratuits ont la réputation d'avoir des documentations facilement accessibles en ligne et également des forums très actifs.

Concernant la première comparaison entre documentations, MeshLab est un petit peu en retrait par rapport aux autres concurrents car il n'existe pas de réelles documentations en ligne mais plutôt des liens sur des supports, écrits généralement par les développeurs d'une fonction. CloudCompare et FreeCAD ont une documentation en ligne avec un détail sur chaque outil qu'il est possible d'utiliser.

MeshLab se rattrape très largement par son support vidéo. Ce logiciel possède une chaîne de tutoriel « Youtube » pour beaucoup de ces outils et cette façon de procéder aide énormément la prise en main du logiciel. FreeCAD dispose également de beaucoup de vidéos qui sont spécialisées dans la modélisation alors que CloudCompare dispose que de quelques vidéos issues de différents utilisateurs.

Pour continuer dans les comparaisons, les trois logiciels disposent de forums mais les réponses aux questions quant à elles ne sont pas équivalentes partout. Le plus lent est le logiciel MeshLab où les réponses prennent en moyenne quelques mois avant d'arriver. Ensuite, il y a FreeCAD où, cette fois-ci, après quelques jours les réponses commencent à arriver. Pour terminer, CloudCompare qui donne des réponses le jour même où la question a été formulée. L'explication de la lenteur de MeshLab s'explique peut-être par le nombre d'utilisateurs qui sont inscrits et par conséquent le nombre de questions qui y sont posées. Plus de 7 millions, tandis que CloudCompare en a un peu plus de 2'000.

Une dernière comparaison est faite dans la figure 1 ci-dessous avec le nombre de questions qui restent sans réponse. Elles ont été mises en relation avec le nombre d'utilisateurs et on peut remarquer que ces deux sont fortement liés.

État au 7 juillet 2017, 10h43 :

| Logiciels | Utilisateurs | Questions sans réponse | % de question sans réponse par rapport aux utilisateurs |
|--------------|--------------|------------------------|---|
| MeshLab | 7'035'779 | 4'000'000 | 57 |
| FreeCAD | 12'318 | 1'000 | 8 |
| CloudCompare | 2'415 | 63 | 3 |

Figure 1 : État des forums des logiciels gratuits au 07.07.2017

2.1.1 Récapitulatif

Légende :

| |
|-------------|
| Très bon |
| Bon |
| Moyen |
| Faible |
| Très faible |

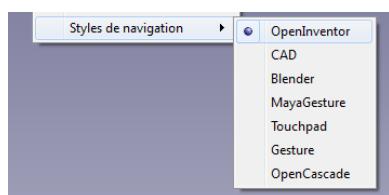
| Logiciels | Documentation | Vidéo | Forum |
|--------------|---------------|----------|----------|
| MeshLab | Faible | Très bon | Moyen |
| FreeCAD | Très bon | Bon | Bon |
| CloudCompare | Très Bon | Faible | Très bon |

Figure 2 : Tableau récapitulatif des supports des logiciels gratuits utilisés

2.2 Navigation dans les logiciels

Une autre approche sur les différents logiciels gratuits peut être faite avant de parler des nuages de points. Il s'agit, cette fois, d'une comparaison sur la navigation et la prise en main des logiciels utilisés dans les chapitres 3 « Réalisation d'une maquette » et 4 « Suivi de déformations ».

Entre les trois logiciels qui ont été utilisés, tous ont des méthodes différentes de naviguer. La plus complexe et variée est celle de FreeCAD qui laisse la possibilité de choisir plusieurs modes de



navigation comme le montre la figure 3 ci-contre. Concernant MeshLab et CloudCompare, le premier reste le plus agréable à naviguer avec des nuages de points inférieurs à 15 millions pour l'ordinateur utilisé. Malgré son « zoom » inversé par rapport aux autres logiciels, sa façon de changer le centre de rotation par un double-clic est très pratique et permet de facilement se déplacer dans le nuage.

Figure 3 : Style de navigation de FreeCAD

Dans les annexes 10.3.1 pour CloudCompare, 10.4.1 pour MeshLab et 10.5.1 pour FreeCAD, quelques outils pratiques sont expliqués dans le but de faciliter l'apprentissage de ces 3 logiciels aux personnes qui ne les auraient jamais employées.

2.3 Limite de taille des nuages de points

À partir de 15 millions de points dans le nuage, la navigation dans MeshLab devient compliquée. CloudCompare est meilleur à ce niveau-là car il supporte plus de 50 millions de points. Le test n'a pas été plus loin car les nuages de points utilisés n'atteignent pas plus de 50 millions de points.

À l'inverse, les logiciels 3DR et « SCENE » n'ont pas de problème à ouvrir un nuage de 50 millions de points avec le même ordinateur, soit celui accessible aux étudiants dans les salles informatiques. Cet ordinateur possède 16 GB de mémoire et 8 processeurs.

Ces résultats sont assez relatifs car les composantes des ordinateurs sont des facteurs déterminants dans la fluidité de navigation des logiciels « open source ». Les mêmes tests ont été faits à l'aide d'un ordinateur plus puissant (16 GB et 12 processeurs) et les résultats sont significativement différents concernant MeshLab où cette fois-ci jusqu'à 30 millions de points, il n'y a pas eu de problème. Toutefois, cette différence d'ordinateur n'a pas eu d'impact concernant les logiciels payants.

3 RÉALISATION D'UNE MAQUETTE

Ce chapitre a pour objectif de réaliser une maquette à l'aide de logiciels « open source » uniquement. Pour ce faire, des données ont déjà été acquises et elles sont seulement reprises pour les traiter. De ce fait, la première étape de la réalisation d'une maquette est mise de côté car le but est de comparer les outils gratuits, aux outils payants. N'existant pas de possibilité d'acquisition de données gratuites, la partie terrain est alors négligée. C'est pour cette raison que la première étape, qui va être étudiée, sera celle de l'export des nuages de points du scanner.

La réalisation de ce travail se décompose en quelques étapes clés qui se résument selon l'illustration ci-dessous (figure 4). La suite de ce chapitre 3 « Réalisation d'une maquette » est divisée en sous-chapitres qui sont principalement les étapes de cette figure 4.

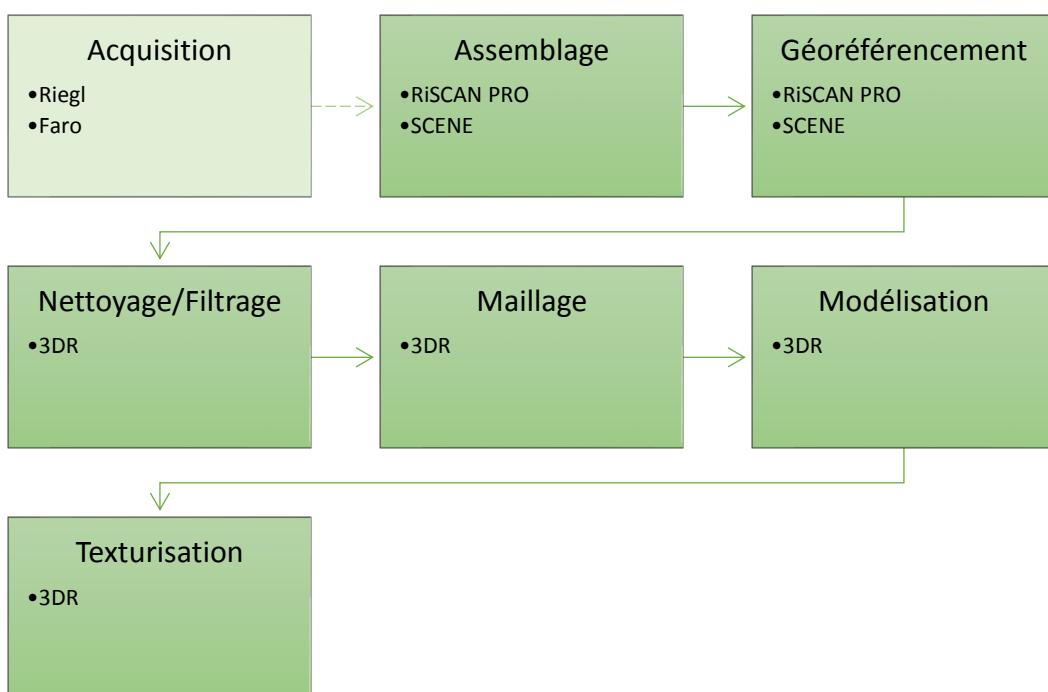


Figure 4 : Les étapes de la réalisation d'une maquette connues à l'aide de logiciels payants

Ce cheminement est celui qui a été effectué lors du travail de la maquette en 2016. La partie acquisition est laissée de côté pour les raisons qui ont été évoquées précédemment.

3.1 Export des nuages de points du scanner

Avant de passer à l'assemblage, une solution de transformation de format doit être trouvée afin de pouvoir traiter les nuages de points dans les logiciels gratuits qui ont été trouvés. Comme les données proviennent de fichiers avec des extensions issues du scanner par exemple « *.fls » pour FARO ou « *.rpx » pour Riegl, CloudCompare et MeshLab n'arrivent pas à les ouvrir. Pour ce faire, la transformation s'est faite à l'aide de 3DReshaper pour la solution « *.fls » vers « *.asc » et de « RiSCAN PRO » pour la solution « *.rpx » vers « *.asc ». Ces extensions de nuages de points sont souvent inutilisables par des logiciels gratuits. Les constructeurs tentent d'attacher leurs clients à leurs produits. C'est-à-dire, une fois le laser scanner acheté, il faut également acquérir le programme qui permet les premiers traitements de ces nuages car il est presque impossible avec d'autres logiciels et encore moins avec les programmes libres. Pour cette raison, il a été difficile de trouver une solution gratuite et cela reste encore une piste à découvrir si elle existe. Une fois ce détour par un programme payant accompli, le travail de comparaison a réellement pu démarrer.

3.2 Assemblage

Après avoir obtenu des nuages de points et de les avoir exportés, le passage suivant est celui du processus « d'assemblage ». Dans ce rapport, l'assemblage et le géoréférencement ont été séparés car dans les logiciels gratuits, ce sont deux étapes bien distinctes. Par contre, dans les logiciels propriétaires, ces étapes se font souvent simultanément.

3.2.1 Résultat

Aujourd'hui les logiciels de constructeurs offrent de très bonnes solutions d'assemblage de nuages de points. Le logiciel « SCENE » propose des détections automatiques de cibles (sphère, damier, ...) tout comme « RiSCAN PRO » pour ne citer qu'eux, mais les logiciels gratuits ont également des solutions concurrentielles.

3.2.1.1 Pointé manuel

Deux logiciels « open source » ont été testés. Il s'agit de CloudCompare et Meshlab qui sont des logiciels de traitement de nuages de points comme cela a déjà été cité un peu plus tôt dans ce rapport au chapitre 1.5 « logiciels open source utilisés ». Dans ces deux softs gratuits, l'assemblage de nuages est réalisable selon les deux vidéos du tutoriel de MeshLab⁸ et de « ForensicAnimations » pour CloudCompare⁹. Cependant, une grande différence entre les logiciels payants et gratuits a très rapidement été remarquée.

Cette différence est celle de la détection automatique des cibles qui est absente sur les programmes libres. Il existe tout de même une solution de détection sur CloudCompare mais uniquement pour les sphères. Cette proposition est une détection qui pourrait être appelée « semi-automatique » car il faut tout de même pointer dans le nuage l'endroit où la sphère se trouve. Cet outil est décrit plus en détail dans l'annexe 10.3.2.1. A part cette petite différence, les deux logiciels libres ont le même principe d'assemblage de nuages. C'est-à-dire, sélectionner un point considéré comme similaire aux deux nuages en cliquant dessus. Cette solution peut paraître quelque peu contraignante quant à l'utilisation de sphères sur MeshLab car la sélection du point sur une sphère ne se situe pas au centre de cette dernière. Comme la figure 6 le montre, l'enveloppe de la sphère (en rouge) sera scannée alors que le centre, jamais. Alors, il est impossible de sélectionner le point similaire aux deux scans. Les sphères et autres éléments similaires ne pourront pas être utilisés pour l'assemblage de scans dans MeshLab.

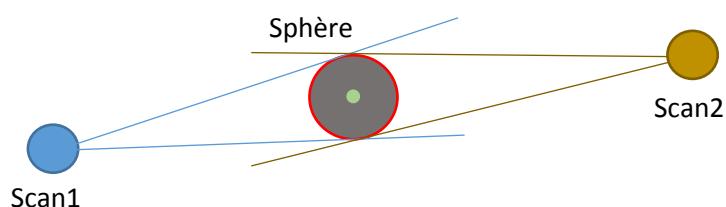


Figure 6 : Scanning d'une sphère entre deux scans

Malgré cela, l'assemblage des scans est très bien élaboré dans les deux logiciels. CloudCompare se détache très légèrement de MeshLab car celui-ci n'affiche pas les erreurs à la sortie de l'assemblage.



Figure 5 : Éléments pour l'assemblage de scans

⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=4g9Hap4rX0k>

⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=2mySiAS0Tfw>

Ci-dessous, le résultat de l'assemblage de CloudCompare, la précision des points d'assemblage ne dépasse pas le centimètre, ce qui est largement meilleur que la précision demandée en mensuration officielle dans le canton de Vaud, par exemple (3.5 centimètres pour un angle de bâtiments en NT2). Malheureusement, ces écarts ne sont, comme évoqués juste avant, pas disponibles sur MeshLab mais une comparaison sera tout même effectuée dans les contrôles au chapitre suivant (chapitre 3.2.2).

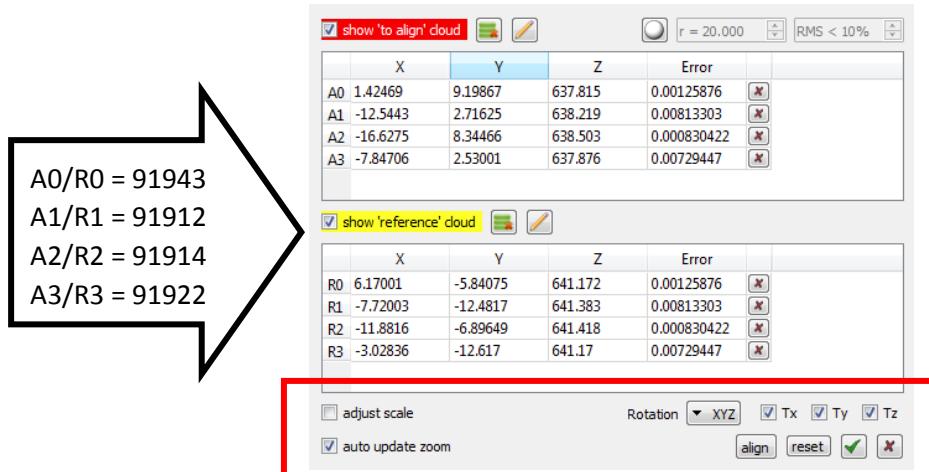


Figure 7 : Tableau des erreurs en sortie dans CloudCompare

Si l'on compare les écarts sur les points homologues de CloudCompare avec ceux obtenus sur SCENE ci-dessous, la différence n'est pas évidente. L'ordre de grandeur est le même, c'est-à-dire, les précisions sur les points d'assemblage ne dépassent pas le centimètre ce qui veut dire qu'à ce niveau-là, le logiciel propriétaire n'est pas meilleur que le logiciel gratuit. La grande différence est toute la partie basse encadrée en rouge dans la figure 7, où CloudCompare propose un ajustement de l'échelle ainsi que des contraintes sur les rotations ou les translations en X, Y ou Z sur le mouvement du nuage à aligner. Ces fonctions ne sont pas présentes dans MeshLab ni dans les autres logiciels payants. Cette option peut être un atout pour ce logiciel gratuit. La possibilité de supprimer un point, qui serait totalement faux, est également offerte sur CloudCompare en cliquant sur les croix rouges. Cette possibilité se trouve aussi sur les logiciels payants mais il est impossible de le faire sur MeshLab.

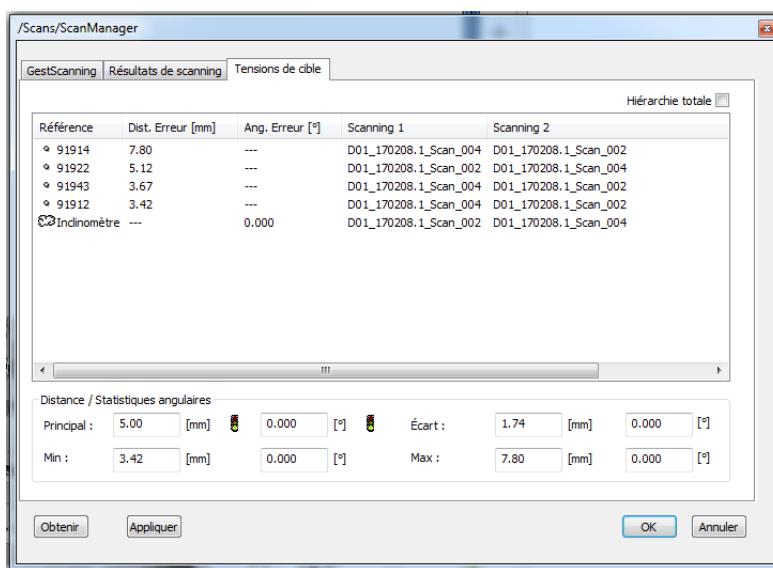


Figure 8 : Tableau des erreurs en sortie dans SCENE

Pour terminer, l'alternative gratuite est une solution concurrentielle aux logiciels payants si l'utilisation de sphères n'est pas obligatoire. Bien entendu, les logiciels payants sont plus maniables lors de nuages de points très lourds et offrent une solution d'assemblage plus automatique mais pour de petits et moyens chantiers, les logiciels gratuits n'ont pas à rougir et sont totalement en mesure de procéder au travail pour des nuages d'une raisonnable. CloudCompare peut même faire oublier le problème d'utilisation de sphères pour les logiciels « open source » grâce à sa recherche semi-automatique.

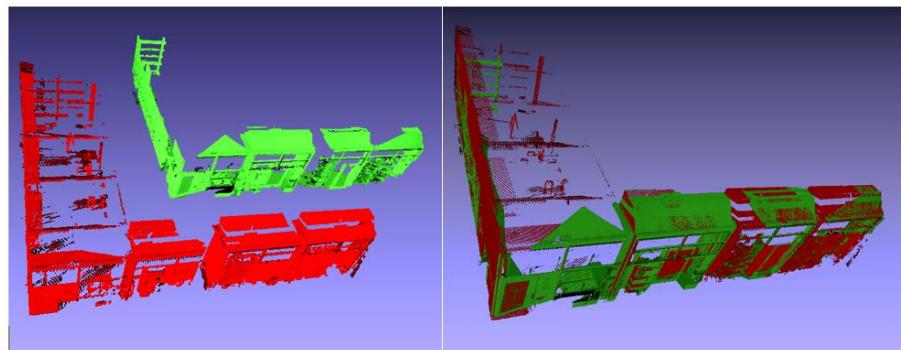


Figure 9 : Avant/après assemblage de deux nuages sur MeshLab

3.2.1.2 ICP (assemblage nuage-nuage automatique)

Concernant l'option d'assemblage nuage-nuage automatique, pour deux logiciels, c'est un processus qui se fait après avoir grossièrement assemblé les deux nuages de façon manuelle.

Concernant CloudCompare, il existe un outil d'assemblage de nuages automatique autrement dit « ICP » qui se trouve sous le même onglet que la registration manuel. Toutefois, ce paramètre n'est pas concluant pour ce logiciel car sur l'échantillon testé, il y a un décalage entre les deux nuages, comme on peut le voir sur la figure 10 ci-dessous.

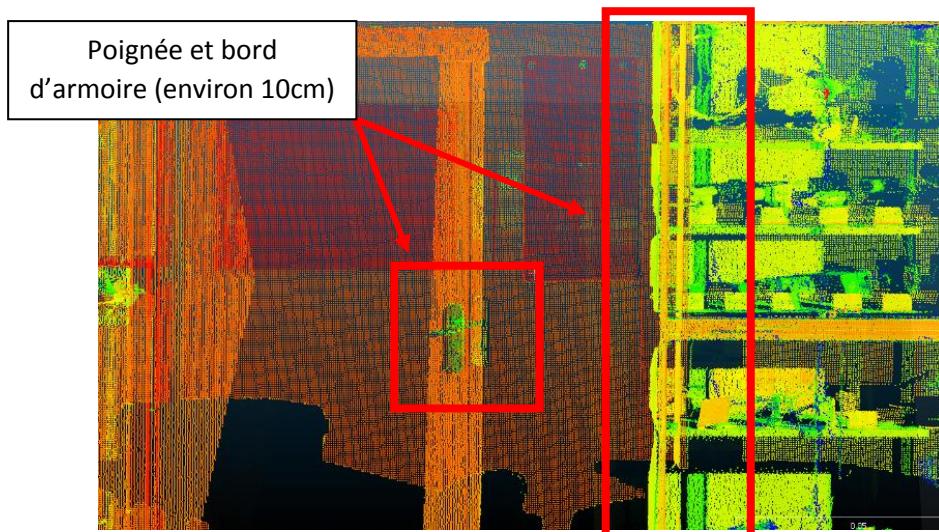


Figure 10 : Erreur ICP de CloudCompare

La poignée de la porte et le bord de l'armoire apparaissent deux fois. Entre les deux objets, il y a une distance d'environ 10 centimètres. Sur CloudCompare, cette solution n'est pas du tout concluante et elle est à mettre de côté car elle n'est pas fiable.

Par contre, pour MeshLab, il est directement intégré au processus d'alignement. Une fois l'alignement (assemblage) terminé, dans la même fenêtre, en cliquant sur « processus » un dernier paramètre « ICP » se fait automatiquement.

3.2.2 Contrôle

L'assemblage effectué sur les deux logiciels libres a été contrôlé à l'aide des traverses en béton de la salle de classe. Comme les scanners étaient de chaque côté de la pièce, les armatures en béton étaient vues uniquement d'une face par scanner. C'est pour cette raison que les contrôles ont pu être réalisés de cette façon. À l'aide d'une mesure faite au double-mètre sur les piliers, il a été possible de déterminer la dimension de référence « doit » de celui-ci. Elle a été ensuite comparée à celle obtenue après l'assemblage des deux nuages de points comme le montre l'illustration ci-dessous.

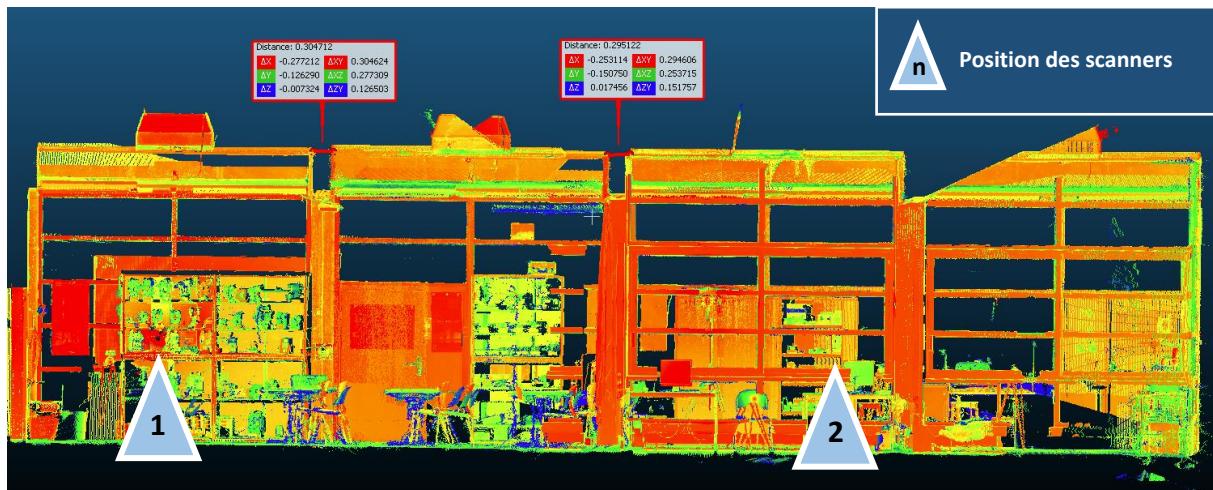


Figure 11 : Contrôles effectués pour l'assemblage des nuages sur CloudCompare

La dimension « doit » mesurée au double-mètre est de 30 centimètres. On s'aperçoit que les contrôles sont proches de cette valeur, avec 30.5 centimètres pour le premier et 29.5 centimètres pour le deuxième. La précision de l'assemblage peut être estimée à environ 1 centimètre. Le même contrôle a été effectué sur MeshLab, les valeurs de 29.7 et de 29.9 centimètres ont été obtenues, ce qui est un peu meilleur que CloudCompare mais qui reste dans le même ordre de grandeur. Ce n'est pas sur ce critère qu'une différence sera remarquée car la précision est similaire entre les deux logiciels.

3.2.3 Récapitulatif

Pour conclure cette étape, si la base de la comparaison était uniquement les résultats, il serait bien difficile de choisir l'une ou l'autre des possibilités car ceux-ci sont très proches. Cependant, le logiciel CloudCompare est celui qui concurrence le mieux les logiciels propriétaires car il permet une vision des erreurs sur les points d'assemblage, la suppression de l'un d'eux si une erreur était constatée et surtout une solution concernant l'utilisation de sphère. Malgré l'impossibilité d'une recherche automatique de cibles, il possède quelques outils supplémentaires qui ne se retrouvent pas dans les softs propriétaires comme l'ajustement de l'échelle ou l'assemblage du nuage sur un seul axe par exemple. A cette étape de travail, il est donc possible de trouver une solution « open source » et elle s'appelle CloudCompare. Le tableau ci-dessous (figure 12) résume les avantages et inconvénients des logiciels.

Les annexes 10.3.2 (CloudCompare) et 10.4.2 (MeshLab) résument les étapes à suivre afin de parvenir à un assemblage de nuage de points.

| Logiciels | Avantages | Inconvénients |
|---------------|--|--|
| Propriétaires | Supportent de gros nuages de points | Pas d'ajustement de l'échelle |
| | Détection automatique de cibles | Pas de translation/rotation selon un ou plusieurs axes |
| | Vision des erreurs par cibles | |
| | Possibilité de supprimer une cible | |
| CloudCompare | Vision des erreurs par cible | Légèrement sensible aux gros nuages |
| | Possibilité de supprimer une cible | Pas de détection automatique de cibles |
| | Ajustement de l'échelle possible | ICP ne fonctionne pas bien |
| | Translation/rotation selon un ou plusieurs axes possible | |
| | Détection semi-auto. de sphères | |
| MeshLab | ICP intégré au processus d'alignement | Sensible aux gros nuages de points |
| | | Pas de vision des erreurs par cible |
| | | Pas de détection automatique de cible |

Figure 12 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des logiciels testés pour l'assemblage de nuages

3.3 Géoréférencement

Cette étape s'effectue souvent, comme pour la précédente, avec des logiciels payants qui sont, généralement ceux des propriétaires du scanner. Selon les vidéos de N. Bezzi¹⁰, les deux logiciels gratuits utilisés auparavant offrent également la possibilité de se géoréférencer. Il reste maintenant à déterminer si MeshLab et CloudCompare pourront rivaliser avec « RiSCAN PRO » ou « SCENE ».

3.3.1 Résultat

Comme pour l'étape de l'assemblage, les logiciels payants des constructeurs font de la détection automatique de cibles et permettent pratiquement une automatisation du géoréférencement en important un fichier de coordonnées de référence (« doit ») dans celui-ci. Un grand avantage à propos de ces softs, c'est le fait qu'ils peuvent utiliser la position du scanner comme point de géoréférencement. Mais il y a tout de même une différence notable entre les deux logiciels propriétaires. Pour « RiSCAN PRO », il y a la possibilité d'introduire une hauteur sur les points de géoréférencement alors que sur « SCENE » cette fonction n'existe pas. Pour ce dernier, il faut modifier les coordonnées « doit » en fonction de la hauteur de canne.

Concernant les logiciels gratuits utilisés pour cette étape, ils ne sont pas en reste. Le seul gros désavantage est l'impossibilité d'employer des coordonnées avec des grands chiffres comme par exemple, les coordonnées utilisées en Suisse (E=2'600'000, N=1'200'000). À ce propos, le logiciel CloudCompare émet une alerte lorsque des grandes coordonnées sont introduites et il nous permet de faire une translation de celles-ci. Un atout majeur face à son concurrent gratuit car il permet également en sortie, lors de l'exportation du nuage géoréférencé (avec de grandes coordonnées), de reprendre sa position de base (translation inverse). Tandis que MeshLab, soit il n'ouvre pas le nuage, soit il affiche des triangles illisibles au lieu du nuage de points. Pour contrer ce problème, une réduction des coordonnées est alors inévitable pour que l'importation du nuage se passe correctement dans MeshLab.

¹⁰ MeshLab : <https://www.youtube.com/watch?v=QTqi8GuyxIY>
CloudCompare : https://www.youtube.com/watch?v=S32wy66e_0o

Du nuage à la maquette 3D avec des logiciels libres

Sur ces deux logiciels gratuits, le principe reste le même qu'à l'assemblage des nuages. C'est-à-dire, un pointé manuel sur les points de géoréférencement considérés comme la référence (coordonnées « doit »), puis, pointer la correspondance dans le nuage à géoréferencer. Ce principe, comme cela a déjà été cité, rend l'utilisation de sphères impossible sauf pour CloudCompare qui permet une détection semi-automatique de sphère (solution expliquée à l'annexe 10.3.2.1). Malheureusement, aucune hauteur de canne ne peut être donnée comme sur « RiSCAN PRO », par exemple et l'utilisation de la position du scanner n'est pas non plus prévue.

En revanche, il est possible de désactiver un point qui serait considéré faux, sur MeshLab en désactivant le point et sur CloudCompare en le supprimant. Ce qui reste très utile lorsque les résultats doivent être optimisés et qu'il y a assez de points de géoréférencement pour le faire. Les deux proposent en plus un ajustement de l'échelle qui n'est pas proposé par les programmes payants. Comme pour l'assemblage, CloudCompare offre également la possibilité de géoréferencer selon une translation ou une rotation d'un ou plusieurs axes.

MeshLab offre, en plus, une possibilité de mettre des distances de référence (annexe 10.4.3.1) dans un onglet parallèle à celui du géoréférencement. Cet outil peut s'utiliser pour une mise à l'échelle du nuage selon des distances connues. À ce niveau-là, l'utilisation de cet outil n'est pas du géoréférencement mais il peut être très utile dans certains cas où le nuage a besoin d'être à une bonne échelle plutôt que dans un système de coordonnée.

Ci-dessous, les résultats du géoréférencement qui sont tout de même qualité que sur SCENE. L'erreur maximum sur le logiciel propriétaire est de 17 millimètres alors que celles de CloudCompare et de MeshLab sont de 4 et 3 millimètres. Concernant les modes d'emploi des outils de géoréférencement, il sont à retrouver dans les annexes 10.3.3 (CloudCompare) et 10.4.3 (MeshLab).

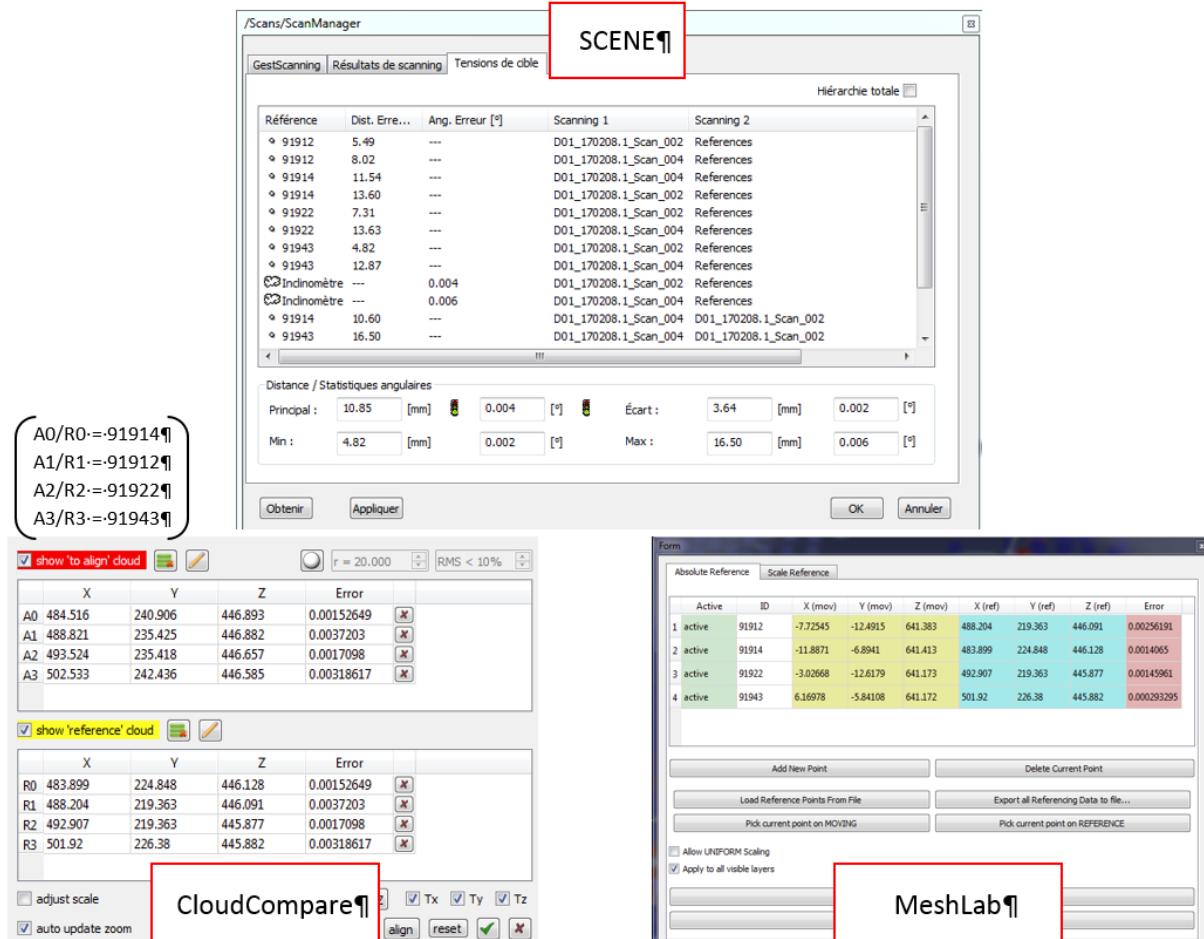


Figure 13 : Résultat du géoréférencement des logiciels (SCENE, CloudCompare et MeshLab)

Malgré l'impossibilité d'utiliser de grandes coordonnées pour MeshLab, l'utilisation de logiciels « open source » pour le géoréférencement est tout à fait concevable. Certes, quelques petits suppléments, comme l'utilisation de la position de scanner ou donner une hauteur de canne à un point de référence, ne sont pas intégrées mais ceux-ci offrent une très bonne manipulation et surtout des résultats tout aussi satisfaisant, voire meilleurs, que ceux obtenus sur un logiciel propriétaire.

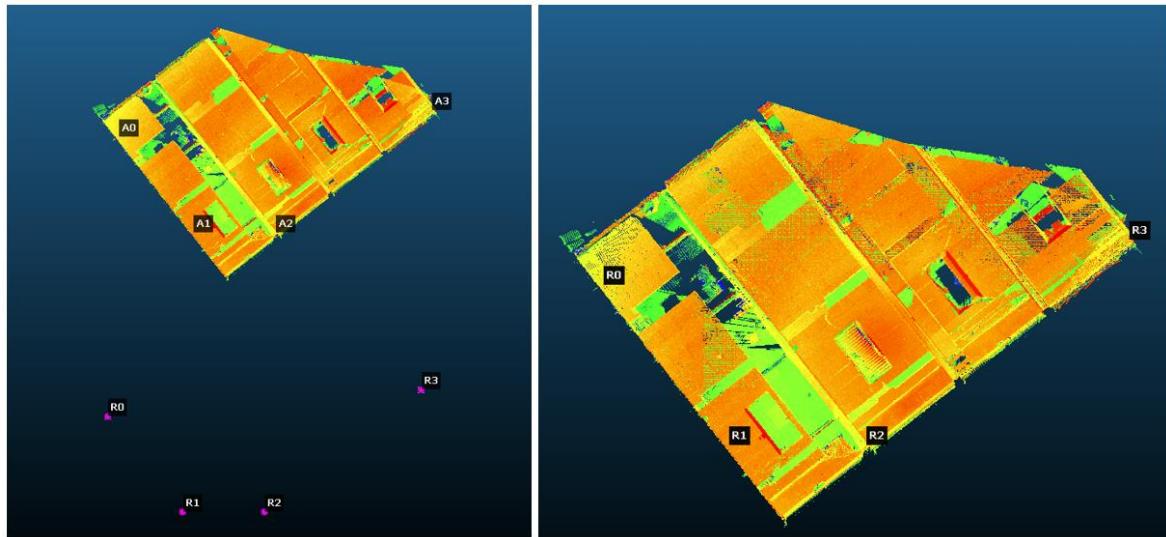


Figure 14 : Avant/après géoréférencement sur CloudCompare

3.3.2 Contrôle

À cette étape, des contrôles ont également été faits. Cette fois-ci, il ne s'agit plus de distance mais de coordonnées sur d'autres points dont la position est également connue et qui n'ont pas servis au géoréférencement. Grâce à la qualité du scannage, il est possible d'apercevoir les pointes des triangles connues en coordonnées dans la salle de classe comme le montre l'illustration ci-dessous.

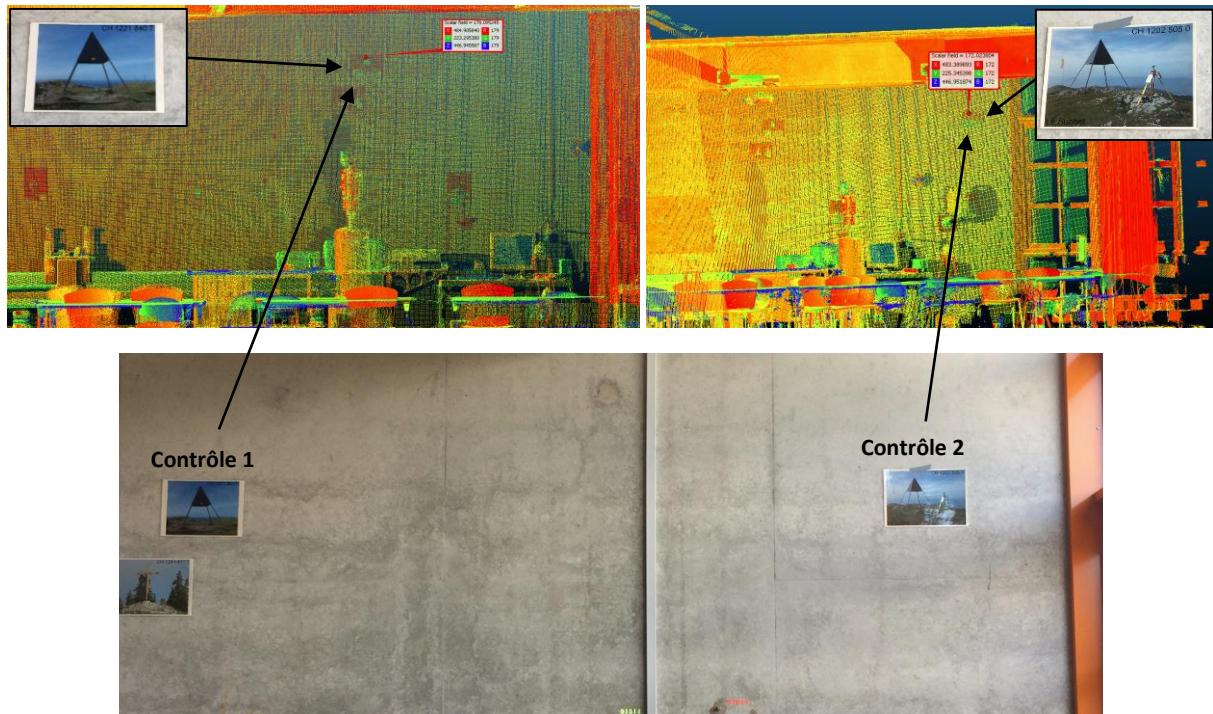


Figure 15 : Contrôles effectués pour le géoréférencement

Les points du nuage ont été comparés aux coordonnées « doit » qui ont été fournies par le professeur responsable et qui sont issues de divers travaux de topométrie réalisés dans cette salle.

Les résultats des contrôles sont de très satisfaisant et largement suffisants pour des travaux de mensuration officielle, par exemple. L'écart maximum qu'il y a entre les coordonnées de l'école et celle du nuage est de 16.5 millimètres, soit moins de 2 centimètres comme le montre le tableau ci-dessous.

| CloudCompare | | | | | Meshlab | | | | |
|---------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------------------|--------------------|---------|---------|---------|
| Contrôle 1 | pt | E | N | H | Contrôle 1 | pt | E | N | H |
| doit (école) | 12218407 | 484.981 | 223.299 | 446.954 | doit (école) | 12218407 | 484.981 | 223.299 | 446.954 |
| | | 484.986 | 223.295 | 446.946 | | | 484.981 | 223.299 | 446.946 |
| | <i>erreur [mm]</i> | -4.8 | 3.6 | 8.4 | | <i>erreur [mm]</i> | 0.0 | 0.0 | 8.0 |
| | <i>Dist. 3D [mm]</i> | 10.4 | | | | | 8.0 | | |
| Contrôle 2 | | | | | Contrôle 2 | | | | |
| doit (école) | 12025050 | 483.377 | 225.343 | 446.964 | doit (école) | 12025050 | 483.377 | 225.343 | 446.964 |
| | | 483.382 | 225.353 | 446.952 | | | 483.390 | 225.346 | 446.957 |
| | <i>erreur [mm]</i> | -5.2 | -10.2 | 11.9 | | <i>erreur [mm]</i> | -13.0 | -3.0 | 7.0 |
| | <i>Dist. 3D [mm]</i> | 16.5 | | | | | 15.1 | | |

Figure 16 : Tableau des résultats des contrôles du géoréférencement

3.3.3 Récapitulatif

Pour terminer cette étape, des solutions libres de géoréférencement existent et les résultats de ceux-ci sont tout autant précis que ceux obtenus par des logiciels payants. CloudCompare est la meilleure solution à ce stade grâce à son outil de translation de grandes coordonnées et à sa fonction de détection semi-automatique de sphère (annexe 10.3.2.1) qui ne sont pas possibles sur MeshLab. Cette fonction très pratique de translation laisse à l'utilisateur la possibilité de référencer son nuage dans un système global comme celui utilisé en suisse ($E=1'200'000$, $N=2'600'000$).

| Logiciels | Avantages | Inconvénients |
|----------------------|--|--|
| Propriétaires | Pas de problème de grandes coordonnées | Pas d'ajustement de l'échelle |
| | Détection automatique de cibles | Pas de translation/rotation selon un ou plusieurs axes |
| | Vision des erreurs par cibles | |
| | Possibilité de supprimer une cible | |
| | Utilisation de la position du scanner | |
| CloudCompare | Possible d'utiliser les grandes coordonnées (Translation autom.) | Pas de détection automatique de cibles |
| | Vision des erreurs par cible | Impossibilité d'utilisation de la position du scanner |
| | Possibilité de supprimer une cible | |
| | Ajustement de l'échelle possible | |
| | Possibilité de translation/rotation selon un ou plusieurs axes | |
| | Détection semi-auto. de sphères | |
| MeshLab | Vision des erreurs par cible | Problème avec les grandes coordonnées |
| | Possibilité de désactiver une cible | Pas de détection automatique de cible |
| | Ajustement de l'échelle possible | Impossibilité d'utilisation de la position du scanner |

Figure 17 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des logiciels testés pour le géoréférencement du nuage

3.4 Nettoyage

Le nettoyage d'un nuage de points est nécessaire dans quasiment chaque travail de lasergrammétrie car les appareils ne sont bien évidemment pas parfaits. Il reste toujours du bruit, des réflexions contre des parties vitrées ou autres encombrements qui nécessitent un nettoyage du nuage. C'est une étape qui peut se faire même avant l'assemblage pour avoir des nuages de points plus légers et plus visibles.

3.4.1 Résultat

La plus grande et la plus importante partie du nettoyage reste celle avant le maillage du nuage. Cette étape est déterminante car elle influencera fortement la qualité de celui-ci. Le logiciel connu à ce stade et qui a été utilisé lors du travail de maquette en 2016 est celui de 3DR. Dans ce programme, il est possible de découper un secteur en dessinant une polyligne puis en choisissant si la partie intérieure ou extérieure doit être supprimée, ou alors si les deux parties doivent être conservées (= découper le nuage). Il est également possible de faire un découpage du nuage à l'aide d'une polyligne existante.

Quant à la concurrence, elle n'est pas en reste. CloudCompare a une option de nettoyage quasiment similaire. De la même manière que pour 3DReshaper, il est possible de découper selon une polyligne dessinée et d'en choisir soit l'intérieure, l'extérieure ou les deux (= découpe). Tout comme le logiciel payant, l'utilisation d'une polyligne existante pour découper le nuage de point est également possible.

Un outil de nettoyage existe dans MeshLab mais il est beaucoup plus simplifié que CloudCompare. Il permet simplement de faire une sélection de points via un rectangle et d'inverser la sélection si besoin pour supprimer la partie non-désirée.

Tous les détails de ces outils sont bien évidemment à retrouver dans les annexes 10.3.4 pour CloudCompare et 10.4.4 pour MeshLab.

Dans l'exemple ci-dessous, l'échantillon utilisé est une salle de classe avec des vitres qui se trouvent de part et d'autre de celle-ci, ce qui provoque passablement d'imperfections. Le nettoyage permet d'éliminer tous ces défauts (entourés en rouge).

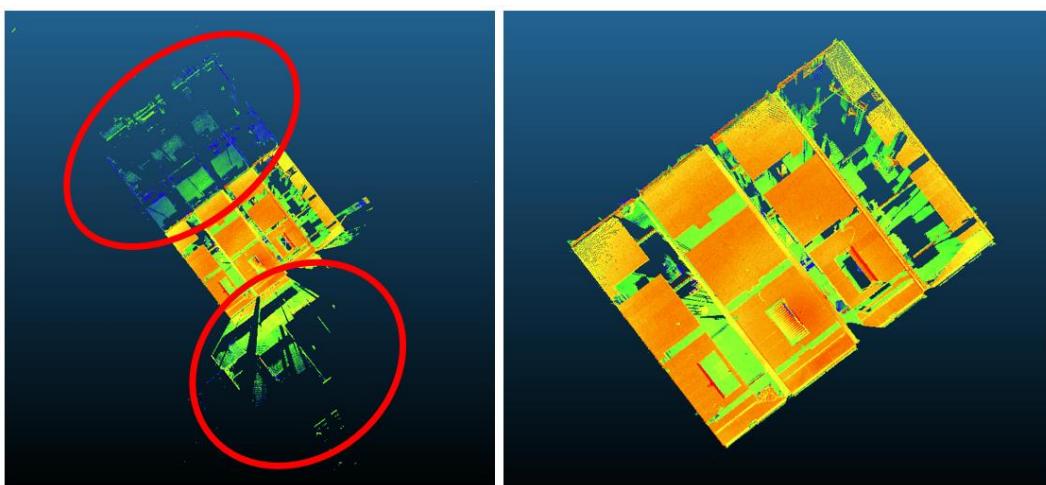


Figure 18 : Avant/après nettoyage du nuage de points, exemple sur CloudCompare

3.4.2 Récapitulatif

A ce niveau, le choix du logiciel est très rapidement effectué. CloudCompare ressemble copieusement à son concurrent payant. La solution libre est alors toute trouvée. D'autant plus que MeshLab ne propose qu'une simple sélection rectangulaire.

3.5 Filtrage sur un plan horizontal

Le filtrage est également, comme la précédente, une étape très importante dans le processus de la maquette. Il a le même but que le nettoyage, soit effacer les points inutiles pour travail concerné. Souvent, la végétation est le plus grand problème et c'est à ce sujet que le filtrage devient très intéressant. La plupart du temps, c'est le sol qui est intéressant pour le maillage et c'est pour cette raison que la végétation gênante au-dessus du sol doit être retirée.

À cette étape, c'est encore l'utilisation de 3DReshaper qui permet un filtrage du terrain. Grâce à son outil « Extraire Terrain », il est possible de faire des filtrages avec des paramètres très pratiques comme la pente maximale du terrain autorisée. Il est également possible de choisir à la sortie de ce paramètre, si les points du sol, les points bruités ou ceux qui n'appartiennent pas au sol doivent être gardés, ce qui est très utile suivant le travail à effectuer.

Malheureusement, il n'y a pas de filtres qui ont été trouvés sur MeshLab pour les nuages de points. Selon le travail de Bachelor de Monsieur Vallotton en 2011, MeshLab propose des filtrages ou des simplifications plutôt sur le de maillage que sur nuages.

Par contre, le logiciel CloudCompare propose une alternative qui peut se comparer à celle faite sur 3DR. C'est pour cette raison qu'il a été choisi pour cette étape.

3.5.1 CloudCompare

Selon le site de CloudCompare¹¹, ce logiciel propose un outil pratiquement similaire à celui de 3DR. Grâce à ces paramètres, il est possible de séparer le terrain (le sol), des éléments verticaux comme les bâtiments ou les arbres, par exemple.

Après plusieurs tests, les paramètres ont presque tous pu être déterminés mais de plus amples informations sur ceux-ci restent bien évidemment à voir dans l'annexe 10.3.5.1. Plusieurs illustrations des différences de paramètres « Cloth resolution » et « Classification threshold » se trouvent dans cette annexe afin de mieux visionner la différence des chiffres introduits dans ces paramètres. La raison pour laquelle ces deux paramètres ont été illustrés, c'est que ces deux éléments sont les plus influents dans le filtrage de CloudCompare.

¹¹ [http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=CSF_\(plugin\)](http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=CSF_(plugin))

3.5.2 Résultat

Le résultat obtenu avec CloudCompare est issu de plusieurs essais effectués. Les meilleurs paramètres, qui ont été trouvés pour l'échantillon testé, sont ceux illustrés ci-contre (figure 19).

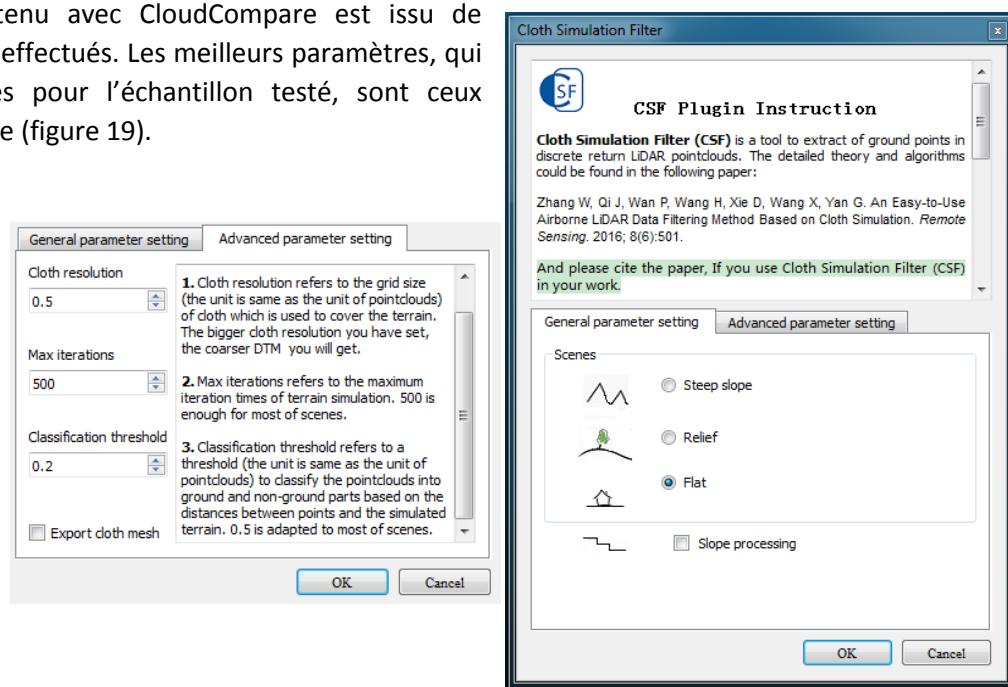


Figure 19 : Paramètre de CloudCompare pour le meilleur filtrage

Malheureusement, les paramètres de l'outil « CSF Filter » de CloudCompare ne sont pas aussi clairs que ceux de 3DReshaper. De plus, le logiciel propriétaire propose un paramètre d'angle maximum qui est réellement très pratique et qu'on ne retrouve pas dans le logiciel gratuit. Néanmoins, les résultats sont tout de même proches comme ils sont illustrés ci-dessous dans les figures 20 et 21.

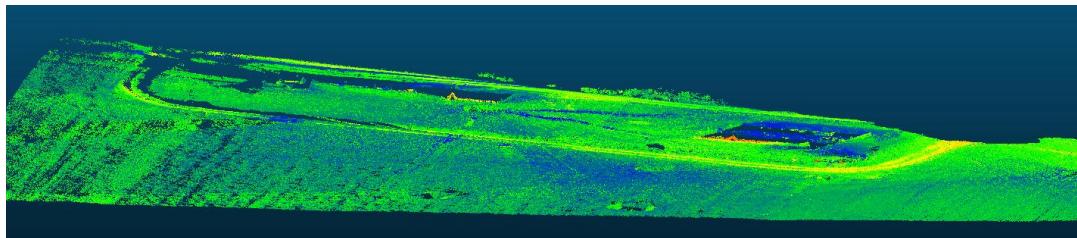


Figure 20 : Résultat du filtrage de CloudCompare

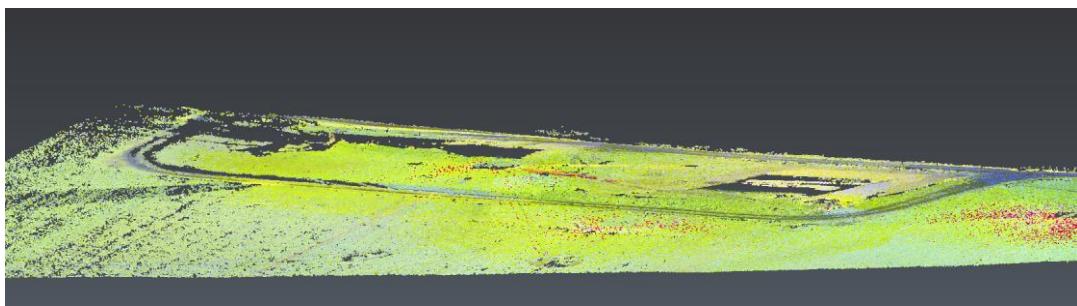


Figure 21 : Résultat du filtrage de 3DReshaper

3.5.3 Comparaison

Pour terminer ce sous-chapitre « Filtrage sur un plan horizontal », une dernière comparaison nuage-nuage est faite à l'aide de l'outil « comparer/inspecter » du logiciel 3DR. Le but est de mieux visualiser les décalages entre les résultats des deux logiciels.

Les deux illustrations suivantes (figures 22 et 23) démontrent les décalages qu'ils subsistent entre les deux nuages. Ceux-ci sont coloriés en fonction des décalages et à ce propos, les couleurs des figures sont reparties comme suit : Ce qui est en vert se trouve entre 0 et 5 centimètres, ce qui est en jaune entre 5 et 10 centimètres, ce qui est en orange entre 10 et 20 centimètres et pour terminer, ce qui est en rouge est supérieur à 20 centimètres.

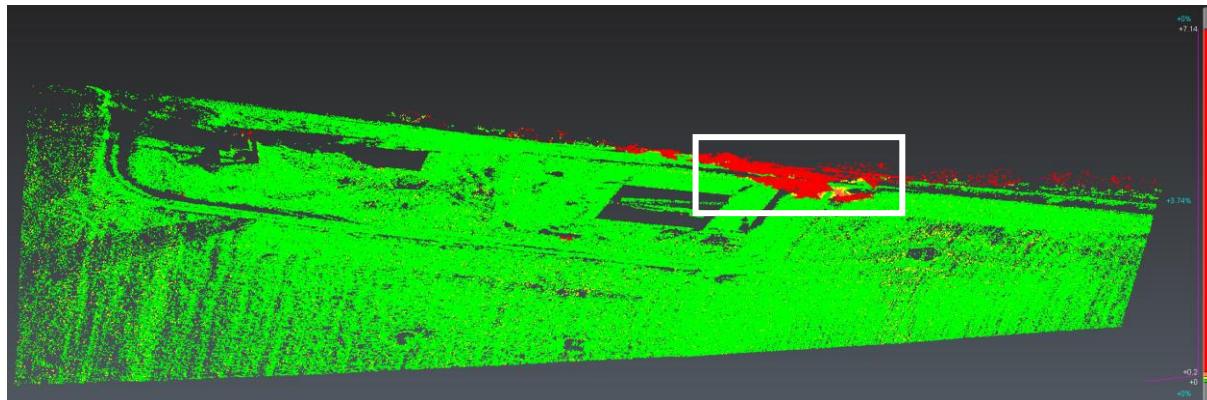


Figure 22 : Inspection nuage-nuage après filtrage entre 3DR et CloudCompare (coloré sur le nuage de 3DR)

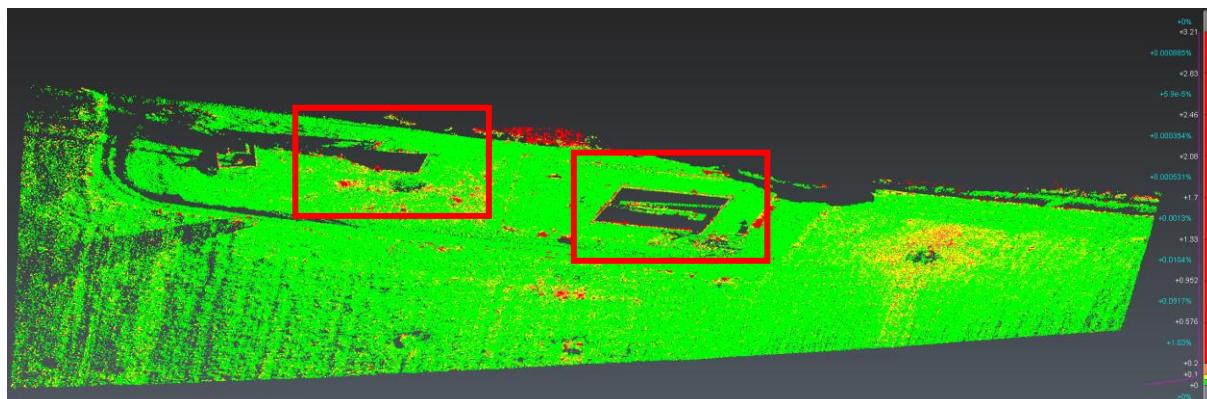


Figure 23 : Inspection nuage-nuage après filtrage entre 3DR et CloudCompare (coloré sur le nuage de CloudCompare)

Le résultat de la comparaison est très satisfaisant car, dans l'ensemble, il y a peu d'écart entre les deux mais quelques différences non négligeables se perçoivent tout de même. Sur la figure 22 se trouve une grande zone rouge en haut de celle-ci (encadré blanc), c'est une partie de chemin qui n'a pas été prise en compte et qui a été totalement filtrée par CloudCompare. Une autre différence est celle des alentours de bâtiments. Ceux-ci sont un peu moins bien extraits sur CloudCompare où il y a des résidus de murs en orange (encadrés rouge) sur la figure 23 (celle où le nuage de CloudCompare est coloré).

3.5.4 Récapitulatif

À la fin de cette étape importante dans le processus de la maquette, l'avis sur le filtrage de CloudCompare est partagé par rapport à sa concurrence payante. Bien évidemment une solution libre a été trouvée mais est-elle véritablement concurrentielle car les paramètres à introduire dans celle-ci ne sont pas très explicites. Malgré ces difficultés de paramètres, le résultat reste tout de même proche de celui atteint avec 3DR. En conclusion, CloudCompare est un outil de filtrage concurrentiel de par son résultat obtenu. En revanche, il faut être vigilant avec les paramètres introduits. Il y aura peut-être besoin de plus d'itération que sur 3DR.

3.6 Maillage

Dans cette étude, le maillage a été séparé avec la modélisation. Le maillage est la partie qui définit la triangulation, tandis que la modélisation est plutôt la partie de simplification de modèles à l'aide de formes géométriques simples, tels que les cubes et les cylindres, par exemple.

Deux principes de maillage sont présents dans CloudCompare. Il s'agit de la méthode « Delaunay » et de la méthode « Poisson ». Pour faire simple, selon l'implémentation de la triangulation de Delaunay¹², la méthode veut dire qu'aucun sommet ne doit se trouver à l'intérieur du cercle circonscrit des triangles. L'illustration¹³ ci-dessous montre ce qu'est la triangulation de Delaunay.

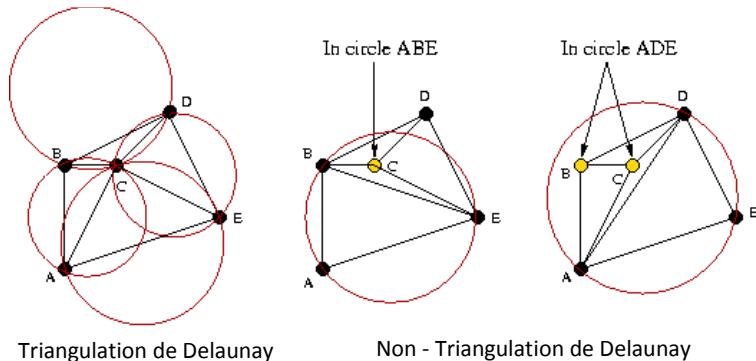


Figure 24 : Méthode de maillage « Delaunay »

La méthode de « Poisson Surface Reconstruction¹⁴ » est différente. Elle est faite pour des modèles 3D fermés car son maillage est clos.

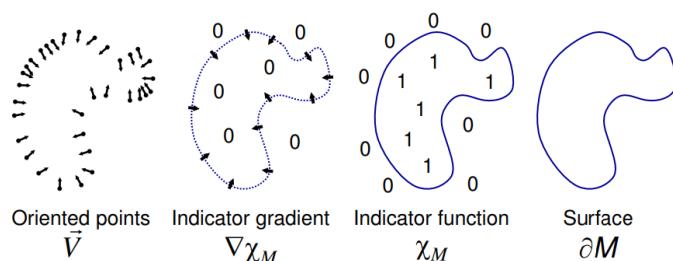


Figure 25 : Méthode de maillage « Poisson Surface Reconstruction »

Dans MeshLab, on retrouve également cette méthode de « Poisson », en revanche, celle de Delaunay n'est pas présente.

¹² https://www.isima.fr/f4/projets2009/coatelen_falk.pdf

¹³ Illustration de Delaunay : http://www.geom.uiuc.edu/~samuelp/del_tri.gif

¹⁴ <http://www.cs.jhu.edu/~misha/MyPapers/SGP06.pdf>

3.6.1 CloudCompare

Grâce au manuel¹⁵ d'utilisateur de CloudCompare, il a été très simple d'identifier les possibilités de maillage. La première est celle avec la méthode « Delaunay », celle-ci est malheureusement trop détaillée vu qu'elle prend en compte tous les points du nuage. L'objectif final de cette partie est un MNT d'un champ, et cette façon de procéder n'est pas du tout l'idée. Alors cet outil n'est pas le bon, surtout que le seul paramètre sur lequel il est possible de jouer, est celui de la longueur maximale des côtés du triangle.

Une autre possibilité de maillage est offerte sur ce logiciel. Il s'agit de la méthode « Poisson Surface Reconstruction » selon la vidéo de « UQ Architecture »¹⁶. Avant de pouvoir l'utiliser, il est obligatoire de déterminer les normales des points du nuage. Pour le calcul des celles-ci, il faut choisir entre différents paramètres qui ne sont pas toujours très évidents et ce qui est pratique, c'est que l'un d'eux (« Neighbors ») s'adapte en fonction du nuage sélectionné pour le calcul. Plus amples informations sur ces paramètres sont à retrouver à l'annexe 10.3.6.1.

Les différents tests effectués avec l'outil « Poisson Surface Reconstruction » ont permis de démontrer à quoi servaient certains paramètres de cet outil de maillage. Ils sont expliqués plus en détail à l'annexe 10.3.6.2. Ces paramètres, contrairement à certains du calcul de normales, ne s'adaptent pas en fonction du nuage.

Par exemple, pour un MNT dans un terrain qui admet une pente régulière, les bons paramètres pourraient être ceux présentés sur la figure ci-contre (figure 26). Les illustrations ci-dessous présentent le résultat du maillage avec les paramètres et le nuage de points avec lequel il a été fait.

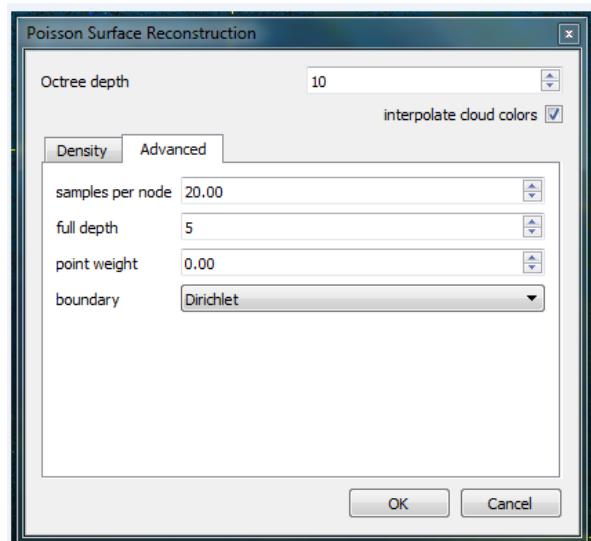


Figure 26 : Paramètres idéals du maillage pour un MNT sur l'échantillon testé avec la méthode « Poisson Surface Reconstruction » de CloudCompare

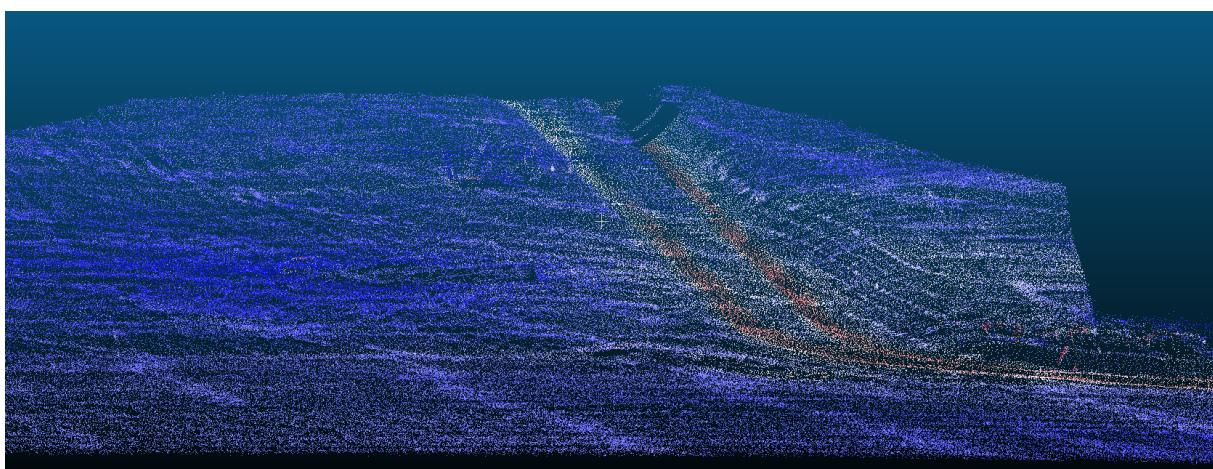


Figure 27 : Nuage de points utilisé pour le maillage (CloudCompare)

¹⁵ http://www.danielgm.net/cc/doc/qCC/Documentation_CloudCompare_version_2_4.pdf

¹⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=MS3Krxcy2j0>

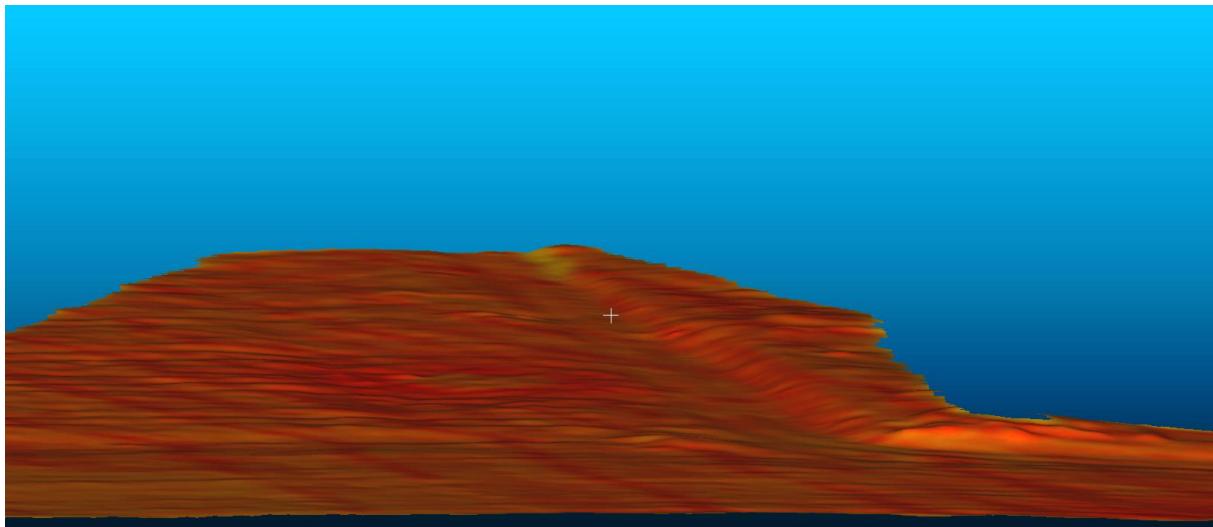


Figure 28 : Le maillage avec les meilleurs paramètres pour un MNT (CloudCompare)

Les paramètres « samples per node » et « point weight » ont été mis de façon à lisser les bruits du nuage comme le terrain est régulier et que le nuage présentait encore un certain bruitage.

Comme la méthode « Poisson » utilise le maillage fermé, à première vue, il peut paraître complètement faux sur la première illustration de la figure 30. Mais dans les propriétés (figure 29), il est possible de choisir uniquement les endroits du maillage qui se rapprochent au mieux des points du nuage comme nous montre l'histogramme ci-contre.

Pour ce faire, il faut changer le curseur jusqu'à obtenir le meilleur échantillon. Une fois l'échantillon voulu, il reste à l'extraire avec l'outil « Filter By Value » sous « Edit → Scalar fields ». Cet outil garde les valeurs de l'histogramme et le modèle peut directement être exportés afin d'obtenir le maillage définitif voulu.

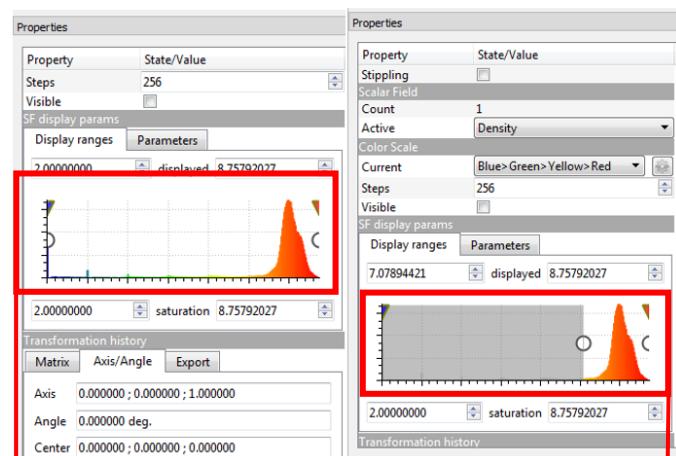


Figure 29 : Histogramme du maillage méthode poisson sur CloudCompare

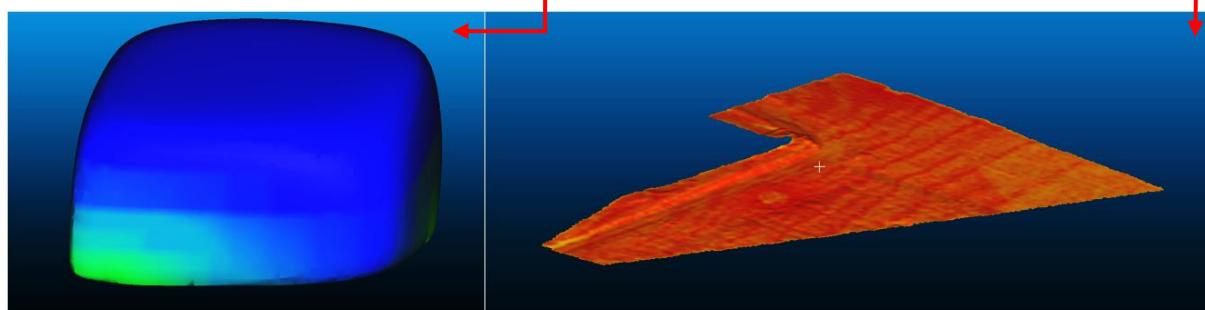


Figure 30 : Avant/après filtrage du maillage selon l'histogramme sur CloudCompare

Sur CloudCompare, il est également possible de faire un maillage entre deux polylinéaires mais l'outil polyligne n'est pas optimal car une fois le premier point de celle-ci défini, il n'est possible de déplacer la fenêtre seulement par rotation car la translation (clic droit) est aussi la touche de fin de « polyline ». Malheureusement, il n'est pas possible d'avoir un accrochage préférentiel sur une autre polyligne déjà créée précédemment, par exemple.

Pour terminer, un dernier test a été fait. Il s'agit d'un test qui se réfère aux propos cités dans le paragraphe 3.3 de géoréférencement. Lorsque l'export d'un nuage de points géoréférencé est fait à l'aide de grandes coordonnées, la translation retour se fait automatiquement. Cependant, pour le maillage, ce n'est pas tout à fait le cas. Quand l'export du maillage (triangulation) est fait, l'export reste en coordonnées locales mais il est tout de même possible d'exporter un nuage de points issu du maillage qui lui est en coordonnées globales lorsqu'il est exporté.

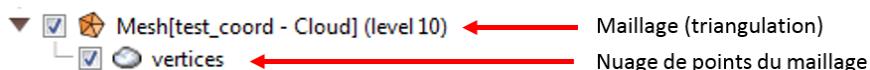


Figure 31 : Triangulation et nuage de points du maillage (CloudCompare)

3.6.2 MeshLab

Selon « Geospatial Modeling & Visualization »¹⁷, MeshLab offre également plusieurs possibilités de maillage. La première est celle de la méthode « Screened Poisson Surface Reconstruction »¹⁸. Cette méthode est quasiment la même que celle utilisée précédemment pour CloudCompare. Là encore, le calcul de normales est nécessaire avant le maillage. Mais cette fois-ci, contrairement à CloudCompare, les paramètres pour le calcul de normales ne sont pas en fonction du nuage (annexe 10.4.5.1).

Suite à différents tests effectués avec la méthode « Poisson », il a été possible de déterminer l'effet des paramètres. Des explications, une marche à suivre ainsi que des illustrations sont à retrouver en annexe 10.4.5.2. Afin d'obtenir un maillage pour un MNT comme fait précédemment avec CloudCompare, les meilleurs paramètres trouvés sont ceux de la figure 32 ci-contre.

La prochaine illustration (figures 34) est le résultat du maillage avec l'outil « Screened Poisson Surface Reconstruction » de Meshlab avec une visualisation du nuage de points (figure 33) avec lequel le maillage a été exécuté. Dans un premier temps, le maillage est fortement extrapolé par rapport au nuage de points. Mais à première vue, celui-ci ressemble passablement à celui obtenu sur CloudCompare. La possibilité d'effacer les parties extrapolées est disponible à l'aide de l'outil prescrit au chapitre 3.4 « Nettoyage ». Dans un deuxième temps, le résultat sera comparé à celui obtenu à l'aide du logiciel 3DR à la figure 38.

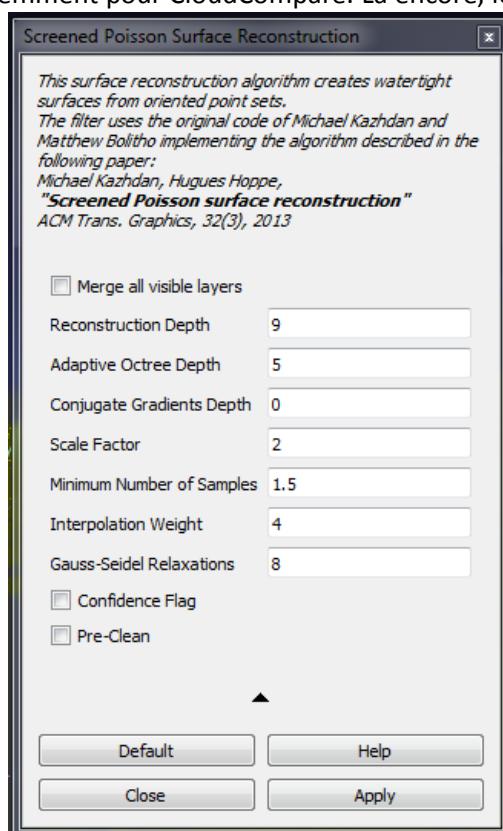


Figure 32 : Paramètres idéaux de maillage pour un MNT sur l'échantillon testé avec l'outil « Screened Poisson Surface Reconstruction » de Meshlab

¹⁷ <http://gmv.cast.uark.edu/scanning/point-clouds-to-mesh-in-meshlab/>

¹⁸ <http://www.cs.jhu.edu/~misha/MyPapers/ToG13.pdf>

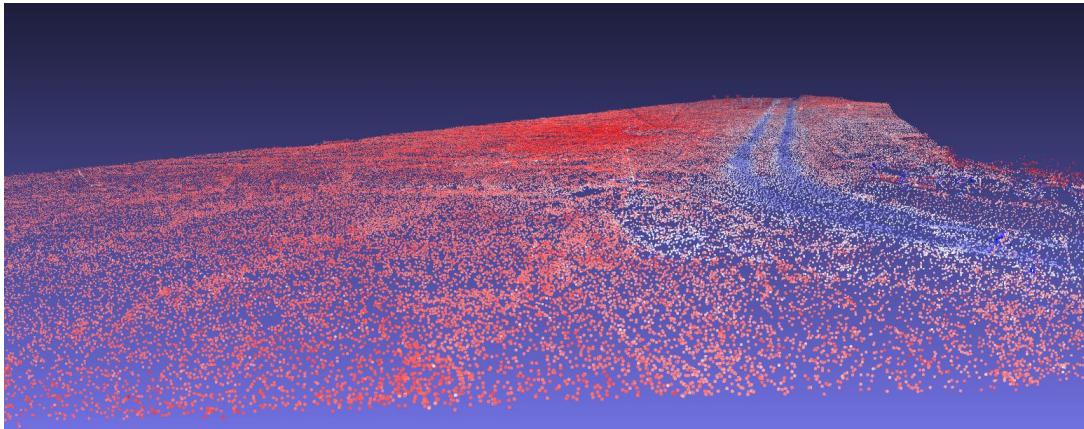


Figure 33 : Nuage de points pour comparaison avec le maillage (MeshLab)

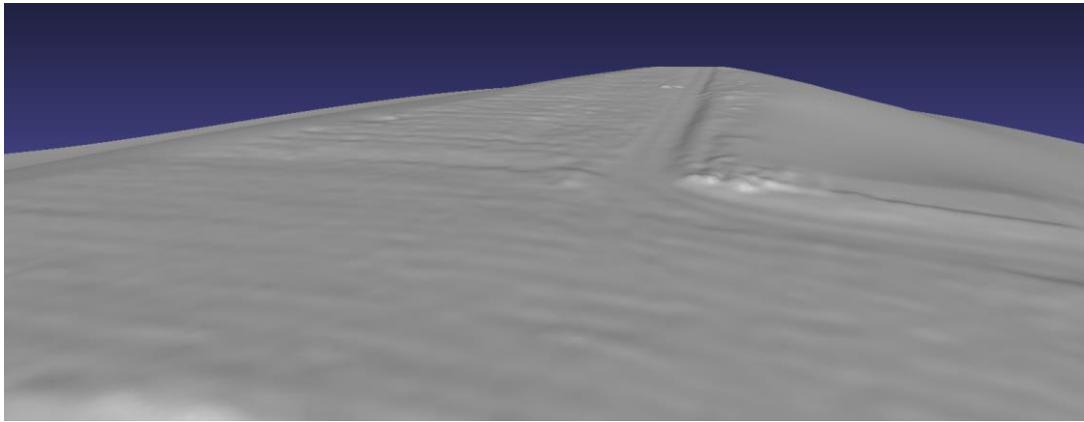


Figure 34 : Le maillage avec la méthode « Screened Poisson Surface Reconstruction » avec les meilleurs paramètres pour un MNT (MeshLab)

La deuxième solution de maillage, dans MeshLab, est avec l'outil « Marching Cubes (APSS) » (annexe 10.4.5.2). Après avoir calculé les normales, il semblerait que cet outil ne converge pas toujours vers un résultat satisfaisant. Plusieurs trous sont visibles malgré tous les tests qui ont été faits sur ses paramètres. Cette méthode possède néanmoins un grand avantage par rapport à celle de « Poisson », c'est que le maillage n'est pas extrapolé. Si l'on compare la figure 35 ci-dessous avec celle du nuage de points figure 33 quelques lignes auparavant, le maillage ne s'étend pas plus loin que les points du nuage. Mais cette solution reste encore à développer car les paramètres ne sont pas évidents à prendre en main.

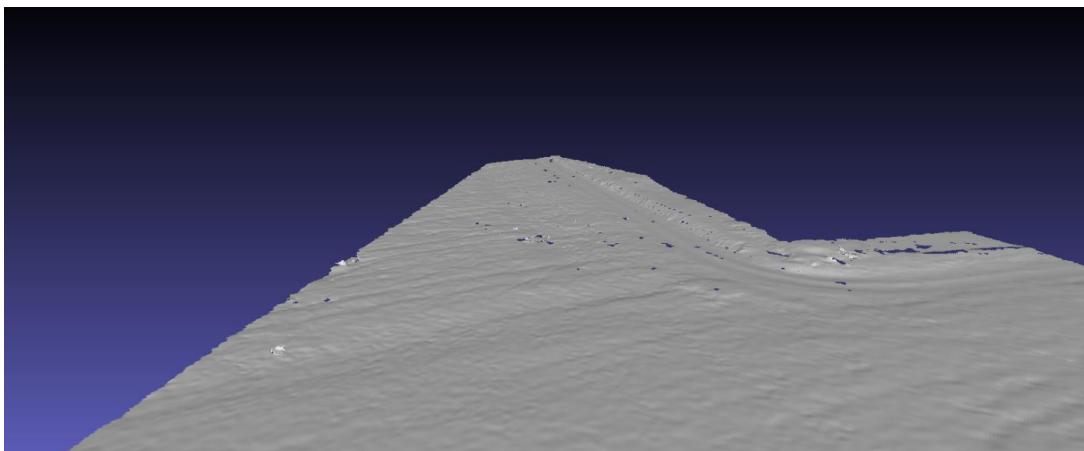


Figure 35 : Le maillage avec la méthode « Marching Cubes (APSS) » de MeshLab

3.6.3 Comparaison des résultats

Les résultats à l'aide des meilleurs paramètres (résultats des figures 28 et 34) seront comparés entre les différents logiciels. Bien entendu, ces meilleurs paramètres ont été définis subjectivement à l'aide d'une appréciation par rapport à la réalité du terrain. Une personne qui ne connaît pas les lieux ne peut pas dire si la représentation du MNT est correcte.

Les maillages sont évidemment tous issus du même nuage de points afin que la comparaison soit la plus rigoureuse possible. Le nuage ainsi qu'une petite vue (« Google Maps ») sont représentés ci-dessous pour mieux se rendre compte du lieu testé.

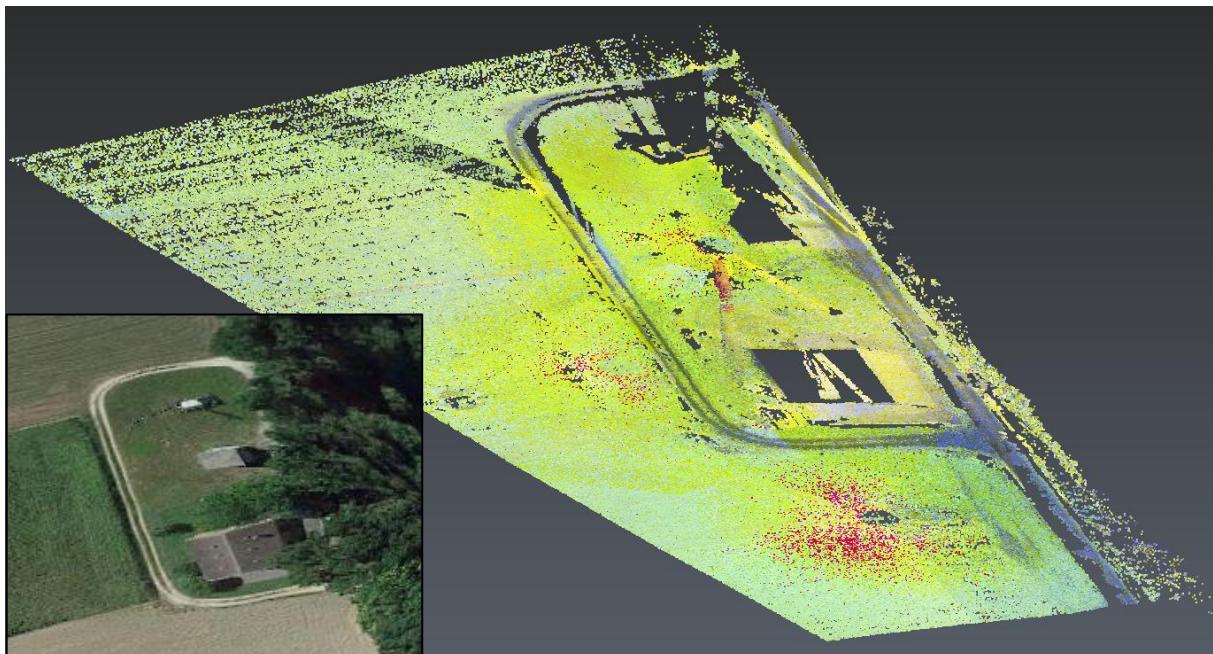


Figure 36 : Nuage de points utilisé pour les maillages avec une représentation Google Maps

Les couleurs des figures 37 et 38 ci-dessous sont représentées en fonction de la distance entre les deux maillages et elles sont définies comme suit :

- En vert (entre -5 et +5cm)
- En jaune (entre -10 et +10cm)
- En orange (entre -25 et + 25cm)
- En rouge (au-delà de -25 et +25cm)

La figure 37 est le résultat de la comparaison entre CloudCompare et 3DR et la figure 38 est le résultat entre MeshLab et 3DR. Ces deux figures sont coloriées sur le maillage de 3DR.

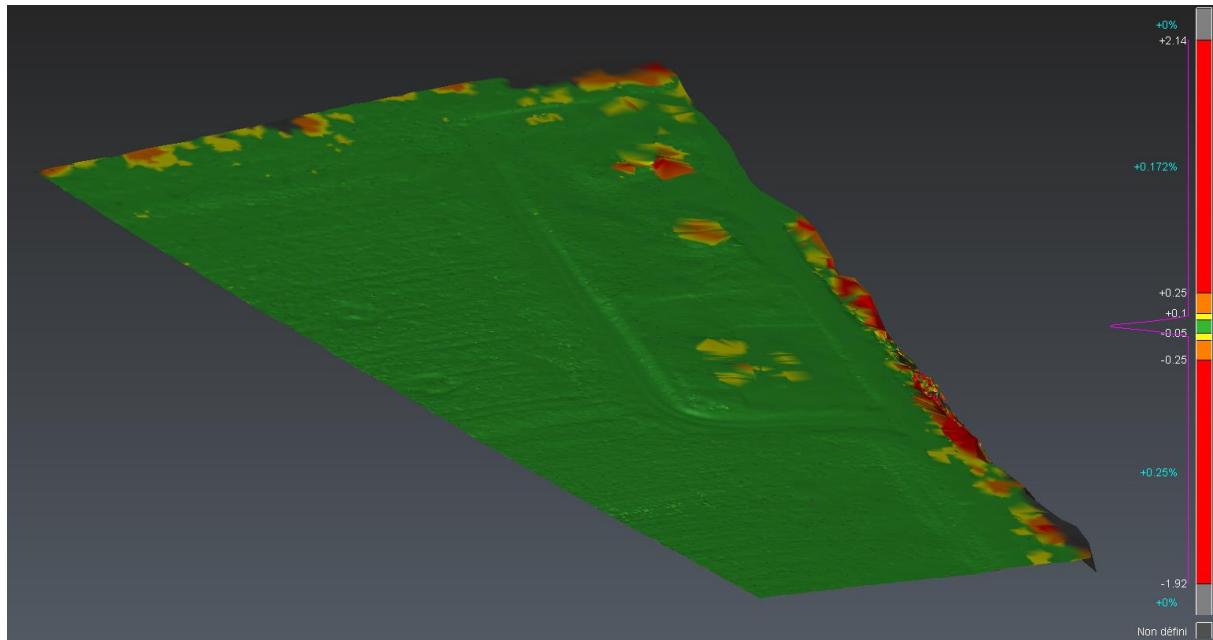


Figure 37 : Résultat de la comparaison des maillages entre 3DR et CloudCompare (colorié sur 3DR)

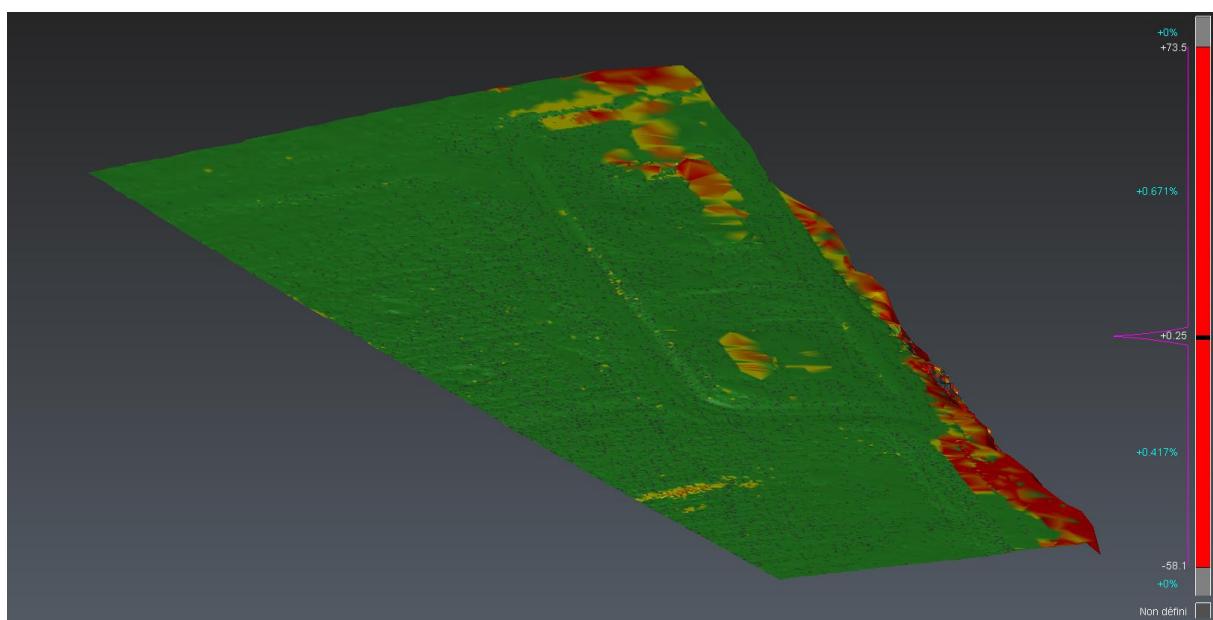


Figure 38 : Résultat de la comparaison des maillages entre 3DR et MeshLab (colorié sur 3DR)

Le résultat est très satisfaisant, malgré des paramètres peu évidents, il y a peu d'écart entre les maillages. D'autres comparaisons, notamment entre MeshLab et CloudCompare, se trouvent à l'annexe 10.7 car les résultats étaient très proches entre eux.

Quelques zones sont tout de même en couleurs jaune-orangé mais ce sont principalement les endroits où il y a des trous dans le nuage de points. Ce qui n'est pas grave car ces zones se trouvent sous des bâtiments ou autres immeubles.

3.6.4 Récapitulatif

Un résumé de cette étape n'est pas un luxe car beaucoup d'outils ont été utilisés et surtout beaucoup de tests ont été faits. Ce qui ressort de ce chapitre « maillage », c'est que la méthode « Poisson » des logiciels CloudCompare et MeshLab est quasiment la même à quelques paramètre près. C'est une approche qui est normalement utilisée pour des modèles fermés mais qui répond tout à fait à ce qui se fait sur 3DR. Les comparaisons le prouvent, les résultats des maillages faits par les logiciels gratuits sont pratiquement identiques. La difficulté de cette partie est de trouver les bons réglages mais ce problème réside également dans le logiciel payant où les paramètres ne sont pas non plus très limpides.

On peut alors dire que ces deux logiciels répondent à une solution libre avec une préférence pour CloudCompare qui permet directement de supprimer le maillage trop éloigné du nuage grâce à son outil de filtre par valeur expliqué au paragraphe 3.6.1.

Un dernier point reste encore à approfondir, c'est l'outil « Marching Cubes (APSS) » de MeshLab qui n'extrapole, cette fois-ci, pas le maillage mais ce dernier ne converge pas toujours vers un résultat satisfaisant malgré plusieurs tentatives.

3.7 Modélisation

La modélisation est une étape qui peut encore être séparée en deux parties. Le côté modélisation qui est en fonction d'un ensemble de points et le côté digitalisation, où un des points du nuage est pris en considération pour la construction.

Pour modéliser, le logiciel qui a été utilisé, lors du travail de maquette, est 3DReshaper. A propos de la modélisation, il est possible d'extraire le meilleur plan à l'aide de plusieurs points du nuage en sélectionnant la partie voulue et en fixant des paramètres qui correspondent le mieux aux critères voulus. C'est de cette façon que le bâtiment principal de la maquette, lors du travail de semestre de printemps 2016, avait été fait et qu'il est possible de reconstruire des éléments en plan en tenant compte des points du nuage.

Après plusieurs recherches, une vidéo¹⁹ sur des logiciels de modélisation gratuits a permis de trouver le programme qui se prêtait au mieux à cette étape de travail. Il s'agit du logiciel « FreeCAD ». Celui-ci offre passablement d'outils de digitalisation et il a le grand avantage d'être en français pour la plupart des menus. « FreeCAD » est assez facile à prendre en main et surtout, il accepte l'ouverture d'un nuage de points, ce qui était l'un des critères déterminant dans le choix du logiciel.

3.7.1 CloudCompare

CloudCompare n'est pas un logiciel de modélisation mais avec son outil de maillage entre deux polylinéaires, il est possible de faire une petite modélisation simple. Malheureusement cet outil n'est pas très pratique car il n'y a pas d'accroche objet. Cette solution se trouve à l'annexe 10.3.7.1.

Il est également possible de faire un plan moyen (annexe 10.3.7.2) de tout un nuage uniquement et non, sur une partie qui pourrait être sélectionnée au préalable. La solution pour avoir un plan moyen, c'est de découper la partie du nuage qui devra être extraite pour un meilleur plan. Sur l'exemple ci-dessous, 6 plans ont pu être extraits du bâtiment.

¹⁹ https://www.youtube.com/watch?v=KK2fl3c_9ck

Du nuage à la maquette 3D avec des logiciels libres

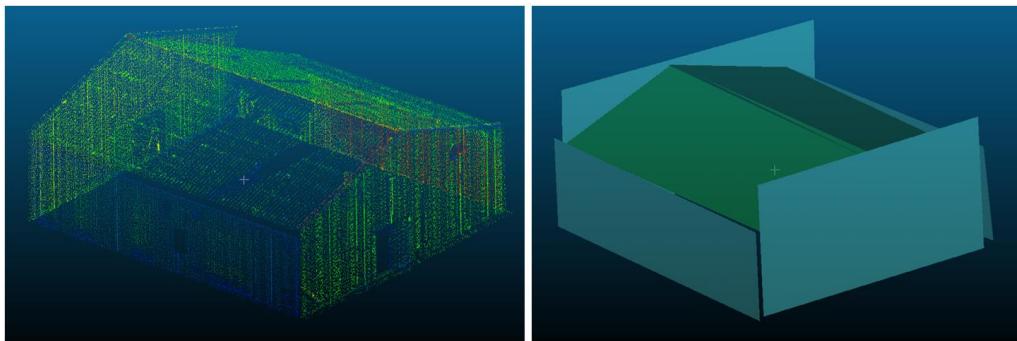


Figure 39 : Extraction d'un plan moyen sur le nuage de points

Cette solution peut également être automatisée avec l'outil « RANSAC Shape Detection » (annexe 10.3.7.2). Il permet de détecter différentes formes automatiquement, dont les plans, avec l'aide de plusieurs paramètres comme celui des points minimums par plan, par exemple.

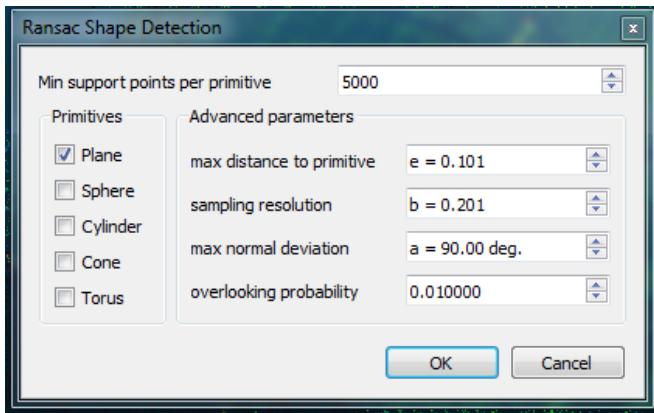


Figure 40 : Paramètres de l'outil de détection de forme dans CloudCompare

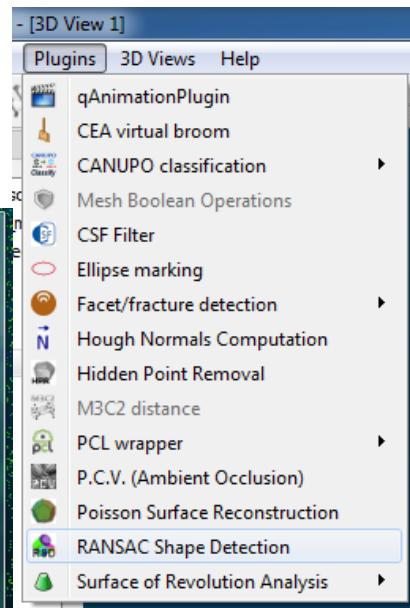


Figure 41 : Outil de détection automatique de forme (plan) dans CloudCompare

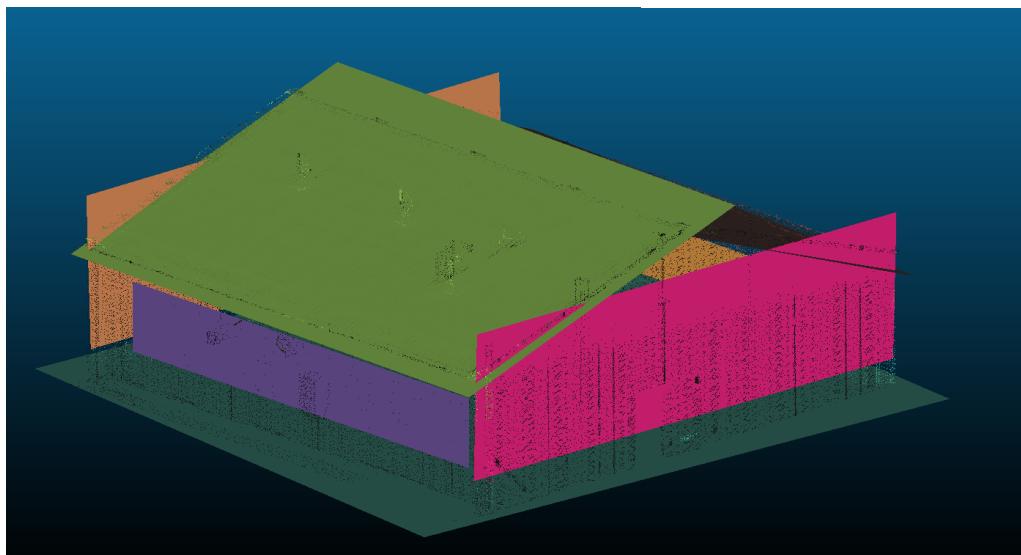


Figure 42 : Résultat de la détection automatique de forme (plan) dans CloudCompare

À part ces quelques possibilités, aucun autre outil n'a été découvert dans ce logiciel « open source » qui est plutôt consacré au traitement de nuages de points.

3.7.2 FreeCAD (méthode digitalisation)

FreeCAD permet l'importation d'un nuage de points et il n'est pas sensible à l'utilisation de grandes coordonnées ce que certains autres logiciels « open source » n'offrent pas. C'est pour cette raison qu'il a principalement été choisi. Il possède plusieurs outils comme tracer une ligne, créer une forme géométrique, créer également une surface entre deux lignes et surtout, il existe l'accroche objet qui est primordial pour une bonne modélisation.

Pour digitaliser, le nuage de point a été importé au format « *.igs » car certains autres formats, comme le « *.asc », s'importent mais ne s'affichent pas. La transformation de l'extension s'est faite à l'aide de 3DR car il est le seul, des logiciels utilisés, à pouvoir exporter un nuage au format « *.igs ».

Les outils qui ont été utilisés et les étapes de la digitalisation sont énumérés dans les annexes 10.5.2.1. L'illustration ci-dessous résume en image les étapes qui ont été faites pour modéliser le bâtiment.

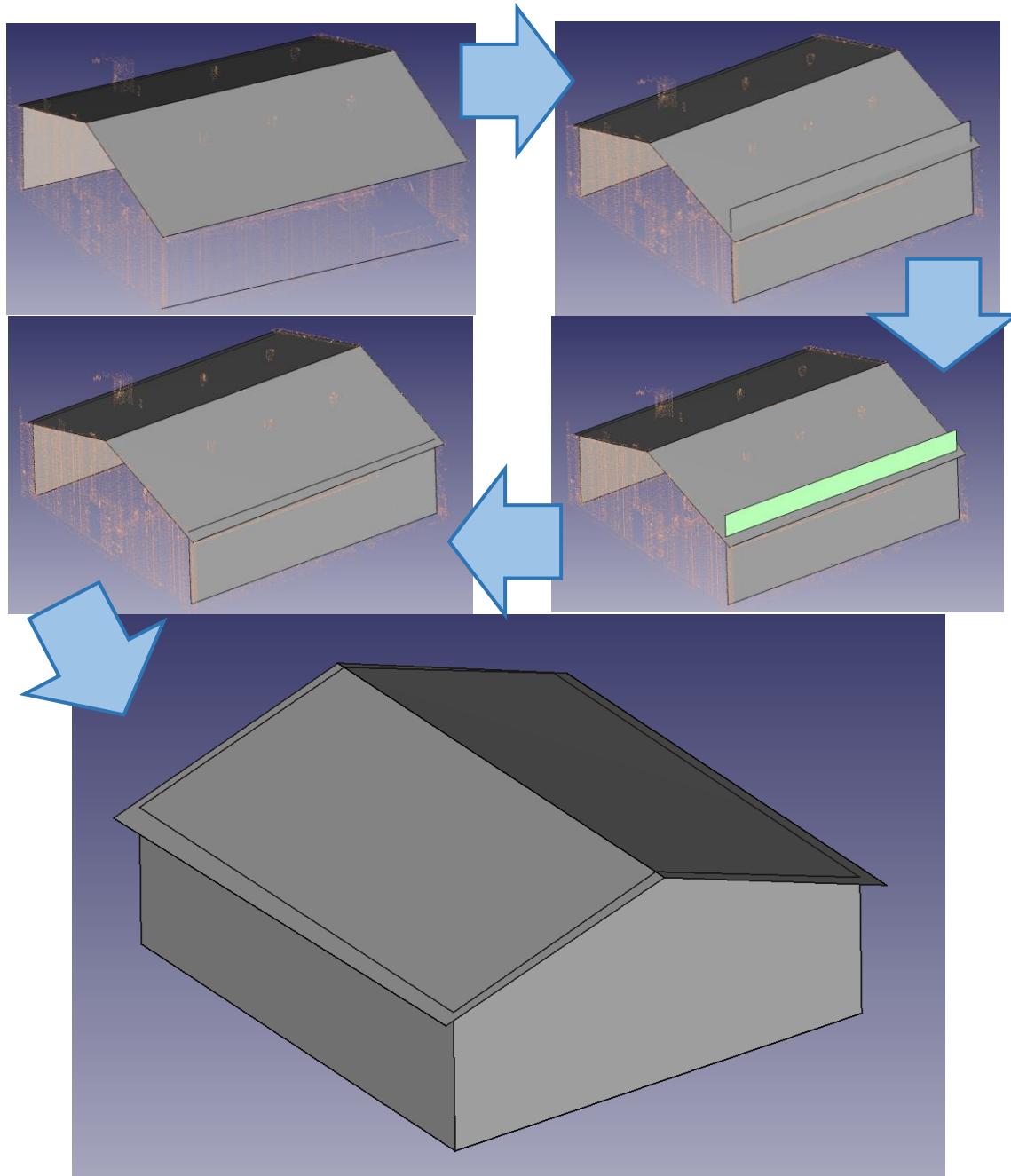


Figure 43 : Étapes de la modélisation du bâtiment de la maquette

3.7.3 Mixte CloudCompare et FreeCAD (méthode modélisation)

L'objectif de ce paragraphe est d'optimiser le travail de modélisation et surtout de prendre en considération un ensemble de points plutôt qu'un seul point du nuage. Comme il est possible de ressortir automatiquement des plans en fonction du nuage sur CloudCompare (avec l'outil « RANSAC Shape Detection » au paragraphe 3.7.1), ils vont être utilisés et exportés dans FreeCAD afin d'avoir directement les faces de base pour la modélisation. Le but est de prendre en considération le plus de points du nuage afin d'obtenir le plan moyen sur une portion du nuage. Malheureusement, cette technique n'est pas possible pour des grandes coordonnées car le maillage de CloudCompare n'est pas exportable en coordonnées globales (problème évoqué au paragraphe 3.6.1). Il est possible de le faire qu'à l'aide de coordonnées réduites.

Au final, cette méthode n'est pas forcément un gain de temps mais elle permet de prendre en considération un maximum de points du nuage pour chaque face contrairement à l'utilisation de FreeCAD uniquement.

3.7.4 Récapitulatif

Pour résumer cette étape, il n'y a que peu de concurrence cette fois-ci car FreeCAD ne sait faire que de la digitalisation et si l'on veut faire de la modélisation, il faut passer par CloudCompare. Aucune solution libre où toutes les fonctions sont réunies dans un seul logiciel n'a été trouvée. La seule alternative, où tout est regroupé, se trouve dans le logiciel payant de 3DR.

Malgré ça, le jonglage entre les deux logiciels n'est pas difficile et par rapport à 3DR, il n'y a pas une perte de temps conséquente. Il est tout de même possible d'envisager cette option gratuite pour faire de la modélisation. À la seule condition de trouver une solution gratuite pour afficher le nuage de point dans FreeCAD, s'il est nécessaire de l'avoir.

| Logiciels | Avantages | Inconvénients |
|--------------|--|---|
| 3DR | Possibilité de modélisation et digit. | |
| | Affiche du nuage de points | |
| CloudCompare | Possibilité de faire des plans selon nuage | Pas de digitalisation et de modélisation |
| | Affiche du nuage de points | Pas de grandes coordonnées pour les maillages |
| FreeCAD | Possibilité de digitalisation | Impossibilité de modélisation |
| | Affiche de points (⚠ complexe) | |
| | Pas de problème avec les grandes coordonnées | |

Figure 44 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des logiciels testés pour la modélisation

3.8 « Texturisation »

La texture d'une modélisation peut être utilisée à des fins esthétiques mais bien souvent, c'est une aide à la décision comme pour un contrôle d'ouvrage, par exemple. C'est pour cette raison qu'il ne faut pas négliger cette étape. La « texturisation » s'effectue généralement à l'aide de photos prises avec une installation intégrée au scanner ou par un appareil externe.

Le logiciel propriétaire 3DR propose une méthode de « texturisation » qui est très simple et très efficace. À l'aide d'une fenêtre scindée en deux parties, il suffit de cliquer sur des points homologues entre l'image et la modélisation. Ensuite, après la validation, la photo se projette automatiquement sur la modélisation. Après quelques recherches, un seul logiciel libre a été choisi pour la comparaison. Il s'agit de MeshLab qui a une façon différente de procéder par rapport à son concurrent payant.

3.8.1 MeshLab

MeshLab dispose d'outils de « texturisation ». Le principe n'est pas le même que sur 3DR. Dans ce logiciel, il faut placer les photos dans la bonne vue pour qu'elles correspondent à la modélisation. En d'autres termes, il faut positionner le point de vue de la photo dans l'espace 3D de la modélisation. Il n'y a pas de point homologue à introduire entre les deux scènes. Une fois que la vue est positionnée, il suffit d'aller valider la « texturisation ». Les étapes de cet outil sont expliquées à l'annexe 10.6.4.

3.8.2 Résultat

Dans cette étape, il faut faire attention à une chose, que ce soit pour le logiciel propriétaire ou pour celui « open source ». Lorsque la modélisation comporte plusieurs faces, il faut découper le processus de la texturisation par face. Autrement, les photos se projettent sur des faces qu'elles ne devraient pas comme le montre les illustrations ci-dessous.

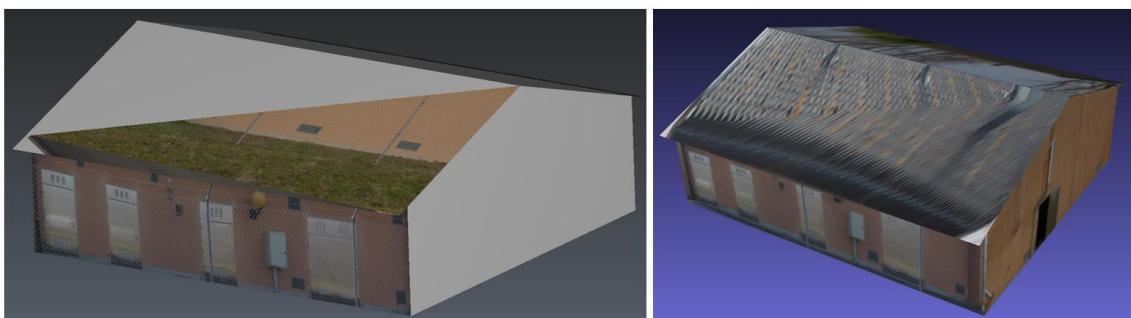


Figure 45 : Défaut de « texturisation » si la modélisation comporte plusieurs faces

Le résultat final de texturisation ci-dessous est quasiment similaire entre les deux logiciels.

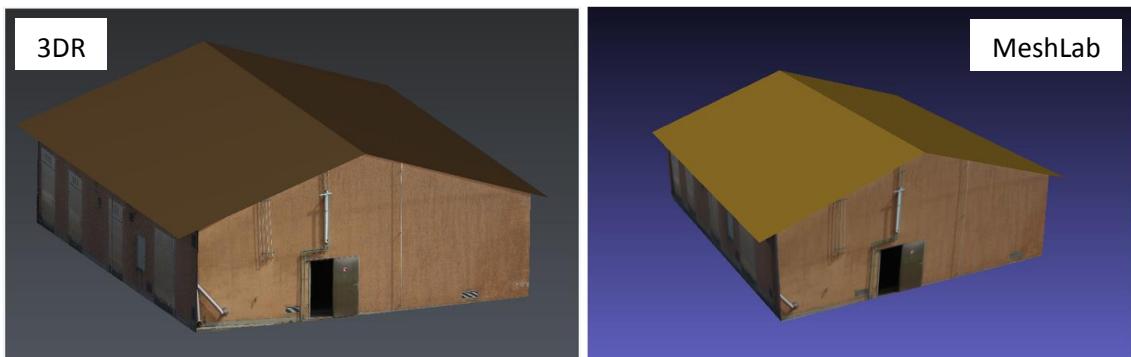


Figure 46 : Résultats de la « texturisation » 3DR et MeshLab

La différence entre les deux n'est pas vraiment visuelle, elle réside plutôt dans le processus de « texturisation ». En effet, la méthode de MeshLab est quelque peu fastidieuse dans le positionnement d'une photo sur une face de la modélisation. La figure ci-dessous montre l'espace de travail de MeshLab pour faire correspondre la vue de la photo (en légère transparence) avec la modélisation (en blanc).



Figure 47 : Espace de travail de MeshLab pour la « texturisation »

La façon de procéder sur 3DR est beaucoup plus simple et plus rapide car il suffit de cliquer sur des points similaires entre la modélisation et la photo comme le montre l'illustration ci-dessous.

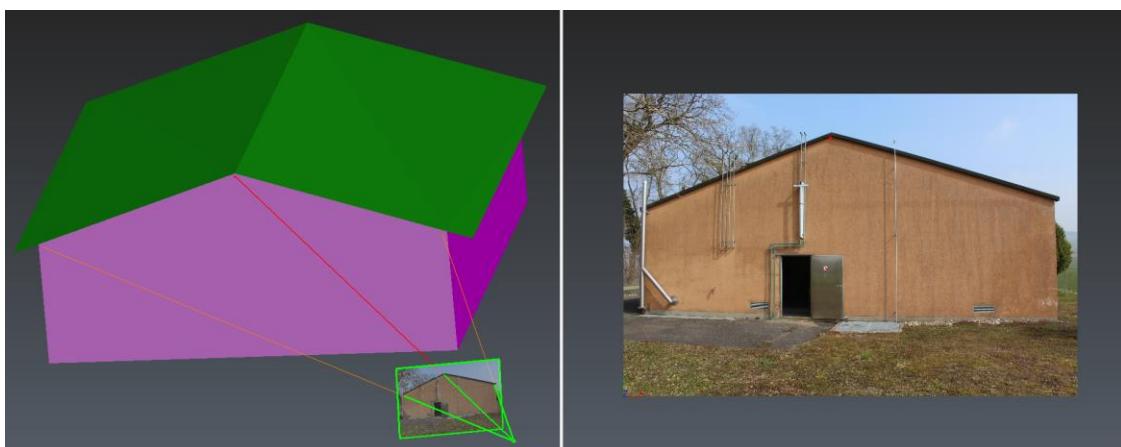


Figure 48 : Espace de travail de 3DR pour la « texturisation »

3.8.3 Récapitulatif

Pour terminer, malgré une plus grande facilité dans le processus du logiciel propriétaire, la méthode gratuite présente, malgré tout, un résultat proche de son concurrent payant. Malheureusement, MeshLab est beaucoup trop fastidieux dans sa façon de positionner la vue de la photo. La meilleure solution serait de trouver un autre programme libre qui pourrait établir ce travail de manière plus rigoureuse mais à cette étape, il n'y a pas de solutions libres qui ont été trouvées.

| Logiciels | Avantages | Inconvénients |
|-----------|-----------------------------|-------------------------|
| 3DR | Méthode simple | |
| | À l'aide de point homologue | |
| MeshLab | Résultat proche de 3DR | Méthode fastidieuse |
| | | Pas de point homologues |

Figure 49 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des logiciels testés pour la texturisation

3.9 Conclusion de la « Réalisation d'une maquette »

Pour terminer, en reprenant la même illustration qu'au départ de ce chapitre (figure 4), il est possible de voir les nouvelles solutions libres (en noires) par rapport à celles qui étaient précédemment connues et payantes (en blanches).

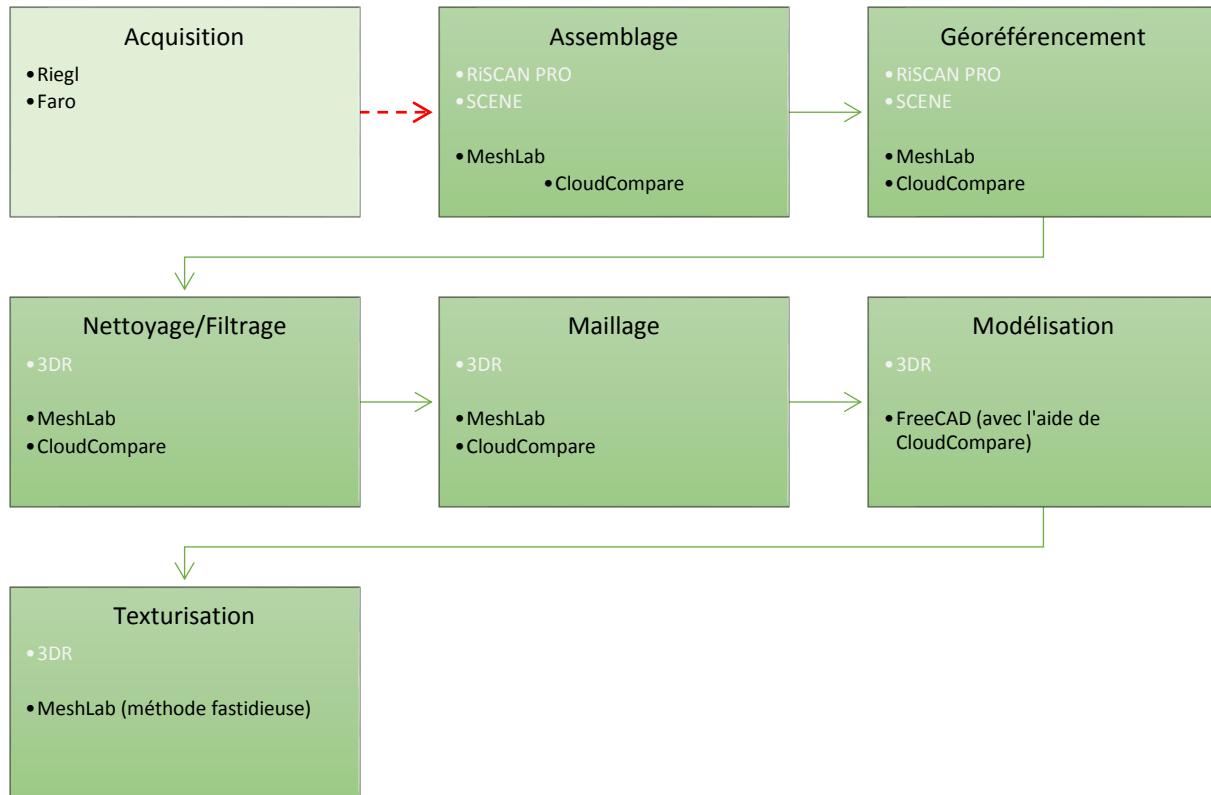


Figure 50 : Les étapes de la réalisation d'une maquette à l'aide de logiciels payants et gratuits

En laissant, la partie terrain de côté, la flèche rouge représente les difficultés qui sont de transférer les données acquises par les scanners vers les logiciels libres. On s'aperçoit qu'à chaque étape une solution gratuite a été trouvée. Une parenthèse doit tout de même être mise concernant l'étape de « texturisation » via MeshLab qui n'est pas optimale. Fastidieuse et complexe, cette méthode est un peu une solution de secours car aucune autre fonction n'a été trouvée pour cette partie. Cette dernière mériterait des recherches supplémentaires afin d'obtenir une solution plus concurrentielle à celle du logiciel payant tel que 3DR, par exemple.

Le tableau ci-dessous (figure 51) schématise l'état et la praticité des logiciels dans ce chapitre.

Légende :

| |
|---------------------------|
| Très bon |
| Bon |
| Moyen |
| Mauvais |
| Très mauvais |
| X Pas de fonction trouvée |

| Chapitre | Étapes | CloudCompare | MeshLab | FreeCAD |
|----------|-------------------|--------------|---------|---------|
| 3.2 | Assemblage | Bon | Moyen | X |
| 3.3 | Géoréférencement | Bon | Moyen | X |
| 3.4 | Nettoyage | Très bon | Moyen | X |
| 3.5 | Filtrage | Moyen | X | X |
| 3.6 | Maillage | Bon | Moyen | X |
| 3.7 | Modélisation | X | Mauvais | X |
| 3.7 | Digitalisation | X | X | Bon |
| 3.8 | « Texturisation » | X | Moyen | X |

Figure 51 : Tableau comparatifs de chaque étape de la réalisation d'une maquette

4 SUIVI DE DÉFORMATIONS

Ce nouveau chapitre consiste à suivre des déformations entre deux acquisitions qui sont différentes. Le laboratoire de topométrie de la HEIG-VD a procédé à un contrôle de la falaise d'Hauterive (FR) à l'aide de plusieurs états différents dans le temps. L'objectif de ce chapitre est de réaliser le même travail qui a été fait par le laboratoire mais à l'aide de logiciels gratuits et de comparer les résultats. Cette fois encore, les données sont déjà acquises et de ce fait, le traitement des nuages peut directement commencer.

4.1 Filtrage sur un plan verticale

La première étape consiste à nettoyer les nuages de points acquis à l'aide d'outils qui filtrent les éléments superflus. Un premier filtrage, au chapitre 3.5, avait été fait mais celui-ci était uniquement consacré à un plan proche de l'horizontal. Dans ce sous-chapitre, l'objectif est de trouver des outils de filtrage, qui sont indépendants de l'orientation du nuage, car l'outil utilisé au chapitre 3.5 ne fonctionne pas pour un nuage orienté verticalement comme le nuage de la falaise, par exemple. Après quelques recherches sur les logiciels déjà utilisés, un « plugin » sur CloudCompare a été trouvé. Celui-ci permet un traitement directement sur le nuage de points.

4.1.1 CloudCompare

4.1.1.1 CANUPO

Selon Dimitri Lague²⁰, l'auteur du plugin « CANUPO », cet outil permet plusieurs classifications. Il a déjà été utilisé dans de nombreux cas comme pour la séparation de la végétation et aussi pour la détection de pylônes ou encore de roches.

Deux tests ont été conçus pour vérifier la qualité et surtout l'utilité de cet outil. Dans le premier test, l'objectif est de nettoyer les résidus qui sont des feuilles et d'autres végétations sur la falaise. Les résultats de ce dernier sont étonnantes. Dans la figure 52 se trouve le résultat de la classification « CANUPO » et dans celle qui suit, la figure 53, une inspection via 3DR entre le nuage « brut » et le nuage nettoyé issus du laboratoire de topométrie (« INSIT »). La comparaison entre ces deux résultats est quasiment identique, ce qui veut dire que la classification « CANUPO » pour cette falaise est très efficace car il fait, effectivement, ressortir les zones de végétations correctement.

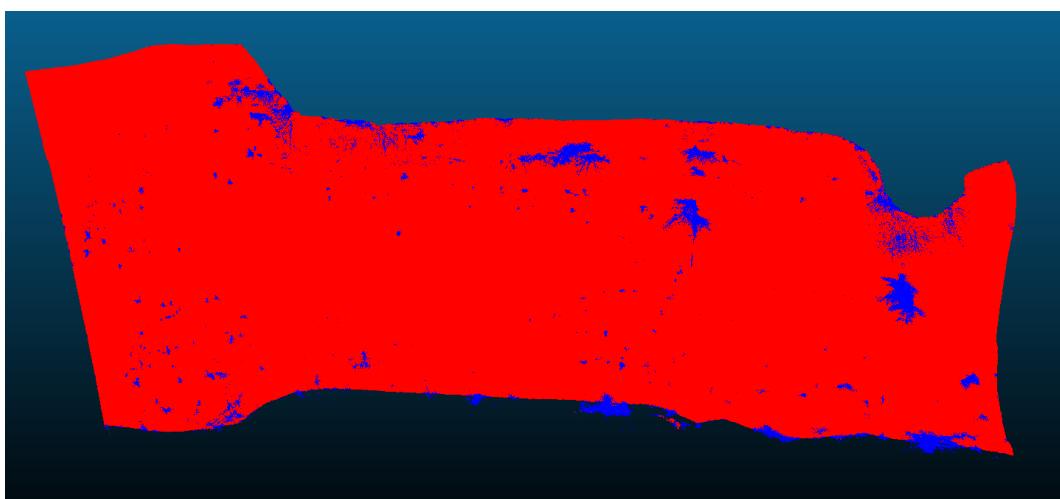


Figure 52 : Premier test avec l'outil « CANUPO » de CloudCompare sur une falaise

²⁰ <http://www.danielgm.net/cc/forum/viewtopic.php?t=1235>

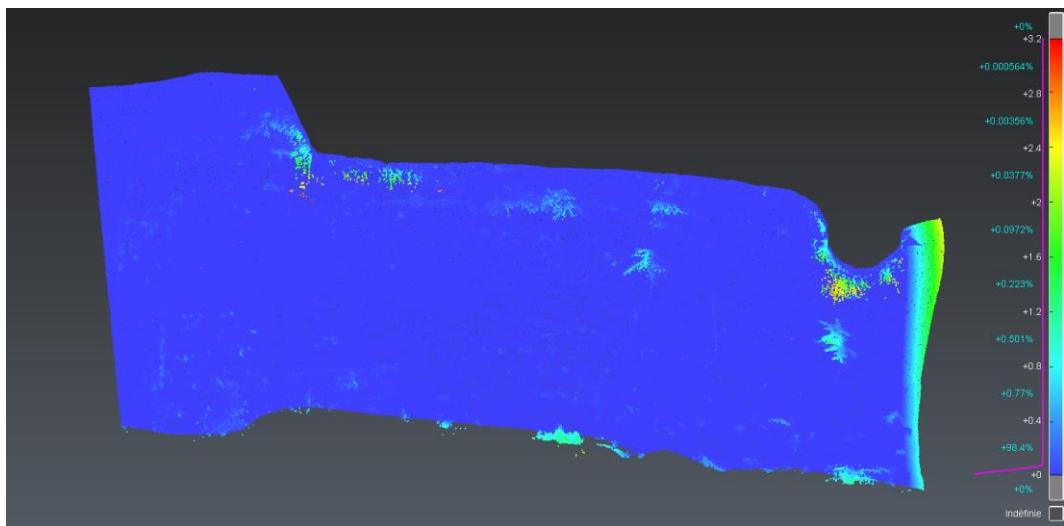


Figure 53 : Comparaison via 3DR entre le nuage « brut » et le nuage filtré

Le deuxième test effectué est également intéressant. Dans celui-ci, l'objectif est différent, il doit faire ressortir les arbres et leurs feuilles. Dans la figure 54 ci-dessous, quelques erreurs sont à signaler comme les bords de bâtiments ou les poteaux des grillages qui entourent le bâtiment principal, ceux-ci sont de la même couleur que les arbres alors qu'ils ne devraient pas. Autrement, les arbustes sont bien mis en évidences comme le montre les flèches orange sur l'illustration ci-dessous. Pour ce cas, l'outil n'est pas optimal comparé au premier exemple. La diversité du nuage, dans ce deuxième test, est certainement la cause du moins bon résultat.

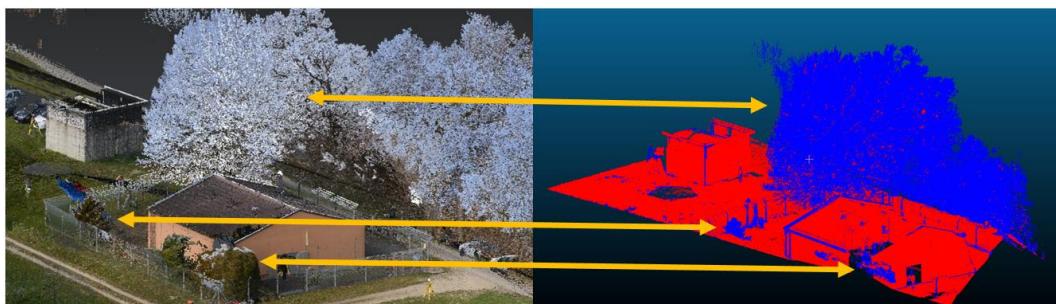


Figure 54 : Deuxième test avec l'outil « CANUPO » de CloudCompare sur le nuage utilisé pour la maquette

Dans l'annexe 10.3.5.2 se trouve les détails de l'application de cet outil car pour l'utiliser, il faut préalablement bénéficier d'un fichier de classification, soit déjà existant, soit à créer. Dans les deux tests qui ont été faits, le même fichier de classification a été utilisé. L'échantillon utilisé pour créer le fichier (fichier (*.prm)) se trouve à l'annexe 10.3.5.2. Ce qui veut dire que ce fichier est personnalisable et qu'il pourrait surtout, encore être optimisé pour le deuxième test, par exemple.

4.1.2 Comparaison

Pour se rendre réellement compte de la qualité de « CANUPO », une comparaison va être faite entre le résultat obtenu avec cet outil et le résultat du nuage filtré par le laboratoire avec 3DR.

La première illustration ci-dessous est le résultat de la comparaison entre le premier test effectué précédemment (figure 52) et le nuage filtré par le laboratoire. Dans l'ensemble, le résultat est satisfaisant mais plusieurs résidus sont encore présents et même quelques points ont des écarts supérieurs à 20 centimètres (entouré en rouge).

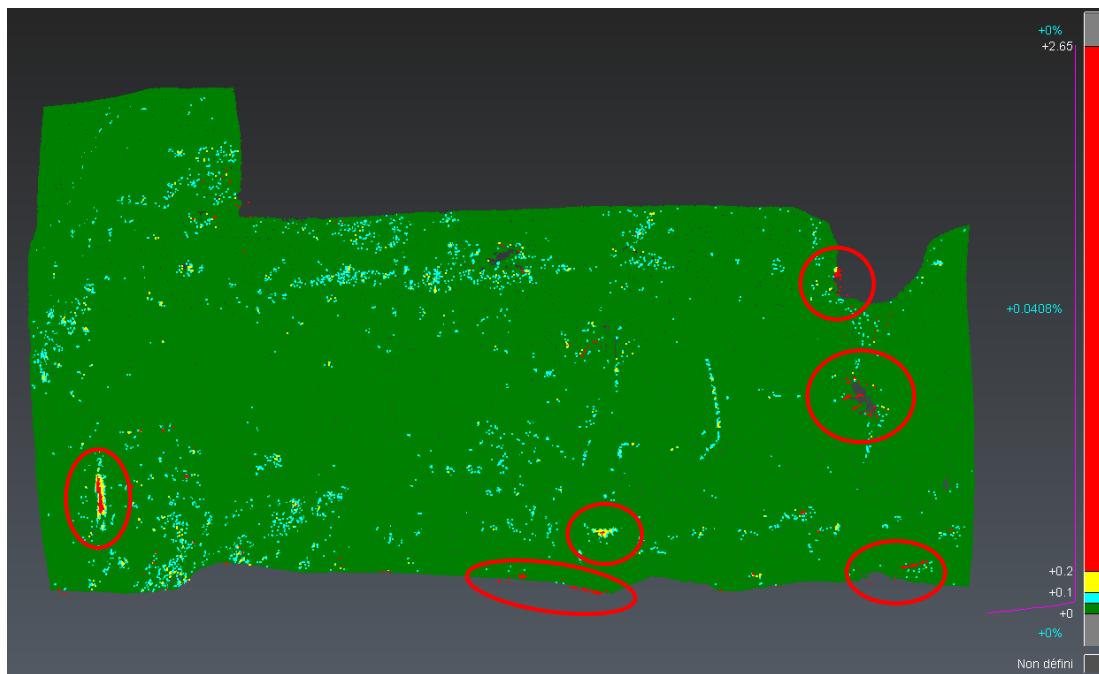


Figure 55 : Comparaison via 3DR entre le filtrage du test 1 (figure 52) de « CANUPO » et celui de l'institut de topométrie

Dans un deuxième temps, un second test a été effectué afin d'améliorer le résultat. Pour ce faire, il a fallu modifier le fichier de classification (« *.prm ») en essayant d'optimiser les échantillons de chaque classe. En améliorant le fichier de classification, le résultat de la comparaison est légèrement meilleur comme le montre l'illustration ci-dessous (figure 56). Bien entendu, il reste quelques zones où les écarts sont supérieurs à 10 centimètres (zones entourées en rouge) mais celles-ci peuvent faire preuve d'un traitement particulier par un nettoyage ciblé sur ces zones.



Figure 56 Comparaison via 3DR entre le deuxième filtrage de « CANUPO » et celui de l'institut

Cette deuxième comparaison démontre bien que le fichier de classification est très important. En l'optimisant consciencieusement et en l'affinant du mieux possible, il peut véritablement améliorer le résultat du filtrage.

4.1.3 Récapitulatif

Grâce à cet outil « CANUPO », le filtrage est possible en utilisant une méthode de classification. Celle-ci a l'avantage d'être indépendante de l'orientation du nuage mais présente tout de même quelques difficultés lorsque ce dernier est trop diversifié. Cependant un bon fichier de classification s'avère être la clé d'un bon filtrage.

4.2 Maillage

La modélisation de la falaise s'est faite à l'aide de l'outil « Poisson Surface Reconstruction » de CloudCompare car ce logiciel est celui qui a été choisi lors de la précédente étape de maillage dans le chapitre 3.6 de la « Réalisation d'une maquette ».

Comme pour le sous-chapitre précédent (chapitre 4.1 « Filtrage sur un plan vertical »), le maillage réalisé avec le logiciel gratuit sera comparé au maillage créé via 3DR par le laboratoire de topométrie.

La figure 57, ci-contre, démontre les paramètres utilisés dans l'outil « Poisson Surface Reconstruction » afin d'obtenir un maillage qui soit le plus proche de la réalité. La modélisation s'est naturellement basée sur le nuage de points filtré par l'outil « CANUPO ».

Comme le filtrage était plutôt de bonne qualité et que le nuage sur lequel s'est basée la modélisation ne comportait que peu de bruit, les paramètres du maillage ont été choisis dans le but d'avoir un haut niveau de détails avec les côtés des triangles qui ne sont pas trop grands et un minimum de lissage car la falaise jouit de vifs décrochements. Pour rappel, pour de plus amples informations concernant le maillage de CloudCompare, il est possible de se référer à l'annexe 10.3.6.

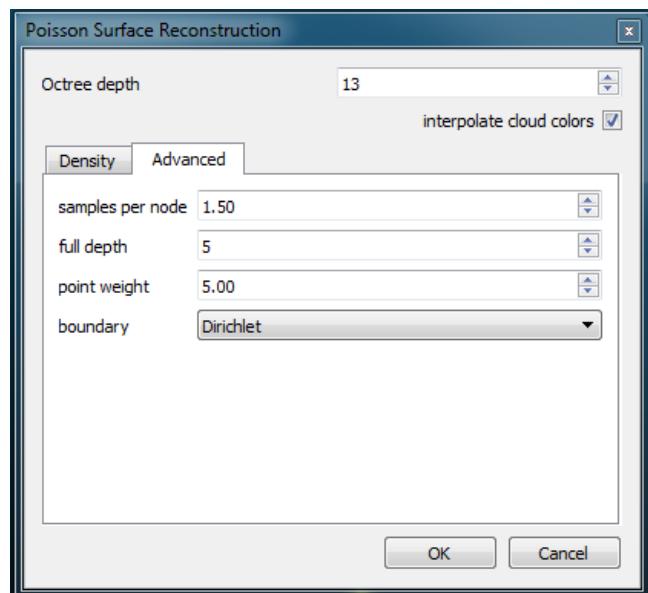


Figure 57 : Les paramètres utilisés pour le maillage de la falaise

4.2.1 Comparaison

Ci-dessous, deux figures démontrent la comparaison entre le résultat obtenu avec CloudCompare et celui effectué par le laboratoire de topométrie. Une fois coloré sur le maillage du logiciel libre (figure 58) et une fois sur celui de 3DR (figure 59). L'écart entre les deux résultats est défini de la manière suivante :

- De -0.01m à 0.01m → En vert
- De -0.05 à -0.01m et de 0.01 à 0.05m → En bleu
- De -0.2 à -0.05m et de 0.05 à 0.2m → En jaune
- Au-delà de -0.2 et de 0.2m → En rouge

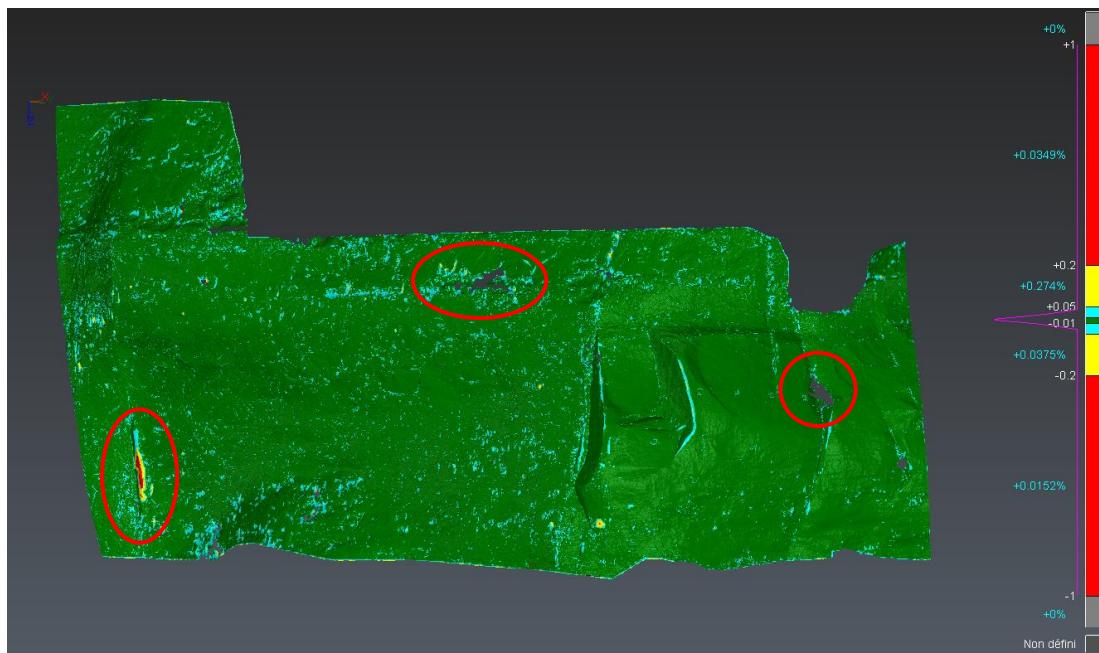


Figure 58 : Comparaison via 3DR entre le maillage de CloudCompare et celui du laboratoire de topométrie (colorié sur CC)

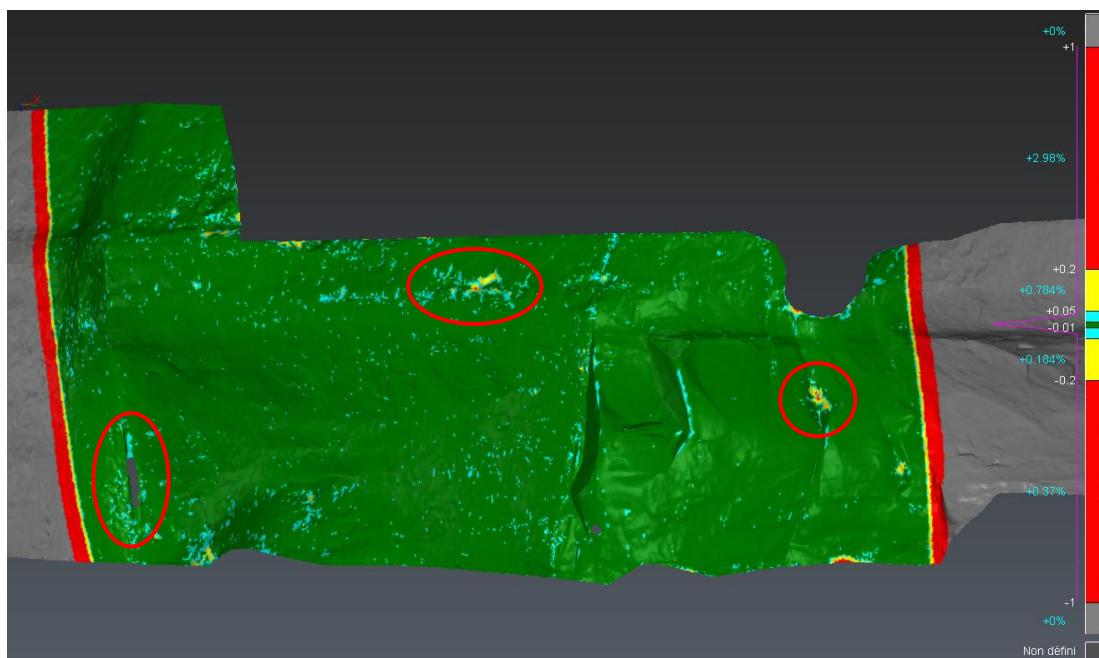


Figure 59 : Comparaison via 3DR entre le maillage de CloudCompare et celui du laboratoire de topométrie (colorié sur 3DR)

Sur les deux figures ci-dessus (58 et 59), les plus gros écarts (entourés en rouge) sont dans les trous du maillage. C'est-à-dire que, si un écart est supérieur à 0.05 mètre ou inférieur à -0.05 mètre sur un maillage, c'est qu'il y a un trou sur le deuxième. Ce qui est très satisfaisant comme résultat car les différences, qui doivent être trouvées entre deux états, sont de l'ordre 1-2 centimètres et sur le reste du maillage, il n'y a pratiquement pas de partie en dessus de 1 centimètre. Les manques pourront être comblés par des maillages locaux.

Le reste des écarts sont de légères différences qui se situent de part et d'autre du maillage et quelques fois sur les crêtes de cassures. Ces différences sont inférieures à 5 centimètres ou supérieures à -5 centimètres ce qui reste quasiment identique à ce qui a été fait par le laboratoire de topométrie.

4.2.2 Récapitulatif

Les résultats montrent bien la qualité et surtout la possibilité d'obtenir des maillages qui ressemblent à ce qui se fait avec le logiciel payant. Comme il a déjà été expliqué au début de ce sous-chapitre, CloudCompare est utilisé pour des raisons de praticité (raisons qui sont évoquées au sous-chapitre maillage 3.6 de la partie « Réalisation d'une maquette » à l'instar de MeshLab. Le choix de ce logiciel se confirme à nouveau grâce aux résultats obtenus.

4.3 Comparaison

Le logiciel 3DR a, jusqu'à lors, assuré toutes les comparaisons. Que ce soit pour du « nuage-nuage », du « nuage-maillage » et même du « maillage-maillage ». Les deux programmes de traitement de nuages gratuits ont des fonctions comparables à celle du logiciel propriétaire, à savoir calculer une distance entre deux entités 3D. Reste maintenant à déterminer si ces logiciels peuvent effectuer ces comparaisons à tous les niveaux et de manière efficace.

4.3.1 CloudCompare

Selon l'aide en ligne de CloudCompare²¹, il est possible de calculer une distance entre deux entités 3D, que ce soit pour du « nuage-nuage », « du nuage-maillage » ou du « maillage-maillage ».

Premièrement, dans cet outil de comparaison (« Distance computation »), il est envisageable d'écartier du calcul des parties trop éloignées selon une distance maximale qui peut être définie (figure 60 [1]). Puis, le deuxième onglet de cet outil sert dans les cas où, le nuage n'est pas assez dense selon l'aide en ligne de CloudCompare²². Il modifie localement la façon de calculer la distance. Pour terminer, dans le dernier onglet, quelques statistiques de la comparaison entre les deux objets 3D sont observables, comme le montre la figure 60 [3] ci-dessous.

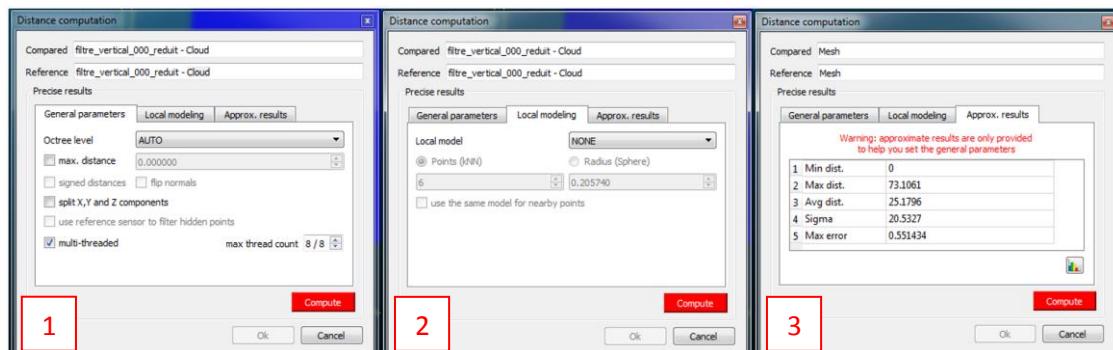


Figure 60 : Outil de comparaison entre 2 entités 3D de CloudCompare

²¹ http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=How_to_compare_two_3D_entities

²² http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Distances_Computation

Une fois la distance entre les deux entités calculées, il est possible de personnaliser les couleurs et les valeurs de l'histogramme, un peu à la manière de 3DR. Il est également possible d'enregistrer un histogramme ou alors d'en charger un qui est déjà établi. Une chose très pratique qu'on retrouve aussi dans le soft propriétaire. Cette fonction est très pratique lorsqu'il y a plusieurs comparaisons à effectuer et que le même histogramme doit être utilisé. Il simplifie la tâche et surtout évite des erreurs dans l'introduction de valeurs.

De plus amples détails sur cet outil ainsi que les étapes à suivre pour établir une comparaison dans CloudCompare sont à retrouver dans l'annexe 10.3.8.

4.3.2 MeshLab

Selon un blog de MeshLab²³, il est possible de comparer des objets 3D. Dans ce logiciel, c'est le même outil qui calcule la différence entre deux entités 3D, que ce soit pour une comparaison « nuage-nuage », « nuage-maillage » ou « maillage-maillage ». Comme pour CloudCompare, cet outil laisse la possibilité d'écartier des objets trop éloignés à l'aide d'une distance maximale à introduire. Il ressort également, comme son concurrent libre, des statistiques sur la comparaison. Elles sont, cette fois-ci, un peu plus cachées car elles se trouvent dans le journal du logiciel une fois que le calcul a été lancé.

Une fois la distance entre les deux entités calculée, il est aussi possible de modifier l'histogramme mais de manière légèrement plus fastidieuse que pour les deux autres logiciels à savoir 3DR et CloudCompare.

Comme pour CloudCompare, des éléments complémentaires et la marche à suivre pour l'élaboration d'une comparaison dans MeshLab se trouvent dans l'annexe 10.4.7.

4.3.3 Comparaison

Les illustrations des différentes comparaisons des résultats (« nuage-nuage » / « nuage-maillage » / « maillage-maillage ») se trouvent dans l'annexe 10.8. Dans ces figures, les résultats sont similaires entre eux. La seule différence est celle de la comparaison « nuage-maillage », où CloudCompare ne permet pas la coloration sur le nuage de points mais uniquement sur le maillage.

Autrement les différences entre les logiciels ne sont pas au niveau du résultat mais plutôt vers d'autres facteurs comme le temps de calcul pour des objets à grandes coordonnées comme par exemple les coordonnées suisses ($E=2'600'000$, $N=1'800'000$). Ce problème a déjà été évoqué précédemment aux chapitres 3.3 de « Géoréférencement » et 3.6.1 de « Maillage pour CloudCompare ». MeshLab ne supporte pas les données avec de grandes coordonnées, alors que CloudCompare apporte une translation à celles-ci afin de travailler localement dans la vue 3D. Cette problématique entraîne un léger ralentissement de la procédure de comparaison dans CloudCompare.

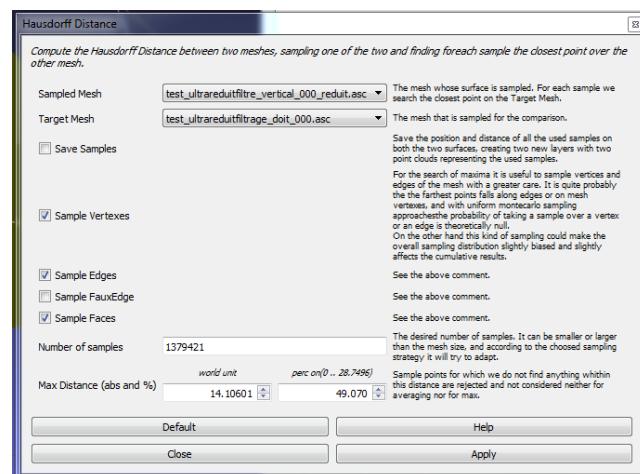


Figure 61 : Outil de comparaison entre 2 entités 3D de MeshLab

²³ <http://meshlabstuff.blogspot.ch/2010/01/measuring-difference-between-two-meshes.html>

Par contre, si les données sont dans un système local proche de zéro, les temps de calcul sont plus rapides pour les deux logiciels gratuits car 3DR utilise beaucoup de mémoire sur l'ordinateur, ce qui ralenti considérablement son calcul.

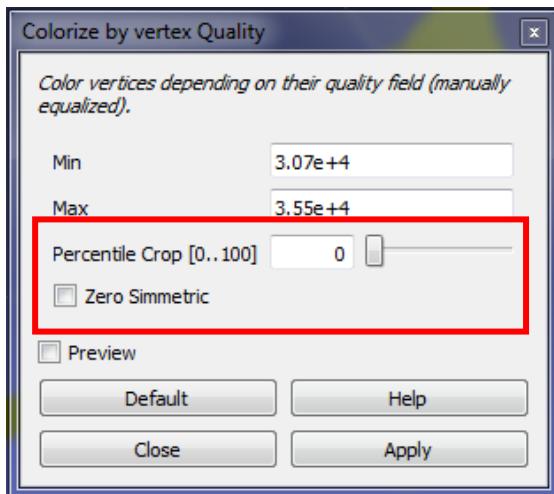


Figure 62 : Outil de coloriage de la comparaison d'entités 3D de MeshLab

Une autre différence, qui n'est pas négligeable, est celle du paramétrage de l'histogramme. Ce traitement est important dans le sens où le choix des valeurs et des couleurs est un facteur déterminant dans la mise en évidence des écarts. De ce fait, MeshLab se positionne en retrait par rapport aux deux autres logiciels car il ne permet pas une grande liberté à ce niveau. Les deux paramètres, avec lesquels il est possible de jouer pour modifier les valeurs et les couleurs en même temps, sont ceux encadrés en rouge dans la figure 62 (Plus de détails sur cette fenêtre se trouvent dans l'annexe 10.4.7).

La modification de l'histogramme de CloudCompare est très proche de 3DR. Dans les deux cas, il est possible de choisir le nombre de paliers, leurs valeurs et leurs couleurs. Cette opération est très appréciable et surtout très utile lorsqu'on recherche une différence entre deux objets 3D selon une précision demandée car cette dernière peut varier en fonction du travail à fournir. Elle peut dépendre de la précision de lever du scanner, des écarts qui doivent être mis en évidence entre les deux objets 3D et bien d'autres facteurs encore.

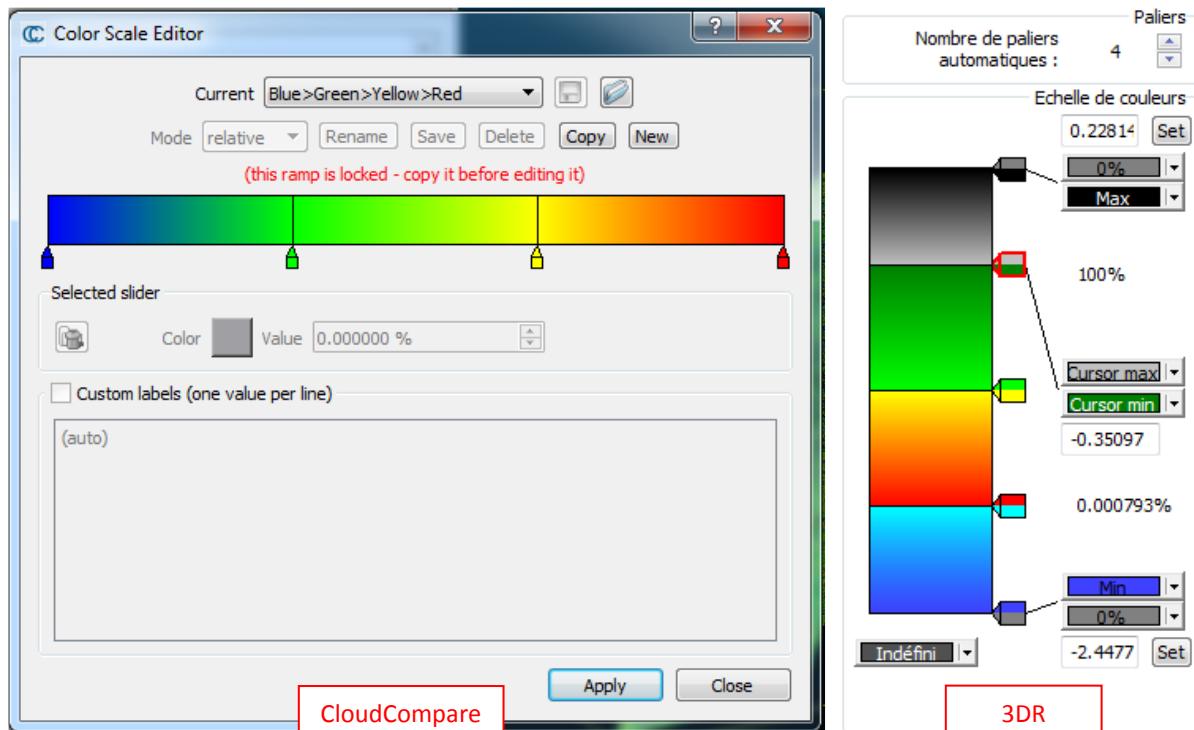


Figure 63 : Outil de modification de l'histogramme pour la comparaison de deux entités 3D (CloudCompare et 3DR)

4.3.4 Récapitulatif

Pour résumer et clore cette étape, le logiciel MeshLab est légèrement en retrait par rapport à son concurrent gratuit. Il ne supporte pas les grandes coordonnées comme cela a déjà été évoqué et surtout l'histogramme est moins personnalisable.

En revanche, CloudCompare est un sérieux concurrent au logiciel payant car il offre un très bon paramétrage de l'histogramme. Malgré des calculs de comparaison légèrement plus lents lorsque les fichiers possèdent de grandes coordonnées, celui-ci se rattrape quand ces éléments sont dans un réseau local, en étant plus rapide et moins gourmand en mémoire. Pour ces raisons, ce logiciel est la solution libre à cette étape.

| Logiciels | Avantages | Inconvénients |
|--------------|---|---|
| 3DR | Calcul des entités avec des grandes coordonnées | Calcul plus lent par rapport aux deux logiciels gratuits (coord. locales) |
| | Histogramme modifiable facilement | |
| | Histogramme enregistrable | |
| CloudCompare | Calcul rapide pour des éléments aux coordonnées locales | Calcul plus lent des entités avec de grandes coordonnées |
| | Histogramme modifiable facilement | |
| | Histogramme enregistrable | |
| MeshLab | Calcul rapide pour des éléments aux coordonnées locales | N'ouvre pas d'élément comportant des grandes coordonnées |
| | | Histogramme peu modifiable |
| | | Impossibilité d'enregistrer l'histogramme |

Figure 64 : Tableau récapitulatif de la comparaison d'objet 3D

4.4 Résultat final

Ce paragraphe est le résultat final de toutes les composantes de ce chapitre 4 (« Suivi de déformations »), soit le filtrage, le maillage et pour finir l'inspection. L'objectif de ce chapitre, déjà cité au début de ce dernier, était d'exécuter la même procédure que le laboratoire de topométrie et d'en comparer les résultats. Maintenant, il ne reste plus qu'à exécuter les étapes de ce chapitre sur deux acquisitions de la falaise puis faire la comparaison entre ces deux états afin de contrôler si l'inspection révèle les mêmes conclusions que le travail établi par le laboratoire de l'école.

Le résultat final est issu de :

- L'outil « CANUPO » à l'aide du deuxième fichier « *.prm » pour le filtrage (figure 56)
- Des paramètres illustrés à la figure 57 pour le maillage
- L'outil de comparaison « maillage-maillage »

Tout cela, à l'aide du logiciel CloudCompare dont voici les résultats ci-dessous (figures 65 et 66). Une fois coloré sur l'état 3 et une fois sur l'état 4. Les quatre zones, encadrées en rouge sur la figure 66, correspondent aux comparaisons qui seront faites avec le résultat obtenu par le laboratoire de l'école dans le tableau de la figure 67.

Dans l'annexe 10.9, les figures 65 et 66 sont à retrouver dans un plus grand format afin de mieux les visualiser, avec bien entendu, les résultats des comparaisons du laboratoire.

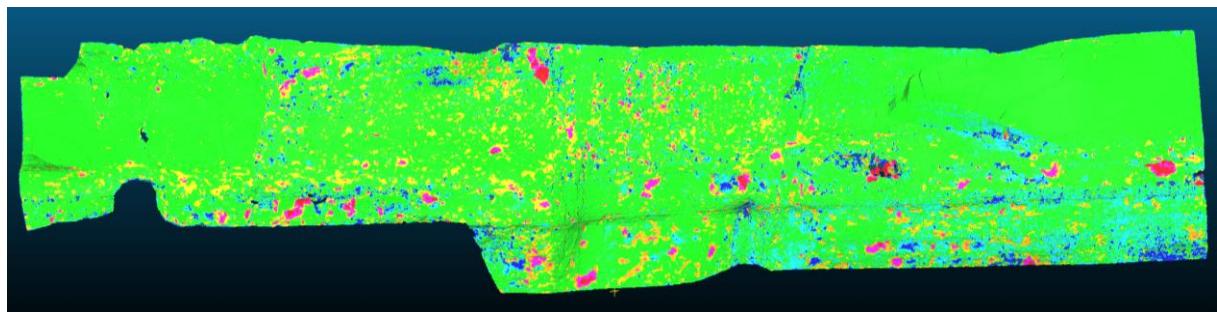


Figure 65 : Résultat de la comparaison « maillage-maillage » entre l'état 3 et l'état 4 avec CloudCompare (coloré sur état 3)

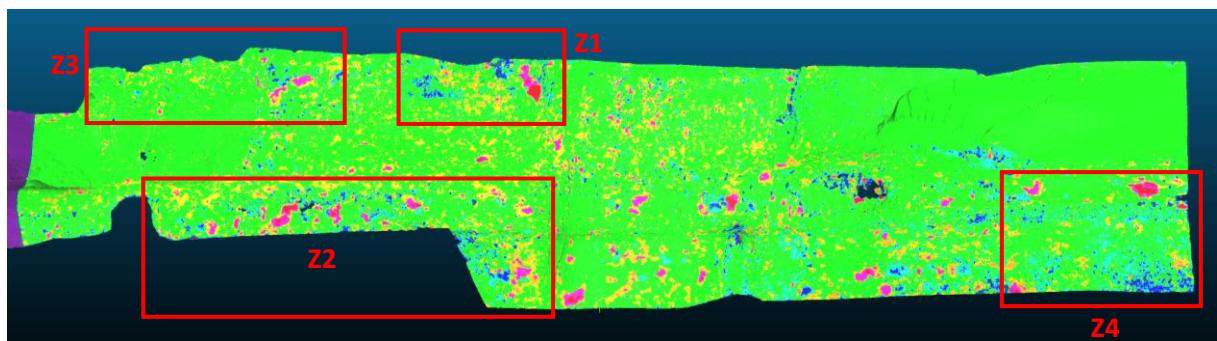


Figure 66 : Résultat de la comparaison « maillage-maillage » entre l'état 3 et l'état 4 avec CloudCompare (Coloré sur l'état4)

Afin de comparer si le processus gratuit fait ressortir les mêmes conclusions, celui-ci est comparé au résultat du laboratoire à quatre endroits pris aléatoirement sur le maillage.

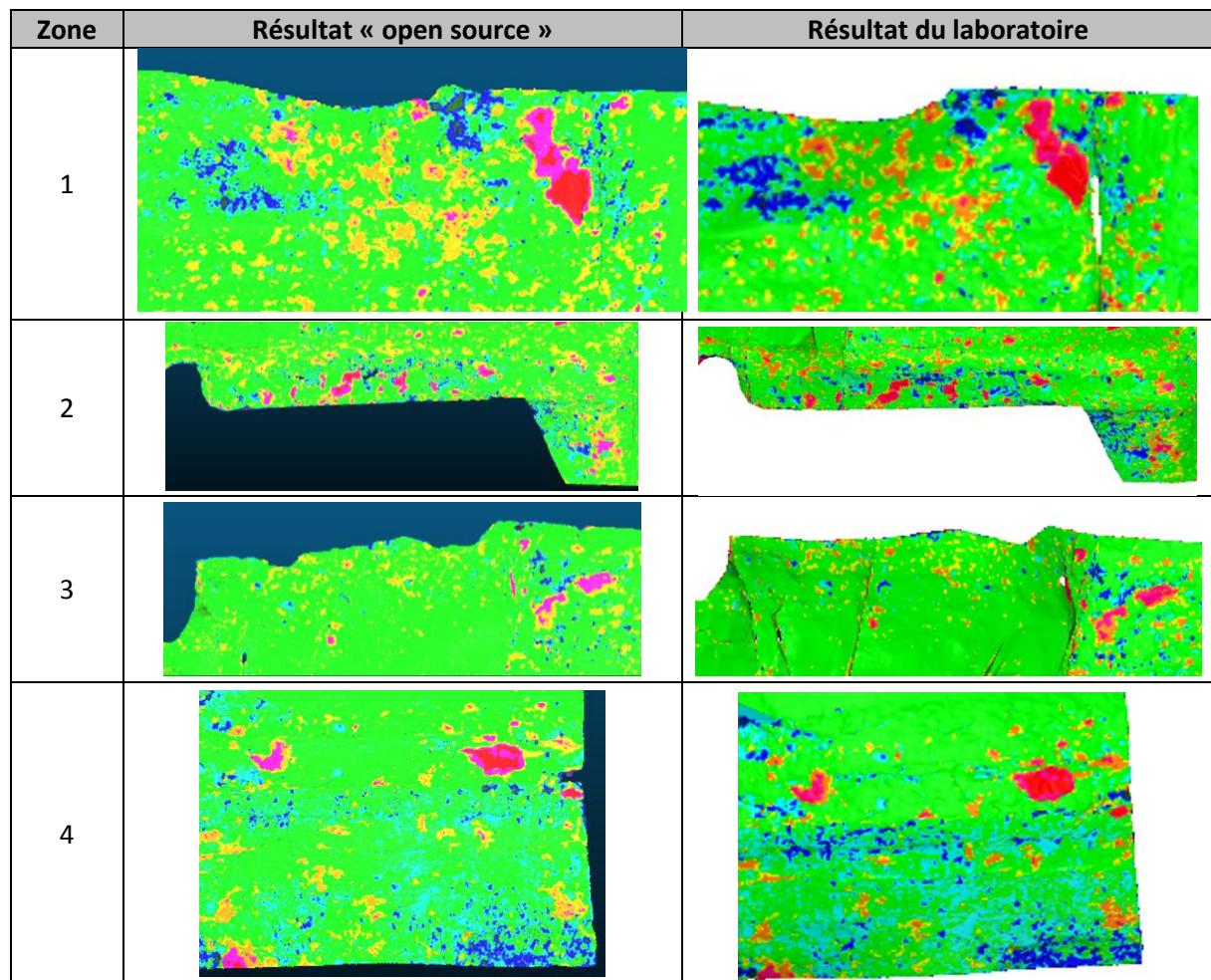


Figure 67 : Comparaison de l'inspection via CloudCompare et 3DR

Les comparaisons sont étonnantes, elles montrent des résultats entre les deux processus qui sont pratiquement similaires. L'histogramme du processus gratuit, via CloudCompare, a bien évidemment été calqué sur celui établi antérieurement par l'institut de l'école dans le but de pouvoir comparer plus facilement avec les mêmes couleurs et les mêmes paliers.

4.5 Conclusion du « Suivi de déformation »

Ce chapitre démontre le potentiel des outils gratuits existants pour le suivi de déformations. Le filtrage ainsi que le maillage sont d'une qualité équivalente à celle des outils utilisés dans le monde propriétaire.

Entre la procédure payante et celle qui est gratuite, il n'y a pratiquement pas de différence dans ce chapitre comme le montre la comparaison finale dans la figure 67. Le filtrage vertical qui s'apparente à une classification ainsi que le maillage sont des outils concurrentiels aux logiciels payants. De plus, la comparaison entre les deux entités 3D conclut au même résultat ce qui renforce les compétences du logiciel « open source ».

5 DIFFUSION

Ce chapitre concerne la diffusion des données. C'est une partie qui est plutôt dirigée vers la visualisation ou la diffusion des modèles 3D à des clients, par exemple. En 2 dimensions, cela pourrait correspondre à la fourniture de plans alors qu'en 3 dimensions, ce procédé n'est pas chose aisée.

À ce niveau-là, des diffuseurs web existent tels que Sketchfab qui a été utilisé lors du travail de semestre en 2016. Après différentes recherches, des diffuseurs web, aux fonctions similaires à Sketchfab, ont été trouvés. Des possibilités de visualiser d'objets 3D dans un PDF et même dans des logiciels de visualisation ont également trouvé un intérêt dans ces recherches.

5.1 Web

5.1.1 Sketchfab

Sketchfab est la solution qui a été utilisée pour le travail semestriel de la maquette en 2016. Il est connu de l'école (HEIG-VD) et il est avantageux sur beaucoup de points. Il propose un partage et une visualisation de données 3D sur le web, que ce soit des maillages ou des nuages de points. Plusieurs manipulations sont possibles sur ce diffuseur comme :

1. La possibilité de mettre un mode de diffusion « privé » ou « public »
2. La modification de la rotation
3. La personnalisation de la diffusion (lumière, image de fond, etc...)
4. La texturisation pour plusieurs maillages selon une procédure établie par la HEIG-VD à l'occasion du travail de la maquette (annexe 10.6 procédure de l'école HEIG-VD)
5. La modification de la texturisation par image (lumière, transparence,...)
6. La possibilité de mettre un nuage de points ou un maillage mais pas les deux ensembles
7. Les grandes coordonnées sont acceptées mais rendent la navigation plus lente

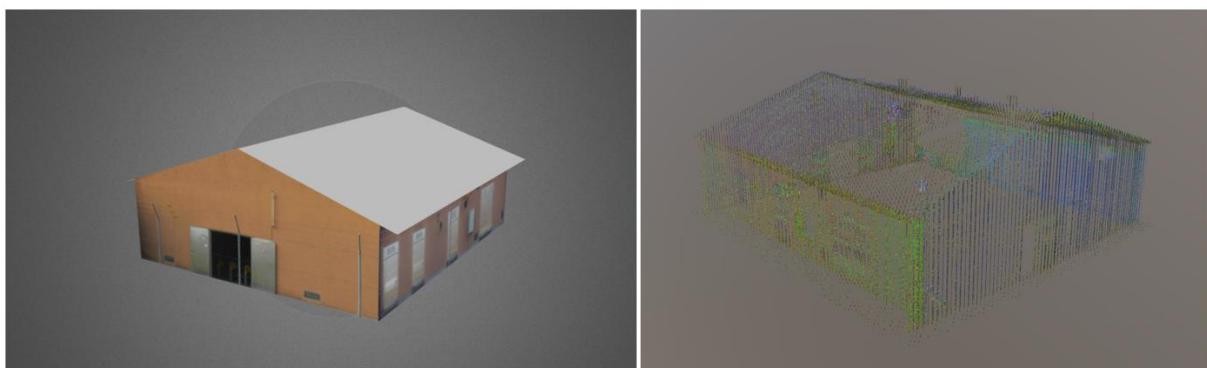


Figure 68 : Affichage de modèle 3D sur Sketchfab (maillage avec texture/nuage de points)

L'inconvénient de ce diffuseur web réside dans l'incapacité à mesurer sur le modèle. Il est certes très personnalisable d'un point de vue visuel mais il est impossible de calculer une distance ou une surface sur l'objet diffusé.

5.1.2 P3d.in

Cette plateforme ressemble copieusement à celle de « Sketchfab ». Il est possible de visualiser sur le web les modèles 3D effectués et plusieurs outils simples sont intégrés pour améliorer la diffusion comme le changement de couleur ou le mode de navigation. Sur cette plateforme, il est également possible de faire plusieurs manipulations comme :

1. La possibilité de mettre un mode de diffusion « privé » ou « public »
2. La modification de la rotation
3. La personnalisation de la diffusion
4. La possibilité de mettre un maillage mais pas de nuage de points
5. Les grandes coordonnées sont acceptées sans problème

Malheureusement, il n'y a pas de solution qui ont été trouvées pour garder la texture sur plusieurs maillages. La procédure « Sketchfab » ne fonctionne pas pour ce diffuseur mais la texture est tout de même possible pour un seul maillage (attention pas plus grand que 1028px pour la texture). Le problème de la texturisation pour un maillage unique a déjà été évoqué au paragraphe 3.8.2. Dans ce cas, la texturisation n'est pas possible pour ce site de visualisation. En revanche, comme pour « Sketchfab », il n'est pas possible de mesurer une distance.

5.1.3 3DVIEWERonline

Ce site propose une diffusion en ligne qui ressemble aux deux précédemment cités. Comme pour « P3d.in » le problème de texture est exactement le même et il n'est également pas possible d'insérer un nuage de points. Par contre, il est possible de garder une texture mais uniquement sur un maillage car l'ouverture de plusieurs objets n'est pas requis. Néanmoins, ce diffuseur en ligne possède deux très grands avantages par rapport aux deux précédents. Le premier, c'est qu'il peut mesurer entre deux points du modèle 3D et le deuxième, c'est qu'il est possible de visionner l'objet par section comme le montre l'illustration ci-dessous (figure 69).

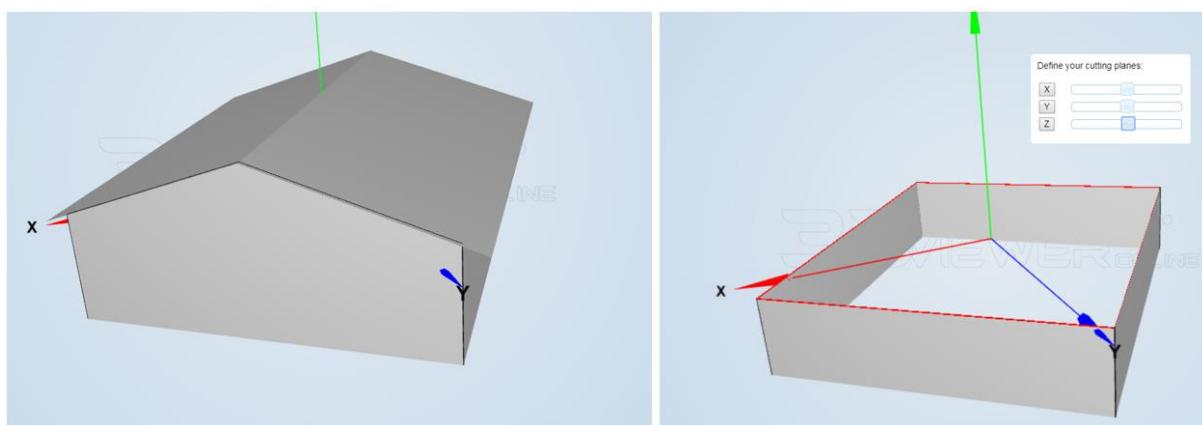


Figure 69 : Visualisation par section de « 3DVIEWERonline »

5.1.4 Récapitulatif

Quelques solutions web existent, celles-ci sont très utiles pour la visualisation de modèles 3D. Personnalisable sur plusieurs paramètres, ces solutions sont faciles à prendre en main mais elles ne permettent aucune mesure de distances sauf pour « 3DVIEWERonline ». Le grand problème avec ces diffuseurs web, c'est que nous sommes dépendants d'eux. En effet, du jour au lendemain, ils peuvent fermer leur site et les modèles seront perdus. Dans ce cas, il faudra trouver une autre solution. Ci-dessous, le tableau résume en quelques mots les différences entre les diffuseurs web.

| Diffuseurs web | Avantages | Inconvénients |
|----------------|--|---|
| Sketchfab | Solution de texture pour plusieurs faces | Mesure de distance impossible |
| | Visualisation très personnalisable | |
| | Diffusion de nuage de points | |
| P3d.in | Diffusion très personnalisable | Pas de solution de texture pour plusieurs faces |
| | | Mesure de distance impossible |
| | | Diffusion de nuage de points impossible |
| | | Texture pour une face |
| 3DVIEWERonline | Possibilité de mesurer | Pas de solution de texture pour plusieurs faces |
| | Visualisation personnalisable | Diffusion de nuage de points impossible |
| | Mesure de distance possible | Texture pour une face |

Figure 70 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des diffuseurs web

5.2 « Logiciel »

5.2.1 PDF 3D

Selon M. Bertrand Cannelle, professeur à la HEIG-VD, une autre solution est celle du PDF 3D. Celle-ci permet la visualisation de maillage et également de nuages de points. Le grand avantage de ce programme réside dans la possibilité de mesurer en 3D directement dans le PDF. Cette solution permet également la texturisation mais, là encore, comme pour les diffuseurs web, il faut avoir un seul maillage pour qu'il n'y ait pas de problème.

Afin de parvenir à l'affichage du modèles 3D dans un PDF, M. Cannelle, a programmé une solution qui passe par du langage « LATEX ». Pour l'utilisateur, il suffit d'exporter un fichier au format « *.u3d » et de le passer dans la solution « LATEX » pour qu'il ressorte en un fichier PDF 3D. Le seul logiciel « open source » utilisé qui permet d'exporter ce type de format est MeshLab. Même 3DR n'offre pas ce format d'export.

Le grand désavantage de cette solution, c'est qu'elle nécessite de bonnes connaissances en informatique et en programmation car coder ce type de langage n'est pas donné à tout le monde.

5.2.2 MiniMagics

Selon leur site²⁴ de téléchargement, ce visionneur est gratuit. Cette information reste à prendre avec des pinces car lorsque le logiciel s'ouvre, il affiche une fenêtre en disant qu'il reste une période de 15 jours d'essai. Malgré ces propos quelque peu ambigus, il fait tout de même parti de la sélection puisque ce logiciel possède des avantages intéressants, qu'on ne retrouve pas sur d'autres. Il peut par exemple ouvrir plusieurs maillages chose qui n'est pas possible sur d'autres diffuseurs. Ce logiciel offre également une vue des objets 3D dans différents états comme, par exemple, l'affichage des triangles du maillage. Mais surtout, il est possible de mesurer une distance sur les maillages et même entre différents maillages. Malheureusement, ce programme possède deux grands inconvénients. Le premier est l'incapacité d'afficher une texture préalablement faite et le second est qu'il n'est possible d'importer uniquement des maillages avec au format « *.stl ».

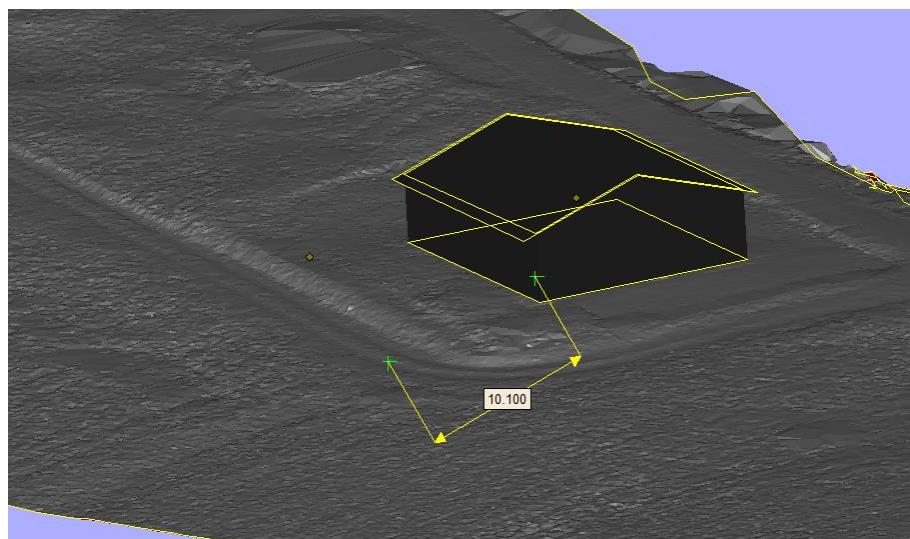


Figure 71 : Exemple de mesure sur le viewer « MiniMagics »

5.2.3 Récapitulatif

Entre ces deux diffuseurs, le choix résidera dans les besoins du client car même s'ils offrent tous deux une possibilité de mesurer une distance, ceux-ci ont des approches différentes. L'un est plus orienté vers la programmation et l'autre vers un programme de visualisation plus simple d'utilisation. Le premier permet la texturisation tandis que le second ne l'accepte pas. Le PDF 3D n'accepte pas plusieurs objets alors que « MiniMagics », oui. Il est difficile de déterminer lequel est plus pratique tant ils ont des possibilités diverses. Le tableau, ci-dessous, résume en quelques mots les différences entre les deux diffuseurs « logiciels ».

| Diffuseurs web | Avantages | Inconvénients |
|----------------|--|---|
| PDF 3D | Solution de texture pour un seul objet | Affichage de plusieurs objets |
| | Diffusion de nuage de points | |
| | Mesure de distance possible | |
| MiniMagics | Mesure de distances possible | Diffusion de nuage de points impossible |
| | Affichage de plusieurs objets | Texture impossible |
| | Personnalisation de l'affichage | |

²⁴ <http://www.materialise.com/fr/software/minimagic>

Figure 72 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des diffuseurs « logiciels »

5.3 Conclusion de la « Diffusion »

La diffusion de modèles 3D, sur le web ou par « logiciel », est très diverse. Plusieurs possibilités gratuites sont offertes et chacune d'elles possèdent ses spécificités. Concernant le diffuseur web ceux-ci sont très intéressants du fait qu'ils sont accessibles depuis n'importe quel ordinateur. Malheureusement, c'est une solution qui ne dépend pas de l'utilisateur. Si un jour, pour une raison ou une autre, le site venait à fermer, les données se retrouveraient perdues. Pour cette raison, cette solution reste relativement sensible.

Pour les visualisations d'objet 3D par « logiciel », cette solution existe dans un premier temps par l'intermédiaire d'un PDF 3D mais les connaissances en informatique sont nécessaires. De ce fait, cette solution n'est pas optimale. Dans un second temps, une option via « MiniMagics » a été trouvée. Cependant, cette alternative n'est peut-être pas complètement gratuite. Il faut la placer entre parenthèse et sachant qu'une version d'essai existe. Mais malgré cela, elle très facile d'accès.

La solution miracle de diffusion de donnée 3D n'a malheureusement pas encore été trouvée. Les diffuseurs exposés ne sont bien évidemment pas exhaustives et le choix de l'un ou de l'autre dépend considérablement des besoins de l'utilisateur et de ce qu'il désire comme produit final.

Dans le chapitre 7 de ce rapport, quelques perspectives qui n'ont pas été approfondies sont mentionnées pour la diffusion de données.

6 DIFFICULTÉS

6.1 Nouveaux logiciels

La prise en main de nouveaux logiciels n'est de loin pas évidente. Qui dit nouveau logiciel, dit nouvelle façon de procéder ; un temps d'adaptation était alors nécessaire à chaque logiciel inédit afin de bien comprendre les méthodes de fonctionnement de chaque programme. Mais ce temps d'ajustement a grandement été simplifié par les différents supports et aides qui étaient facilement disponibles. C'est pour cette raison qu'il semblait important de faire une première comparaison des aides qui sont accessibles par les forums et documents des logiciels en début de ce rapport (paragraphe 2).

6.2 Langue

L'une des plus grandes difficultés était le langage de la plupart des logiciels et de leurs supports. N'ayant que très peu d'aisance avec l'anglais, le travail de traduction était obligatoire et a nécessité l'aide de traducteurs. Heureusement, les traductions en ligne sont de plus en plus performantes et ces outils ont grandement facilité la compréhension de toutes les recherches.

7 PERSPECTIVES

7.1 Export des scanners (extensions)

Les extensions font parties du premier point d'amélioration de ce rapport. Comme il a été expliqué au paragraphe 3.1, le problème lorsque les fichiers sont exportés des scanners, c'est qu'ils sont souvent dans des extensions propres à leur logiciel de traitement. Malheureusement, il n'y a pas de solutions qui ont été trouvées à ce propos. C'est un gros point d'interrogation qui n'est pas résolu et qui interrompt d'entrée la possibilité de traitement des nuages après leur acquisition.

7.2 Marching Cube (maillage MeshLab)

Comme ce problème a déjà été cité au paragraphe 3.6.2, l'outil « Marching Cube » de MeshLab propose un maillage qui n'est pas extrapolé contrairement aux solutions qui ont été trouvées à cette étape (méthode « Poisson »). Cependant, après plusieurs tests, aucune solution satisfaisante n'a été trouvée malgré tous les paramètres testés. Cet outil reste un élément d'approfondissement car cette possibilité ne nécessiterait aucun post-traitement du fait que le maillage ne va pas au-delà du nuage.

7.3 Texturisation

La texturisation reste l'étape du chapitre 3 « Réalisation d'une maquette » sans solution satisfaisante. La seule possibilité trouvée est celle de MeshLab mais elle est trop fastidieuse et difficile à utiliser. Cette phase reste le plus grand élément d'amélioration du chapitre 3 du fait qu'il n'existe pas d'autre alternative dans cette étude.

7.4 Diffusion

Le chapitre 5 « Diffusion » subsiste sans solution miracle. Toutefois, plusieurs pistes ont été trouvées mais celles-ci dépendent surtout des besoins de l'utilisateur ou de ses clients. Les diffuseurs web esquissés se ressemblent mais les particularités de mesures de distances ou de textures restent les principales différences, tout comme pour les diffuseurs « logiciel ».

Puisque la diffusion dépend beaucoup des besoins de ceux qui en profiteront, d'autres pistes de visualisation 3D sont proposées. Toutefois, elles n'ont pas été approfondies par manque de temps car celles-ci demandaient un temps d'adaptation dû à leur utilisation inédite. Il s'agit de « Clara.IO » qui a été utilisé par certains étudiants pour la diffusion de leur maquette (2017). Ce diffuseur web est complexe et très varié, il permet, par exemple, de faire des animations de l'objet 3D. Il existe également une solution via « Potree.org » mais celle-ci nécessite la possession d'un serveur et des connaissances en programmation.

8 CONCLUSION

Cette thèse de Bachelor met en avant l'utilisation de logiciels libres dans l'accomplissement de différentes tâches auxquelles peuvent être confrontés les bureaux en géomatique. Bien évidemment, les résultats ne sont pas exhaustifs car l'objectif principal de ce travail était la recherche de solutions plutôt qu'un inventaire de possibilités. Néanmoins, des logiciels gratuits de traitement de nuage de points ainsi que de modélisation existent.

Dans la première partie de comparaison, la réalisation d'une maquette 3D est accessible au moyen de programmes libres. Les principaux acteurs de cette phase sont les logiciels suivants : CloudCompare, MeshLab et FreeCAD. À chaque étape, une solution gratuite est proposée avec une marche à suivre annexée. Cependant, les formats des nuages de points exportés du laser scanner doivent correspondre aux possibilités d'importation qu'offrent les logiciels gratuits. C'est à cette condition que dépend l'utilisation de solutions libres dans ce chapitre, car souvent, les formats d'export du scanner sont propres aux constructeurs. Cela, dans le but d'inciter l'utilisateur à acquérir leurs logiciels de traitement vu que les programmes « open source » ne les supportent pas. Une fois cet obstacle passé, les étapes d'assemblage, de géoréférencement, de nettoyage, de filtrage (sur un plan horizontal), de maillage, de modélisation et de texturisation ont toutes une ou voire plusieurs solutions gratuites et concurrentielles aux logiciels propriétaires. Hormis, la partie texturisation, qui est fastidieuse et difficile d'utilisation, par rapport au logiciel de 3DReshaper.

La seconde partie pratique, dont le chapitre se nomme « Suivi de déformations », offre une vue sur l'inspection entre deux états de mesures. Ce procédé met en avant trois phases qui sont le filtrage du nuage de points (sur un plan vertical), le maillage ainsi que la comparaison d'entités 3D ou, en d'autres termes, l'inspection. Les résultats de ces étapes démontrent la réelle concurrence des logiciels gratuits sur les programmes propriétaires. Les conclusions sont surprenantes car ils sont véritablement similaires entre la procédure libre et celle payante.

La dernière partie est une proposition de diffusion et de partage de modèles 3D. Dans ce chapitre, la solution miracle n'a pas encore été trouvée. Malgré tout, des propositions de plusieurs diffuseurs web ou de programmes sont exposées. Le choix, entre celles-ci, dépend surtout des besoins de l'utilisateur ou des clients, par exemple, car chacune des visualisations offrent des spécificités différentes comme la mesure de distances sur le modèle 3D, la texturisation du maillage ou encore la diffusion d'un nuage de points.

Du fait que les résultats de cette recherche ne sont pas exhaustifs, il existe d'autres possibilités gratuites pour certaines étapes qui ont été testées. C'est pour cette raison que des perspectives futures subsistent et sont évoquées dans ce rapport. Néanmoins, le cahier des charges, établit préalablement, a été rempli. Les 3 phases, qui ont été décrites précédemment, sont celles qui devaient être traitées dans cette thèse et des solutions à celles-ci ont effectivement été évoquées.

D'un point de vue personnel, ce projet a amené un grand enrichissement. Du côté de la lasergrammetrie, il m'a permis une prise de connaissance de plusieurs logiciels gratuits et de leurs potentiels d'utilisation qui étaient encore inconnus auparavant. Du point de vue professionnel, cette étude a fait appel à la communication et à l'organisation du travail. Étant 10 semaines sur le même projet avec un cahier des charges à remplir, il est facile de se perdre et de stagner sur une étape de la recherche. Grâce à un planning préalablement établit à la demande du professeur responsable, celui-ci a permis d'optimiser le travail afin de respecter les objectifs fixés et de parvenir aux résultats escomptés.

Pour terminer, la capacité des logiciels libres ne cesse d'augmenter grâce à sa communauté et à son intérêt toujours plus grandissant. En espérant que cette thèse de Bachelor soit encore utilisable dans quelques années sans qu'elle soit désuète trop rapidement, on peut légitimement se demander jusqu'à quel point ces solutions gratuites évolueront avant d'être peut-être un jour rachetées ou payantes ?

Yverdon-les-Bains, 28 juillet 2017

Florian Perler

9 BIBLIOGRAPHIE

Documents :

- Vallotton Hervé, *Evolution de solutions pour l'auscultation de surfaces naturelles via scannage 3D*, 2011
- Coatelen Jérémie et Falk Kevin, *Implémentation de la triangulation de Delaunay en C++*, 2010. Disponible sur : https://www.isima.fr/f4/projets2009/coatelen_falk.pdf
- Michael Kazhdan, Matthew Bolitho et Hugues Hoppe, *Poisson Surface Reconstruction*, 2006. Disponible sur : <http://www.cs.jhu.edu/~misha/MyPapers/SGP06.pdf>
- Michael Kazhdan (John Hopkins University) et Hugues Hoppe (Microsoft Research), *Screened Poisson Surface Reconstruction*, 2012. Disponible sur : <http://www.cs.jhu.edu/~misha/MyPapers/Tog13.pdf>
- Tania Landes, Pierre Grussenmeyer, Hakim Boulaassal, *les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre*, 2011. Disponible sur : <http://www.aftopo.org/download.php?matricule=412906>
- Paul J. Bresl et Neil D. McKay, *A Method for Registration of 3-D Shapes*, 1992. Disponible sur : http://www-evasion.inrialpes.fr/people/Franck.Hetroy/Teaching/ProjetsImage/2007/Bib/besl_mckay_pami1992.pdf
- Nicolas Brodou et Dimitri Lague, *3D terrestrial lidar data classification of complex natural scenes using a multi-scale dimensionality criterion : applications in geomorphology*, 2012. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/insu-00700970/document>

Sites internet :

- Site de CloudCompare, *3D point cloud and mesh processing software*. Disponible sur : <http://www.danielgm.net/cc/>
- Site de Meshlab, *the open source system for processing and editing 3D triangular meshes*. Disponible sur : <http://www.meshlab.net/>
- Site de FreeCAD. Disponible sur : <https://www.freecadweb.org/?lang=fr>
- Site de 3DR. Disponible sur : <http://www.3dreshaper.com/fr>
- DGM, AB et RM, 2012. *CloudCompare, manuel d'utilisateur de la version 2.4*. Disponible sur : http://www.danielgm.net/cc/doc/qCC/Documentation_CloudCompare_version_2_4.pdf
- Guillaume Champeau, 2015. *Modélisation 3D : les meilleures logiciels et applications*. Disponible sur : <http://www.numerama.com/tech/132900-logiciels-et-outils-de-modelisation-3d.html>
- FreeCAD, *tables des matières de la documentation en ligne*. Disponible sur : https://www.freecadweb.org/wiki/Online_Help_Toc/fr
- CloudCompare, *Filtrage, CSF (plugin)*, 2016. Disponible sur : [http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=CSF_\(plugin\)](http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=CSF_(plugin))
- FreeCAD, *navigation dans l'espace 3D*. Disponible sur : https://www.freecadweb.org/wiki/Mouse_Model/fr
- Tenney Matthew, *Maillage MeshLab, Geospatial Modeling & Visualization*, 2012. Disponible sur : <http://gmv.cast.uark.edu/scanning/point-clouds-to-mesh-in-meshlab/>
- CloudCompare, *Normals/Compute*, 2016. Disponible sur : <http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Normals%5CCompute>
- Geospatial Modeling & Visualization, *Point Clouds to Mesh in « MeshLab »*, 2012. Disponible sur : <http://gmv.cast.uark.edu/scanning/point-clouds-to-mesh-in-meshlab/>

- GEOsciences Rennes, *3D Point Cloud Classification with CANUPO*. Disponible sur :
<https://geosciences.univ-rennes1.fr/spip.php?article1284>
- Forum CloudCompare, *CANUPO plugi-in*, 2015. Disponible sur :
<http://www.danielgm.net/cc/forum/viewtopic.php?t=1235>
- Site de Faro, *logiciel SCENE*. Disponible sur :
<http://www.faro.com/fr-fr/produits/logiciels-faro/scene/apercu#main>
- CloudCompare, *Compare two 3D entities*, 2015. Disponible sur :
http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=How_to_compare_two_3D_entities
- CloudCompare, *Distances Computation*, 2015. Disponible sur :
http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Distances_Computation
- MeshLab, Paolo Cignoni, *Measuring the difference between two meshes*, 2010, Disponible sur :
<http://meshlabstuff.blogspot.ch/2010/01/measuring-difference-between-two-meshes.html>

Vidéos :

- *Démonstration d'assemblage de nuages de points sur CloudCompare*, ForensicAnimations, 2012 : <https://www.youtube.com/watch?v=2mySiASOTfw>
- *Démonstration d'assemblage de nuages de points sur MeshLab*, Mister P. MeshLab Tutorials, 2011 : <https://www.youtube.com/watch?v=4g9Hap4rX0k>
- *Démonstration de géoréférencement sur CloudCompare*, M. Alessandro Bezzi, 2013 : https://www.youtube.com/watch?v=S32wy66e_0o
- *Démonstration de géoréférencement sur Meshlab*, M. Alessandro Bezzi, 2014 : <https://www.youtube.com/watch?v=QTqj8GuyxIY>
- *Logiciel de modélisation 3D gratuits*, « Gaming noize », 2014 : https://www.youtube.com/watch?v=KK2fl3c_9ck
- *Démonstration de maillage sur CloudCompare avec l'outil « Poisson Surface Reconstruction »*, UQ Architecture, 2016 : <https://www.youtube.com/watch?v=MS3Krxcy2j0>
- *Démonstration d'alignement entre les photos et la modélisation (texturisation) sur MeshLab*, Mister P. MeshLab Tutorials, 2012 : https://www.youtube.com/watch?v=Pv6_qFlr7gs
- *Démonstration de « texturisation » sur MeshLab*, Mister P. MeshLab Tutorials, 2012 : <https://www.youtube.com/watch?v=OJZRulzHcVw>

Photos :

- Photo du damier :
http://shop.laserscanning-europe.com/bilder/produkte/gross/kleine-Laserscanner-Zielmarkentafel-Checkerboard-Target_b3.jpg
- Photo de la sphère : Photo prise durant l'exercice de maquette 2016 à la HEIG-VD
- Photo du prisme :
<http://www.materiel-geometre.fr/dcodes/webstore/station-pour-prisme-type-leica.jpg>
- Illustration de la triangulation de Delaunay :
http://www.geom.uiuc.edu/~samuelp/del_tri.gif

10 ANNEXES

10.1) Cahier des charges

10.2) Clause de confidentialité

10.3) CloudCompare

10.3.1) Outils pratiques du logiciel

10.3.2) Assemblage

10.3.3) Géoréférencement

10.3.4) Nettoyage

10.3.5) Filtrage

10.3.6) Maillage

10.3.7) Modélisation

10.3.8) Comparaison

10.4) MeshLab

10.4.1) Outils pratiques du logiciel

10.4.2) Assemblage

10.4.3) Géoréférencement

10.4.4) Nettoyage

10.4.5) Maillage

10.4.6) Texturisation

10.4.7) Comparaison

10.5) FreeCAD

10.5.1) Outils pratiques du logiciel

10.5.2) Modélisation

10.6) Diffusion

10.6.1) Sketchfab

10.7) Comparaison des maillages entre logiciels

10.8) Comparaison entre les outils de distances entre deux entités

10.9) Résultat final du « Suivi de déformations »

Du nuage à la maquette 3D avec des logiciels libres

ANNEXES

10.1 Cahier des charges



Géomatique et
gestion du territoire



HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch

Département EC+G
Orientation : Géomatique & Gestion du territoire
Disciplines : Lasergrammétrie

Travail de Bachelor 2017 – Cahier des charges

Sujet : Du nuage à la maquette 3D avec des logiciels libres

Diplômant-e : M. Florian Perler

Professeur responsable : M. Vincent Barras,

Expert : M. Guillaume Chapotte

Sujet proposé par : Le laboratoire de topométrie de l'institut insit

RESUME

Depuis de nombreuses années, le laboratoire de topométrie travaille dans le relevé 3D via scanner laser terrestre. Les logiciels utilisés sont essentiellement des outils propriétaires des constructeurs ou des logiciels de modélisation du marché.

Le mode libre propose, depuis passablement de temps, des approches intéressantes de la lasergrammétrie. Même si les principaux développements ne sont pas orientés vers des traitements géomatiques, les algorithmes proposés peuvent aussi offrir d'intéressantes alternatives, voir remplacer avantageusement des outils payants.

Cette étude doit évaluer l'intérêt technique et en terme d'efficience, d'utiliser des logiciels libres pour les différentes étapes auxquelles est confronté un bureau en géomatique qui doit traiter un mandat de lasergrammétrie, de son acquisition à sa diffusion, en passant par sa modélisation.

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Le cursus bachelor en géomatique de la heig-vd propose une approche de la modélisation 3D au travers de quelques exercices et de projets. Pour réaliser ces travaux, les étudiants disposent d'outils courants du marché. Mise à part la partie liée au géoréférencement (qui reste très cloisonnée), dans la mesure du possible, les logiciels proposés sont génériques et traitent les données provenant de plusieurs constructeurs de scanners lasers terrestres. Par contre, tous ces outils sont sous licence commerciale et les coûts de maintenance ne sont pas négligeables.

Le monde libre propose quelques outils permettant de travailler et manipuler des nuages de points. Les plus connus sont :

- ✓ CloudCompare, comme son nom anglais l'indique, a débuté par des algorithmes pour la comparaison de nuages entre eux, vers des calculs de différences entre nuages et maillages.
- ✓ MeshLab a débuté par des optimisations de création de maillages. Il dispose de très nombreux plugins spécifiques. Les dernières évolutions sont plus vers le monde de la photogrammétrie et la texturisation.
- ✓ Blender est plus un concurrent libre de logiciels du type 3D Studio Max. Il permet de créer des animations virtuelles. Il possède peut-être des outils intéressants pour la diffusion de maquette 3D.

Ce petit extrait n'est pas exhaustif. Il donne simplement un point de départ des recherches à effectuer.

MANDAT

Le travail de bachelor peut être réparti en différentes tâches :

❖ Recherche des logiciels libres existants

Les 1^{ers} jours seront consacrés à la recherche des solutions libres (ou gratuites) existantes. En fonction des informations glanées, ces outils seront classés par rapport aux étapes d'un mandat de création d'une maquette 3D.

Suivant l'ampleur des solutions disponibles, un choix argumenté sera opéré.

La synthèse de ces recherches permettra de décrire l'état de l'art en ce printemps 2017.

❖ Réalisation d'une maquette 3D

Sur la base de votre choix et des données existantes (par exemple les données de base de votre maquette de Pomy), tenter de réaliser :

- ✓ L'assemblage et le géoréférencement des nuages provenant d'un ou plusieurs scanners lasers terrestres,
- ✓ Le nettoyage de ces données,
- ✓ Le maillage et la modélisation partielle du bâtiment et de quelques conduites,
- ✓ La diffusion de ces données.

Fort de votre expérience sur les logiciels commerciaux déjà connus, vous établissez, pour ces différentes étapes, une comparaison argumentée.

Au final, vous proposez, dans la mesure du possible, un flux de traitement approprié qui utilise, lorsque cela est intéressant, des logiciels libres.

❖ Suivi de déformations

Une activité importante du laboratoire de topométrie de l'institut insit, en ce qui concerne la lasergrammétrie, est le contrôle et le suivi d'ouvrage.

Pour ce traitement particulier, et en vous basant sur des données géoréférencées, mais non encore filtrées de la falaise d'Hauterive, vous analysez le potentiel des logiciels libres à :

- ✓ Filtrer la végétation et rechercher les points sur la falaise,
- ✓ Modéliser (si cela est nécessaire) 2 états de mesures (par exemple les états 3 de 2016 et 4 de 2017),
- ✓ Inspecter les mouvements d'érosion entre ces 2 campagnes.

Pour réaliser ces auscultations surfaciques, vous pouvez vous inspirer de la marche à suivre du projet AuLi_H.

Comme pour les travaux de modélisation, vous proposez une analyse critique (positive et négative) du travail avec les logiciels que vous avez choisis.

❖ La diffusion de donnée

Soit en vous basant sur les travaux précédents, soit sur d'autres données disponibles, vous étudiez les possibilités de structurer et préparer à la diffusion :

- ✓ Des nuages de points
- ✓ Des modélisations 3D

L'objectif est de pouvoir partager, avec des professionnels de la géomatique, ces données 3D en s'aident de solutions ouvertes.

ÉVOLUTION DU MANDAT

Si le temps le permet, vous pourrez tester d'autres outils ou d'autres travaux types de la lasergrammétrie. Vous pourrez également élargir votre étude en analysant les fonctions, des logiciels choisis, utiles à la photogrammétrie



DOSSIER A FOURNIR ET DÉROULEMENT

Plan de travail :

Afin de bien organiser votre travail et les prises en main nécessaires (utilisation de scanners lasers si besoin, prise en main de logiciels ...), la 1^{ère} démarche consiste à présenter un plan de travail où figurent les différentes visites, des périodes d'utilisation des instruments ainsi que les besoins en soutien des assistants.

- ✓ Ce document est à fournir au plus tard le lundi 29 mai 2017 par e-mail.

Rapport et séance intermédiaire :

Afin de valider la démarche, les 1^{ères} étapes du travail et discuter des résultats en cours, une séance intermédiaire officielle, en présence de votre professeur responsable, votre expert et du mandant est agendée au

Vendredi 30 juin 2017 à 13h30

Le détail de son contenu sera affiné lors de nos entrevues hebdomadaires. Le document sera remis sous forme PDF pour le lundi 26 juin 2017 à 16h30.

Rapport final

Votre rapport final comprendra toutes les informations nécessaires à la bonne compréhension de votre démarche, de vos choix et de votre étude. Il sera accompagné, au minimum :

- ✓ En fonction de vos résultats, une présentation des flux de données relatifs aux mandats analysés
- ✓ Un tableau de synthèse des forces et faiblesses des logiciels prix en mains et une vision personnelle sur leur utilisation dans une entreprise de géomatique
- ✓ D'un article de 3-5 pages maximum qui présente et résume cette problématique (ce document pourra être remis lors de la défense, le jeudi 7 septembre 2017)

Votre travail sera fourni en 3 exemplaires (l'expert, le professeur et l'étudiant) à la date et aux conditions décrites dans la directive.

ANNEXE AU CAHIER DES CHARGES

La directive pour le travail de bachelor 2017 est à considérer comme une annexe à ce cahier des charges.

Ce travail de diplôme est public et ne fait pas l'objet d'une clause de confidentialité.

PERSONNES DE CONTACT

Pour réaliser ce travail, votre expert est :

| | | |
|-----------------------------|--|---|
| M Guillaume Chapotte | Ingénieur en Géomatique Bureau BBHN Rte de la Croix-Blanche 42 Case Postale 47 1066 Epalinges Expert pour votre travail de Bachelor | g.chapotte@bbhnsa.ch 021 623 13 17 |
|-----------------------------|--|---|

Cette personne est à votre disposition pour vous orienter dans vos recherches, vous conseiller dans les choix pratiques et pour partager son expérience dans le domaine de votre étude.

En interne, M. Arthur Mancini est l'assistant qui vous épaulera dans votre travail pour le domaine de la lasergrammétrie. Il assurera le support technique du 1^{er} niveau.

Yverdon-les-Bains, le 22 mai 2017



Candidat
Florian Perler

Professeur responsable
V. Barras

Expert
G. Chapotte

Doyen du département EC+G
A. Oribasi

10.2 Clause de confidentialité



HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch

« Confidentialité »

Confidentialité liée au Travail de Bachelor (TB)

Diplômant:

Perler Florian

Titre du travail de Bachelor:

Du nuage à la maquette 3D avec logiciels libres

Domaine de recherche du TB:

M. Vincent Barras

Professeur responsable du TB:

Entreprise partenaire:

Tous les TB sont déposés à la Bibliothèque de la HEIG-VD qui en gère l'archivage et la consultation. Quel que soit le niveau de confidentialité du TB, le nom du diplômant, le nom du professeur responsable, le titre du TB, le domaine de recherche et le résumé publiable figurent dans tous les documents de présentation des TB ainsi que dans la base de données des TB (<http://tb.heig-vd.ch>). Le professeur responsable veille à ce que le titre du TB, le libellé du domaine de recherche et le résumé publiable soient rédigés conformément au niveau de confidentialité voulu.

Les TB peuvent être soumis à un logiciel anti-plagiat. Dans ce cas, leur contenu sera traité de manière confidentielle.



Le TB n'est pas confidentiel:

Outre les informations mentionnées ci-dessus, les documents de présentation du TB contiennent également les noms des entreprises partenaires, le résumé publiable et une affiche descriptive. Le TB peut être consulté ou emprunté librement à la Bibliothèque par le corps enseignant et les étudiants. Si une personne externe à la HEIG-VD souhaite consulter ou emprunter un TB, elle dépose une demande motivée auprès de la Bibliothèque, laquelle sollicite l'accord du professeur responsable et du doyen du département concerné.



Le TB est confidentiel: les conditions suivantes de diffusion des informations sont à appliquer:

- Oui Non Nous acceptons que les noms des entreprises partenaires figurent dans les documents publiés ainsi que dans la base de données consultable sur <http://tb.heig-vd.ch>.
- Oui Non Nous acceptons que, une fois validé par les entreprises partenaires, l'affiche descriptive du TB figure dans la base de données consultable sur <http://tb.heig-vd.ch>.
- Oui Non Nous acceptons que le TB soit consultable et empruntable par le corps enseignant, les étudiants ou une personne externe à la HEIG-VD sous condition de l'obtention de l'accord des entreprises partenaires, du professeur responsable du TB et du doyen du département concerné. Le TB porte la mention « confidentiel, consultable sous condition ».
- Oui Non Nous demandons qu'aucune consultation ou emprunt du TB ne soit permis hormis par le professeur responsable du TB qui s'engage à ne pas faire usage des informations mises à sa disposition. Le TB porte la mention « confidentiel, non consultable ».

Dans tous les cas, un accord de confidentialité doit être signé par l'étudiant, l'expert et toutes les personnes participant à l'évaluation du TB.

« Confidentialité »

Nous déclarons accepter les conditions de diffusion du Travail de Bachelor indiquées.

Diplômant :

Date: 06.06.2017

Nom et signature:



Professeur responsable :

Date: 06.06.2017

Nom et signature:



Entreprise partenaire :

Date: _____

Nom et signature:

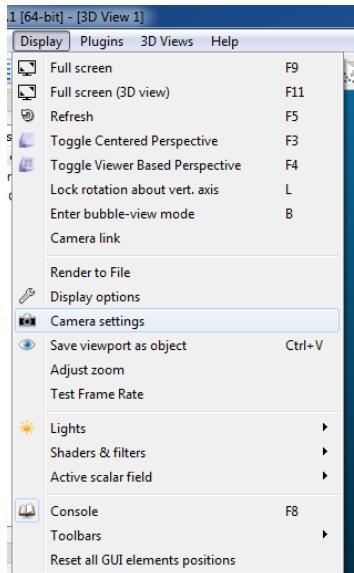
N.B.: Ce document fait partie intégrante du cahier des charges du TB.

La forme masculine est utilisée comme genre neutre et désigne à la fois les hommes et les femmes.

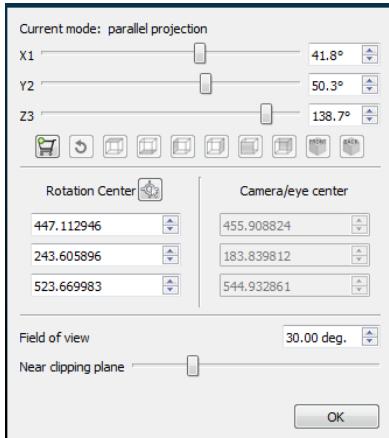
10.3 CloudCompare

10.3.1 Outils pratiques du logiciel

10.3.1.1 Changement du centre de rotation



Par défaut, le centre de rotation est au milieu des nuages de points introduits dans le logiciel. Pour le changer, il suffit d'aller dans l'outil « Camera settings » sous l'onglet « Display ».

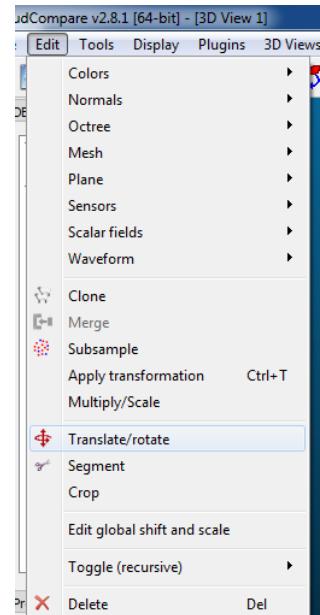


Ensuite, une fenêtre s'ouvre et il faut cliquer sur « Rotation Center » et sélectionner sur le nouveau centre de rotation. Celui-ci doit être un point d'un nuage.

10.3.1.2 Translation/rotation d'un élément

Si deux éléments sont trop éloignés l'un de l'autre, il est possible d'effectuer une translation ou une rotation rapide afin de les rapprocher. Cela peut être très utile lorsque le nuage de points non-géoréférencé se trouve trop distant des coordonnées « doit » (de référence).

Cet outil s'appelle « Translate/rotate » et il se trouve dans l'onglet « Edit ».

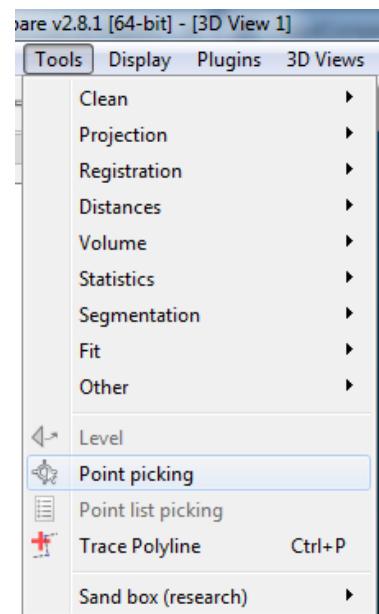
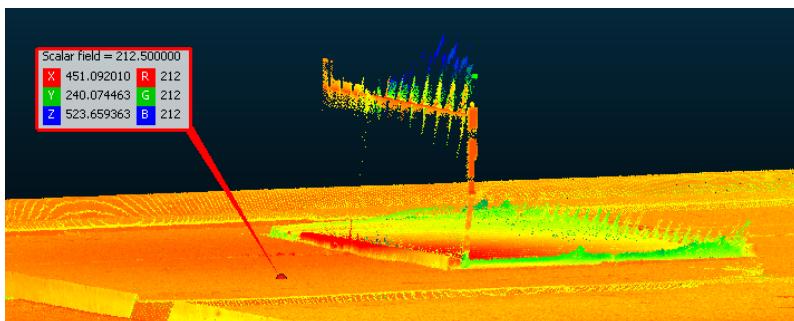


10.3.1.3 Informations sur un point ou mesure de distances

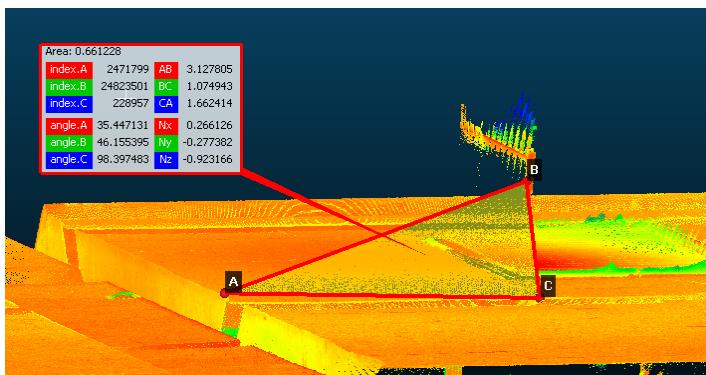
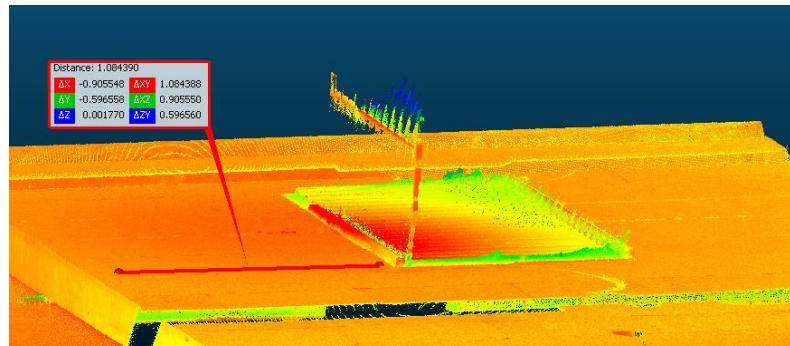
Lorsqu'on clique sur « Point picking » sous l'onglet « Tools », une barre d'outils s'affiche.



1. Avec le premier outil, il est possible d'avoir une information sur un point du nuage comme le montre l'illustration ci-dessous.



2. Avec le second, une mesure de distance entre deux points du nuage est possible.



3. A l'aide du troisième, la possibilité de créer un triangle est offerte afin d'obtenir plusieurs informations sur celui-ci (angle, distance, surface,...). Très pratique lorsqu'on a besoin d'une information sur une pente.

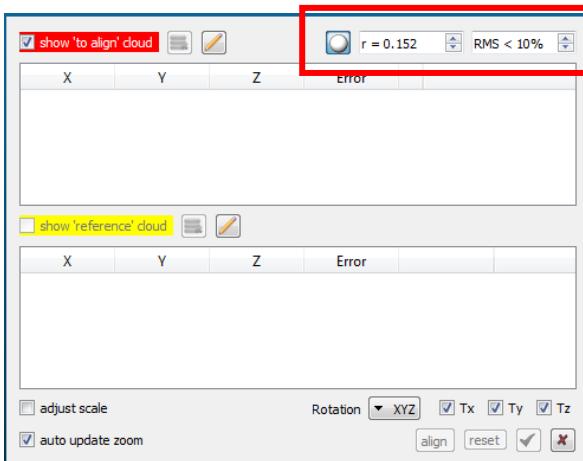
4. L'outil suivant permet de créer un label pour une surface choisie.

5. Pour terminer, les trois derniers outils permettent de sauvegarder ce qui a été fait, annuler le traitement en cours ou quitter le menu.

10.3.2 Assemblage

10.3.2.1 Détection de sphère

La détection de sphères se fait à l'aide du bouton et des paramètres encadrés en rouge. Cette fonction s'utilise de la manière suivante :

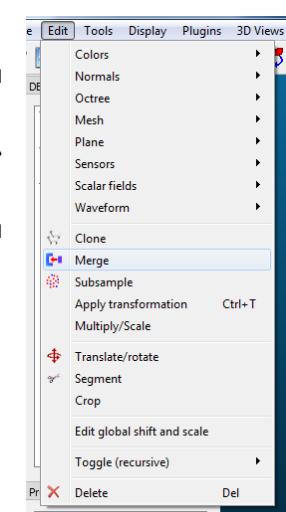
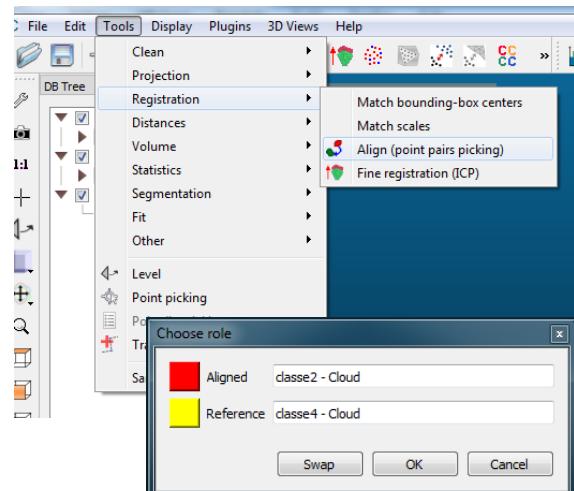


1. Cliquer sur le bouton qui représente une sphère blanche.
2. Incrire le rayon de la sphère.
3. Choisir le pourcentage d'erreur.
4. Cliquer sur l'endroit du nuage où se trouve la sphère.
5. Si elle a été détectée, elle s'ajoute dans la fenêtre, autrement jouer avec les paramètres pour réussir à trouver la sphère.

10.3.2.2 Étapes de l'assemblage

Les étapes de l'assemblage sont les suivantes :

1. Insérer les nuages de points.
2. Sélectionner deux nuages puis ouvrir l'outil « Align (point pairs picking) » dans l'onglet « Tools » → « Registration ». Ensuite, choisir le nuage de référence. Dans ce cas, il n'est pas important que ce soit l'un ou l'autre.
3. Saisir les points similaires (points d'assemblages) aux nuages de points. **Important**, l'ordre des points doit être le même dans les deux nuages.
4. Regarder les erreurs dans le tableau.
5. Contrôler et si c'est « ok » selon la tolérance voulue, appuyer sur « align » puis sur le signe « ✓ ».
6. Possibilité d'obtenir la matrice de transformation dans la fenêtre ou dans la console.
7. Fusionner les nuages pour n'en faire plus qu'un avec l'outil « Merge » dans l'onglet « Edit ».
8. Une fois la fusion effectuée, il faut passer au géoréférencement du nuage de points.



10.3.3 Géoréférencement

Les étapes du géoréférencement :

1. Sélectionner le nuage de points assemblé et fusionné.
2. Introduire les coordonnées « doit » depuis un fichier (« *.txt ») de points (exemple : 91912,488.2037,219.3633,446.0910). **Attention**, les coordonnées ont été réduites car le logiciel stocke celle-ci sur 32 bits et dans le manuel de CloudCompare, il est expliqué que lorsqu'une coordonnée est supérieure à 10^6 , le logiciel émet une alerte afin de recentrer le nuage.
3. Sélectionner le nuage ainsi que les coordonnées « doit » et ouvrir l'outil « Align (point pairs picking) » dans l'onglet « Tools » → « Registration ». C'est le même outil utilisé pour l'assemblage des nuages de points mais cette fois-ci, il est important de choisir les coordonnées « doit » comme référence.
4. Saisir les points de géoréférencement sur le nuage de points et sur les points « doit ». L'ordre de ceux-ci doit être le même comme dans la précédente étape.
5. Regarder les erreurs indiquées dans le tableau et si elles rentrent dans la tolérance fixée, cliquer sur « align » puis sur le signe « ✓ ».
6. Une matrice de transformation apparaît, il est possible de la récupérer dans la console.
7. Ne pas oublier de contrôler le géoréférencement sur des points connus en coordonnées.

Dans ce lien, ci-après, se trouve une démonstration vidéo de géoréférencement sur CloudCompare :

https://www.youtube.com/watch?v=S32wy66e_0o

10.3.4 Nettoyage

A l'aide de l'outil « Segment » dans l'onglet « Edit », il est possible de nettoyer un nuage de points. Une fois le bouton pressé, une nouvelle barre d'outils s'ouvre. Plusieurs méthodes peuvent être appliquées pour nettoyer le nuage de points.



1. Le premier bouton permet de stopper la saisie pour déplacer la vue 3D.
2. Le second est une sélection à l'aide d'une polylinéaire existante.
3. Le troisième est le bouton de sélection ; soit à l'aide d'un rectangle, soit à l'aide d'un polygone.
4. Les deux boutons suivants sont là pour choisir si c'est l'intérieur qui est conservé ou l'extérieur à la suite de la sélection.
5. La flèche tournante permet de revenir en arrière.
6. Ensuite, il est possible de conserver les deux parties en cliquant directement sur le « ✓ ». Autrement l'avant dernier bouton permet de supprimer la partie (intérieure ou extérieure) choisie auparavant.
7. Le dernier bouton annule naturellement le tout et quitte l'outil « Segment ».

10.3.5 Filtrage

10.3.5.1 Horizontal

Outils de filtrage : « CSF Filter » sous l'onglet « Plugins ».

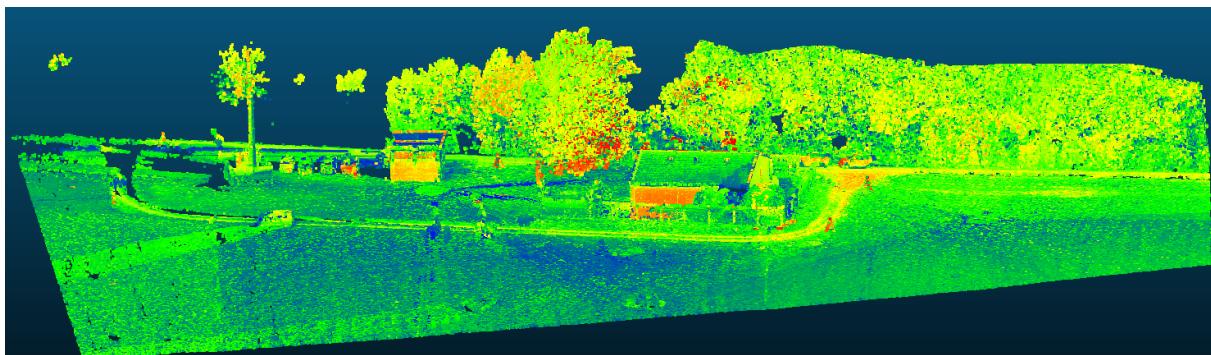
Pour des informations encore plus précises sur l'influence de ces paramètres, le site de CloudCompare propose une brève description en anglais sur ceux-ci dans le lien ci-dessous.

⇒ [http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=CSF_\(plugin\)](http://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=CSF_(plugin))

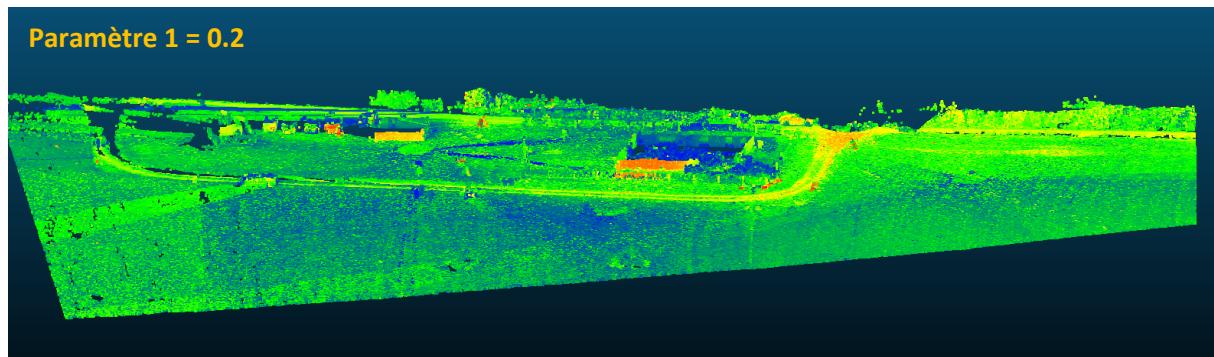
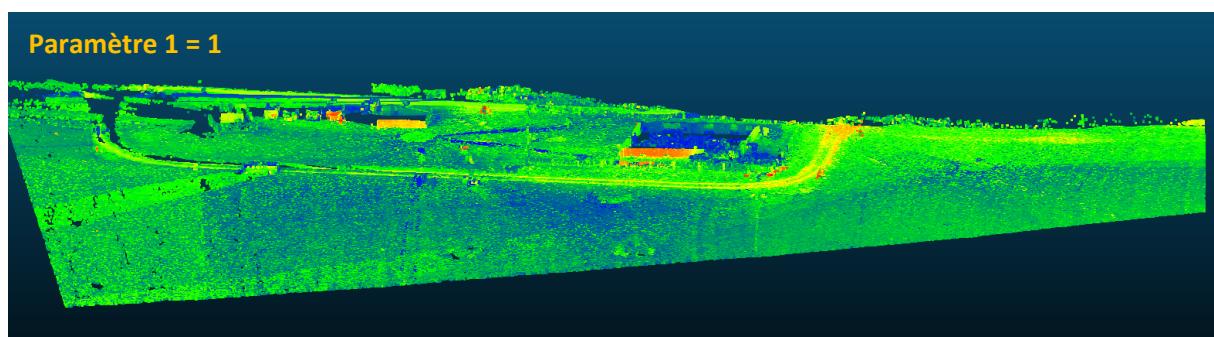
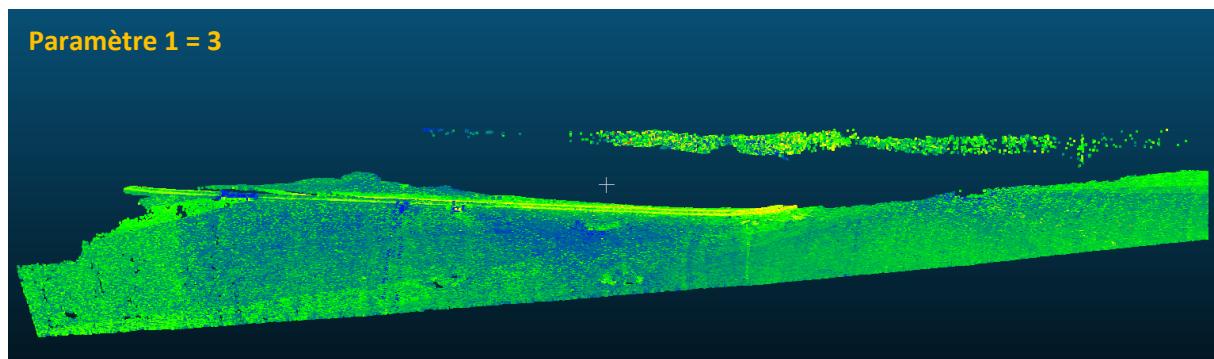
Après plusieurs essais, une simplification de l'influence des paramètres a pu être déterminée. Tout d'abord le premiers choix entre trois paramètres doit être fait (Relief/Flat/Slope). Avec l'échantillon de la maquette, ces trois facteurs n'influencent que très peu le résultat. Ensuite, l'option « Cloth resolution » est un paramètre où plus le chiffre est grand, plus le nuage est filtré « grossièrement ». C'est-à-dire que les éléments avec de la pente ne sont pas comptés dans le terrain mais ils sont extraits. Le choix suivant (« Max iterations ») est un paramètre qui, comme son nom l'indique, fait le maximum d'itérations suivant le nombre choisi. Le mieux est d'éviter les petits chiffres mais le logiciel propose par défaut le chiffre 500 qui fonctionne bien dans plusieurs cas testés comme l'indique également le site. Pour finir, le « Classification threshold » extrait les éléments verticaux. Plus le chiffre est grand, plus les éléments verticaux seront comptés comme terrain.

Illustrations des différents tests de paramètres :

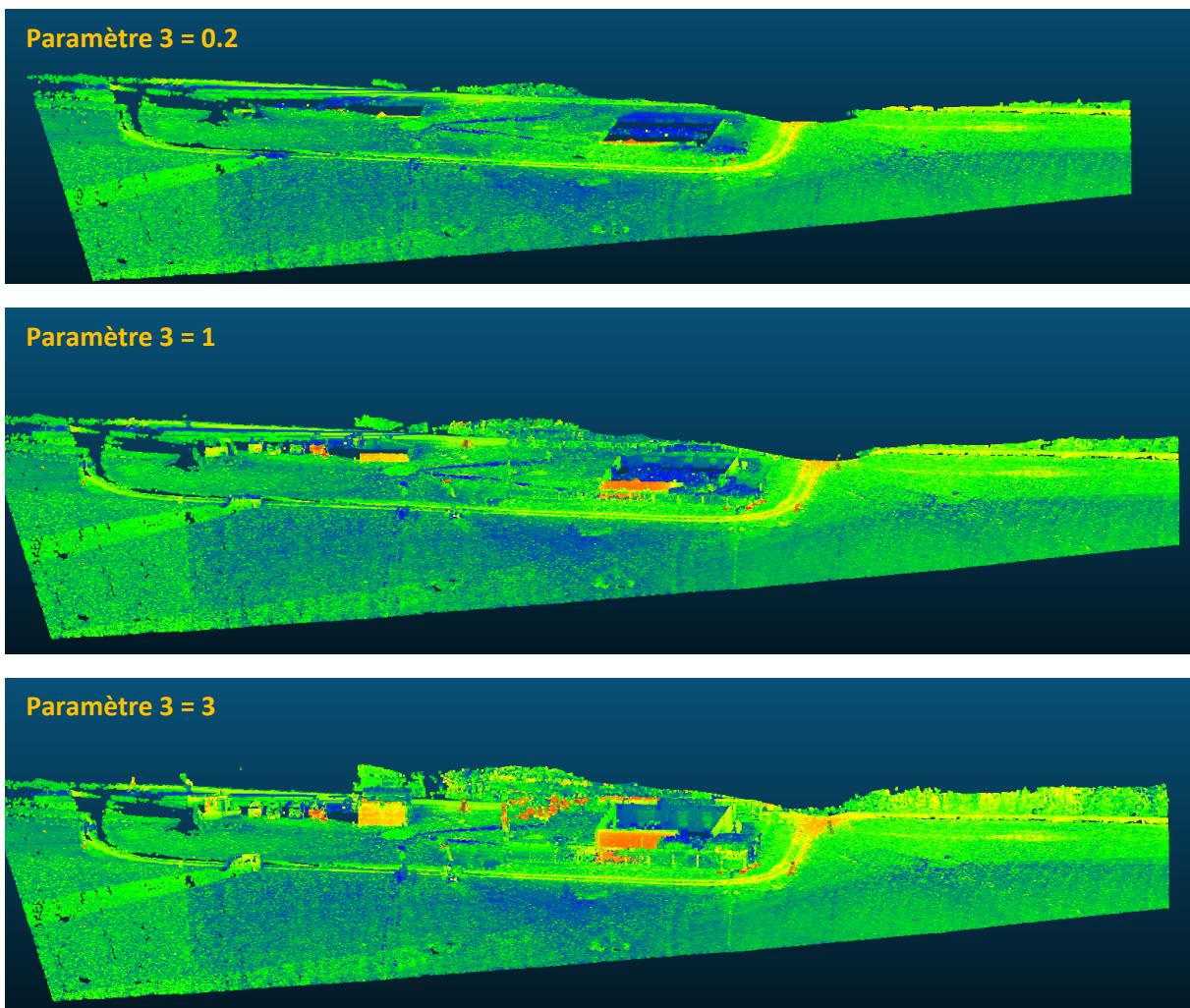
Nuage de base :



Paramètres 1 :

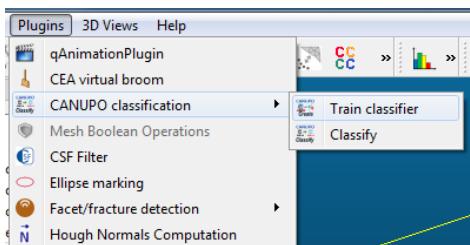


Paramètre 2 :



10.3.5.2 Vertical

Outil de classification : Sous l'onglet « plugins » se trouve l'outil « CANUPO classification ».

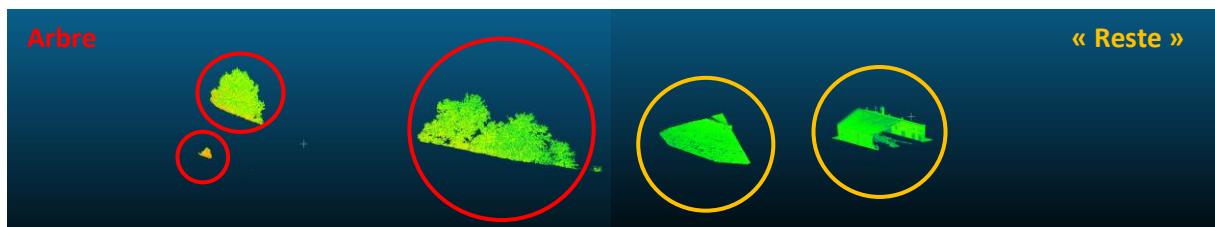


La première chose à faire lorsque cet outil désire être utilisé, c'est qu'il faut un fichier « *.prm » de classification. Celui-ci sert de base de calcul sur le nuage qui sera classifié. Soit ce fichier existe déjà, soit il faut le créer. Dans la deuxième solution, ce fichier s'obtient en cliquant sur « Trainclassifier ».

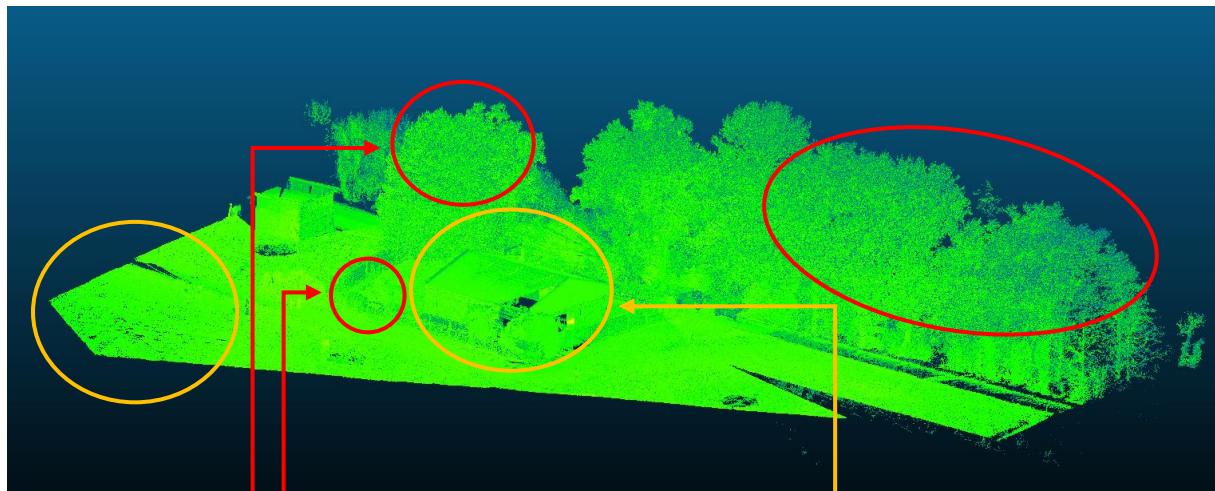
Ensuite, dans « Trainclassifier », il faut que des échantillons des deux classes soient préparés car il y en a uniquement deux de possible. Dans l'illustration ci-dessous, il y a la classe « arbre » (en rouge) et la classe « reste » (sol et bâtiment en orange). Une fois les deux échantillons préparés (arbre et reste), l'outil « Trainclassifier » peut être utilisé afin d'obtenir le fichier « *.prm ».

Une fois ce fichier obtenu, il est possible de passer à la classification avec l'outil « Classify ». Sélectionner le nuage à classifier puis cliquer sur « classify ». Puis, il faut aller rechercher le fichier « *.prm » créé précédemment.

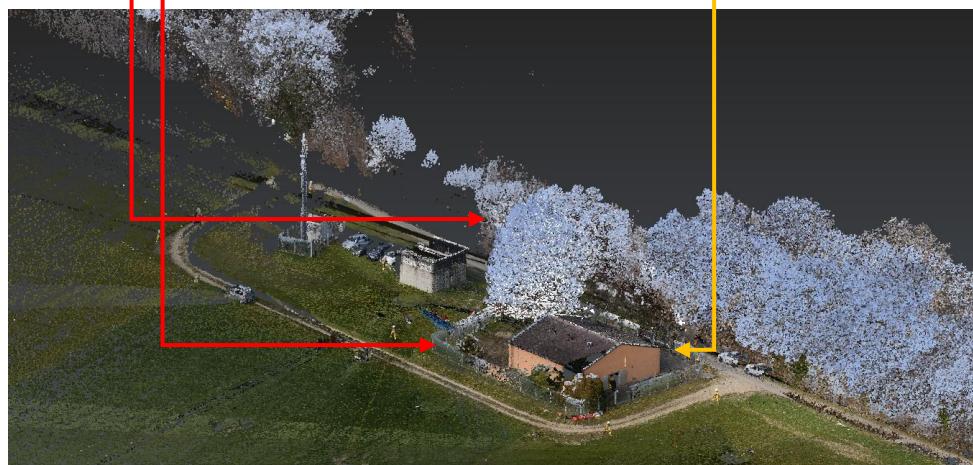
Echantillon de classification pour le fichier « *.prm » (arbre et reste) :



Nuage de base d'où sont pris les échantillons :



Nuage de base
(couleur) :



10.3.6 Maillage

10.3.6.1 Calcul des normales

L'outil de calcul des normales se trouve sous l'onglet « Edit » → « Normals » puis « Compute ».

La différence des paramètres Plane/triangulation/Quadric sont les suivants (selon le wiki de CloudCompare) :

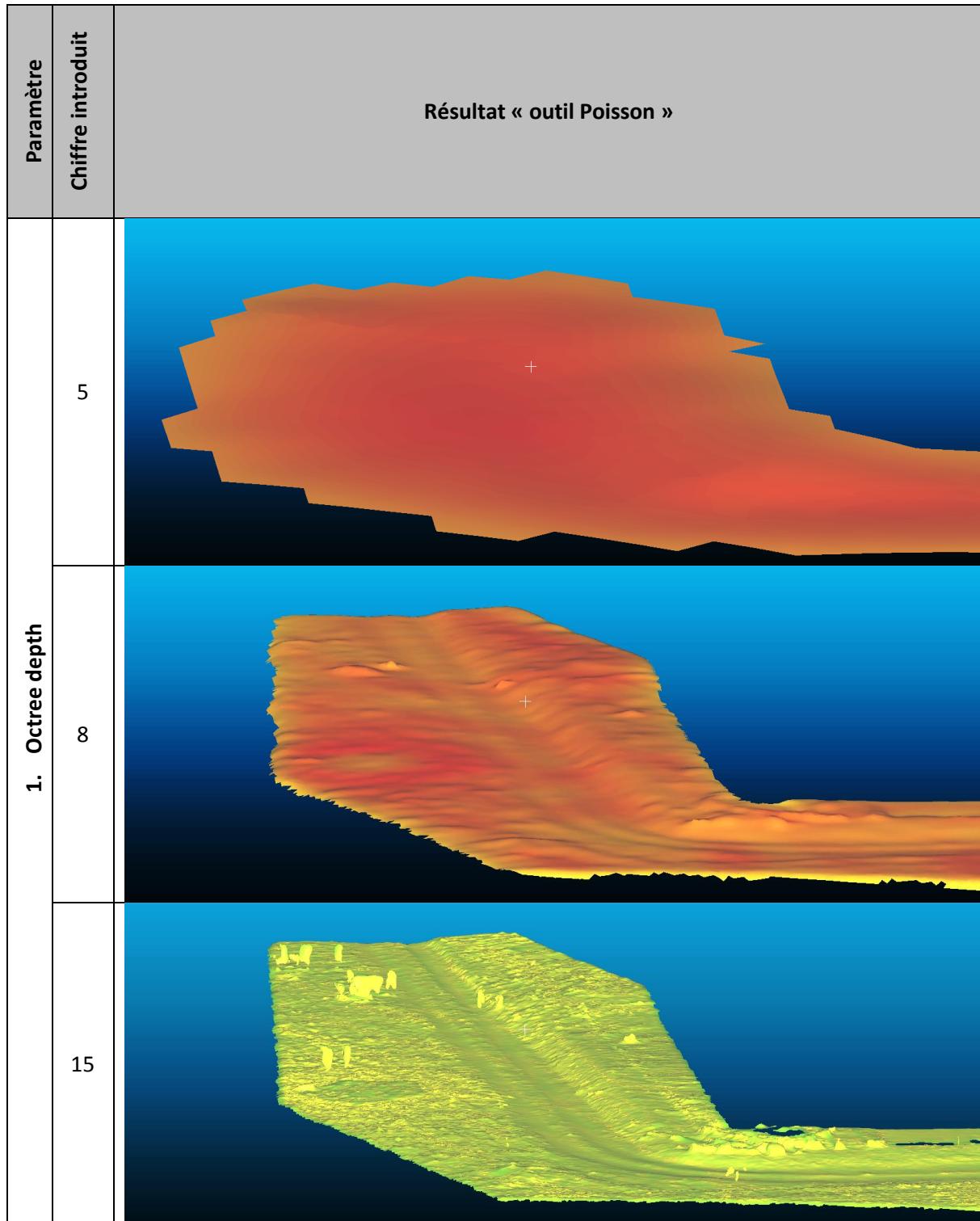
1. Plane : Robuste au bruit mais très mauvais avec des bords et des coins tranchants
2. Triangulation : Faible au bruit mais bon avec des bords tranchants
3. Quadric : Très bon pour les surfaces courbées

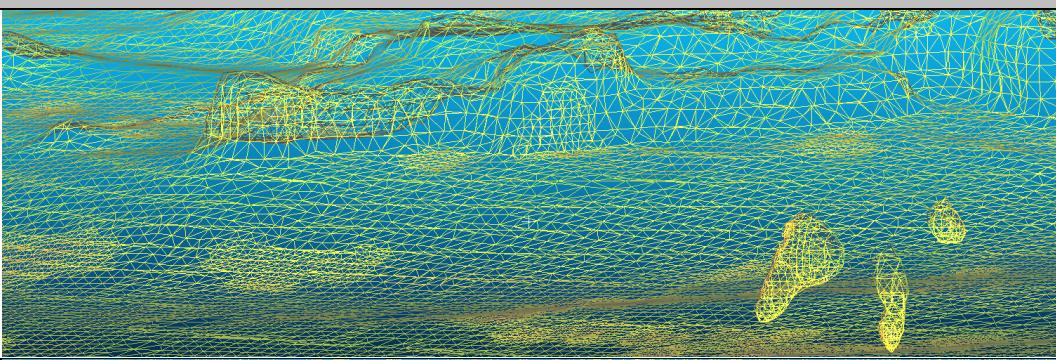
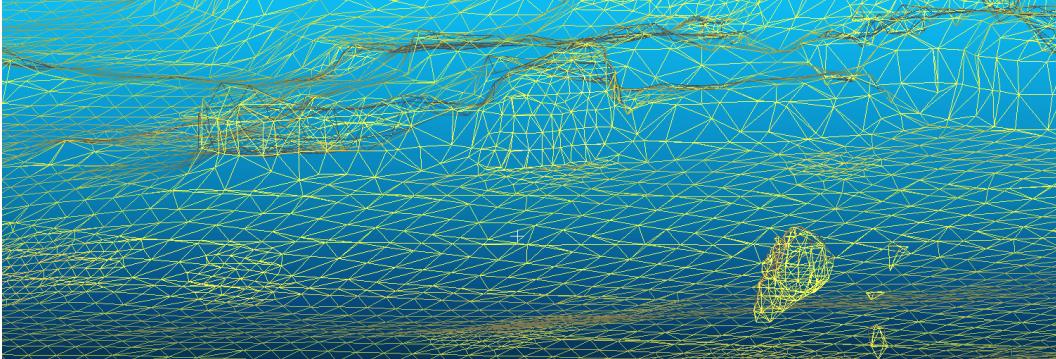
Le paramètre « Neighbors » se calcule en fonction du nuage de points sélectionné et il est souvent le meilleur paramètre correspondant au nuage.

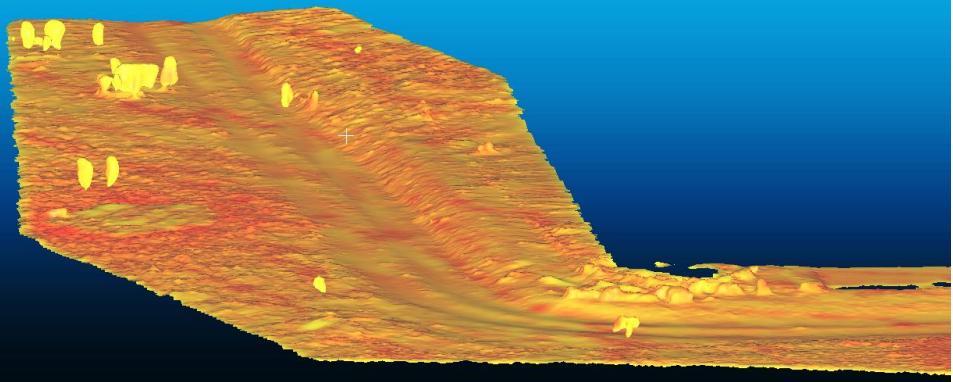
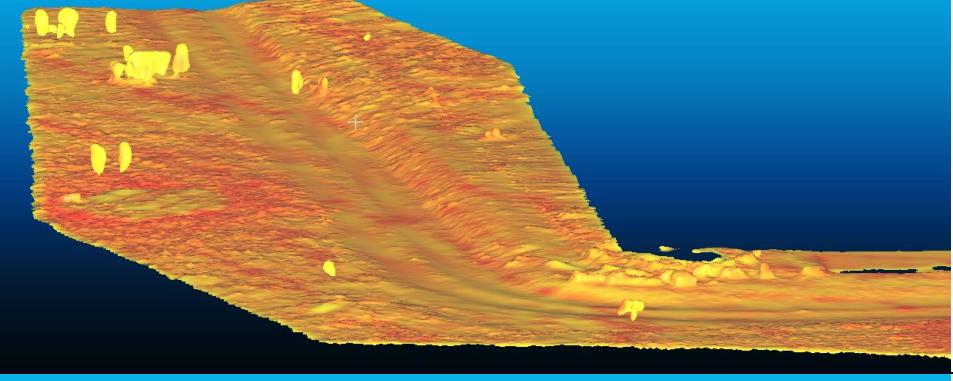
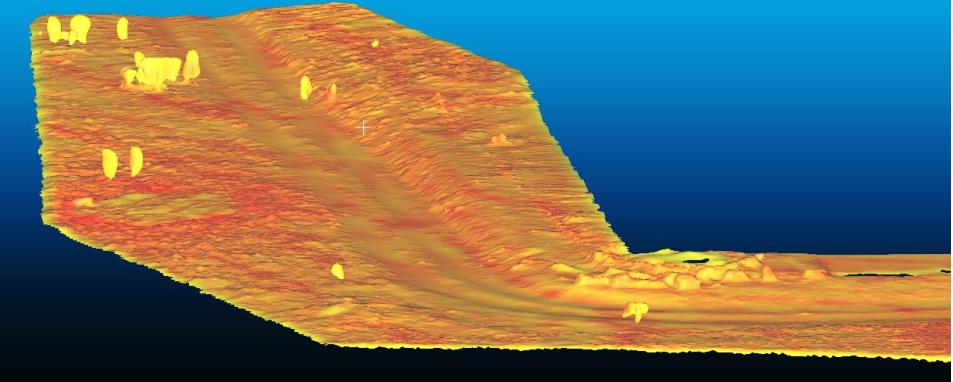
10.3.6.2 Outils de maillage

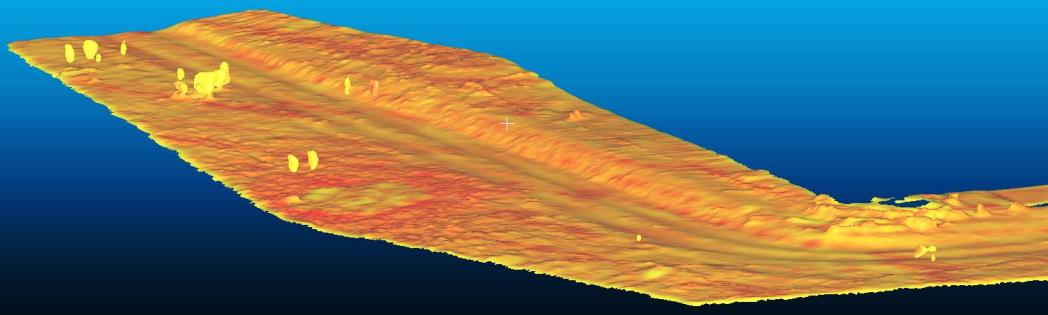
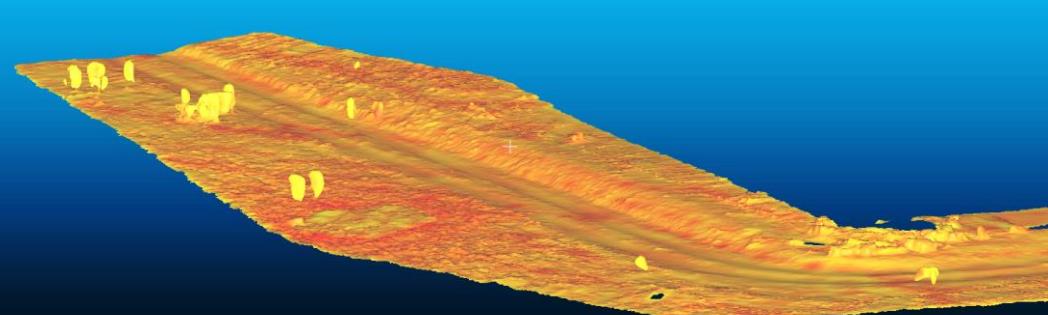
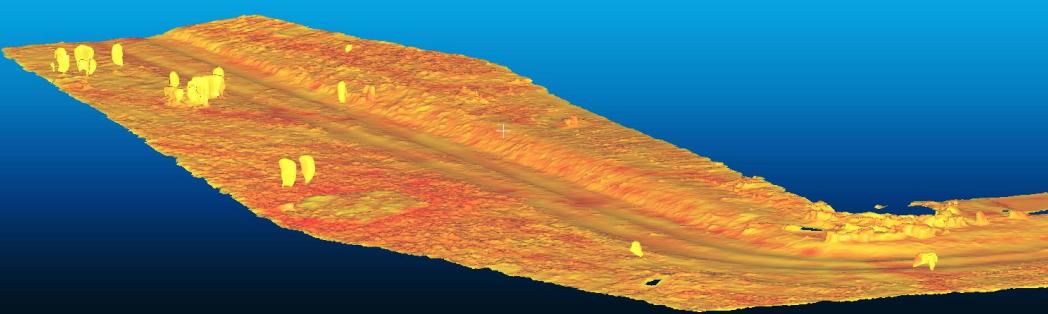
1. « Plan XY » et « le meilleure plan » sous l'onglet « Edit » → « Mesh »
2. « Poisson Surface Reconstruction » sous l'onglet « Plugins ».

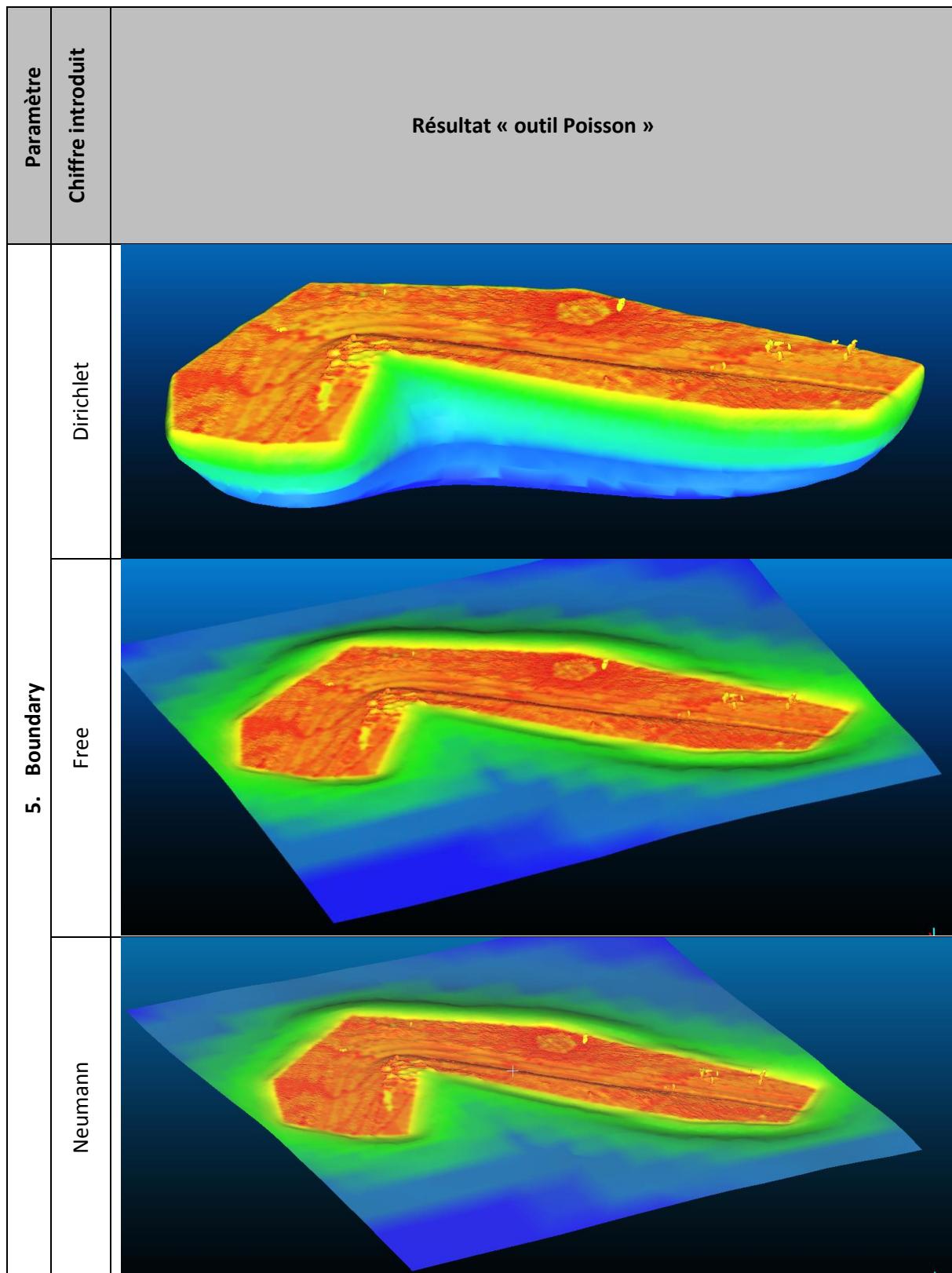
Les illustrations suivantes sont issues de tests effectués avec l'outil « Poisson Surface Reconstruction » (pour le calcul des normales, le paramètre « Quadratic [0.5] » a été choisi pour la suite) :



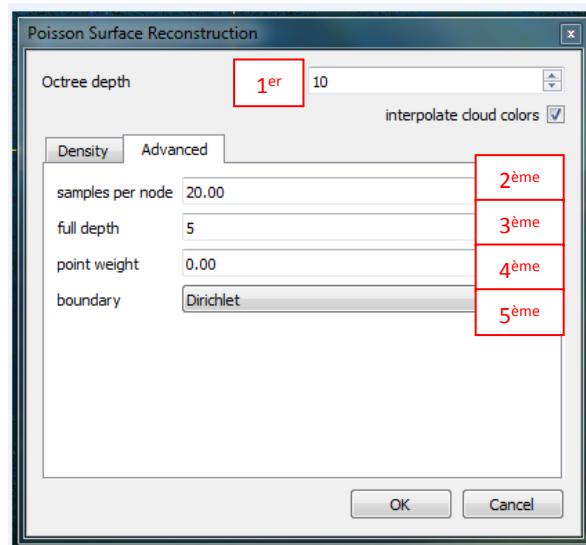
| Paramètre | Chiffre introduit | Résultat « outil Poisson » |
|---------------------|-------------------|--|
| | 0.5 |  |
| 2. Samples per node | 5 |  |
| | 10 |  |

| Paramètre | Chiffre introduit | Résultat « outil Poisson » |
|---------------|-------------------|--|
| | 1 |  |
| 3. full depth | 5 |  |
| | 9 |  |

| Paramètre | Chiffre introduit | Résultat « outil Poisson » |
|-----------------|-------------------|--|
| | 1 |  |
| 4. point weight | 8 |  |
| | 16 |  |



- Le premier paramètre (« Octree depth » entre 4 et 23) joue avec le niveau de détails du maillage, c.-à-d., plus le chiffre est petit, moins il y aura de détail. Si le chiffre est le plus petit, cela fait comme un plan. Mais plus le chiffre est grand, plus le détail est grand, plus il y a de triangles et surtout, plus le calcul est long.
- Le deuxième paramètre (« Samples per node » entre 1 et 20) se comporte comme une sorte de lissage du maillage. Plus le chiffre est grand, plus l'effet du lissage d'endroit bruité est important. La taille des triangles est aussi influencée, plus le chiffre du paramètre est petit, plus les côtés des triangles sont petits.
- Le troisième paramètre (« full depth » entre 0 et 99) ne change pratiquement rien à l'intérieur du maillage mais à l'extérieur (partie extrapolée) que la différence se fait voir. Plus le chiffre est grand plus l'arrondi est bombé et plus le chiffre est grand et plus le calcul est très lourd (l'ordinateur n'a pas supporté plus que 9).
- Le quatrième paramètre (« point weight » entre 0 et 999) montre également un lissage du maillage. Ce qui veut dire qu'il prend plus de points du maillage lorsque le chiffre est grand. Donc plus le chiffre du paramètre est grand, plus il y a de détail.
- Le dernier paramètre est celui du « Boundary », celui-ci n'a pas d'influence notable à l'intérieur du maillage mais il joue sur la façon de l'extrapoler. « Dirichlet » est un maillage fermé et bombé tandis que « Free et Neumann » sont plutôt des maillages extrapolés à plat.



10.3.7 Modélisation

10.3.7.1 Maillage entre deux polylinéaires

Pour tracer la polyligne aller dans (« Tools » → « Trace a polyline ») et pour le maillage entre deux polylinéaires (« Edit » → « Mesh » → « Surface between 2 polylines »).

10.3.7.2 Outil meilleur plan

- Selon l'ensemble du nuage : « Tools » → « Fit » → « Plane »
- Meilleurs plans automatiques : « RANSAC Shape Detection » sous l'onglet « Plugins »

10.3.7.3 Étapes de la modélisation mixte

La première partie des étapes de la modélisation (mixte) :

- Importer un nuage de points dans CloudCompare.
- Utiliser l'outil « RANSAC Shape Detection » afin de détecter automatiquement des plans.
- Exporter les plans au format « *.obj » ou « *.ply » pour ensuite les importer dans FreeCAD.
- Suite à l'annexe 10.5.2

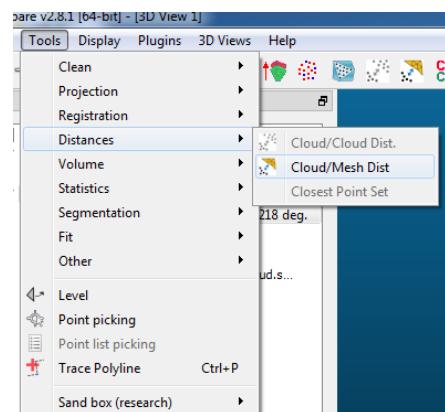
10.3.8 Comparaison

Pour faire une comparaison, il faut aller dans l'onglet « Tools » puis « Distances ».

Ensuite pour faire une comparaison :

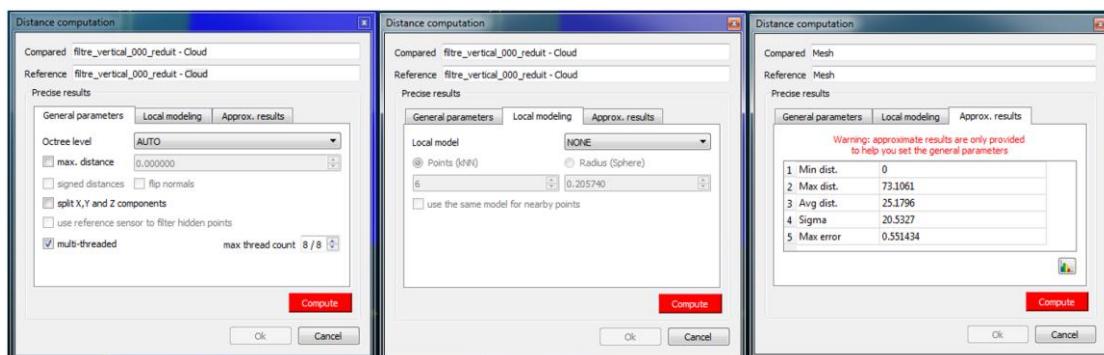
- « nuage-nuage », utiliser l'outil : « Cloud/Cloud Dist »
- « nuage-maillage », utiliser l'outil : « Cloud/Mesh Dist »
- « maillage-maillage », utiliser l'outil : « Cloud/Mesh Dist » (*le même outil que pour « nuage-maillage »*)

Concernant le coloriage des écarts sur une des entités, il ne se fait pas sur la référence mais sur le nuage « comparé » (« Compared »). Pour la comparaison « nuage-maillage », il est uniquement possible de colorier le maillage.

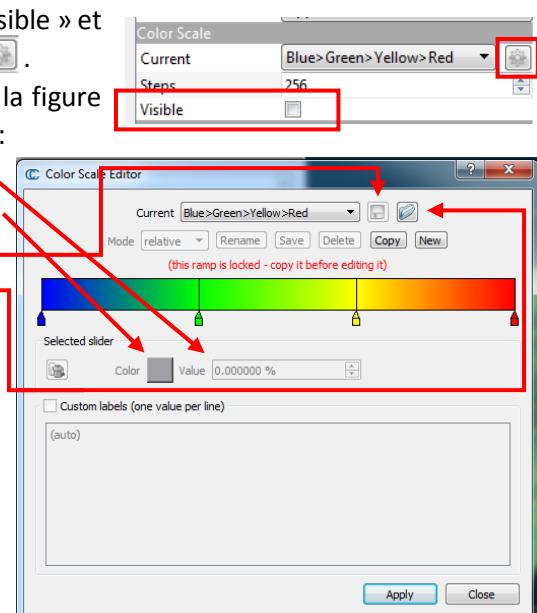


Les étapes de la comparaison de deux objets sont les suivantes :

1. Sélectionner les deux entités à comparer.
2. Cliquer sur l'outil correspondant (soit « Cloud/Cloud Dist », soit « Cloud/Mesh Dist »).
3. Choisir les paramètres.



4. Une fois les paramètres réglés, appuyer sur « Compute ».
5. Sélectionner l'objet colorié puis aller dans les propriétés.
6. Pour afficher l'histogramme, cocher le carré « Visible » et ensuite pour le modifier, cliquer sur le bouton .
7. La fenêtre de modification se présente comme la figure ci-dessous. Dans cette fenêtre il est possible de :
 - a. Modifier les valeurs de l'histogramme.
 - b. Modifier les couleurs de l'histogramme.
 - c. Enregistrer un histogramme.
 - d. Charger un histogramme déjà existant.
8. Une fois l'histogramme voulu, appuyer sur « Apply ».



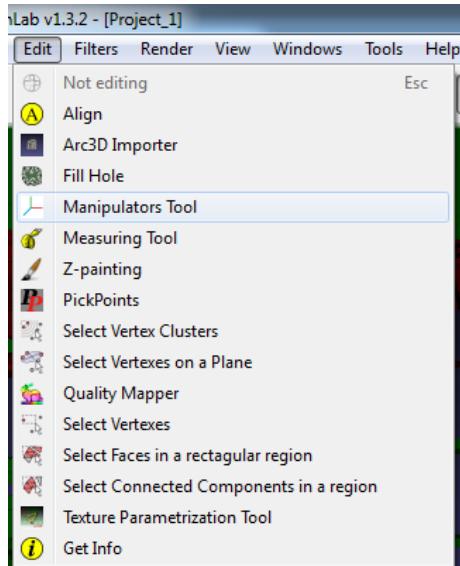
10.4 MeshLab

10.4.1 Outils pratiques du logiciel

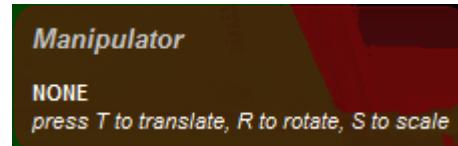
10.4.1.1 Changement du centre de rotation

Pour changer le centre de rotation dans ce logiciel, il suffit de double cliquer sur l'endroit voulu du nuage de points et le nouveau centre de rotation se positionne à l'endroit du double clic.

10.4.1.2 Translation/rotation/mise à l'échelle d'un élément



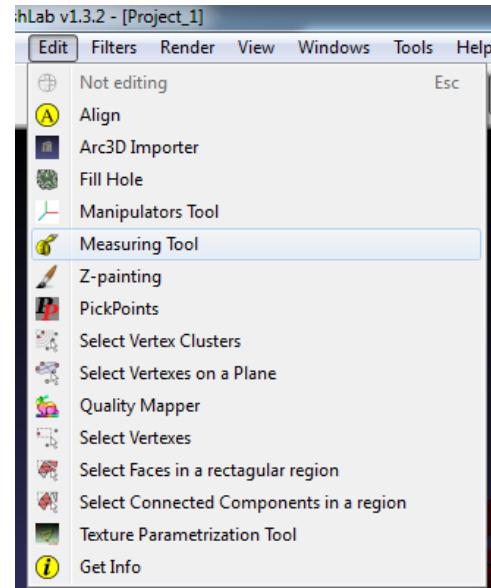
A l'aide de l'outil « Manipulators Tool » dans l'onglet « Edit », il est possible de, comme son nom l'indique, manipuler le nuage de points. Soit de le « translater », soit de le tourner (rotation) ou encore de l'agrandir/rapetisser (mise à l'échelle), plusieurs manœuvres sont possibles. La procédure est bien notée dans une petite fenêtre qui s'inscrit à l'écran comme le montre l'illustration ci-dessous.



Cet outil peut être très utile lorsque deux nuages sont trop éloignés et pour une question de praticité il est préférable de les approchés.

10.4.1.3 Mesures de distance

Il est possible de mesurer des distances avec l'outil « Measuring Tool » sous l'onglet « Edit », que ce soit entre points du même nuage ou alors entre points de différents nuages.



10.4.2 Assemblage

Les étapes :

1. Insérer les nuages de points.
2. Ouvrir l'outil « Align » sous l'onglet « Edit » puis une fenêtre s'ouvre.
 - a. Choisir le maillage de référence en sélectionnant le nuage de points (de référence) et en cliquant sur « Glue Here Mesh ». Une petite étoile (*) devrait apparaître à côté de la couche.
 - b. Sélectionner le nuage de points à assembler en premier, en cliquant sur « Point Based Glueing ».
 - c. Une nouvelle fenêtre apparaît. Celle-ci présente les deux nuages de points à assembler. En maintenant la touche « Ctrl » avec le clic de gauche, il est possible de déplacer le centre de rotation afin d'avoir une meilleure vue sur les points d'assemblages. Par défaut, les couleurs changent dans cette fenêtre. Si les couleurs désirent être conservées, il faut décocher la case « use False Colors ».
 - d. Sélectionner par un double clic droit les points d'assemblage. Ceux-ci doivent bien évidemment être saisis dans le même ordre entre les deux nuages.
 - e. Une fois les points d'assemblage saisis, cliquer sur « OK ». Puis sur « Set as Base Mesh ».
 - f. Si l'assemblage des deux nuages correspond aux attentes, cliquer sur « Process ».
 - g. Puis quitter.
3. Pour finir, la fusion des nuages de points se fait à l'aide de l'outil « Flatten Visible Layers (Keep unreferenced vertices) » sous « Filters » → « Mesh Layer ».
4. Une fois la fusion effectuée, il faut passer au géoréférencement du nuage de points.

Ci-dessous se trouve le lien d'une vidéo d'un exemple d'assemblage de nuages sur MeshLab :

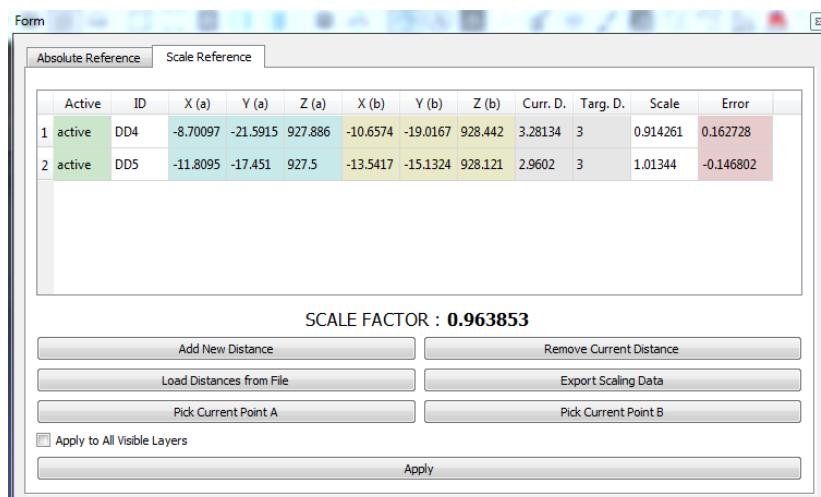
<https://www.youtube.com/watch?v=4g9Hap4rX0k>

10.4.3 Géoréférencement

10.4.3.1 Distances de référence

Utilisation des distances de référence :

Dans l'onglet « Targ. D » du tableau, il faut mettre la distance « doit » et ensuite à l'aide de « pick current point A et B », il faut pointer les deux extrémités de la droite.



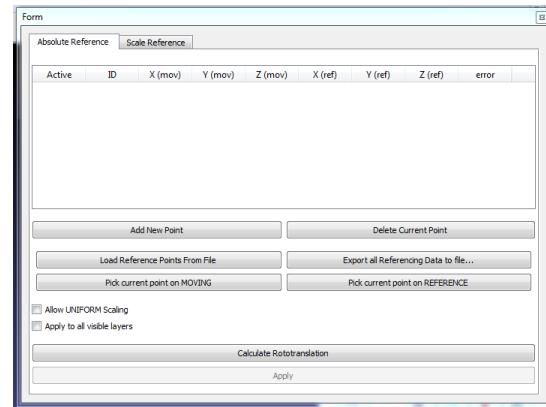
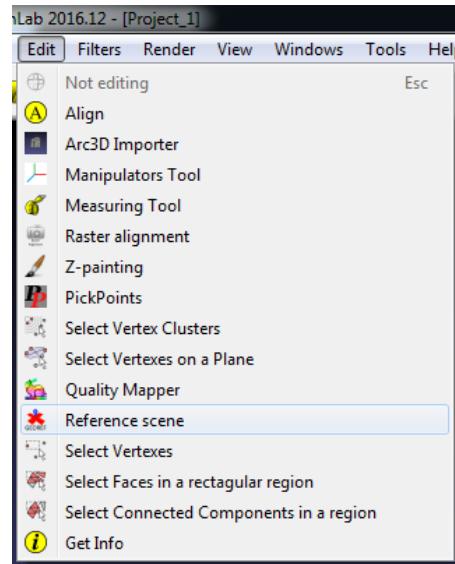
10.4.3.2 Géoréférencement standard

Les étapes du géoréférencement :

1. Prendre le nuage de points assemblé.
2. Introduire les coordonnées pour le géoréférencement via l'outil « Reference scene » sous l'onglet « Edit ». **Attention**, il est préférable d'utiliser des coordonnées réduites afin d'optimiser la performance du logiciel. Avec les coordonnées Suisse (MN95), les fichiers de coordonnées ne sont pas supportés.
3. Une nouvelle fenêtre s'ouvre. Cliquer sur « Load Reference Points From File » puis charger un fichier « *.txt » préalablement préparé sous la forme : (91912,488.2037,219.3633,446.0910 par exemple) → coordonnées réduites.
4. Une fois les points de géoréférencement chargés, il faut les lier au nuage de points. Pour ce faire, il faut sélectionner dans la fenêtre le point que l'on veut référencer dans le nuage.
5. Une fois le point sélectionné, cliquer sur « Pick current point on MOVING » puis aller le définir dans le nuage de points et cela pour tous les points de géoréférencement voulus.
6. Ensuite, cliquer sur « Calculate Rototranslation », cette action va indiquer dans la fenêtre les erreurs (« Error ») sur chaque point du géoréférencement.
7. Si la tolérance voulue est atteinte, appuyer sur « Apply » puis fermer la fenêtre.
8. Pour terminer le géoréférencement, clic-droit sur la couche qui doit être référencée et cliquer sur « Matrix : Freeze Current Matrix » pour effectuer la translation.
9. Des contrôles de coordonnées sur les points connus peuvent être effectués.

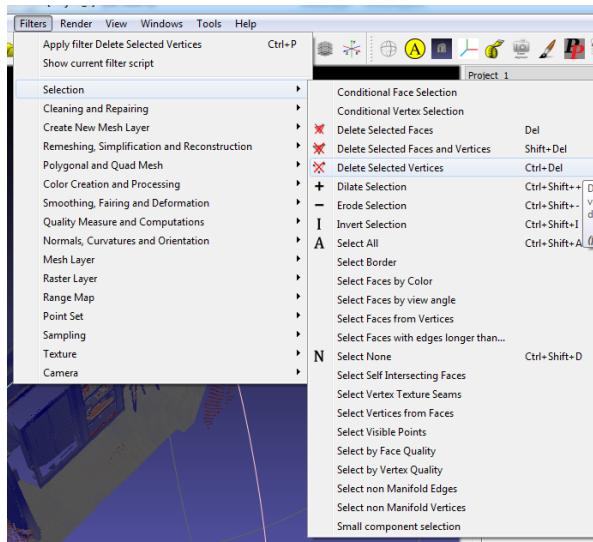
Dans ce lien, ci-après, se trouve une démonstration vidéo de géoréférencement.

<https://www.youtube.com/watch?v=QTqi8GuyxIY>



10.4.4 Nettoyage

L'outil « Select Vertices » permet de faire un cadre de sélection 2D dans le but de supprimer les objets sélectionnés en allant dans « Filters » → « Selection » → « Delete Vertices ». Il est également possible dans ce même menu d'inverser la sélection.



10.4.5 Maillage

10.4.5.1 Calcul des normales

Le calcul de normales se trouve dans « Compute normals for points sets » sous l'onglet « Filters » → « Normals, Curvatures and Orientation ».

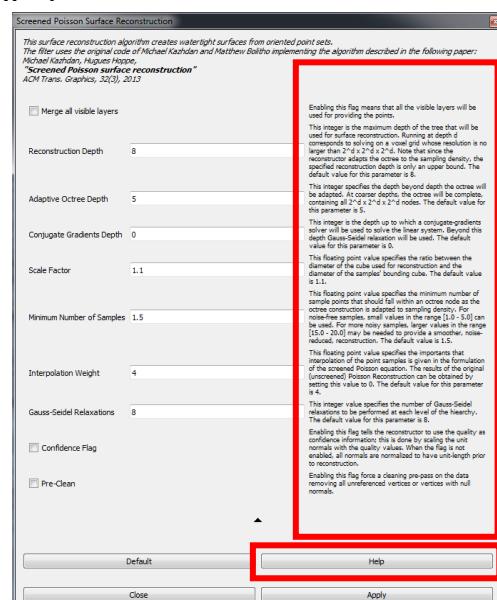
10.4.5.2 Outils de maillage

Deux outils de maillage existent dans MeshLab :

1. « Screened Poisson Surface Reconstruction » sous l'onglet « Filters » → « Remeshing, Simplification and Reconstruction ».
2. « Marching Cubes (APSS) » qui se trouve sous l'onglet « Filters » → « Point Set ».

Test avec l'outil « Screened Poisson Surface Reconstruction » :

Sous le bouton « Help » de l'outil, il existe des descriptions de chaque paramètre en anglais. Une constatation personnelle sur celles-ci a été faite afin de déterminer les véritables changements affectés au maillage selon les différents paramètres. Les illustrations de ces tests sont à voir ci-après.



Les constatations faites des différents paramètres illustrés ci-après :

1. Le premier paramètre (« Reconstruction Depth ») est le niveau de détail du maillage. Plus le chiffre est grand, plus il y a de détail (plus petits seront les triangles). Attention à ne pas mettre de trop grands chiffres car le calcul est également beaucoup plus long (chiffre maximum possible sur l'ordinateur testé 13).
2. Pour le deuxième paramètre (« Adaptive Octree Depth »), la grande différence est sur l'extrapolation du nuage. Plus le chiffre est grand, plus les triangles seront petits à l'extérieur du nuage de points. Attention car le temps de calcul est également plus long si le chiffre est plus grand.
3. Le troisième paramètre (« Conjugate Gradients Depth ») n'a pas de différence sur le maillage des nuages de points mais sur la hauteur du maillage à l'extérieur de celui-ci.
4. Le quatrième paramètre (« Scale Factor ») lisse le maillage, plus le chiffre est grand, plus le lissage est prononcé.
5. Le cinquième (« Minimum Number of Samples ») est un paramètre de « détail ». C'est-à-dire, plus le chiffre est petit, plus il y a de détail. Autrement dit, plus le chiffre est petit, moins il a besoin de points du nuage pour créer le maillage.
6. Le sixième paramètre (« Interpolation Weight ») est un paramètre sensible au bruit. Plus le chiffre est petit, moins il prendra en compte le bruitage des nuages. Dans le cas contraire, plus le chiffre est grand et plus il tente de prendre tous les points en considération.
7. Ce septième paramètre (« Gauss-Seidel Relaxations ») ne présente pas de gros changements entre les différents chiffres qui ont été introduits.
8. « Confidence Flag » est un paramètre qui est très pratique lorsque le nuage présente encore du bruit. En cochant ce paramètre, le maillage sera moins sensible aux irrégularités du nuage.
9. Le dernier paramètre (« Pre-Clean ») permet de nettoyer tous les points du nuage qui ont une normale nulle.

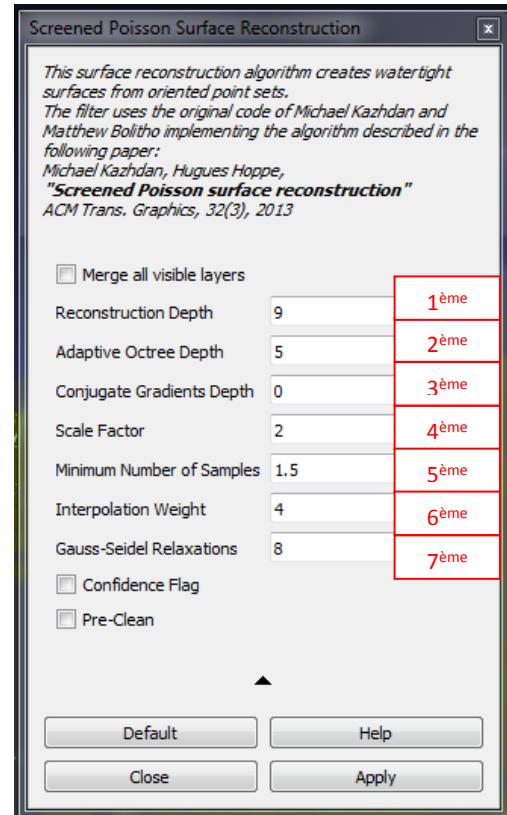
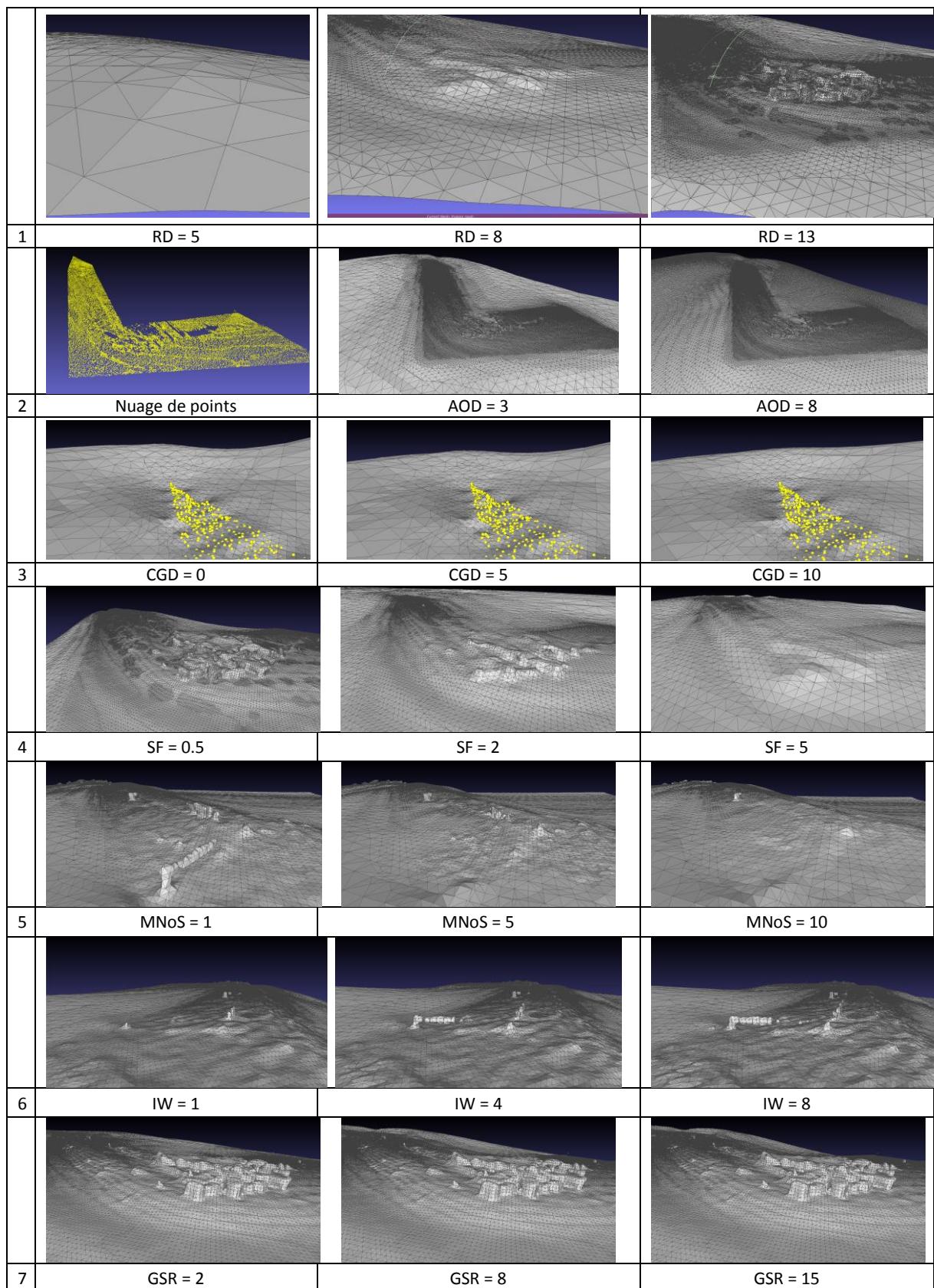
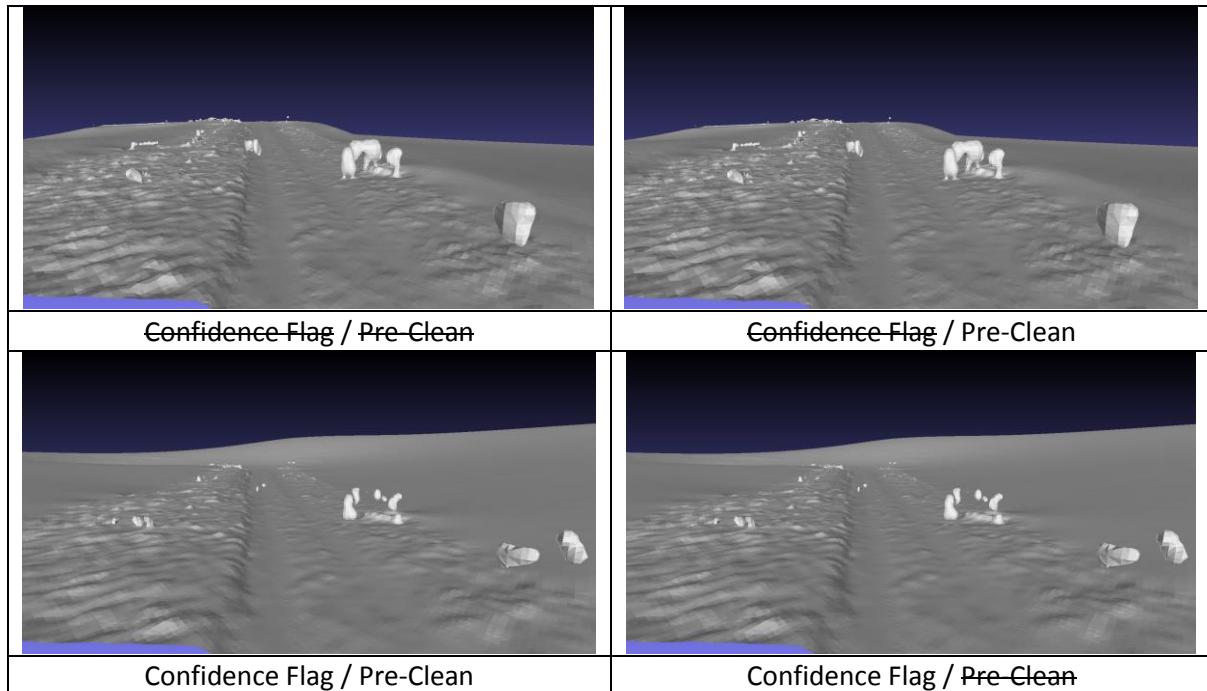


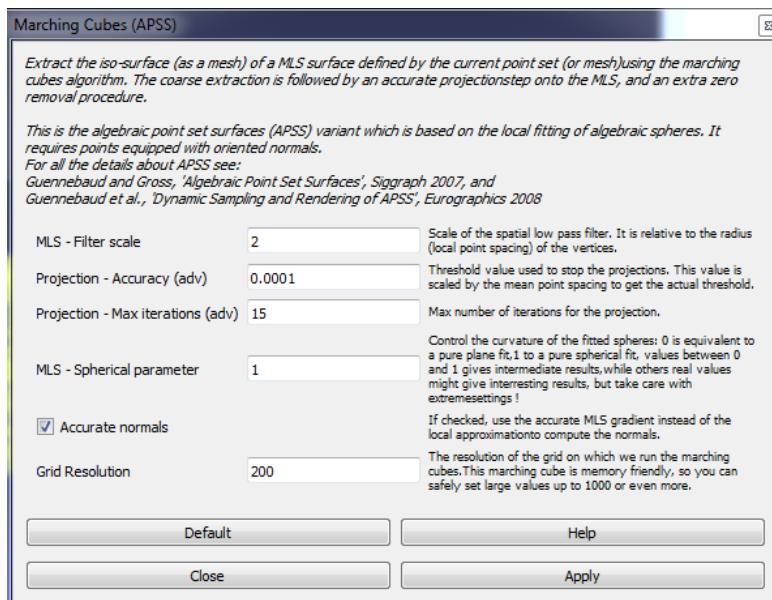
Illustration des différences de paramètres :





Test avec l'outil « Marching Cube » :

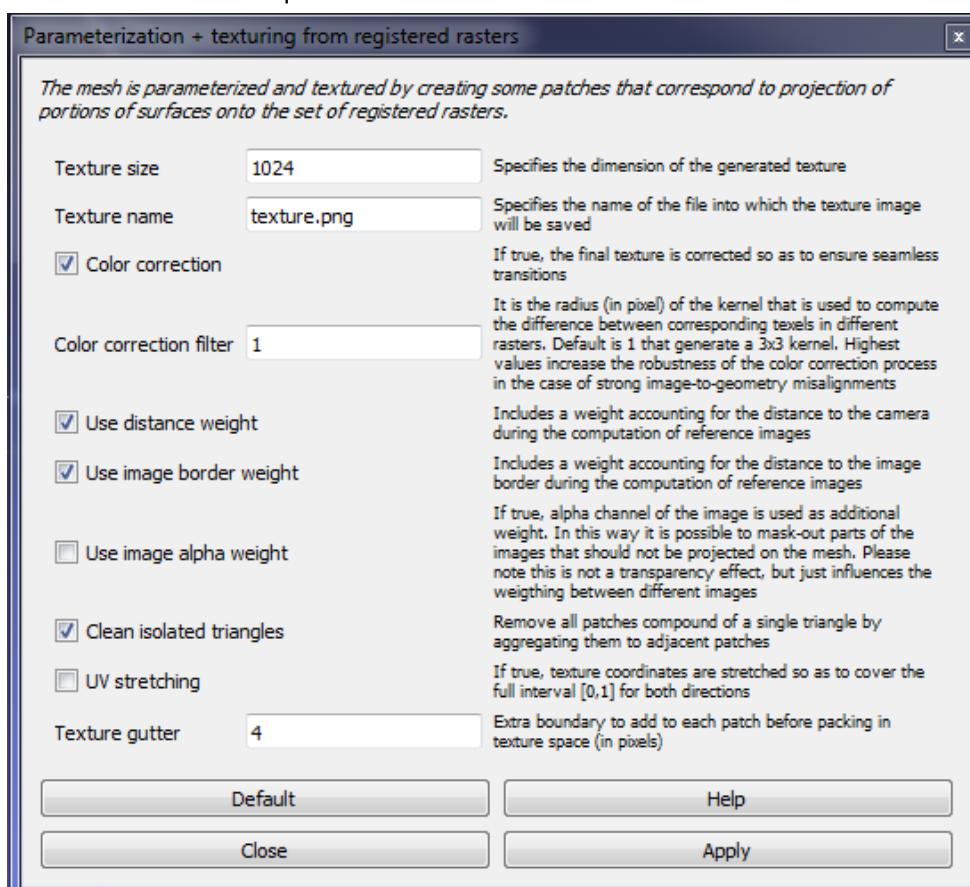
Comme pour le premier outil, il existe une aide en anglais sur le bouton « Help » mais cette fois-ci la constatation personnelle a été mise de côté car les paramètres étaient beaucoup moins évidents qu'avec l'outil précédent.



10.4.6 Texturisation

Les étapes de la texturisation sont les suivantes :

1. Importer le maillage (la modélisation à texturer).
2. Importer les photos qui vont servir à la « texturisation » (« Import Raster... »).
3. Grâce à l'outil « Show Current Raster Mode » sous l'onglet « View », il est possible de visionner les images.
4. Avec le même outil, il faut faire correspondre la face modélisée avec l'image en se déplaçant dans la vue 3D. Pour valider la vue, aller dans le menu « Filters » → « Camera » → « Image alignment : Mutual Information » pour valider la nouvelle position de la photo. Le faire pour chaque face à texturer. Avant d'appuyer sur le bouton « Apply », cliquer sur « Get Shot » pour que la vue actuelle reste tel qu'elle est actuellement.



5. Pour terminer, aller dans le menu « Filters » → « Texture » et utiliser l'outil « Parameterization + texturing from registered rasters » pour appliquer la texture avec le positionnement des photos faites dans les lignes précédentes.

Dans les liens suivants se trouvent deux exemples vidéo de « texturisation » dans MeshLab. Elles viennent toutes des tutoriels de MeshLab.

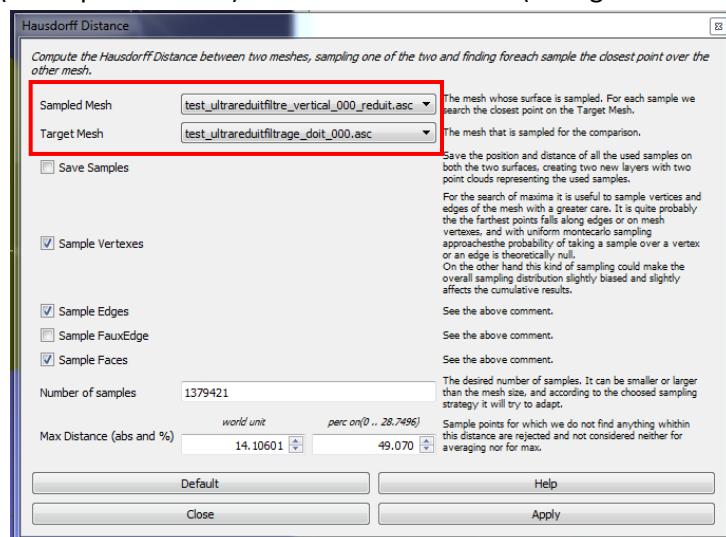
- ⇒ https://www.youtube.com/watch?v=Pv6_qFlr7gs
- ⇒ <https://www.youtube.com/watch?v=OJZRulzHcVw>

10.4.7 Comparaison

Pour faire une comparaison, il faut aller dans l'onglet « Filters », puis « Sampling ». Ensuite, l'outil « Hausdorff Distance » permet de calculer une distance entre deux entités 3D. Peu importe le niveau de comparaison, que ce soit pour du « nuage-nuage », « nuage-maillage » ou « maillage-maillage », c'est le même outil qui est utilisé.

Les étapes d'une comparaison de deux objets 3D sont les suivantes :

1. Cliquer sur l'outil « Hausdorff Distance » sous l'onglet « Filters » → « Sampling ».
2. Choisir l'objet qui sera coloré (« Sampled Mesh ») et celui de référence (« Target Mesh ») encadré en rouge.
3. Choisir les paramètres (le texte à côté des paramètres est une petite description de ceux-ci).
 - a. Cocher les cases si besoin.
 - b. Le « number of samples » s'adapte en fonction de l'objet.
 - c. Choisir la distance maximum de calcul (écart maximum).
4. Une fois les paramètres définis, appuyer sur « Apply ».



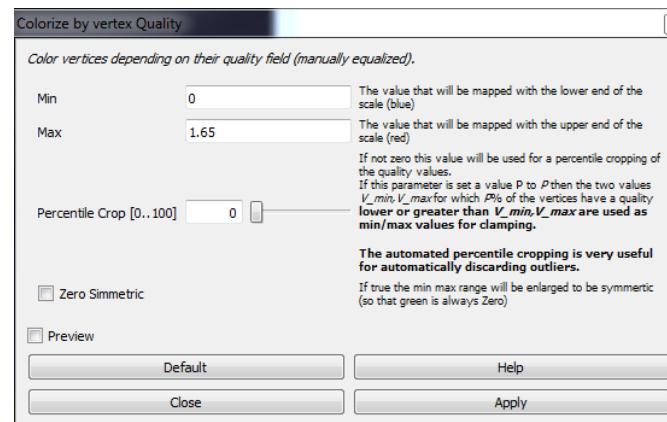
5. Dans le journal du logiciel se trouve quelques statistiques de la comparaison (par exemple : min., max., moyenne, ...).

```

searched closest on
filtre_vertical_000_reduit.asc
min : 0.000000 max 1.648840 mean :
0.002584 RMS : 0.017106
Values w.r.t. BBox Diag (28.749599)
min : 0.000000 max 0.057352 mean :
0.000090 RMS : 0.000595
Applied filter Hausdorff Distance in 1611
msec
    
```

6. Pour colorer le nuage, sélectionner le nuage qui doit être coloré et appuyer sur « Filters » → « Color Creation and Processing » → « colorize by vertex Quality ».

- a. Le min. et max. sont calculés en fonction des objets comparés.
- b. Il y a possibilité de modifier les couleurs de l'histogramme en jouant avec le paramètre « Percentile Crop ».
- c. Le paramètre « Zero Simmetric » fait en sorte que la couleur verte soit l'écart de 0 entre les deux entités 3D.



7. Afficher l'histogramme en cliquant sur « Show Quality Histogram » sous l'onglet « Render ».

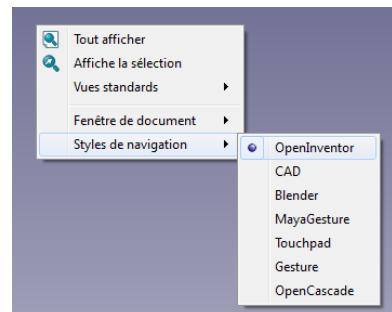
10.5 FreeCAD

10.5.1 Outils pratiques du logiciel

10.5.1.1 Navigation dans l'espace de travail

Clic-droit sur la fenêtre de navigation qui ouvre un menu. Dans celui-ci se trouve l'outil principal avant toute utilisation du logiciel. C'est dans le « style de navigation » que le mode de navigation se trouve. Il permet de choisir selon quel mode l'utilisateur naviguera dans l'espace. Dans le lien ci-dessous se trouve les détails de navigation pour chaque mode.

https://www.freecadweb.org/wiki/Mouse_Model/fr



10.5.2 Modélisation

10.5.2.1 Digitalisation

Les étapes de la modélisation du bâtiment de la maquette sont les suivantes :

1. Importer le nuage de points à modéliser.
2. Créer des lignes (dans l'onglet « Draft ») de structure qui permettront de faire un maillage entre celles-ci.
3. Créer le maillage (dans l'onglet « Part ») entre les lignes.
4. Ensuite, plusieurs outils peuvent permettre de modéliser un objet à sa manière. Le choix est fait selon les connaissances du logiciel.

Par exemple pour les façades de la maison qui ne se situent pas à l'extrémité du toit, la façon de modélisation a été la suivante.

5. Extruder la ligne du sol avec la contrainte de pouvoir bouger uniquement selon l'axe Z.
6. Fusionner (sous l'onglet « Complete ») la façade et le pan du toit qu'elle intersecte.
7. Sélectionner l'objet fusionné et cliquer sur l'outil « Eclater ».
8. Sélectionner la partie qui doit être effacée et « delete » pour qu'il ne reste que les parties nécessaires.
9. Une fois la modélisation faite, plusieurs formats d'export sont possibles. Celui de « Arch module (*.obj) » convient bien et permet de l'ouvrir dans d'autres logiciels.

10.5.2.2 Suite étapes de la modélisation (mixte)

La suite des étapes de la modélisation (mixte) :

1. Après avoir exporté les plans avec CloudCompare (à l'annexe 1.3.7.3).
2. Importer les plans dans FreeCAD.
3. Faire une ligne (onglet « Draft ») sur deux côtés opposés. Utiliser l'accroche objet pour s'accrocher aux plans importés.
4. Créer une surface (onglet « Part ») entre les deux lignes (maillage).
5. Répéter le processus pour tous les plans.
6. Fusionner deux objets pour obtenir la ligne d'intersection de ceux-ci.
7. Exploder la fusion afin de pouvoir supprimer l'élément en trop (solution « bricolage » mais efficace).

10.6 Diffusion

10.6.1 Sketchfab

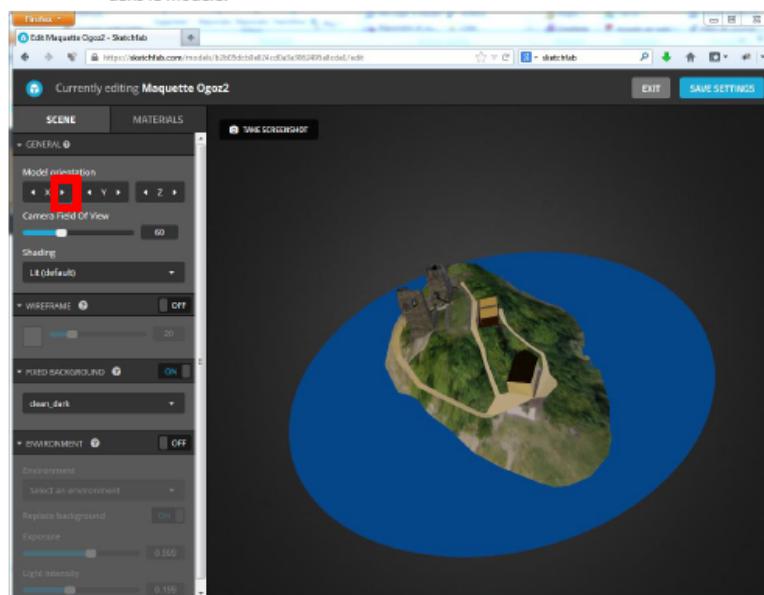
Voici les étapes à suivre pour l'introduction d'un modèle 3D avec une texturisation sur l'ensemble des faces de la modélisation dans Sketchfab, elles sont issues du mode d'emploi de la maquette de la HEIG-VD. À la base, il est prévu pour 3DR mais à l'aide de MeshLab il est également possible de le faire.

heig-vd HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch

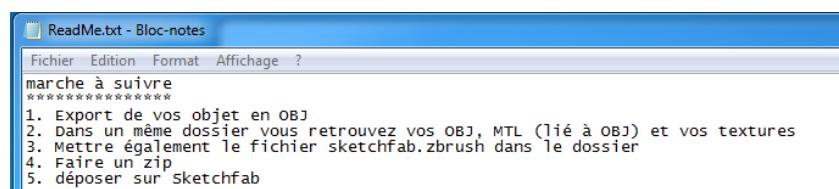
SKETCHFAB - OBJ

Diffusion de votre maquette

- Sélectionnez votre maquette dans 3DR, vous pouvez ensuite exporter en OBJ les maillages Théoriquement votre dossier contient des fichiers OBJ, MTL et vos images
- Vous devez copier dans ce dossier "sketchfab.zbrush" qui se trouve sur le Cyberlearn dans "Divers Mode d'emploi des scanners »
- Il faut ensuite zipper le dossier.
- Création d'un compte sketchfab sur :
<https://sketchfab.com/>
- Sign up → inscrire un "username", votre adresse HEIG et un mot de passe → Create Account
- Vous pouvez compléter votre profil mais ce n'est pas forcément nécessaire.
- Pour importer votre modèle :
 - Upload → Choose File
 - Il suffit d'importer le fichier zip sur sketchfab.
 - Une fois le dossier importé vous pouvez déjà naviguer dans le modèle mais l'axe de rotation est mal défini. Settings →3D settings
 - Vous pouvez donc modifier la rotation en X et regarder si on navigue correctement dans le modèle.



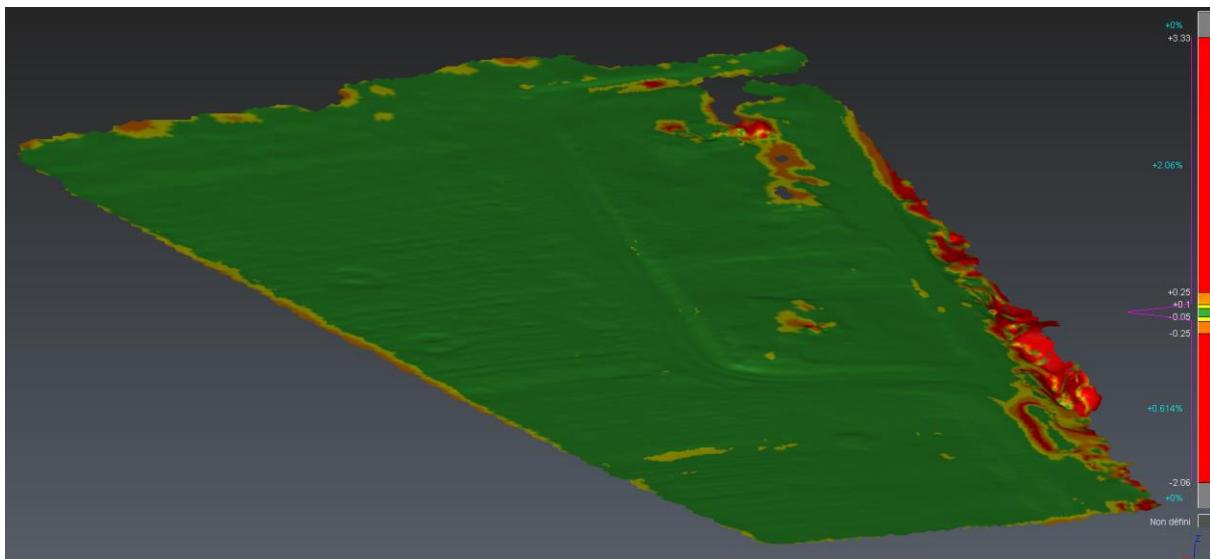
- Puis vous devez enregistrer la vue en cliquant sur l'appareil photo "Take screenshot" et sauver votre modèle "Save settings" puis « Publish ».



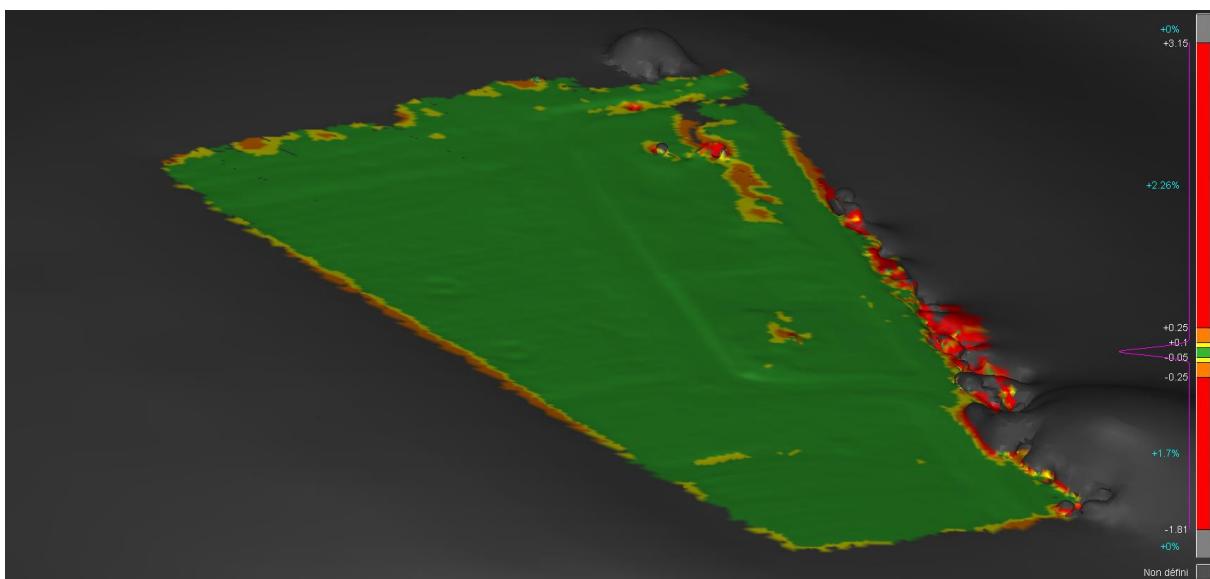
Pour l'utilisation de texture sur plusieurs maillages avec « Sketchfab », le fichier sketchfab.zbrush se trouve dans l'annexe 11.2.3.1 informatique (CD).

10.7 Comparaison des maillages entre logiciels

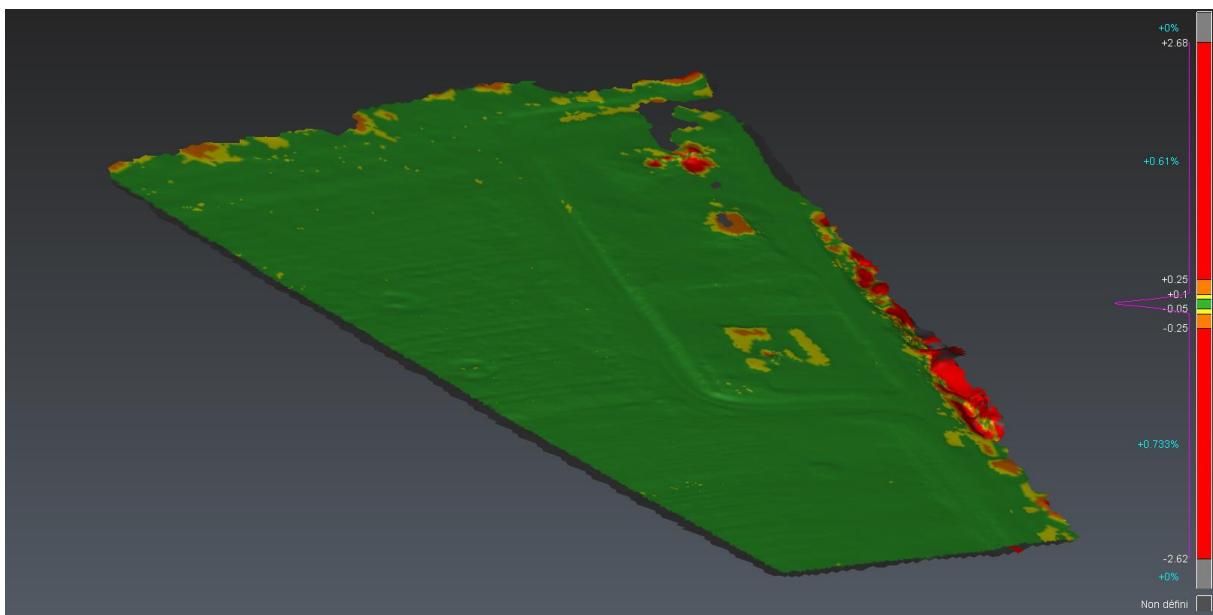
10.7.1.1 Résultat de la comparaison entre ML et CC (colorié sur CC)



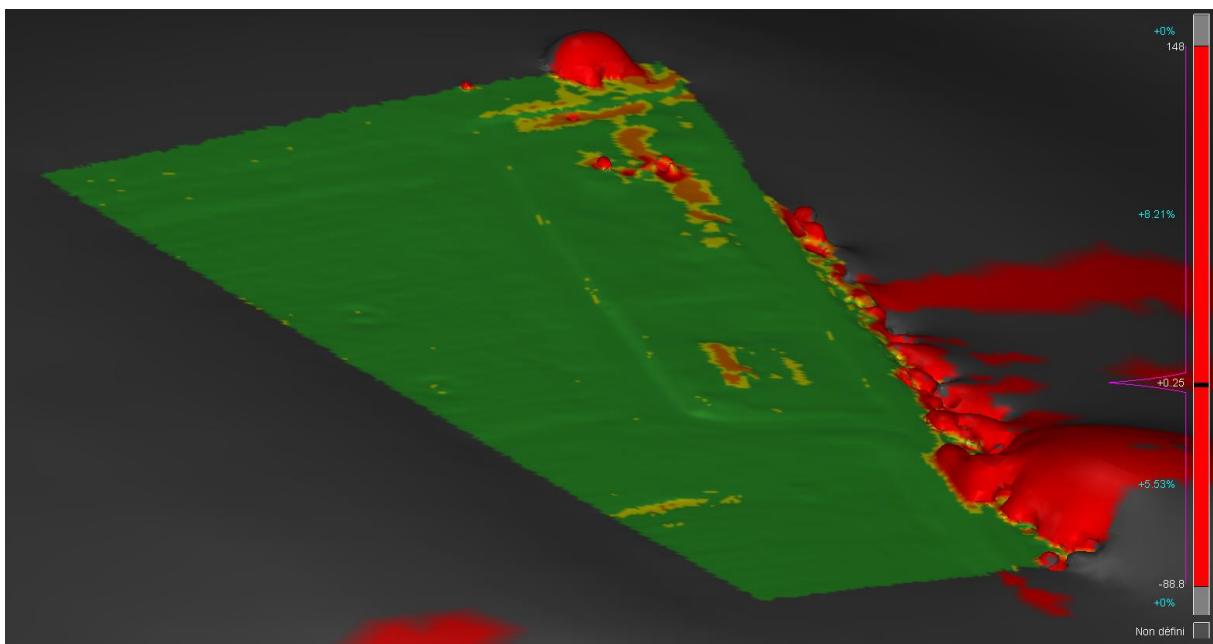
10.7.1.2 Résultat de la comparaison entre ML et CC (colorié sur ML)



10.7.1.3 Résultat de la comparaison entre 3DR et CC (colorié sur CC)

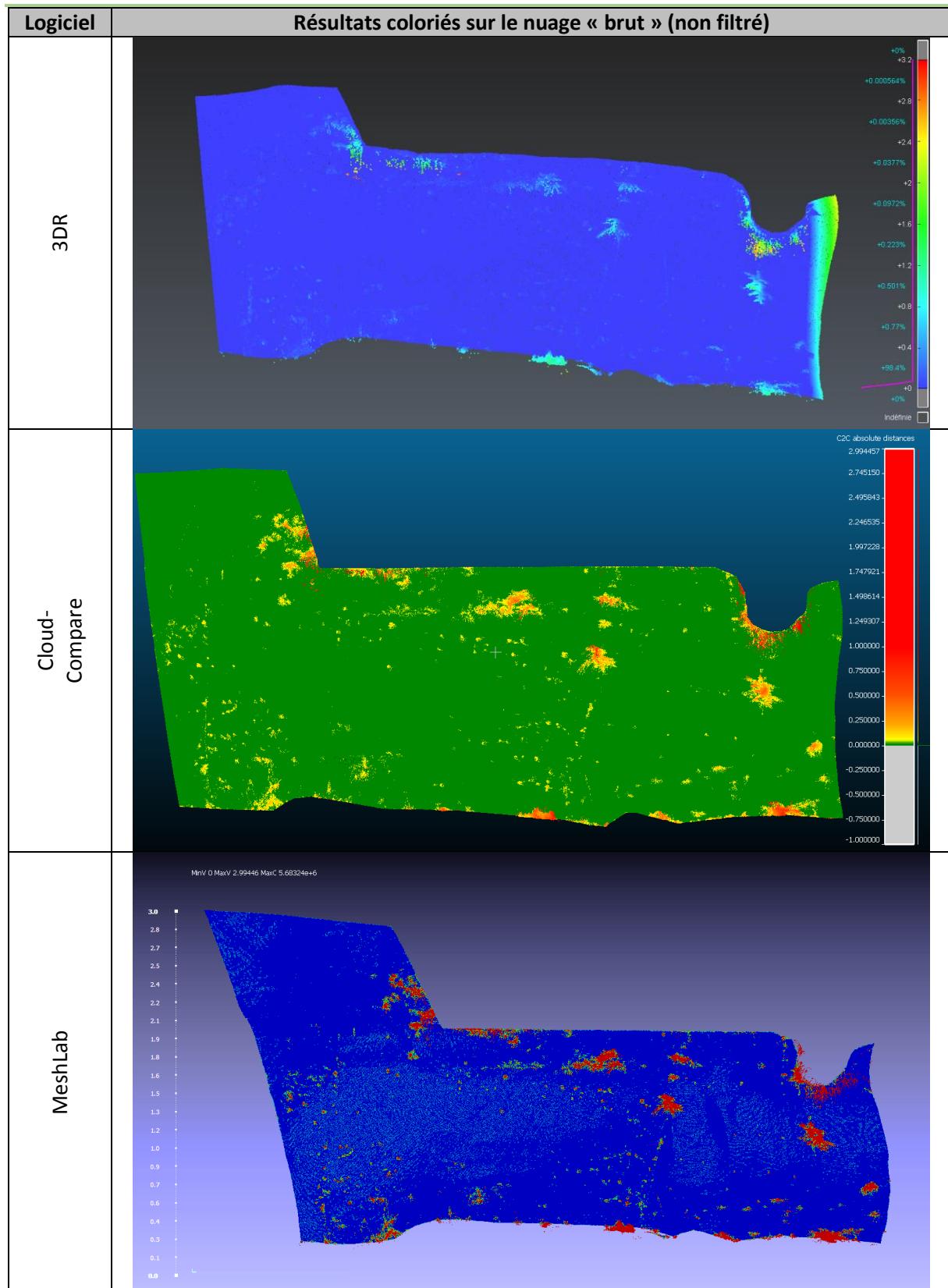


10.7.1.4 Résultat de la comparaison entre 3DR et ML (colorié sur ML)



10.8 Comparaison entre les outils de comparaison des logiciels

10.8.1 Nuage-Nuage



10.8.2 Nuage-maillage

Sur les logiciels de MeshLab et de CloudCompare, les données ont été coupées par rapport à celles de 3DR car le temps de calcul était trop long. Le carré rouge de l'illustration ci-dessous correspond à la zone découpée pour le calcul des deux logiciels gratuits.

| Logiciel | Résultat colorié sur le maillage | Résultat colorié sur le nuage |
|--------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 3DR | | |
| CloudCompare | | Pas possible |
| MeshLab | | |

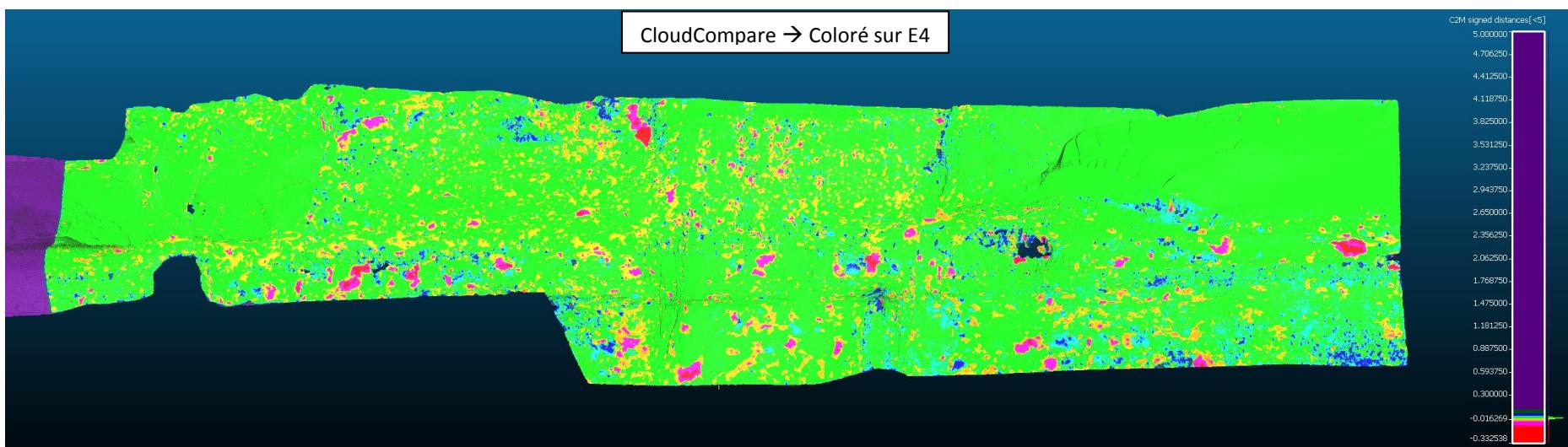
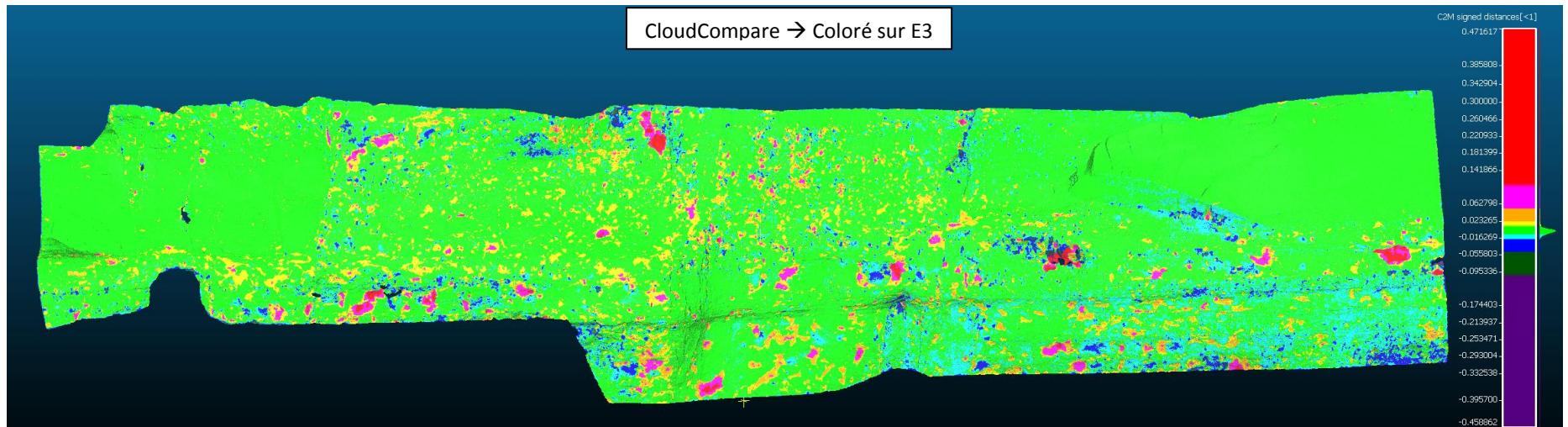
10.8.3 Maillage-Maillage

Sur les logiciels de MeshLab et de CloudCompare, les données ont été coupées par rapport à celles de 3DR car le temps de calcul était trop long. Le carré rouge de l'illustration ci-dessous correspond à la zone découpée pour le calcul des deux logiciels gratuits.

| Logiciel | Résultat colorié sur le maillage du laboratoire de topographie | Résultat colorié sur le maillage de CloudCompare |
|--------------|--|--|
| 3DR | | |
| CloudCompare | | |
| MeshLab | | |

10.9 Résultat final du « Suivi de déformations »

10.9.1 Résultat de la comparaison « open source » (CloudCompare)

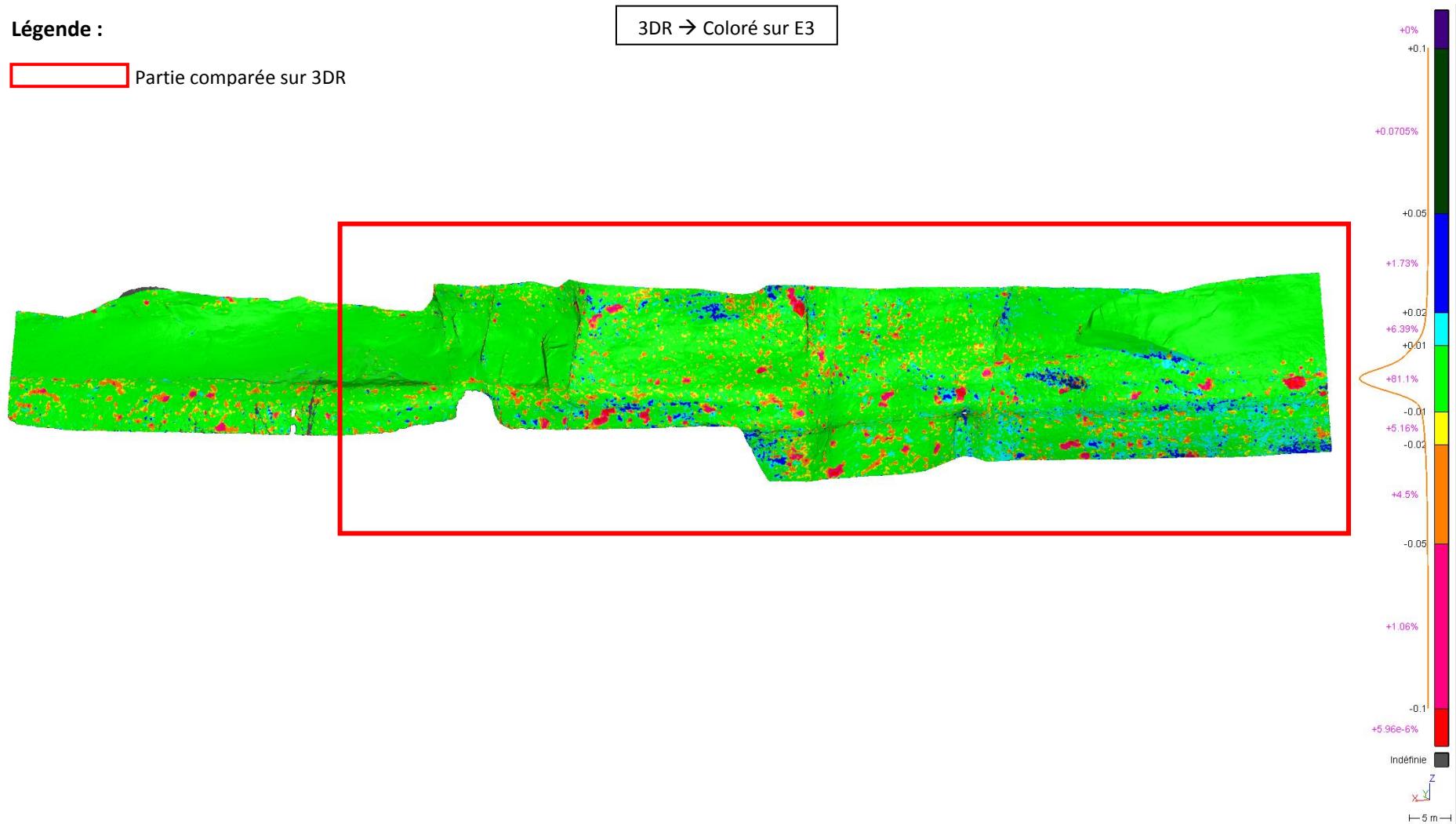


10.9.2 Résultat final de la comparaison du laboratoire de Topométrie (3DR)

Légende :

 Partie comparée sur 3DR

3DR → Coloré sur E3

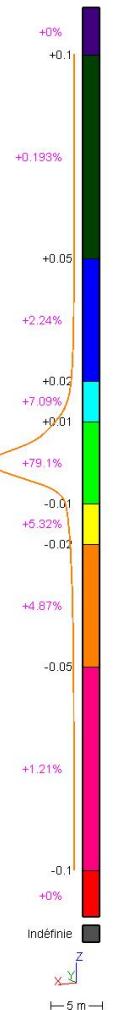
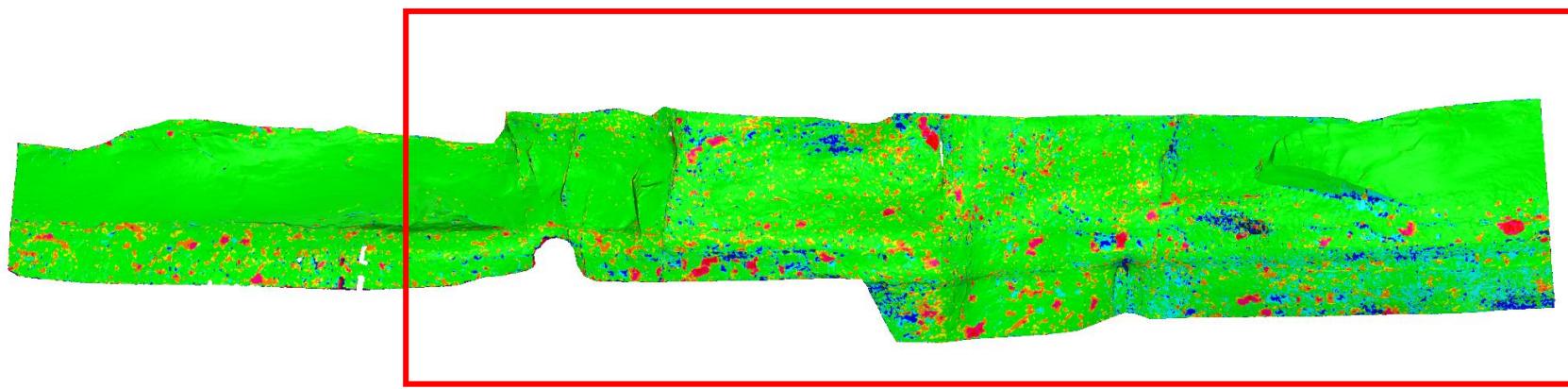


Du nuage à la maquette 3D avec des logiciels libres

Légende :

3DR → Coloré sur E4

 Partie comparée sur 3DR



11 ANNEXES INFORMATIQUES (SUR CD)

11.1) Rapport final (avec annexes)

11.2) Rendu des étapes

11.2.1) Réalisation d'une maquette

 11.2.1.1) Maillage (MNT)

 11.2.1.2) Modelisation

 11.2.2) Suivi de déformations

 11.2.2.1) Filtrage

 11.2.2.2) Maillage

 11.2.3) Diffusion

 11.2.3.1) Fichier de diffusion pour « Sketchfab » (texturisation pour plusieurs maillage)

11.3) Récapitulatif des séances

11.3.1) Séances hebdomadaires

11.3.2) Séance intermédiaire

11.3.3) Rapport fourni pour la séance intermédiaire

11.4) Planning