

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

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
3DR	3DReshaper (logiciel de traitement de nuages de points payant)
GB	Gigabyte est une unité de mesure de stockage en informatique

AVANT-PROPOS

Cette thèse de Bachelor clôture les six semestres passés à la HEIG-VD au sein de l'orientation géomatique et gestion de l'environnement (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 rapport 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.

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	7
1 Introduction	8
1.1 Définition du mandat	8
1.2 Cahier des charges.....	8
1.3 Déroulement	Erreur ! Signet non défini.
1.4 Situation	Erreur ! Signet non défini.
1.5 Données à disposition	9
1.6 Logiciels utilisés	9
1.6.1 CloudCompare.....	9
1.6.2 MeshLab	9
1.6.3 FreeCAD.....	10
1.6.4 FaroScene	10
1.6.5 RiSCAN PRO	10
1.6.6 3DReshaper	10
1.7 Articles existants	11
2 Réalisation d'une maquette	11
2.1 Assemblage.....	12
2.1.1 Comment assembler ?.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.2 Résultat.....	12
2.1.3 Contrôle.....	15
2.1.4 Récapitulatif (conclusion de l'étape).....	16
2.2 Géoréférencement.....	16
2.2.1 Résultat.....	16
2.2.2 Contrôle.....	18
2.3 Nettoyage	19
2.3.1 Résultat.....	19
2.4 Filtrage.....	20
2.4.1 CloudCompare.....	20
2.4.2 MeshLab	23
2.5 Maillage	24
2.5.1 CloudCompare.....	24
2.5.2 MeshLab	27
2.5.3 Comparaison des résultats	29
2.6 Modélisation.....	29

2.6.1	CloudCompare.....	29
2.6.2	MeshLab	Erreur ! Signet non défini.
2.6.3	FreeCAD.....	31
2.6.4	Mixte CloudCompare et FreeCAD	32
2.7	« Texturisation ».....	33
2.7.1	MeshLab	33
2.7.2	Résultat.....	33
2.8	Diffusion	35
2.9	Récapitulatif des différentes étapes	35
3	Suivi de déformations	36
3.1	Comparaison	36
3.1.1	CloudCompare.....	36
4	Diffusion.....	37
5	Difficultés	38
5.1.1	Extension	38
5.1.2	Trouver les bons outils dans les bons logiciels.....	38
6	Améliorations – Problèmes	38
6.1	Améliorations	38
6.2	Problèmes.....	38
7	Conclusion	39
8	Bibliographie	40
9	Remerciements.....	41
10	Annexes	42
10.1	Outils utiles pour la/les manipulation(s).....	Erreur ! Signet non défini.
10.1.1	CloudCompare.....	Erreur ! Signet non défini.
10.1.2	MeshLab	Erreur ! Signet non défini.
10.1.3	FreeCAD.....	Erreur ! Signet non défini.
10.2	Marche à suivre des différentes étapes par logiciel	Erreur ! Signet non défini.
10.2.1	Assemblage.....	Erreur ! Signet non défini.
10.2.2	Géréférencement	Erreur ! Signet non défini.
10.2.3	Nettoyage	Erreur ! Signet non défini.
10.2.4	Maillage	Erreur ! Signet non défini.
10.2.5	Modélisation.....	Erreur ! Signet non défini.
10.2.6	« Texturisation ».....	Erreur ! Signet non défini.

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Éléments pour l'assemblage de scans	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2 : Scannage d'une sphère entre deux scans	13
Figure 3 : Tableau des erreurs en sortie dans CloudCompare	13
Figure 4 : Tableau des erreurs en sortie dans SCENE.....	14
Figure 5 : Avant/après assemblage de deux nuages sur MeshLab	14
Figure 6 : Contrôles effectués pour l'assemblage des nuages sur CloudCompare	15
Figure 7 : Avant/après géoréférencement sur CloudCompare	18
Figure 8 : Avant/après nettoyage du nuage de points, exemple sur CloudCompare	20
Figure 9 : Paramètre idéal du maillage pour un MNT sur l'échantillon testé avec la méthode "Poisson Surface Reconstruction" de CloudCompare.....	25
Figure 10 : Nuage de points pour comparaison avec maillage (CloudCompare).....	25
Figure 11 : Le maillage avec les meilleurs paramètres pour le MNT (CloudCompare)	26
Figure 12 : Histogramme du maillage méthode poisson sur CloudCompare	26
Figure 13 : Avant/après filtrage du maillage selon l'histogramme sur CloudCompare	26
Figure 14 : Paramètres idéales de maillage pour un MNT sur l'échantillon testé avec l'outil « Screened Poisson Surface Reconstruction » de Meshlab	27
Figure 15 : Nuage de points pour comparaison avec le maillage (MeshLab)	28
Figure 16 : Le maillage avec la méthode « Screened Poisson Surface Reconstruction » avec les meilleurs paramètres pour un MNT (MeshLab).....	28
Figure 17 : Le maillage avec la méthode « Marching Cubes (APSS) » de MeshLab	29
Figure 18 : Extraction d'un plan moyen sur le nuage de points.....	30
Figure 19 : Paramètres de l'outil de détection de forme dans CloudCompare	30
Figure 20 : Outil de détection automatique de forme (plan) dans CloudCompare	30
Figure 21 : Résultat de la détection automatique de forme (plan) dans CloudCompare	31
Figure 22 : Étapes de la modélisation du bâtiment de la maquette	32
Figure 23 : Défaut de « texturisation » si la modélisation comporte plusieurs faces.....	33
Figure 24 : Comparaison des résultats de la « texturisation » 3DR/MeshLab	34
Figure 25 : Espace de travail de MeshLab pour la « texturisation »	34
Figure 26 : Espace de travail de 3DR pour la « texturisation »	34

RÉSUMÉ

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 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, 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 des mandats de lasergrammétrie, de son acquisition à sa diffusion, en passant par sa modélisation.

A COMPLETER...

1 INTRODUCTION

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. De ce fait, de nombreux bureaux investissent dans ces logiciels propriétaires, payants et souvent chers. L'école aussi, 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, voir remplacer avantageusement des outils payants.

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'intérêt technique et en terme d'efficience, d'utiliser des logiciels libres pour les différentes étapes auxquelles sont confrontés les bureaux en géomatique qui doivent traiter des mandats de lasergrammétrie, de son acquisition à sa diffusion, en passant par sa modélisation.

Ce document peut se découper en trois étapes 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 pratique concernant les logiciels gratuits utilisés. Vous pouvez également retrouver quelques modes d'emploi et paramètres d'outils qui ont permis la réussite de certaines étapes. La priorité était de mettre en avant les avantages ou les inconvénients de logiciels par rapport à d'autres plutôt que les méthodes utilisées, c'est pour cette raison que les résultats et comparaison sont mis en avant plutôt que les outils, méthode et autres paramètres.

1.1 Définition du mandat

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

Pour ma part, c'est la deuxième possibilité qui a été choisi 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 avec lui, où les grandes lignes ont pu être soigneusement définies à l'aide d'une liste préalablement faite sur les directions préférentielles de recherche de l'étudiant. C'est de cette manière que le mandat a pu être fixé.

1.2 Cahier des charges

Le cahier des charges a été écrit par le professeur responsable, Monsieur Vincent Barras. Il se trouve entièrement en copie dans les annexes.

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 » dispose d'outils de filtrage et d'inspection de nuages ou de maillages dans le but de suivre des décrochements de falaise 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 cette école. 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 faire les premières étapes de la 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 au semestre de printemps en 2016 (Pomy). Etant plus simple à modéliser, c'est pour cette raison que le changement de données a été fait. Ces données ont également été acquises car le scanner avait balayé une longue zone dans un champ ce qui a permis d'effectuer les tests de maillage qui seront expliqué dans le chapitre « Maillage ».

A COMPLETER AVEC LES DONNEES DE HAUTERIVE...

1.4 Logiciels utilisés

1.4.1 CloudCompare

Version : v2.8.1



CloudCompare ¹est un logiciel « open source » qui est dédié au traitement 3D de nuages de points. Selon le site de CloudCompare, 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, obtenir un maillage ou encore filtrer un nuage.

Dans ce travail, il a été utilisé pour :

- L'assemblage **METTRE NUMERO DES PARAGRAPHERS**
- Le géoréférencement
- Le nettoyage
- Le maillage
- La modélisation (succincte)
- ...

1.4.2 MeshLab

Version : 2016.12

¹ Logo : https://pbs.twimg.com/profile_images/587904387621773313/Tx6UB69W_400x400.jpg

Meshlab² 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 l'inspection de nuages de points avec celui-ci.



Dans ce travail, il a été utilisé pour :

- L'Assemblage
- Le géoréférencement
- Le nettoyage
- Le maillage
- ...

1.4.3 FreeCAD

Version : 0.16



FreeCAD³ 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 modélisation.

Dans ce projet, il a été utilisé pour :

- La modélisation

1.4.4 FaroScene

Version : 6.2.4.30

A COMPLETER...

1.4.5 RiSCAN PRO

A COMPLETER...

1.4.6 3DReshaper

Version utilisée : 2016

3DReshaper⁴ est un logiciel payant développé par la société TECHNODIGIT. Il est destiné au traitement de nuage de points. Facile à prendre en main, c'est un peu l'outil à tout faire. Il possède énormément d'outils que ce soit pour de la modélisation, pour le maillage ou encore pour l'inspection.



Dans ce travail, il a été utilisé pour :

- La transformation des extensions des fichiers de nuages de points

² Logo : http://meshlab.sourceforge.net/images/icons/eye_cropped.png

³ Logo : <https://www.facebook.com/FreeCAD>

⁴ Logo : http://www.3dreshaper.com/images/3dr_icon_2016.png

1.5 Articles existants

PAS D'ARTICLE POUR LE MOMENT ...

2 RÉALISATION D'UNE MAQUETTE

La toute première étape de réalisation d'une maquette est celle du scannage. N'étant pas l'objectif principal, cette étape a été laissée de côté en prenant directement des données existantes comme elles sont citées dans le chapitre « données à disposition ». La partie terrain est alors négligée dans le but de se concentrer directement au thème principal à savoir le traitement à l'aide des logiciels « open source ».

La réalisation d'une maquette se décompose en quelques étapes clés qui se résument selon l'illustration ci-dessous.

MODIFIER LE SCHEMA METTRE GENRE SUITE ACTUELLE (AVEC LOGICIEL PROPRIETAIRE)

Actuellement le chemin connus et qui a été utilisé pour la maquette effectuée en 2016 est le suivant :



2.1 Export des scanners pour les nuages de points

Pas encore de solutions

Avant de pouvoir introduire les nuages de points dans ces programmes, une transformation d'extension a été nécessaire. Comme les données proviennent de fichiers avec des extensions issues du scanner par exemple « *.fls » pour FARO ou « *.rxp » pour Riegl, CloudCompare et MeshLab n'arrivent pas les ouvrir. Pour ce faire, la transformation s'est faite à l'aide de 3DReshaper qui lui accepte ces extensions. Une fois ce petit détour par un programme payant, le travail de comparaison à réellement pu démarrer.

Trouver une solution !

2.2 Navigation dans les logiciels

2.2.1 Poids des nuages

À partir de 15 millions de points dans le nuage, la navigation dans logiciel MeshLab devient compliquée. CloudCompare est meilleur à ce niveau-là car il supporte plus de 50 millions de. Le test n'a pas été plus loin car pour la plupart des travaux n'atteignent pas d'aussi important nuage.

À l'inverse, les logiciels 3DR, SCENE et RiSCAN PRO 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 et 8 processeurs.

Ces résultats sont assez relatifs car l'ordinateur est un facteur déterminant 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 différents. Cette différence n'a pas été vue concernant les logiciels payants.

2.3 Assemblage

En laissant de côté la partie terrain, c'est-à-dire le scannage et les levés, cela nous amène tout de suite à la première étape du travail. Après avoir obtenu des nuages de points et de les avoir exportés, l'étape suivante est le processus « d'assemblage ». Dans ce rapport, l'assemblage et le géoréférencement ont été séparé. Dans les logiciels propriétaires, ces étapes se font souvent simultanément. L'idée des logiciels gratuits n'est pas vraiment la même. Il faut tout d'abord assembler les différents scans entre eux puis les référencer. C'est pour cette raison que la séparation ce fait dans ce rapport.

2.3.1 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 cible (sphère, damier, ...) tout comme « RiSCAN PRO ».

2.3.1.1 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 été cité un peu plus tôt dans ce rapport au chapitre « logiciels utilisés ». Dans ces deux softs gratuits, l'assemblage de nuages est possible mais une grande différence entre les logiciels payants et gratuits est à remarquer.



Figure 1 : Éléments pour l'assemblage de scans

Cette différence est la détection automatique des cibles qui n'est absolument pas présente sur les logiciels « open source ». Les deux logiciels libres ont le même principe pour l'assemblage du nuage. C'est-à-dire, sélectionner un point du nuage considéré comme similaire aux deux nuages en le pointant. Cette solution peut paraître quelque peu contraignante pour l'utilisation de sphères car la sélection du point sur une sphère ne se situe pas au centre de cette dernière. Comme la figure ci-dessous montre, l'enveloppe de la sphère (en rouge) sera scannée mais 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 ces deux logiciels « open source ».

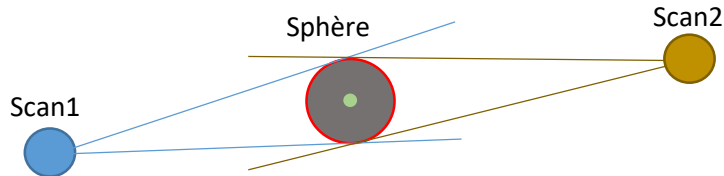


Figure 2 : Scannage d'une sphère entre deux scans

Malgré cela, l'assemblage des scanners est très bien élaboré dans les deux logiciels. CloudCompare se détache très légèrement car MeshLab ne sort pas d'erreur à la sortie de l'assemblage. Autrement, pour le reste, ils sont pratiquement similaires.

Ci-dessous le résultat de l'assemblage dans CloudCompare, la précision des points d'assemblage ne dépasse pas le centimètre ce qui est plutôt très bon. Malheureusement, les résultats ne sont, comme évoqué juste avant, pas disponible sur MeshLab mais une comparaison sera tout même effectuée dans les contrôles au chapitre suivant.

$A0/R0 = 91943$
 $A1/R1 = 91912$
 $A2/R2 = 91914$
 $A3/R3 = 91922$

	X	Y	Z	Error	
A0	1.42469	9.19867	637.815	0.00125876	X
A1	-12.5443	2.71625	638.219	0.00813303	X
A2	-16.6275	8.34466	638.503	0.000830422	X
A3	-7.84706	2.53001	637.876	0.00729447	X

	X	Y	Z	Error	
R0	6.17001	-5.84075	641.172	0.00125876	X
R1	-7.72003	-12.4817	641.383	0.00813303	X
R2	-11.8816	-6.89649	641.418	0.000830422	X
R3	-3.02836	-12.617	641.17	0.00729447	X

Figure 3 : Tableau des erreurs en sortie dans CloudCompare

Si l'on compare les résultats de CloudCompare avec ceux obtenus sur SCENE, la différence n'est pas évidente à ce niveau-là. L'ordre de grandeur est le même, c'est-à-dire, les précisions sur les points d'assemblage ne dépasse pas le centimètre ce qui est très bon car le logiciel propriétaire n'est pas forcément meilleur que celui qui est gratuit.

The screenshot shows the 'Résultats de scanning' tab in the ScanManager application. It contains a table with the following data:

Référence	Dist. Erreur [mm]	Ang. Erreur [°]	Scanning 1	Scanning 2
91914	7.80	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002
91922	5.12	---	D01_170208.1_Scan_002	D01_170208.1_Scan_004
91943	3.67	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002
91912	3.42	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002
Inclinomètre	---	0.000	D01_170208.1_Scan_002	D01_170208.1_Scan_004

Below the table, there are statistics for distance and angular errors:

Distance / Statistiques angulaires

Principal :		Écart :	
5.00 [mm]	0.000 [°]	1.74 [mm]	0.000 [°]
Min : 3.42 [mm]	0.000 [°]	Max : 7.80 [mm]	0.000 [°]

Buttons at the bottom: Obtenir, Appliquer, OK, Annuler.

Figure 4 : Tableau des erreurs en sortie dans SCENE

En conclusion pour cette étape, 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 offre une solution d'assemblage plus automatique mais pour de petit ou moyen chantier, les logiciels gratuits n'ont pas à rougir et sont totalement en mesure de faire le travail pour des nuages de tailles raisonnables.

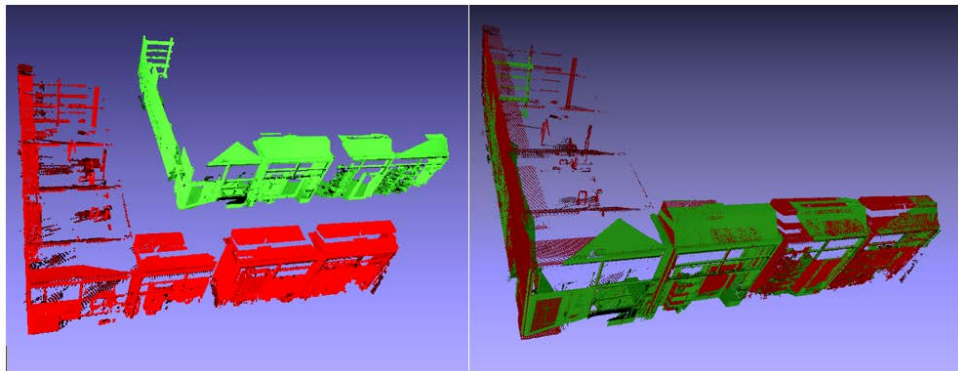


Figure 5 : Avant/après assemblage de deux nuages sur MeshLab

2.3.1.2 ICP (assemblage nuage-nuage automatique)

Concernant CloudCompare, il existe un outil d'assemblage de nuage automatique autrement dit ICP. Ce paramètre n'est pas concluant pour ce logiciel car sur l'échantillon testé, il y a des erreurs entre les deux nuages comme on peut le voir sur la figure ci-dessous.

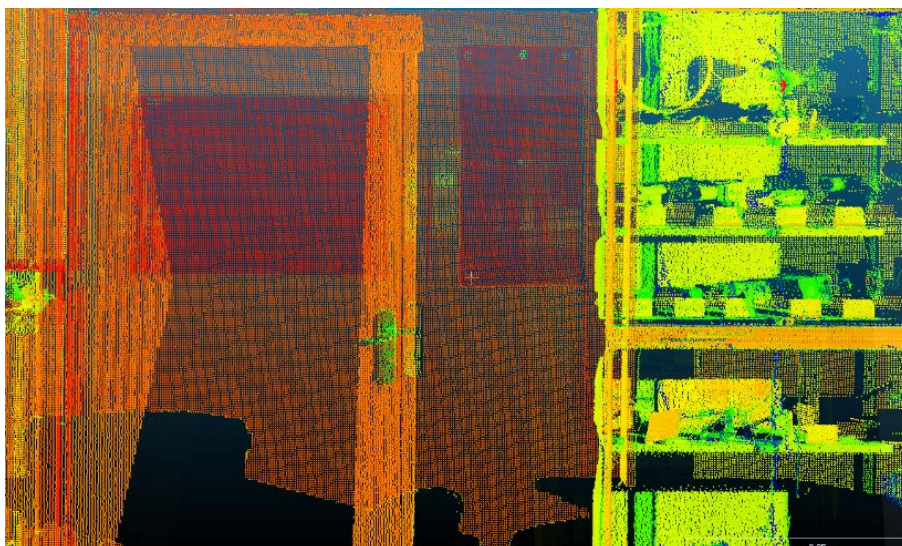


Figure 6 : Erreur ICP de CloudCompare

La poignée de la porte apparaît deux fois et le bord de l'armoire également. Entre les deux objets, il y a une distance d'environ 10 centimètres.

Pour MeshLab, il est directement intégré au processus d'alignement. Une fois l'alignement (assemblage) terminé, en cliquant sur processus un dernier paramètre ICP se fait automatiquement.

2.3.2 Contrôle

L'assemblage effectué sur les deux logiciels libres a été contrôlé à l'aide des traverses en béton de la salle. 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.

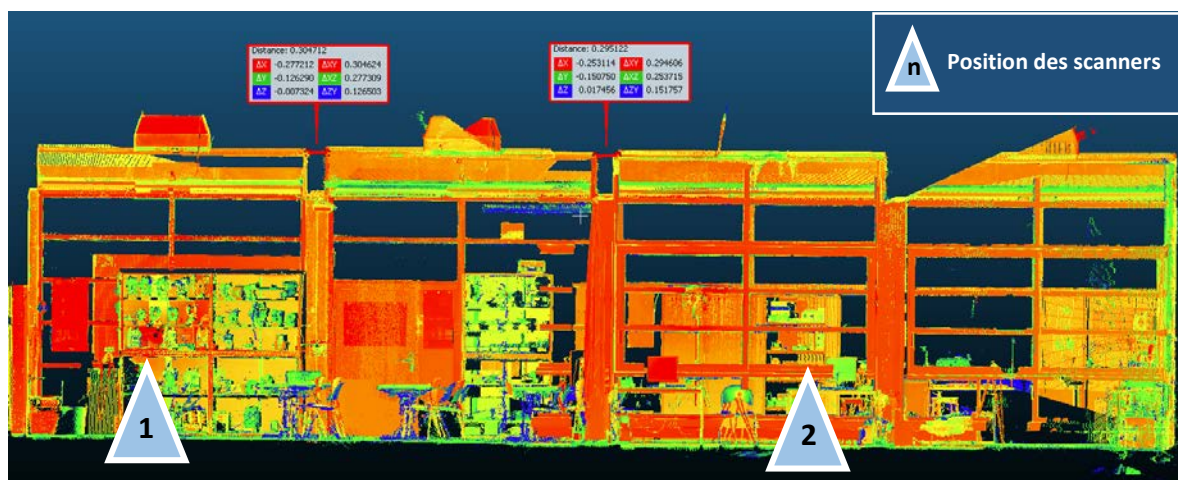


Figure 7 : Contrôles effectués pour l'assemblage des nuages sur CloudCompare

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 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 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 que la différence pourra être faite et la précision de l'assemblage est très bonne dans les deux logiciels.

2.3.3 Récapitulatif (conclusion de l'étape)

- Logiciel propriétaire → détection automatique
- Logiciel « open source » → pointé manuel

A COMPLETER sous forme de tableau...

2.4 Géoréférencement

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

2.4.1 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 « doit » dans celui-ci. 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 de canne sur les points de géoréférencement alors que sur « SCENE » cette fonction n'existe pas.

Concernant les logiciels gratuits qui ont été utilisés pour cette étape, ils ne sont pas ridicules. Le seul gros désavantage est l'impossibilité d'employer des coordonnées avec des grands chiffres comme par exemple, les coordonnées utilisées en Suisse (E=1'200'000, X=2'600'000). À ce propos, le logiciel CloudCompare émet une alerte et nous permet de faire une translation du nuage de points si celui-ci se trouve dans des coordonnées trop grandes. Tandis que MeshLab n'ouvre même pas le nuage ou alors il affiche des triangles au lieu des points si les coordonnées de celui-ci sont trop importantes. Pour contrer ce problème, une réduction des coordonnées est inévitable pour que l'importation du nuage se passe bien.

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 de points à géoréférencer. Ce principe, comme cela a déjà été cité, rend l'utilisation de sphères impossible. 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.

Par contre, il est possible de désactiver un point qui est faux par exemple. Sur MeshLab en désactivant le point et sur CloudCompare en supprimant celui-ci. Ce qui reste très utile lorsque les résultats doivent être optimisés et qu'il y a assez de points de géoréférencement.

Ci-dessous, les résultats du géoréférencement qui sont tout aussi bons que sur un logiciel payant. L'erreur maximum sur « SCENE » est de 7 millimètres alors que celle de CloudCompare est de 4 millimètres et de 3 millimètres pour MeshLab.

Logiciels	Tableau des erreurs sur les points de géoréf.																																																																	
<div>SCENE</div> <div>A CHANGER LA PHOTO !!!</div>	<div><div>/Scans/ScanManager</div><div><div>GestScanning</div><div>Résultats de scanning</div><div>Tensions de cible</div></div><div><div>Hiérarchie totale</div><table><thead><tr><th>Référence</th><th>Dist. Erreur [mm]</th><th>An...</th><th>Scanning 1</th><th>Scanning 2</th></tr></thead><tbody><tr><td>91914</td><td>7.80</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_004</td><td>D01_170208.1_Scan_002</td></tr><tr><td>91914</td><td>7.34</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_004</td><td>References</td></tr><tr><td>91922</td><td>5.97</td><td>---</td><td>References</td><td>D01_170208.1_Scan_004</td></tr><tr><td>91922</td><td>5.11</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_002</td><td>D01_170208.1_Scan_004</td></tr><tr><td>91912</td><td>4.08</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_004</td><td>References</td></tr><tr><td>91943</td><td>3.63</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_004</td><td>D01_170208.1_Scan_002</td></tr><tr><td>91912</td><td>3.40</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_004</td><td>D01_170208.1_Scan_002</td></tr><tr><td>91943</td><td>2.26</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_004</td><td>References</td></tr><tr><td>91943</td><td>2.01</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_002</td><td>References</td></tr><tr><td>91914</td><td>1.98</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_002</td><td>References</td></tr><tr><td>91912</td><td>1.89</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_002</td><td>References</td></tr><tr><td>91922</td><td>1.33</td><td>---</td><td>D01_170208.1_Scan_002</td><td>References</td></tr></tbody></table><div><div>Distance / Statistiques angulaires</div><div><div>Principal :</div><div>3.90</div><div>[mm]</div><div>0.001</div><div>[°]</div><div>Écart :</div><div>2.12</div><div>[mm]</div><div>0.000</div><div>[°]</div></div><div><div>Min :</div><div>1.33</div><div>[mm]</div><div>0.001</div><div>[°]</div><div>Max :</div><div>7.80</div><div>[mm]</div><div>0.001</div><div>[°]</div></div></div><div><div>Obtenir</div><div>Appliquer</div><div>OK</div><div>Annuler</div></div></div></div>	Référence	Dist. Erreur [mm]	An...	Scanning 1	Scanning 2	91914	7.80	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002	91914	7.34	---	D01_170208.1_Scan_004	References	91922	5.97	---	References	D01_170208.1_Scan_004	91922	5.11	---	D01_170208.1_Scan_002	D01_170208.1_Scan_004	91912	4.08	---	D01_170208.1_Scan_004	References	91943	3.63	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002	91912	3.40	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002	91943	2.26	---	D01_170208.1_Scan_004	References	91943	2.01	---	D01_170208.1_Scan_002	References	91914	1.98	---	D01_170208.1_Scan_002	References	91912	1.89	---	D01_170208.1_Scan_002	References	91922	1.33	---	D01_170208.1_Scan_002	References
Référence	Dist. Erreur [mm]	An...	Scanning 1	Scanning 2																																																														
91914	7.80	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002																																																														
91914	7.34	---	D01_170208.1_Scan_004	References																																																														
91922	5.97	---	References	D01_170208.1_Scan_004																																																														
91922	5.11	---	D01_170208.1_Scan_002	D01_170208.1_Scan_004																																																														
91912	4.08	---	D01_170208.1_Scan_004	References																																																														
91943	3.63	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002																																																														
91912	3.40	---	D01_170208.1_Scan_004	D01_170208.1_Scan_002																																																														
91943	2.26	---	D01_170208.1_Scan_004	References																																																														
91943	2.01	---	D01_170208.1_Scan_002	References																																																														
91914	1.98	---	D01_170208.1_Scan_002	References																																																														
91912	1.89	---	D01_170208.1_Scan_002	References																																																														
91922	1.33	---	D01_170208.1_Scan_002	References																																																														
<div>CloudCompare</div> <div><div>A0/R0 = 91914</div><div>A1/R1 = 91912</div><div>A2/R2 = 91922</div><div>A3/R3 = 91943</div></div>	<div><div><div><div>show 'to align' cloud</div><div><div><div>X</div><div>Y</div><div>Z</div><div>Error</div></div><div><div>A0</div><div>484.516</div><div>240.906</div><div>446.893</div><div>0.00152649</div></div><div><div>A1</div><div>488.821</div><div>235.425</div><div>446.882</div><div>0.0037203</div></div><div><div>A2</div><div>493.524</div><div>235.418</div><div>446.657</div><div>0.0017098</div></div><div><div>A3</div><div>502.533</div><div>242.436</div><div>446.585</div><div>0.00318617</div></div></div></div><div><div>show 'reference' cloud</div><div><div><div>X</div><div>Y</div><div>Z</div><div>Error</div></div><div><div>R0</div><div>483.899</div><div>224.848</div><div>446.128</div><div>0.00152649</div></div><div><div>R1</div><div>488.204</div><div>219.363</div><div>446.091</div><div>0.0037203</div></div><div><div>R2</div><div>492.907</div><div>219.363</div><div>445.877</div><div>0.0017098</div></div><div><div>R3</div><div>501.92</div><div>226.38</div><div>445.882</div><div>0.00318617</div></div></div></div><div><div><div>adjust scale</div><div>Rotation</div><div>XYZ</div><div><div>Tx</div><div>Ty</div><div>Tz</div></div></div><div><div>auto update zoom</div><div><div>align</div><div>reset</div><div></div><div></div></div></div></div></div></div>																																																																	
<div>Meshlab</div>	<div><div>Form</div><div><div>Absolute Reference</div><div>Scale Reference</div></div><div><table><thead><tr><th></th><th>Active</th><th>ID</th><th>X (mov)</th><th>Y (mov)</th><th>Z (mov)</th><th>X (ref)</th><th>Y (ref)</th><th>Z (ref)</th><th>Error</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>active</td><td>91912</td><td>-7.72545</td><td>-12.4915</td><td>641.383</td><td>488.204</td><td>219.363</td><td>446.091</td><td>0.00256191</td></tr><tr><td>2</td><td>active</td><td>91914</td><td>-11.8871</td><td>-6.8941</td><td>641.413</td><td>483.899</td><td>224.848</td><td>446.128</td><td>0.0014065</td></tr><tr><td>3</td><td>active</td><td>91922</td><td>-3.02668</td><td>-12.6179</td><td>641.173</td><td>492.907</td><td>219.363</td><td>445.877</td><td>0.00145961</td></tr><tr><td>4</td><td>active</td><td>91943</td><td>6.16978</td><td>-5.84108</td><td>641.172</td><td>501.92</td><td>226.38</td><td>445.882</td><td>0.000293295</td></tr></tbody></table><div><div>Add New Point</div><div>Delete Current Point</div></div><div><div>Load Reference Points From File</div><div>Export all Referencing Data to file...</div></div><div><div>Pick current point on MOVING</div><div>Pick current point on REFERENCE</div></div><div><div><div>Allow UNIFORM Scaling</div><div>Apply to all visible layers</div></div><div>Calculate Rototranslation</div><div>Apply</div></div></div></div>		Active	ID	X (mov)	Y (mov)	Z (mov)	X (ref)	Y (ref)	Z (ref)	Error	1	active	91912	-7.72545	-12.4915	641.383	488.204	219.363	446.091	0.00256191	2	active	91914	-11.8871	-6.8941	641.413	483.899	224.848	446.128	0.0014065	3	active	91922	-3.02668	-12.6179	641.173	492.907	219.363	445.877	0.00145961	4	active	91943	6.16978	-5.84108	641.172	501.92	226.38	445.882	0.000293295															
	Active	ID	X (mov)	Y (mov)	Z (mov)	X (ref)	Y (ref)	Z (ref)	Error																																																									
1	active	91912	-7.72545	-12.4915	641.383	488.204	219.363	446.091	0.00256191																																																									
2	active	91914	-11.8871	-6.8941	641.413	483.899	224.848	446.128	0.0014065																																																									
3	active	91922	-3.02668	-12.6179	641.173	492.907	219.363	445.877	0.00145961																																																									
4	active	91943	6.16978	-5.84108	641.172	501.92	226.38	445.882	0.000293295																																																									

Malgré l'impossibilité d'utiliser de grandes coordonnées, l'utilisation de logiciels « open source » pour le géoréférencement est tout à fait concevable. 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 pour le géoréférencement et surtout des résultats qui sont aussi bon, voire meilleurs, que ceux des logiciels payants.

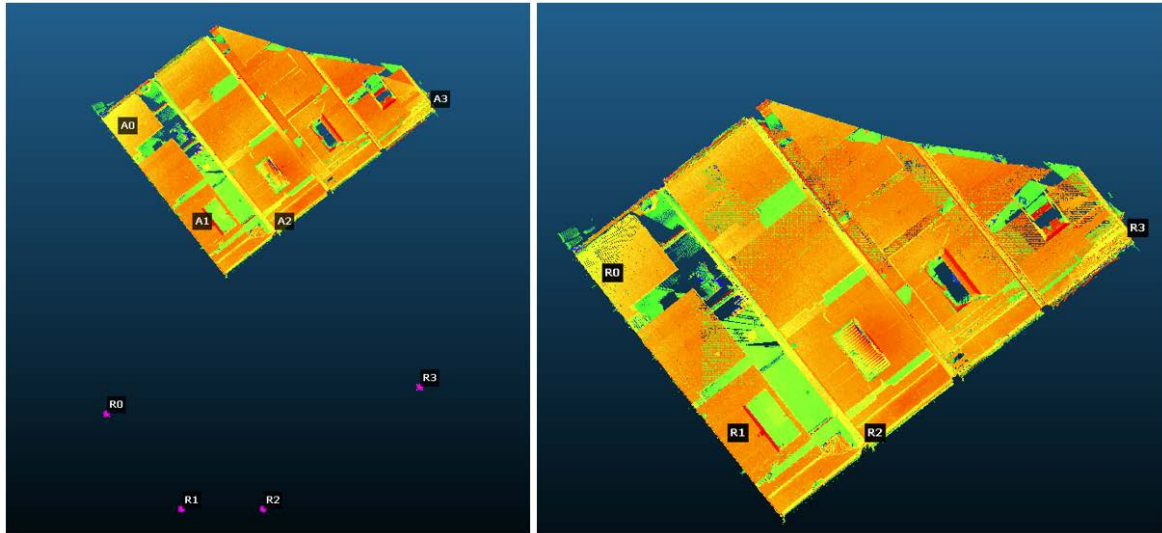


Figure 8 : Avant/après géoréférencement sur CloudCompare

2.4.2 Contrôle

À cette étape, des contrôles ont également été faits. Cette fois-ci, il s'agit plus de distance mais de coordonnées sur d'autres points dont la position est également connue mais qui n'ont pas servis au géoréférencement.

Grace à la qualité du scannage, il est possible d'apercevoir les pointes des triangles connus en coordonnées dans la salle de classe comme le montre l'illustration ci-dessous.

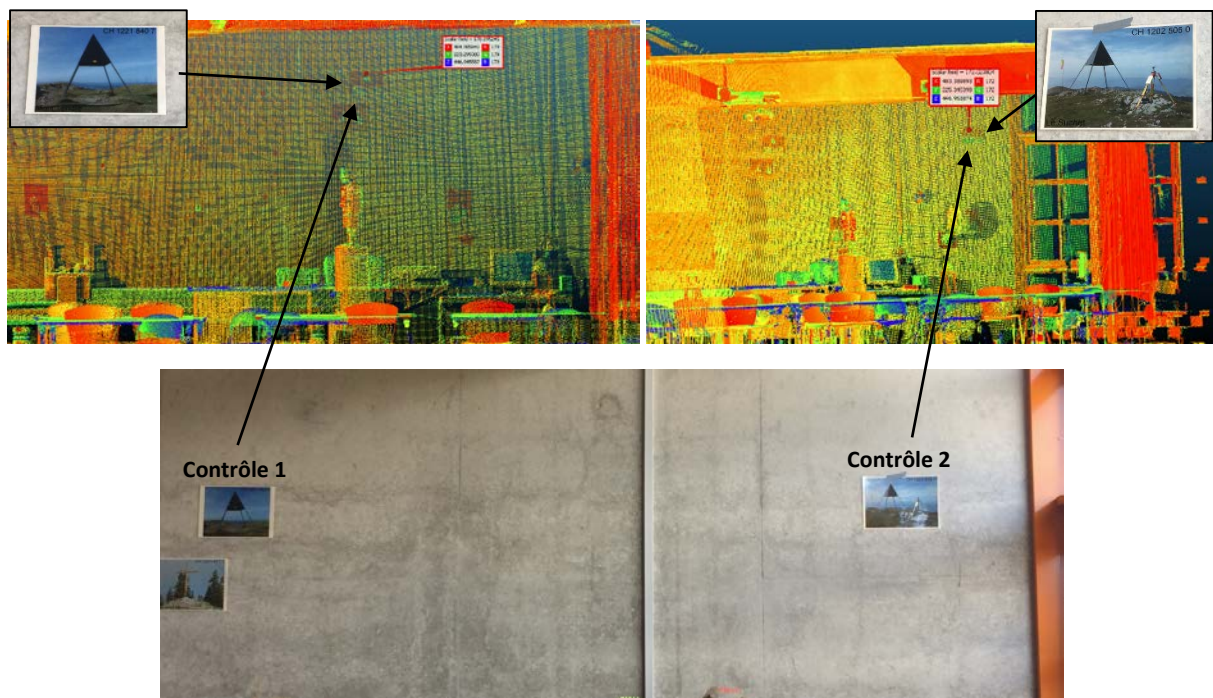


Figure 9 : Contrôles effectués pour le géoréférencement

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

Les résultats des contrôles sont très bons et largement suffisant 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 deux 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
avoir (scan)		484.986	223.295	446.946	avoir (scan)		484.981	223.299	446.946
	erreur [mm]	-4.8	3.6	8.4		erreur [mm]	0.0	0.0	8.0
	Dist. 3D [mm]	10.4				Dist. 3D [mm]	8.0		
Contrôle 2	pt	E	N	H	Contrôle 2	pt	E	N	H
doit (école)	12025050	483.377	225.343	446.964	doit (école)	12025050	483.377	225.343	446.964
avoir (scan)		483.382	225.353	446.952	avoir (scan)		483.390	225.346	446.957
	erreur [mm]	-5.2	-10.2	11.9		erreur [mm]	-13.0	-3.0	7.0
	Dist. 3D [mm]	16.5				Dist. 3D [mm]	15.1		

Figure 10 : Tableau des résultats des contrôles du géoréférencement

2.5 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 grossièrement avant l'assemblage pour avoir des nuages de points plus léger et plus visible.

2.5.1 Résultat

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

Quant à la concurrence, CloudCompare a une option de nettoyage pratiquement similaire. De la même manière que pour 3DR, il est possible de découper selon une polygône dessinée et d'en choisir soit l'intérieure, l'extérieure ou les deux (= découpe). Le logiciel possède comme 3DR, l'utilisation d'une polygône existante pour découper le nuage de point.

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 expliqués dans les annexes **NUMEROTE !!!!**.

Dans l'exemple ci-dessous, la salle de classe est vitrée de chaque côté, ce qui provoque passablement d'imperfection. Le nettoyage permet d'éliminer tous ces défauts (entourés en rouge).

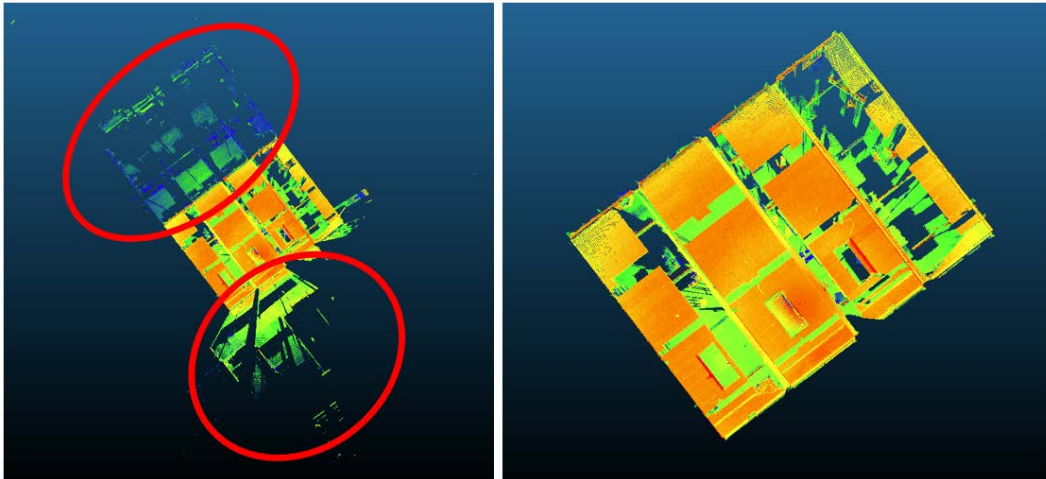


Figure 11 : Avant/après nettoyage du nuage de points, exemple sur CloudCompare

2.6 Filtrage

Le filtrage est une étape très importante dans le processus de la maquette. Il a le même but que le nettoyage, soit effacer les points inutile pour la suite du travail. Souvent, la végétation est le plus grand problème et c'est à ce sujet que le filtrage est utile. La plus part 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.

Grâce à l'outil « Extraire Terrain » dans le logiciel propriétaire de 3DR, il est possible de faire de bon filtrage avec des paramètres très pratique comme la pente maximale du terrain autorisée. Il également possible de choisir à la sortie de ce paramètre si les points du sol, les points bruités ou ceux qui n'appartienne pas au sol doivent être gardés ce qui est très pratique suivant le travail à effectuer.

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

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.

2.6.1 CloudCompare

Le logiciel CloudCompare 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.

Tout d'abord le premiers choix entre 3 paramètres doit être fait (Relief/Flat/Slope). Avec l'échantillon de la maquette, ces trois facteurs n'influence que de très peu le résultat. Ensuite, le paramètre « 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 compter dans le terrain mais ils sont extrait. Le paramètre suivant (« Max iterations »), 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. Pour finir, le paramètre « Classification threshold » extrait les éléments verticaux. Plus le chiffre est grand, plus les éléments verticaux seront comptés comme terrain.

Plusieurs illustrations des différences de paramètres « Cloth resolution » et « Classification threshold » sont en annexe afin de mieux visionner la différence des chiffres introduit 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.

2.6.2 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.

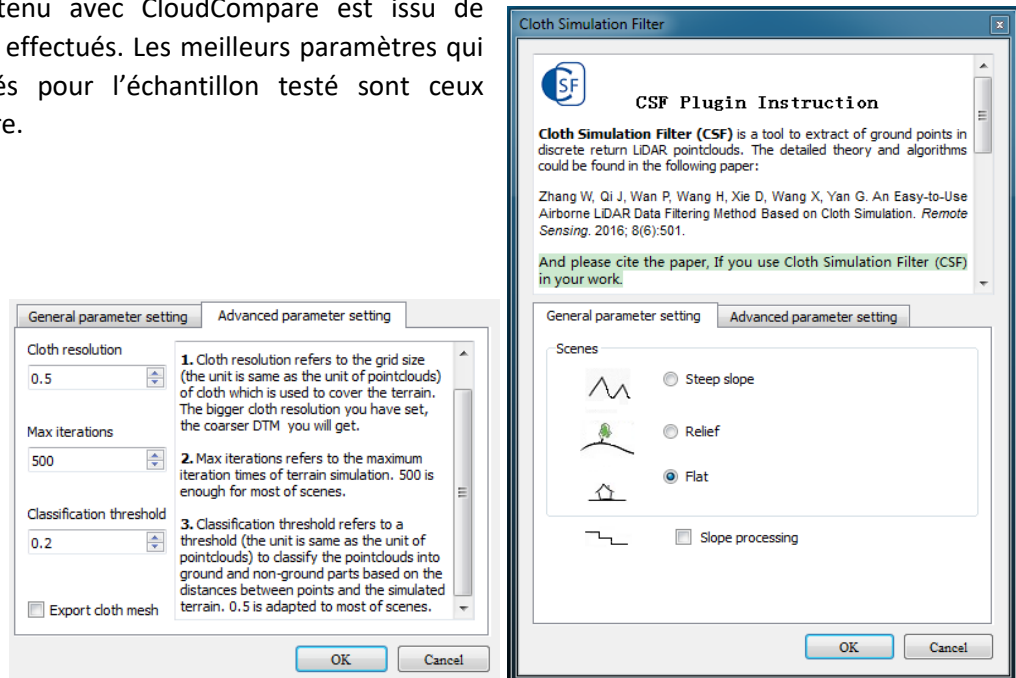


Figure 12 : Paramètre de CloudCompare pour le meilleur filtrage

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 utile et qu'on ne retrouve pas dans le logiciel gratuit. Néanmoins, les résultats sont tout de même proches comme ils sont illustrés ci-dessous.

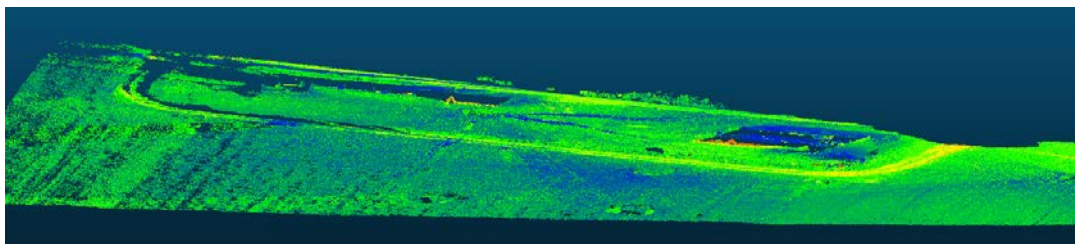


Figure 13 : Résultat du filtrage de CloudCompare

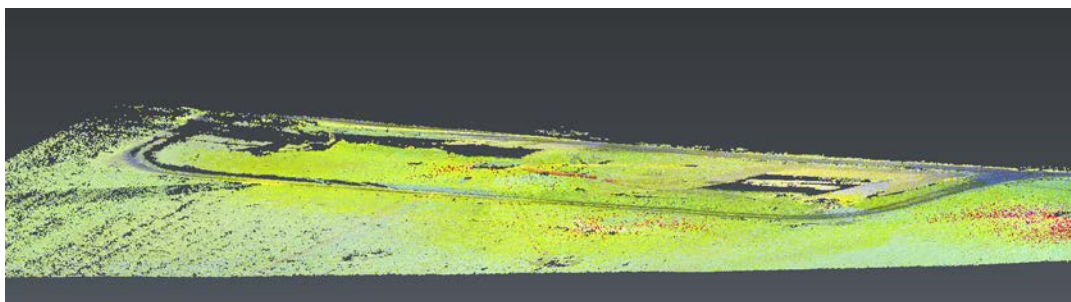


Figure 14 : Résultat du filtrage de 3DReshaper

2.6.3 Comparaison

Pour terminer le chapitre filtrage, 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 deux logiciels en coloriant le nuage en fonction des décalages.

Les deux illustrations suivantes démontrent les décalages qu'ils subsistent entre les deux nuages. Concernant les couleurs des figures, elles sont réparties 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.

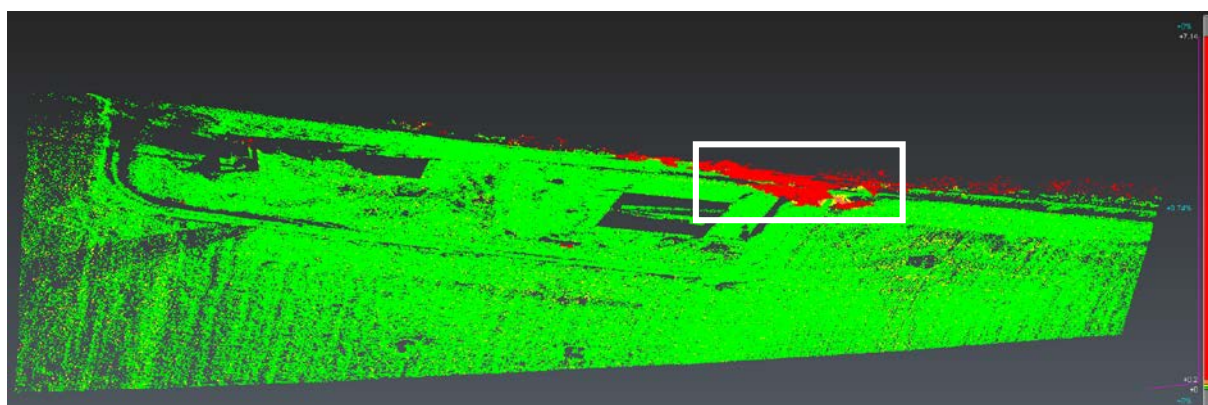


Figure 15 : Inspection nuage-nuage après filtrage entre 3DR et CloudCompare (coloré sur le nuage de 3DR)

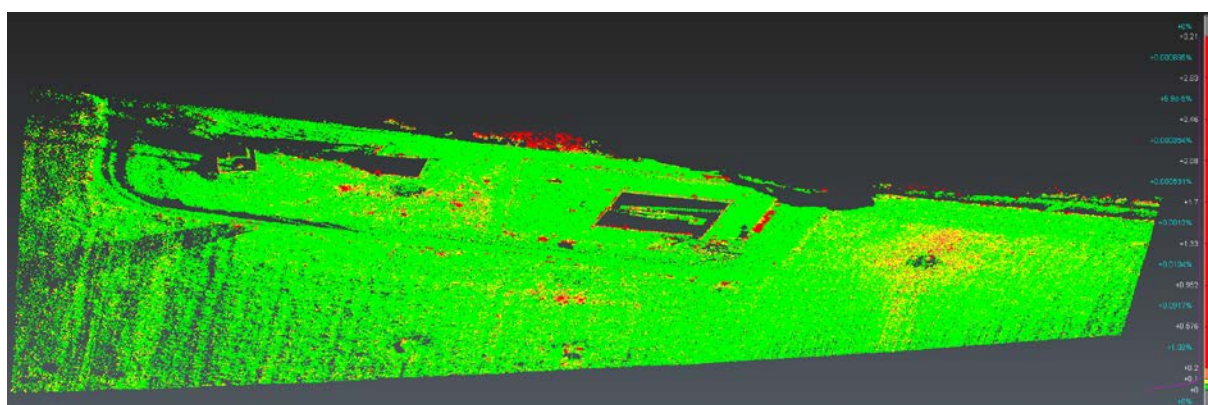


Figure 16 : Inspection nuage-nuage après filtrage entre 3DR et CloudCompare (coloré sur le nuage de CloudCompare)

Le résultat de la comparaison est très satisfaisant car dans l'ensemble il y a peu de d'écart entre les deux mais quelques grandes différences se perçoivent. Sur la première figure 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 dans CloudCompare. Une autre différence, c'est celle des contours de bâtiments. Ceux-ci sont un peu moins bien extraits sur CloudCompare où il y a des résidus de murs en orange sur la 2^{ème} figure (celle où le nuage de CloudCompare est coloré).

2.6.4 MeshLab

Plusieurs possibilité de filtrage avec le travail de bachelor de M. valoton

A VOIR...

2.7 Maillage

Deux grands principes de maillage sont présents dans les logiciels de CloudCompare et de MeshLab. Il s'agit de la méthode Delaunay et de la méthode poisson.

Pour faire simple, la triangulation de Delaunay veut dire qu'aucun des cercles circonscrits des triangles du maillage ne doit contenir aucun des autres sommets selon l'implémentation de la triangulation de Delaunay. L'illustration⁵ ci-dessous montre ce qu'est la triangulation de Delaunay.

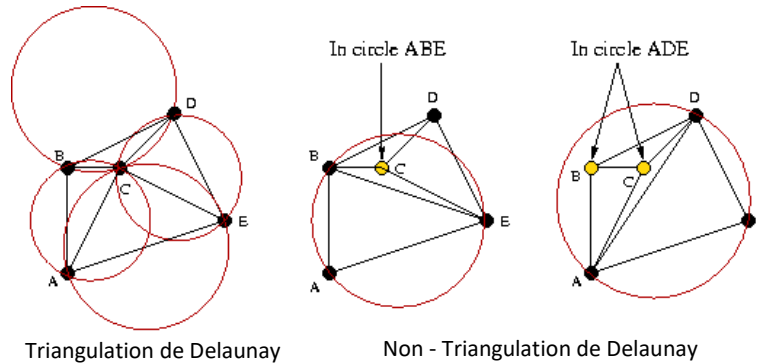


Figure 17 : Méthode de maillage « Delaunay »

La méthode de « Poisson Surface Reconstruction⁶ » est différente. Elle est faite pour des modèles 3D fermés et qui sont peu bruités car son maillage est fermé.

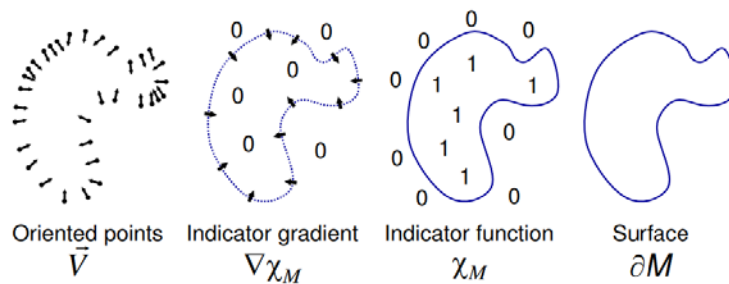


Figure 18 : Méthode de maillage « Poisson Surface Reconstruction »

2.7.1 CloudCompare

CloudCompare offre plusieurs 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 est un MNT d'un champ et cette façon de procéder n'est pas du tout l'idée car le nuage fourni par les scanners ne sont pas parfaits et l'utilisation de tous les points n'est pas juste. Alors cet outil n'est pas le bon et surtout que le seul paramètre sur lequel il est possible de jouer est celui de la longueur maximum des côtés du triangle.

Une autre possibilité de maillage est offerte sur ce logiciel. Il s'agit de la méthode « Poisson Surface Reconstruction ». Avant de pouvoir utiliser cet outil, il est obligatoire de déterminer les normales des points du nuage. Pour le calcul des normales, il faut choisir entre différents paramètres qui ne sont pas toujours très évidents après plusieurs tests mais ceux-ci sont expliqués plus en détail à l'annexe **NUMERO ANNEXE**.

⁵ Illustration de Delaunay : http://www.geom.uiuc.edu/~samuelp/del_tri.gif

⁶ <http://www.cs.jhu.edu/~misha/MyPapers/SGP06.pdf>

Les différents tests effectués avec « Poisson Surface Reconstruction » ont permis de démontrer à quoi servaient certains paramètres de cet outil.

Pour le calcul des normales, le paramètre « Quadratic » a été choisi pour la suite de la recherche.

Le premier paramètre (« Octree depth » entre 4 et 23) joue avec le niveau de détail du maillage, c'est-à-dire plus le chiffre est petit, moins il y aura de détail. Si le chiffre est le plus petit, cela fera comme un plan. Mais plus le chiffre est grand, plus le détail est grand 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 du paramètre est grand, plus l'effet du lissage d'endroit bruité est important.

Le troisième paramètre (« full depth » entre 0 et 99) ne change pratiquement rien avec les tests effectués (2, 5 et 8) mais plus le chiffre est grand et plus le calcul est très lourd. Les ordinateurs n'ont pas supportés plus que 8.

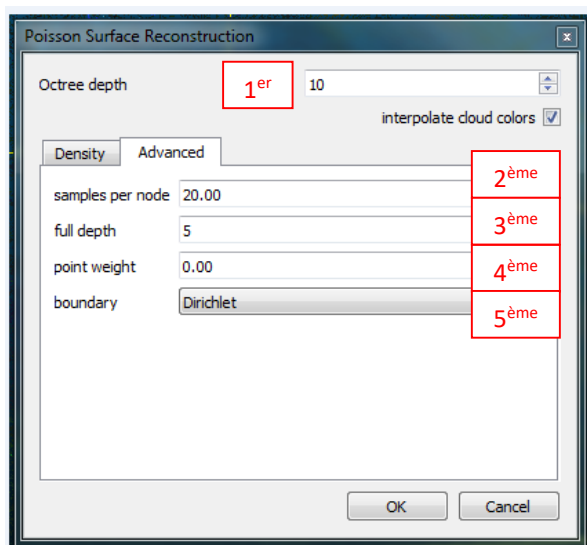


Figure 19 : Paramètre idéal du maillage pour un MNT sur l'échantillon testé avec la méthode "Poisson Surface Reconstruction" de CloudCompare

Le quatrième paramètre (« point weight » entre 0 et 999) montre également un lissage du maillage. Plus le chiffre du paramètre est grand, plus il y a de détail (plus il prend des points du nuage en compte).

Le dernier paramètre est celui du « Boundary » mais qui ne présente pas de changement notable dans ce cas de figure.

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. Les illustrations ci-dessous présentent le résultat du maillage avec les paramètres et le nuage de point avec lequel il a été fait.

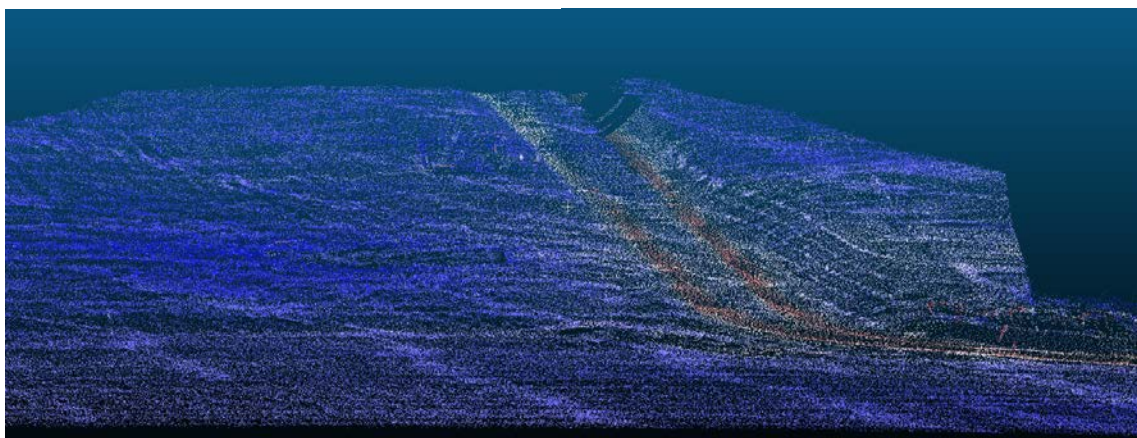


Figure 20 : Nuage de points pour comparaison avec maillage (CloudCompare)

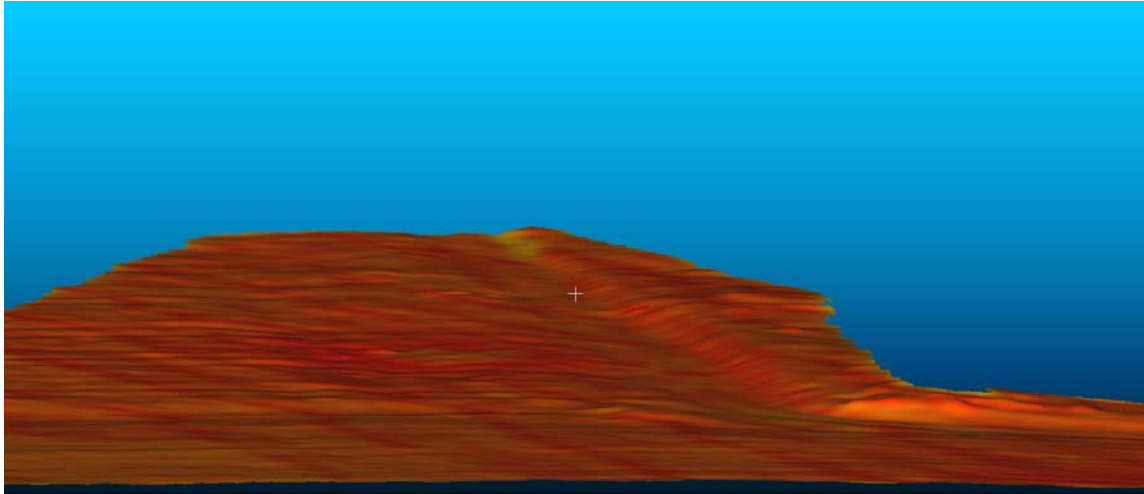


Figure 21 : Le maillage avec les meilleurs paramètres pour le MNT (CloudCompare)

Les paramètres 2 et 4 ont été mis de façon à lisser les bruits du nuage comme le terrain est régulier.

Comme la méthode poisson utilise le maillage fermé, à première vue, il peut paraître complètement faux. Mais dans les propriétés, il est possible de choisir uniquement les endroits du maillage qui se rapprochent au mieux des points du nuage comme nous montre l'outil ci-contre.

Il faut changer le curseur jusqu'à obtenir le meilleur échantillon. Une fois le maillage voulu, il reste à l'extraire avec l'outil « Filter By Value » sous « Edit → Scalar fields ». Cet outil prend en compte les valeurs choisies dans l'histogramme et peuvent directement être exportées afin d'obtenir le maillage définitif voulu et filtré.

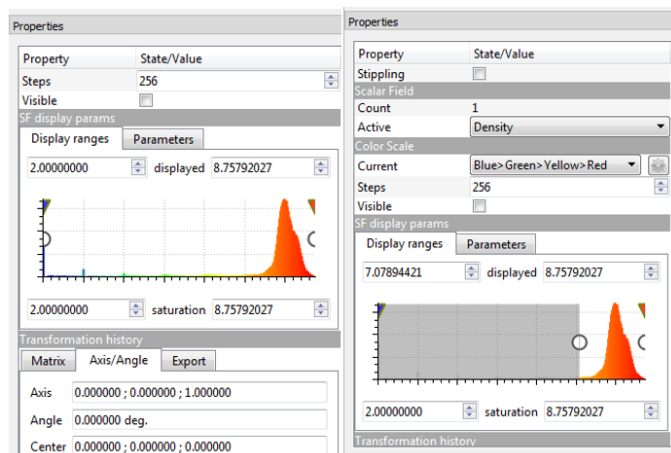


Figure 22 : Histogramme du maillage méthode poisson sur CloudCompare

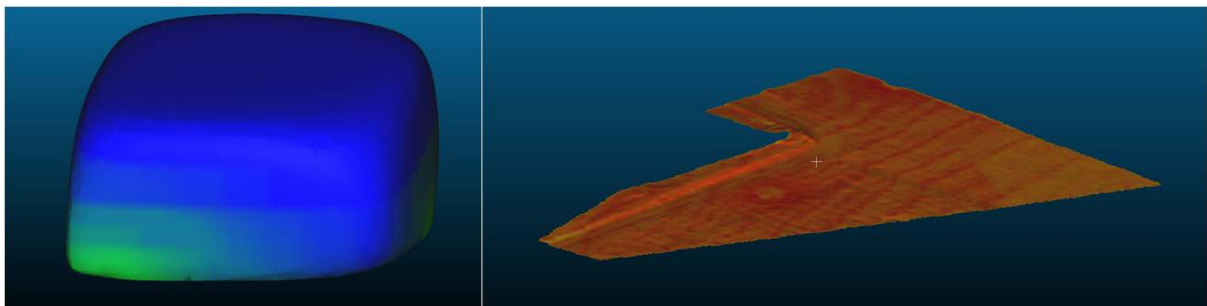


Figure 23 : Avant/après filtrage du maillage selon l'histogramme sur CloudCompare

Sur CloudCompare, il est également possible de faire un maillage entre deux polygones mais l'outil polygone n'est pas optimal car une fois le premier point de celle-ci défini, il n'est possible de déplacer la fenêtre par rotation uniquement 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 polygline déjà créée précédemment par exemple.

2.7.2 MeshLab

MeshLab offre également plusieurs possibilités de maillage. La première est celle de la méthode « Screened Poisson Surface Reconstruction ». Là encore, le calcul de normales est nécessaire avant le maillage. Cette fois-ci, contrairement à CloudCompare, les paramètres pour le calcul de normales n'est pas en fonction du nuage.

Suite à différents tests effectués avec la méthode « Poisson », il a été possible de déterminer l'effet de certains paramètres mais beaucoup d'entre eux restent encore inexplicables **TROUVER LE DETAIL DE TOUS LES PARAMETRES**.

Le premier paramètre (« Reconstruction Depth ») est le niveau de détail du maillage. Plus le chiffre est grand, plus il y a de détail (plus de triangle). Attention à ne pas mettre de trop grand chiffre car le calcul est également beaucoup plus long.

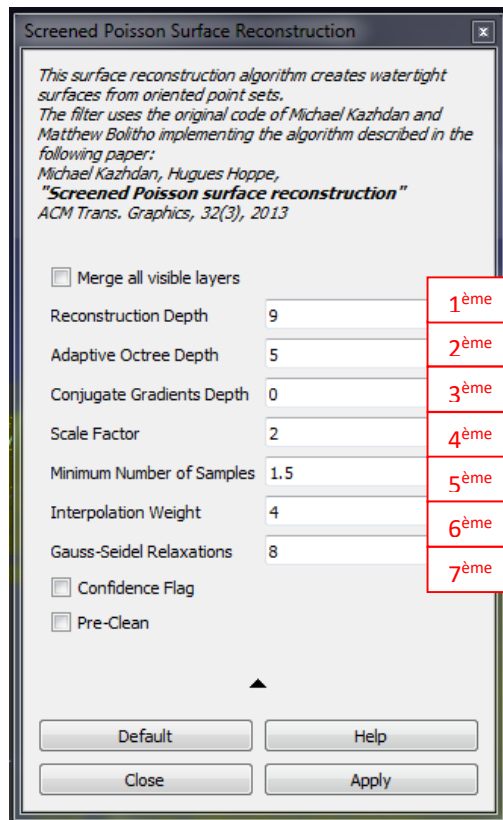


Figure 24 : Paramètres idéales de maillage pour un MNT sur l'échantillon testé avec l'outil « Screened Poisson Surface Reconstruction » de Meshlab

Pour le deuxième (« Adaptive Octree ») paramètre, il n'y a pas de différence notable à part le temps de calcul. Plus le chiffre est grand, plus le calcul est long.

Le troisième (« Conjugate Gradients Depth ») paramètre n'a aucune différence notable constatée.

Le quatrième (« Scale Factor ») paramètre lisse le maillage, plus le chiffre est grand, plus le lissage est prononcé.

Les cinquièmes, sixièmes et septièmes paramètres n'ont pas beaucoup d'influence sur l'échantillon testé.

Pour obtenir un maillage pour un MNT comme il a été fait précédemment avec CloudCompare, les meilleurs paramètres trouvés sont ceux de l'illustration ci-contre.

Les prochaines figures sont le résultat du maillage avec l'outil « Screened Poisson Surface Reconstruction » de Meshlab et une visualisation du nuage avec lequel le maillage a été exécuté. Cet outil a fait un bon maillage mais il l'extrapole de manière assez longue par rapport au nuage de points. La seule solution, pour enlever ce surplus, est de supprimer les triangles avec l'outil prescrit au chapitre « nettoyage ».

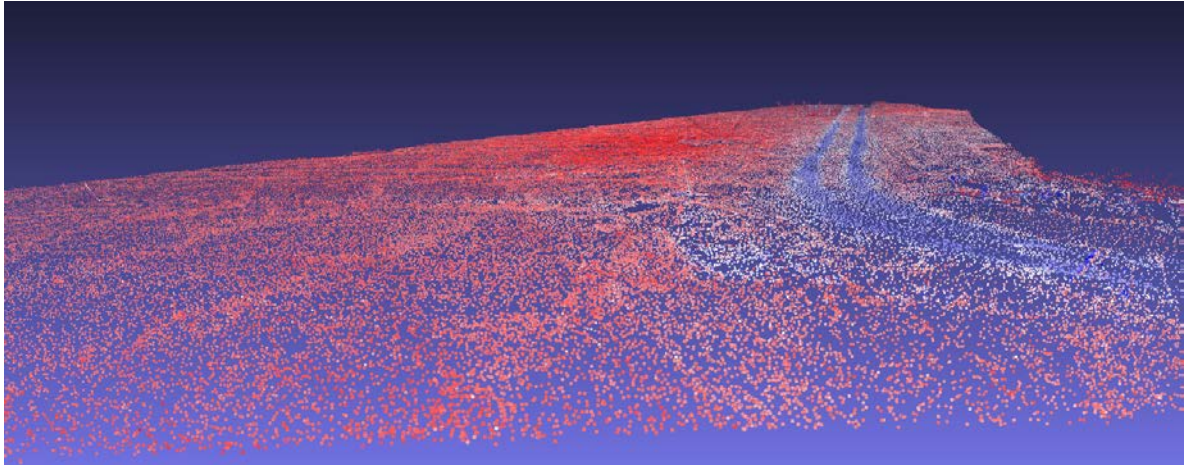


Figure 25 : Nuage de points pour comparaison avec le maillage (MeshLab)

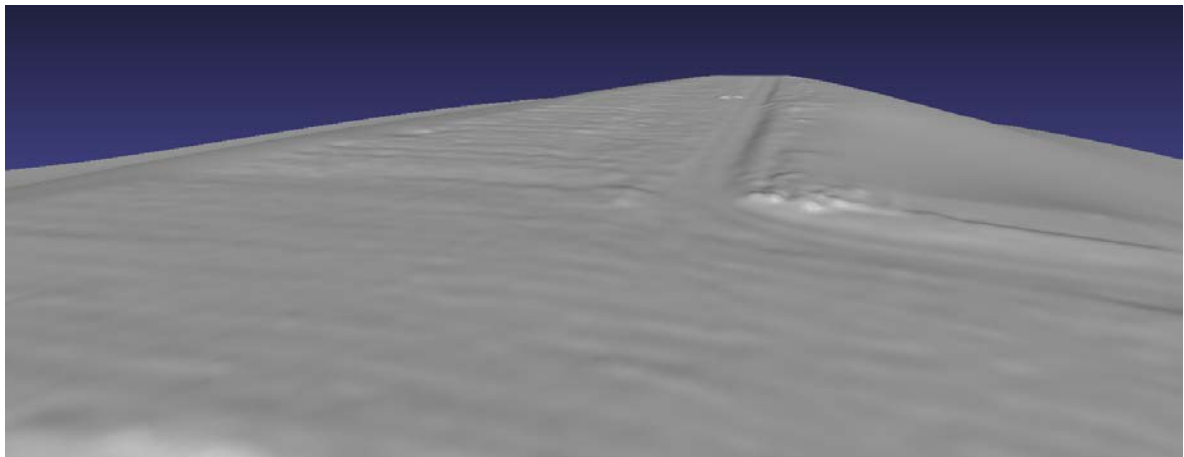


Figure 26 : Le maillage avec la méthode « Screened Poisson Surface Reconstruction » avec les meilleurs paramètres pour un MNT (MeshLab)

La deuxième possibilité de maillage dans MeshLab est avec l'outil « Marching Cubes (APSS) » qui se trouve sous l'onglet « Filters » → « Point Set ». Après avoir calculé les normales au préalable, il semblerait que cet outil ne converge pas toujours vers un bon résultat. Plusieurs trous sont visibles malgré tous les tests qui ont été faits sur les paramètres. Cette méthode possède néanmoins un grand avantage par rapport à celle précédemment testée, c'est que le maillage n'est pas extrapolé cette fois-ci. Si l'on compare la figure ci-dessous avec celle du nuage de points quelques lignes auparavant (nuage de points pour comparaison avec le maillage (MeshLab)), le maillage ne s'étend pas plus loin que les points du nuage.

TEST A APPRONFONDIR POUR LES TROUS...

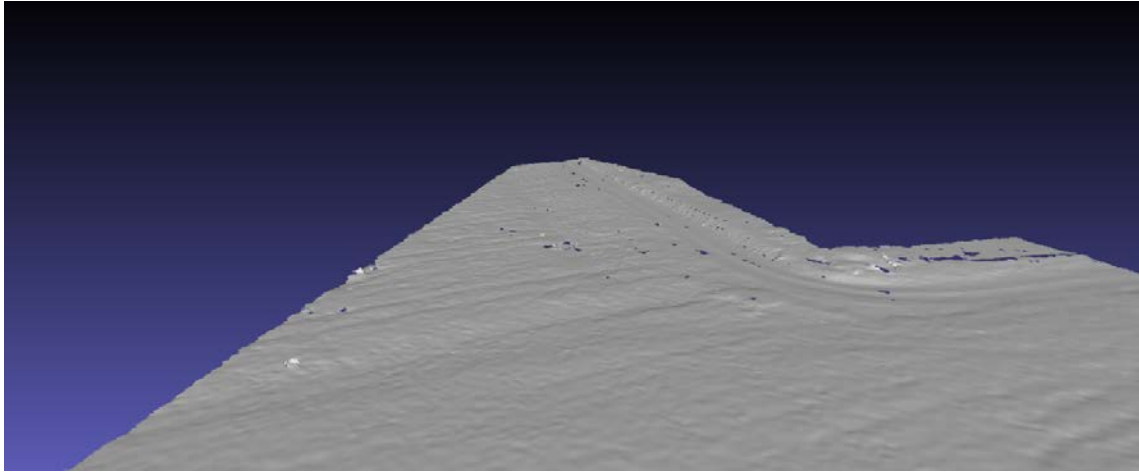


Figure 27 : Le maillage avec la méthode « Marching Cubes (APSS) » de MeshLab

2.7.3 Comparaison des résultats

A COMPLETER, comparaison, prendre positions si c'est bien ou pas par rapport à 3DR ...

2.8 Modélisation

Pour la modélisation, le logiciel qui a été utilisé, lors du travail de maquette, est celui de 3DReshaper. Tout d'abord, il a l'avantage d'avoir une version française qui permet de mieux comprendre les outils et les paramètres. Il est également très avantageux au point de vue de ces fonctions. Une multitude de manipulations sont possible avec ce logiciel.

Pour 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 plus possible 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. Avec cet outil, il est possible de faire un plan, dont il faut déterminer le contour, en fonction du nuage de points. De cette façon, il est possible de reconstruire des éléments en plan en tenant compte des points du nuage. Par la suite, la modification ou l'ajustement des polygones et des plans est faisable par l'intermédiaire de plusieurs outils qui laissent une grande liberté de modélisation à l'utilisateur.

La modélisation de façon gratuite est faisable. Plusieurs logiciels offrent cette possibilité comme Blender ou SketchUp avant qu'il soit repris par Trimble. La première idée était de tenter une modélisation via Blender mais ce premier avis s'est très vite arrêté car ce logiciel n'offre pas la possibilité d'ouvrir un nuage de points.

Après plusieurs recherches, le programme qui se prêtait au mieux à cette étape de travail est le logiciel « FreeCAD ». Celui-ci offre passablement d'outils de modélisation 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.

2.8.1 CloudCompare

CloudCompare n'est pas un logiciel de modélisation mais avec son outil de maillage entre deux polygones, il est possible de faire une petite modélisation simple. Malheureusement l'outil polygone n'est pas très pratique car il n'y a pas d'accroche objet.

Il est également possible de faire un plan moyen 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 pas un meilleur plan. Sur l'exemple ci-dessous, 6 plans ont pu être extrait du bâtiment.

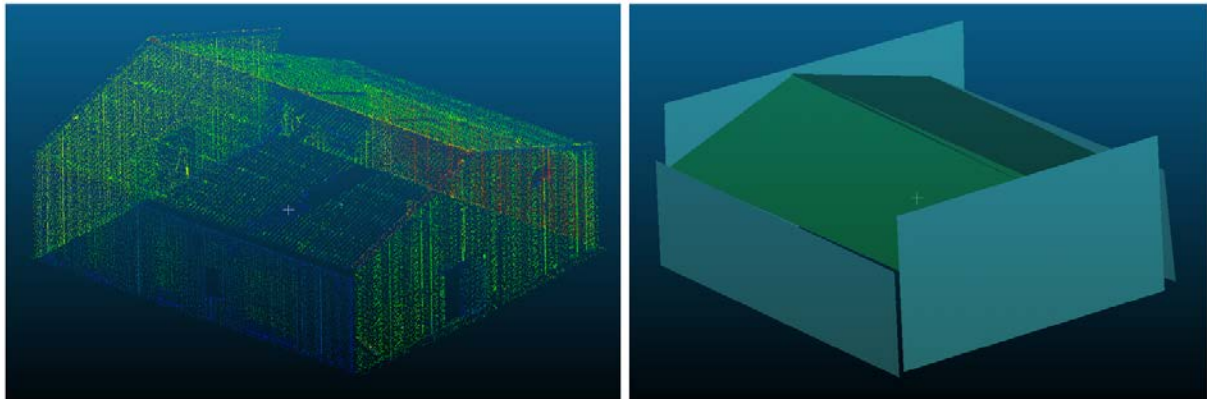


Figure 28 : Extraction d'un plan moyen sur le nuage de points

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

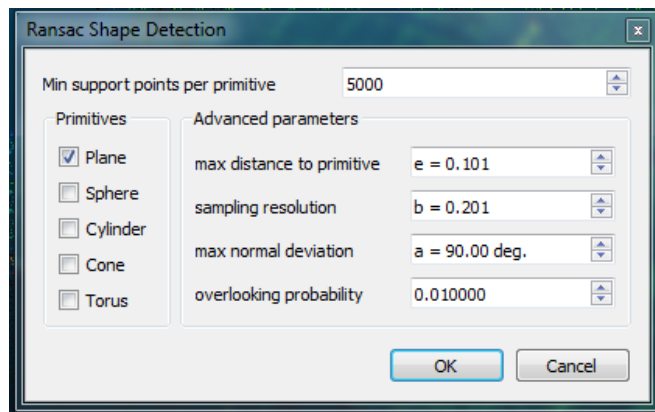


Figure 29 : Paramètres de l'outil de détection de forme dans CloudCompare

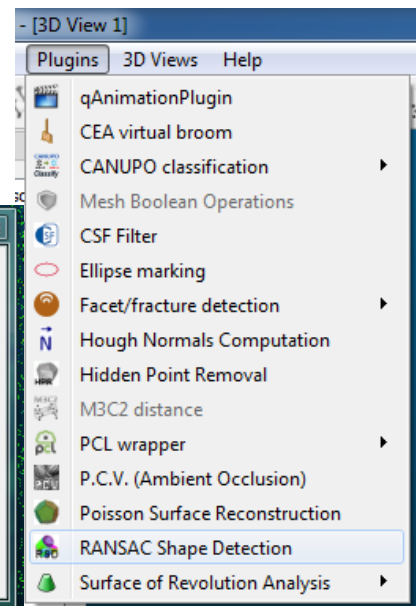


Figure 30 : Outil de détection automatique de forme (plan) dans CloudCompare

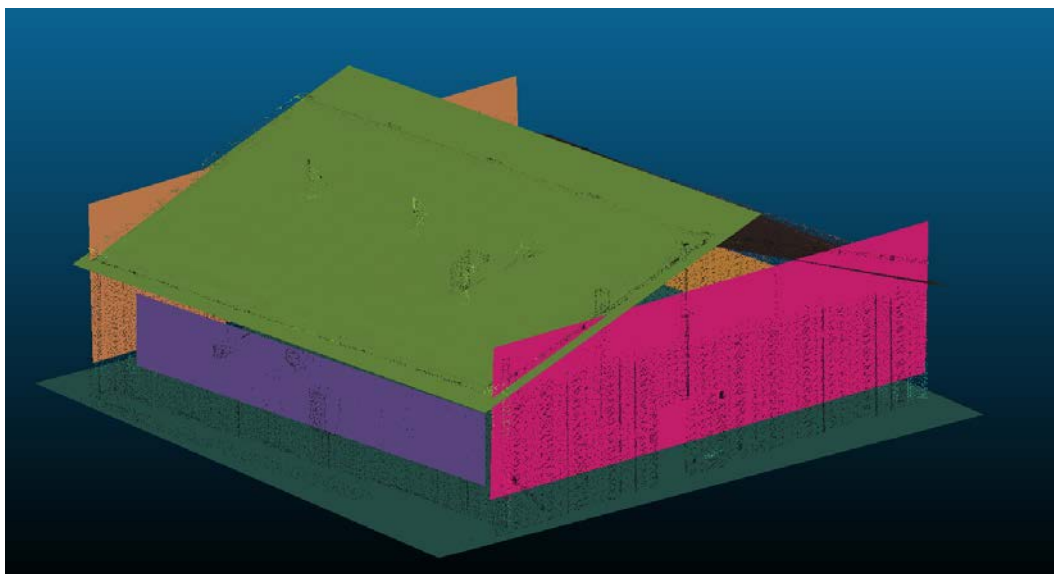


Figure 31 : Résultat de la détection automatique de forme (plan) dans CloudCompare

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.

2.8.2 FreeCAD

FreeCAD permet l'importation d'un nuage de points ce que certains autres logiciels « open source » n'offrent pas. C'est pour cette raison principalement qu'il a 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 important pour une bonne modélisation.

Pour modéliser, le nuage de point a été importé au format « *.igs » car certains autres formats comme le « *.asc » s'importent mais n'affichent pas les points. La transformation de l'extension s'est faite à l'aide de 3DR.

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

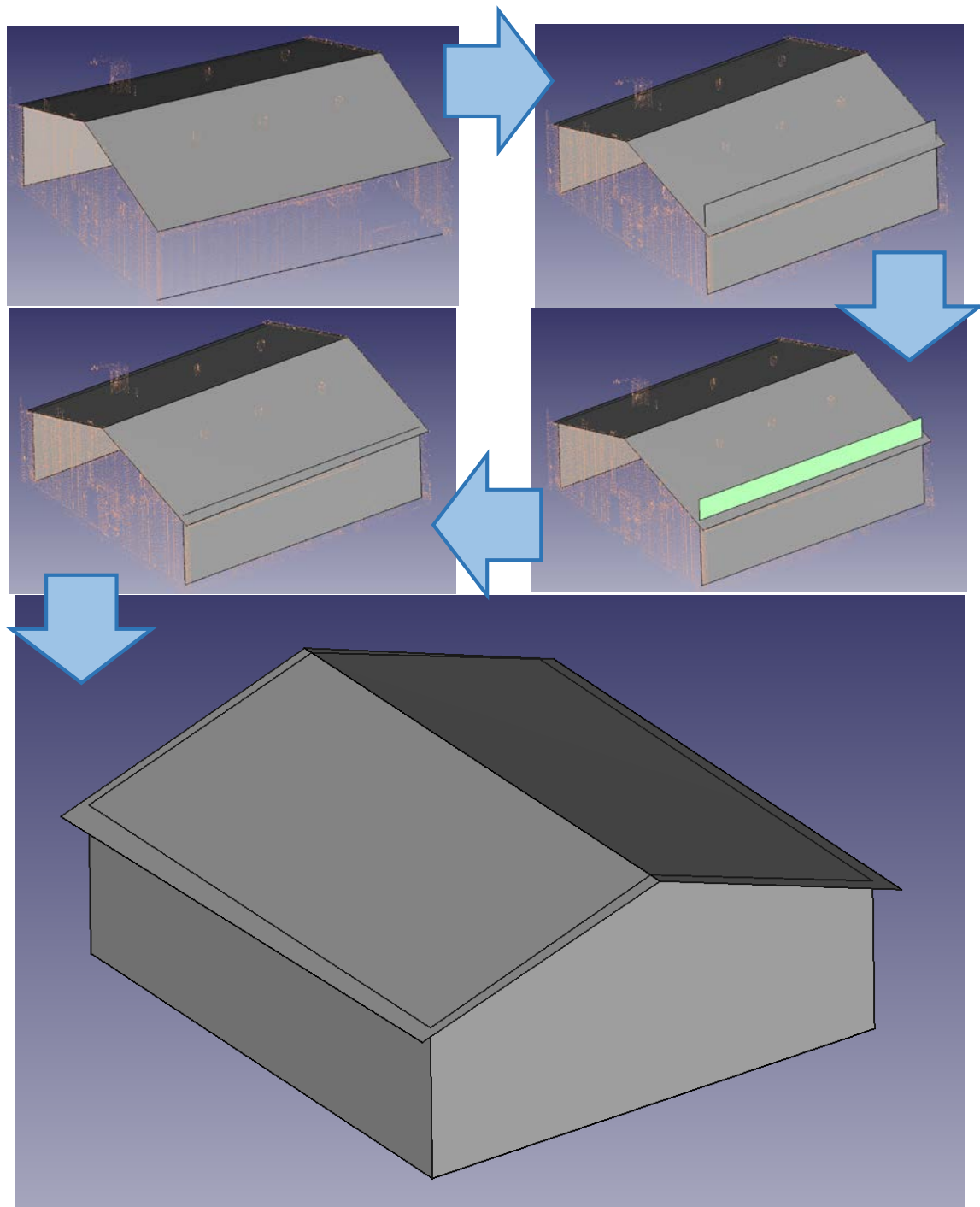


Figure 32 : Étapes de la modélisation du bâtiment de la maquette

2.8.3 Mixte CloudCompare et FreeCAD

L'objectif de ce paragraphe est d'optimiser le travail de modélisation. Comme il est possible de ressortir automatiquement des plans en fonction du nuage sur CloudCompare (avec l'outil « RANSAC Shape Detection » au paragraphe modélisation/CloudCompare), 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 nuage de points afin d'obtenir le plan moyen sur une portion du nuage.

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

2.9 « 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, qu'elles soient installées sur le scanner ou qu'elles soient prises 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 similaires entre l'image et la modélisation. Ensuite, après la validation, la photo se projette automatiquement sur la modélisation.

Un seul logiciel « open source » a été choisi pour la comparaison. Il s'agit de MeshLab qui a une façon un peu différente de procéder par rapport à son concurrent payant.

2.9.1 MeshLab

MeshLab dispose d'outils de « texturisation ». Le principe n'est pas tout à fait le même que sur 3DR. Dans ce logiciel, il faut placer les photos dans la bonne vue pour qu'elle corresponde à la modélisation. En d'autres termes, il faut positionner le point de vue de la photo dans l'espace de la modélisation. Une fois que la vue est positionnée, il suffit d'aller valider la « texturisation ».

2.9.2 Résultat

Il y a une chose à faire attention dans cette étape, que ce soit pour le logiciel propriétaire ou « open source », c'est quand la modélisation comporte plusieurs faces, découper le processus de la texturisation par face. Autrement les photos se projettent sur des faces qu'il ne faudrait pas comme le montre les illustrations ci-dessous.

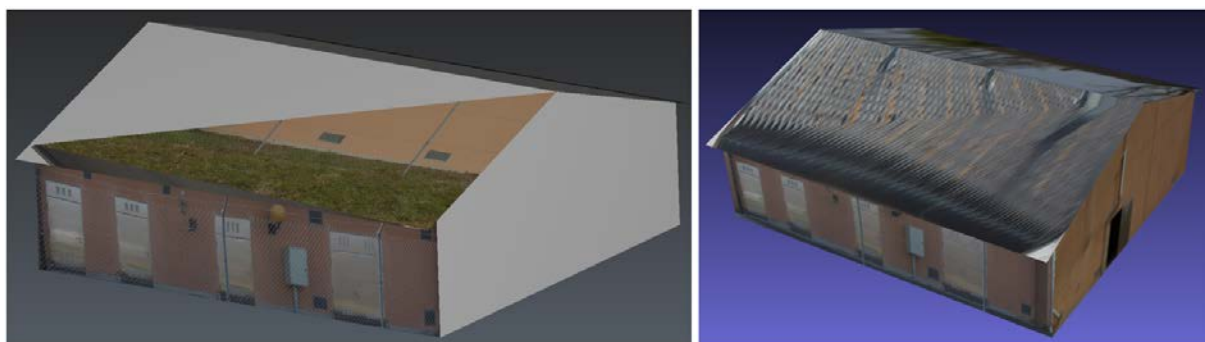


Figure 33 : Défaut de « texturisation » si la modélisation comporte plusieurs faces

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

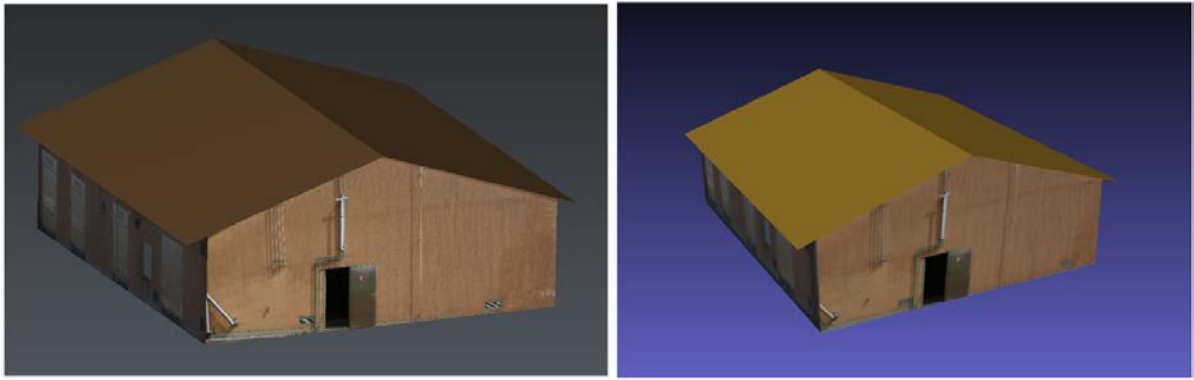


Figure 34 : Comparaison des résultats de la « texturisation » 3DR/MeshLab

La différence entre les deux n'est pas visuelle mais 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 à la modélisation en blanc.



Figure 35 : Espace de travail de MeshLab pour la « texturisation »

La façon de faire dans 3DR est tout de même 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.

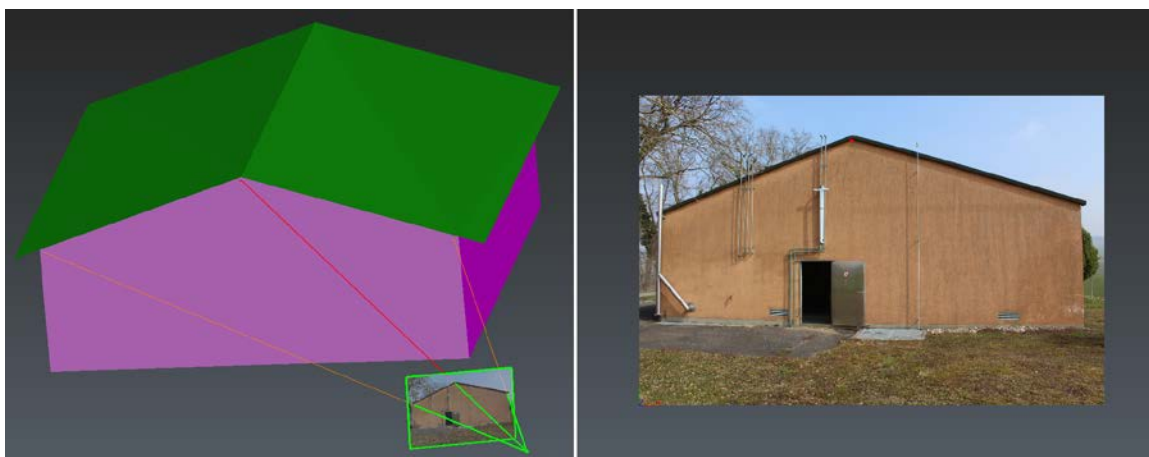


Figure 36 : Espace de travail de 3DR pour la « texturisation »

Malgré une plus grande simplicité dans le processus du logiciel propriétaire, la méthode gratuite présente un résultat presque identique ce qui est tout de même très bon.

2.10 Diffusion

LA GRANDE PARTIE DIFFUSION SERA REDIGEE PLUS TARD DANS LE RAPPORT...

2.11 Récapitulatif des différentes étapes

A COMPLETER ET REDIGER...

Légende :

	Très bon
	Bon
	Moyen
	Mauvais
	Très mauvais

METTRE DES COULEURS DANS LE TABLEAU

	Étapes	CloudCompare	MeshLab	FreeCAD	Remarque
1	Assemblage	Bon	Moyen	-	Meshlab : manque des erreurs sur l'assemblage. Aucune information. Vérification à l'œil.
2	Géoréférencement	Bon	Bon	-	Manque les grandes coordonnées
3	Nettoyage	Bon	Moyen	-	Meshlab : uniquement une fenêtre de sélection rectangulaire.
4	Filtrage	Moyen	-	-	
5	Maillage	Bon	Moyen	-	
6	Modélisation	Mauvais	Mauvais	Bon	
7	« Texturisation »	-	Moyen	-	

1 : (CC) Bon car il n'y a pas de détection automatique, il n'y a qu'un pointé manuel sur les points d'assemblage ce qui rend l'utilisation de sphères impossible.

(ML) Moyen car il n'y a pas de tableau d'erreurs sur l'assemblage en sortie. Aucune information, vérification manuel uniquement (à l'œil ou contrôles).

Il est plus facile de sélectionner les points similaires dans CloudCompare tout de même.

2 : Le même principe est requis pour les deux logiciels à savoir saisir la référence est la faire correspondre dans le nuage de points. Il n'y a pas de géoréférencement automatique dans ces logiciels. La sélection se fait manuellement.

3 : Le nettoyage dans CloudCompare est facile à comprendre et quelques possibilités sont proposées. À l'inverse, MeshLab offre uniquement la possibilité de faire une sélection selon une fenêtre rectangulaire.

4 : Le filtrage sur CloudCompare est plutôt bon. Toutefois, il manque quelques paramètres afin de bien séparer le terrain des bâtiments.

5 : Le maillage dans CloudCompare permet plusieurs manipulations afin de façonner au plus proche de la réalité le nuage de points. Il permet également un maillage entre deux polygones qui s'apparente presque à une modélisation simple.

Pour MeshLab, les paramètres sont moins évidents que pour CloudCompare. De ce fait, la diversité du maillage est restreinte

6 : Modélisation nulle sur MeshLab par contre sur CloudCompare il est possible de faire un maillage entre deux polygones, ce qui pourrait plus ou moins être de la modélisation mais là encore ce n'est pas optimal. Un autre outil est très intéressant, c'est la détection du meilleur plan sur CloudCompare. FreeCAD offre une multitude d'outils pour la modélisation. Il est par ailleurs conçu pour cela.

7 : La « texturisation » dans MeshLab est plutôt de bonne qualité mais elle tout de même très fastidieuse par rapport à la concurrence payante de 3DR.

3 SUIVI DE DÉFORMATIONS

A FAIRE, SEULEMENT QUELQUES PETITS TESTS EFFECTUES... (HAUTERIVE)

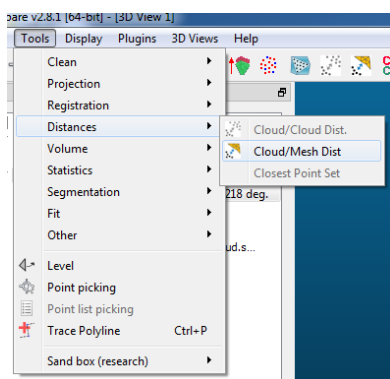
3.1 Filtrage

3.2 Modélisation

3.3 Comparaison

3.3.1 CloudCompare

Comparaison nuage de points avec maillage → « Tools/Distances/Cloud/Mesh Dist »



4 DIFFUSION

RECHERCHE EFFECTUEE, IL RESTE LES TESTS A FAIRE...

Visualisation et partage de fichiers 3D

Article sur sketchfab :

<http://www.usine-digitale.fr/article/sketchfab-accelere-dans-le-partage-de-fichier-3d.N224288>

MyMiniFactory :

<https://www.myminifactory.com/fr/upload/object-upload> --> pour impression 3D

Ne fonctionne pas

Blend4web :

<https://www.blend4web.com/en/demo/>

Fonctionne pas non plus, peut seulement telecharger des modeles 3D

Forum :

<http://alternativeto.net/software/sketchfab/?!license=opensource>

3D WareHouse → Sketchup. Impossible d'importer un projet. Il n'accepte que l'extension « *.skp » de sketchup.

Trouvé en cherchant : « partager ses 3D »

Diffusion gratuite presque comme Sketchfab → <https://p3d.in/login>

Forum (sharing 3D Models online) :

<https://www.quora.com/What-is-the-best-platform-to-share-3D-content>

2^{ème} année maquette ont utilisé → clara.IO

4.1.1 Sketchfab

Sketchfab propose un partage et une visualisation des données 3D. Que ce soit des maillages ou des nuages de points, cette plateforme permet la diffusion de modèles.

A COMPLETER

4.1.2 P3d.in

Cette plateforme ressemble copieusement à celle de « Sketchfab ». Il est possible de visualiser les modèles 3D effectués et plusieurs petits outils simples sont intégrés pour améliorer la visualisation comme le changement de couleur, le mode de navigation, etc. Sur cette plateforme, le partage peut aussi bien être public que privé ce qui rend peut-être très pratique lorsque l'on ne désire pas afficher certains projets plus ou moins confidentiels.

Par contre, ce site ne supporte pas les nuages de points contrairement à « Sketchfab »

<https://p3d.in/login>

A COMPLETER

5 DIFFICULTÉS

5.1.1 Extension

Pour les nuages de points, l'extension est supportée par un logiciel et pas forcément un autre.

Exemples :

CloudCompare et MeshLab ne supportent pas les extensions « *.las » et « *.fls » des exports qui proviennent de scanners propriétaires.

FreeCAD affiche les extensions « *.igs » et non « *.asc » malgré le fait qu'on puisse l'importer, alors que CloudCompare et MeshLab supportent beaucoup plus de formats pour les nuages de points.

5.1.2 Trouver les bons outils dans les bons logiciels

Comme les logiciels étaient pour la plus part nouveaux, il a fallu tout d'abord un temps d'adaptation à ceux-ci. Ensuite, il a fallu faire des recherches et explorer les logiciels pour tenter de décrocher les bons outils. C'était un travail qui prenait passablement de temps mais qui était fortement enrichissant.

6 AMÉLIORATIONS – PROBLÈMES

6.1 Améliorations

6.2 Problèmes

7 CONCLUSION

8 BIBLIOGRAPHIE

Documents :

- Vallotton Hervé, *Evolution de solutions pour l'auscultation de surfaces naturelles via scannage 3D*, 2011
- Coatelen JérémY 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>
-

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, consulté le 23.05.2017
- 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>, consulté le 12.06.2017
- FreeCAD, *tables des matières de la documentation en ligne*. Disponible sur : https://www.freecadweb.org/wiki/Online_Help_Toc/fr
- 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://gmvc.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>
-

Vidéos :

- 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 de M. Alessandro Bezzi, 2013 : https://www.youtube.com/watch?v=S32wy66e_0o
- Démonstration de géoréférencement sur Meshlab de M. Alessandro Bezzi, 2014 : <https://www.youtube.com/watch?v=QTqi8GuyxIY>
- Logiciel de modélisation 3D gratuits de « Gaming noize », 2014 : https://www.youtube.com/watch?v=KK2fl3c_9ck

- 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
-

9 REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement :

10 ANNEXES

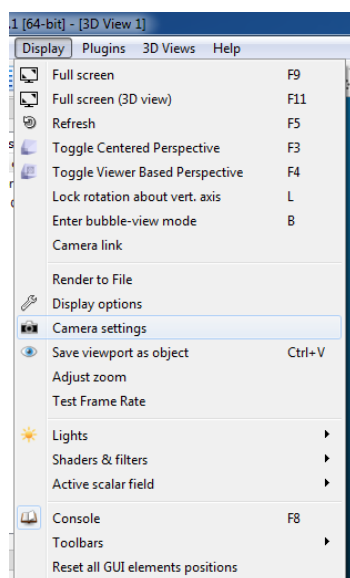
10.1 Mandat

10.2 Clause de confidentialité

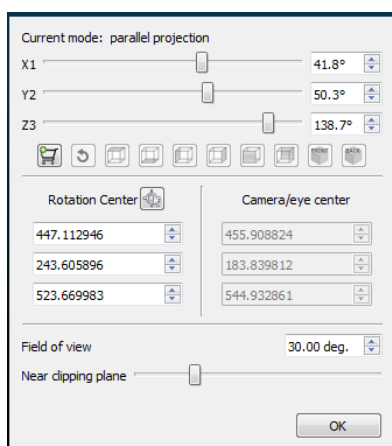
10.3 CloudCompare

10.3.1 Outils utiles pour la/les manipulation(s)

10.3.1.1 Changement du centre de rotation



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

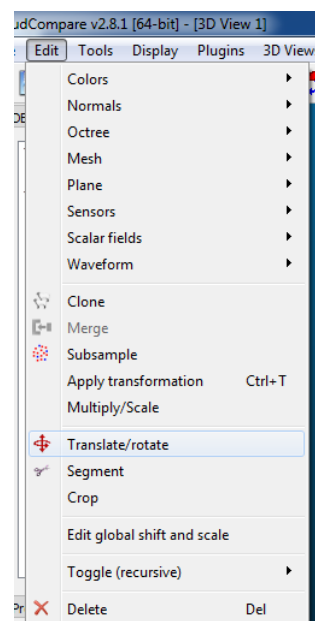


Ensuite, une fenêtre s'ouvre et il faut cliquer sur « Rotation Center » et choisir le nouveau centre de rotation. Celui-ci doit être un point d'un nuage.

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 ».

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

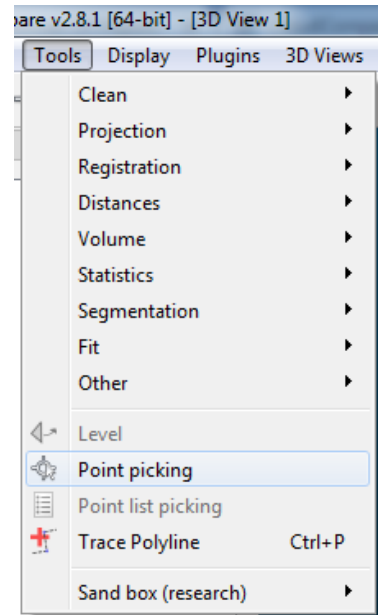
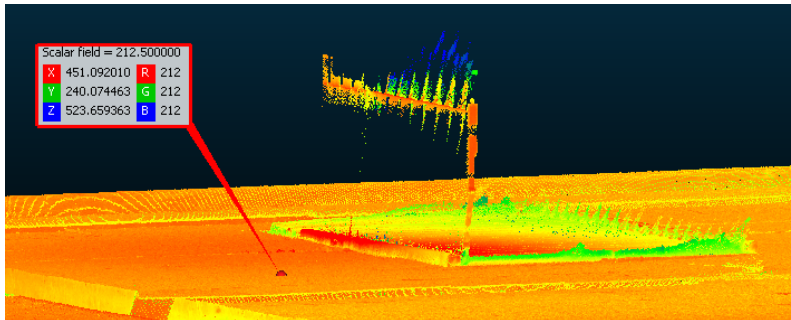


10.3.1.3 Informations sur un point ou mesure de distances

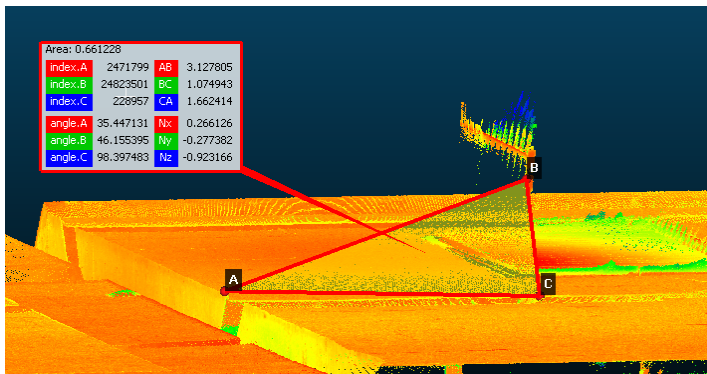
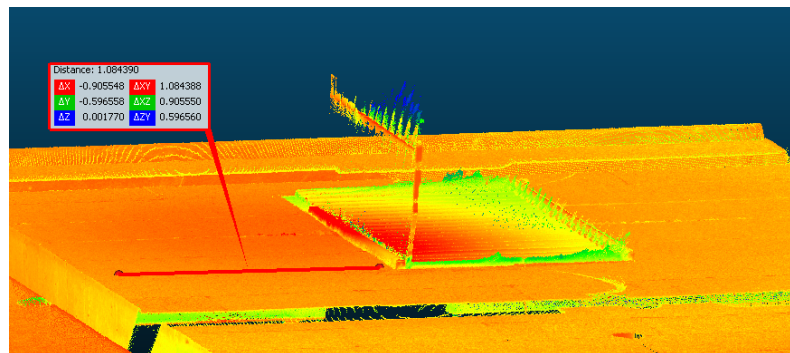
Lorsqu'on clique sur « Point picking » sous l'onglet « Tools », une barre d'outils s'affiche.



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



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



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.

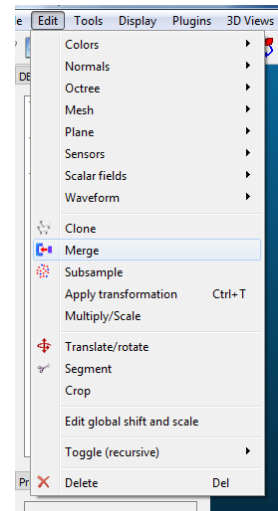
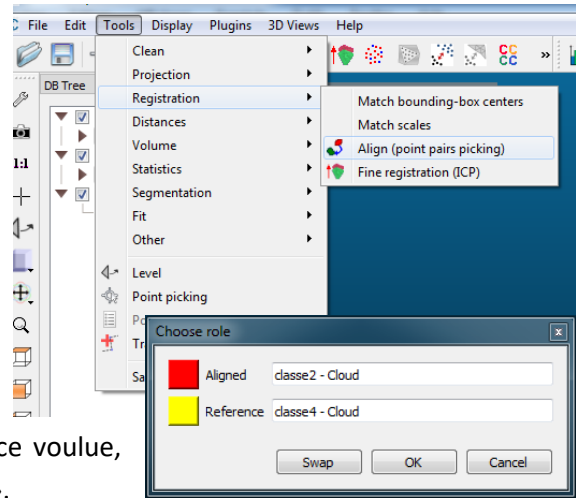
L'outil suivant est moins utile mais permet tout de même de créer un label pour une surface choisie.

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

Les étapes :

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 point.



10.3.3 Géoréférencement


Les étapes :

1. Prendre 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.



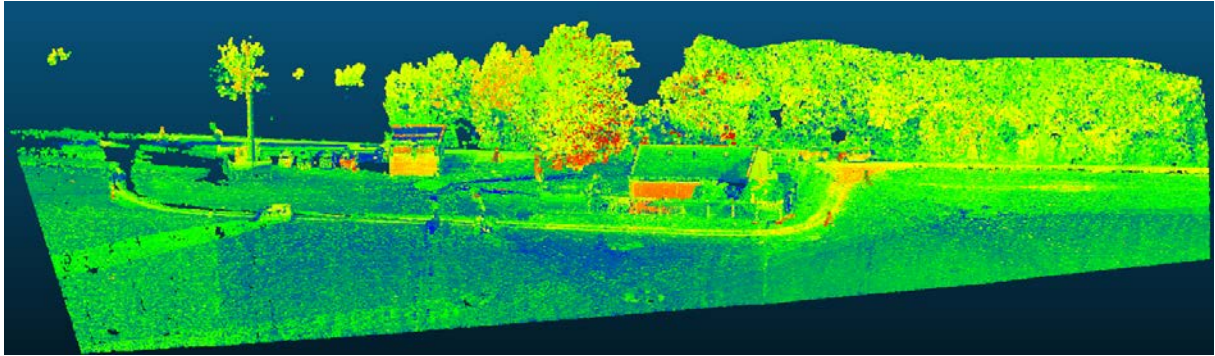
1. Le premier bouton permet de stopper la saisie pour déplacer la vue 3D.
2. Le second est une sélection à l'aide d'une polyligne existante.
3. Le troisième est le bouton de sélection. Soit à l'aide d'un rectangle, soit à l'aide d'un polygone.
4. Les deux boutons suivants sont là pour choisir si c'est 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

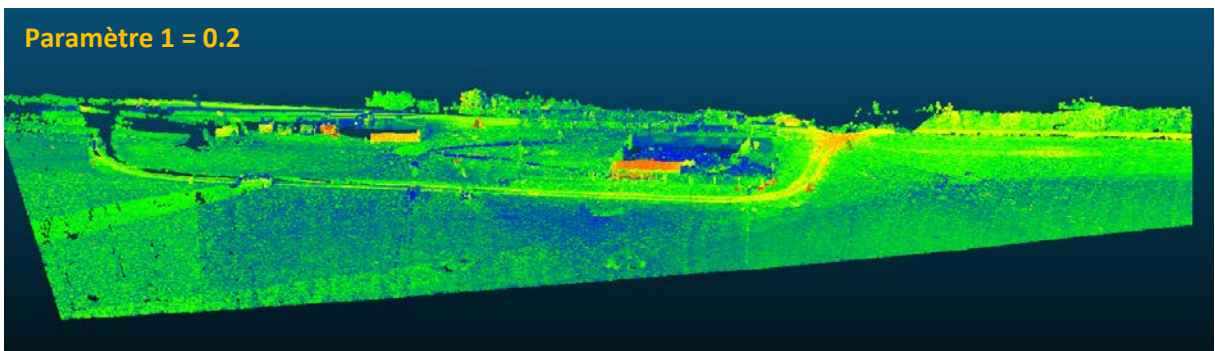
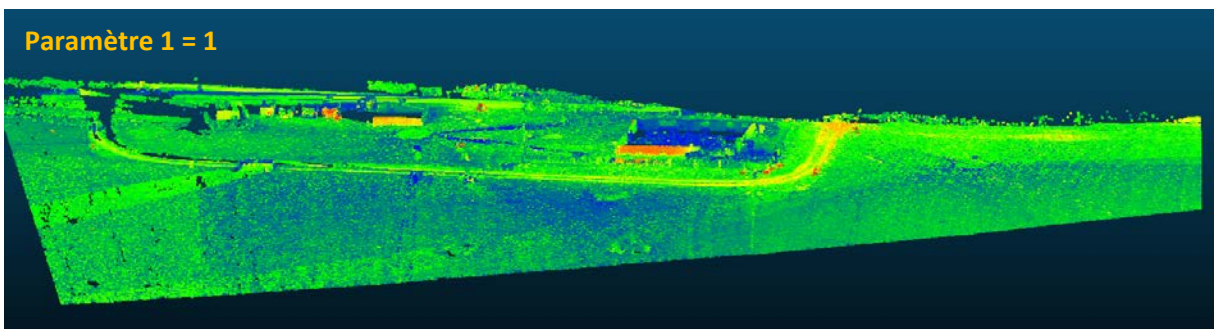
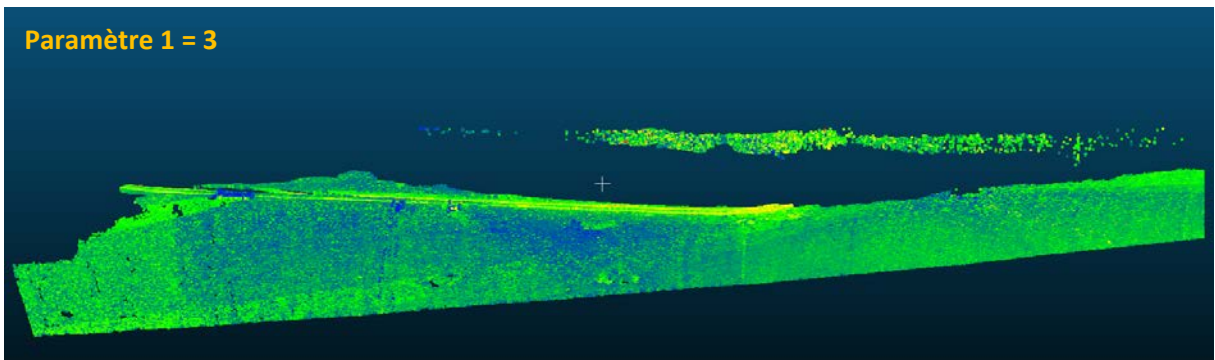
Outils de filtrage : « CSF Filter » sous l'onglet « Plugins ».

Les différents tests de paramètres :

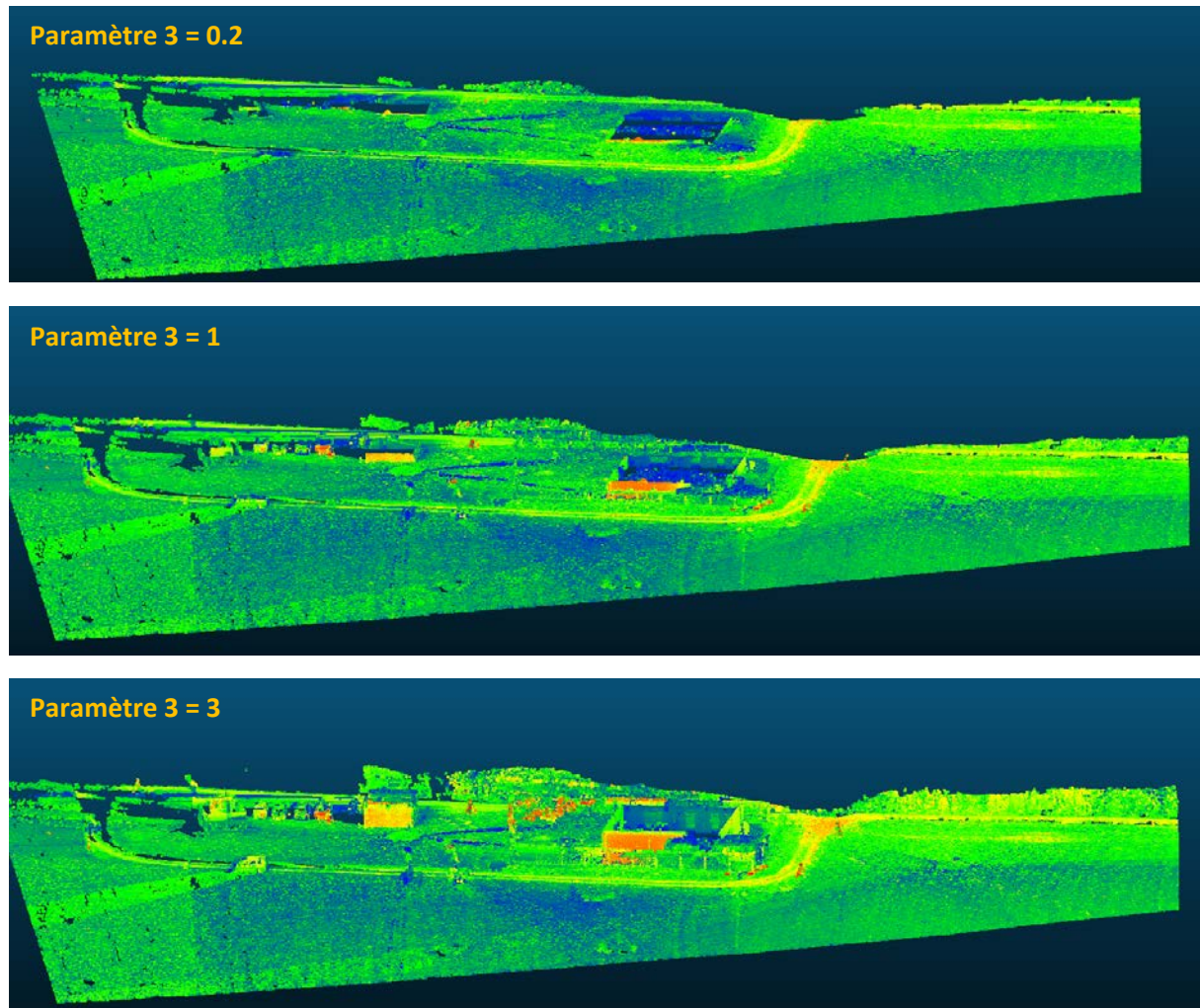
Nuage de base :



Paramètres 1 :



Paramètre 2 :



10.3.6 Maillage

A COMPLETER avec les images et autres, des comparaisons entre les tests...

10.3.6.1 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 bon paramètre.

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 ».

Test effectués :

1. 11/1.5/5/4 Dirichlet

2. 11/10/5/4 Dirichlet
3. 11/20/5/4 Dirichlet
4. 4/10/5/4 Dirichlet
5. 15/10/5/4 Dirichlet
6. 11/10/2/4 Dirichlet
7. 11/10/8/4 Dirichlet
8. 11/10/5/1 Dirichlet
9. 11/10/5/8 Dirichlet
10. 11/10/5/16 Dirichlet
11. 11/10/5/4 Free
12. 11/10/5/4 Neumann

10.3.7 Modélisation

10.3.7.1 Maillage entre deux polygones

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

10.3.7.2 Outil meilleur plan

1. Selon l'ensemble du nuage : « Tools » → « Fit » → « Plane »
2. Meilleurs plan automatique : « RANSAC Shape Detection » sous l'onglet « Plugins »

10.3.7.3 Étapes modélisation mixte

Les étapes de la modélisation (mixte) :

1. Importer nuage de points dans CloudCompare.
2. Utiliser l'outil « RANSAC Shape Detection » afin de détecter automatiquement des plans.
3. Exporter les plans au format « *.obj » ou « *.ply » pour ensuite les importer dans FreeCAD.

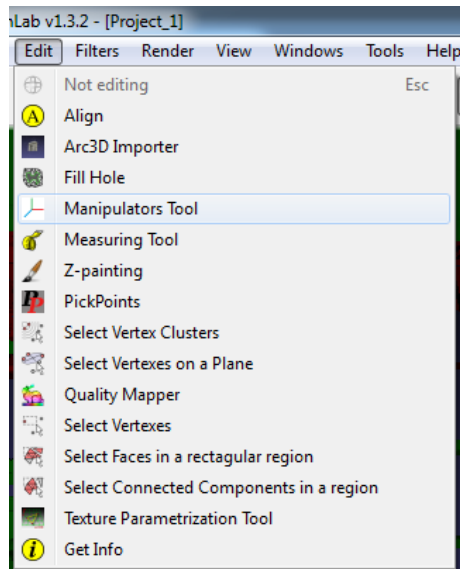
10.4 MeshLab

10.4.1 Outils utiles pour la/les manipulation(s)

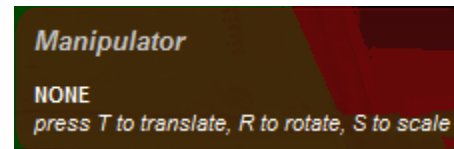
10.4.1.1 Changement du centre de rotation

Pour change 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



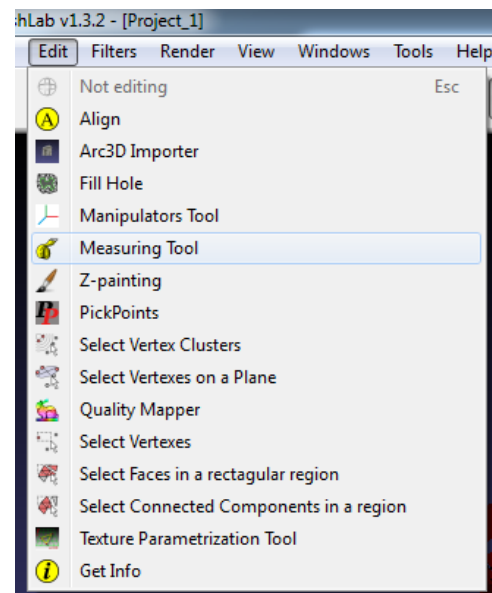
A l'aide de l'outil « Manipulators Tool » dans l'onglet « Edit », il est possible de, comme son nom l'indique, manipuler le nuage de points. Soit de le « traduire », soit de le tourner (rotation) ou encore de l'agrandir/rapetisser (mise à l'échelle), plusieurs manœuvres sont possibles. La façon de procéder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



C'est outil peut être très utile lorsque deux nuages sont trop éloignés et pour une question de praticité il est préférable de les avoir tout proches.


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 aux côtés de la couche.
 - b. Sélectionner le nuage de points à assembler au 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 translater le centre de rotation afin d'avoir une meilleure vue sur les points d'assemblages. Par défaut, les couleurs changes 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.

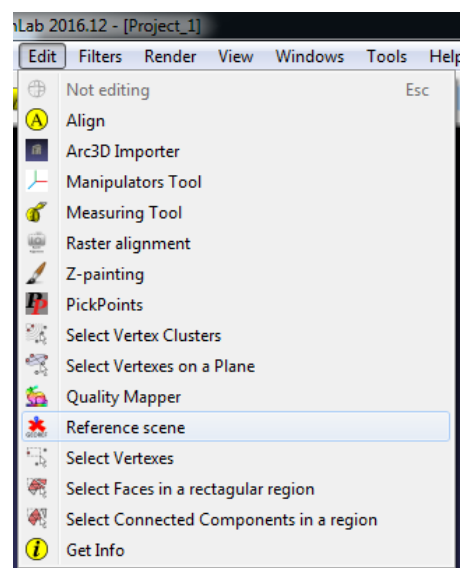
Ci-dessous se trouve le lien d'une vidéo d'un exemple d'assemblage de nuages sur MeshLab :

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

10.4.3 Géoréférencement

Les étapes :

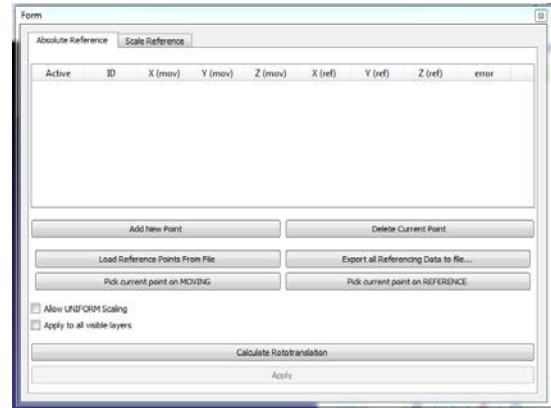
1. Prendre le nuage de points assemblé.
2. Introduire les coordonnées pour le géoréférencement via l'outil « Reference scene » sous l'onglet « Edit ».
Attention, il est préférable d'utiliser des coordonnées réduite afin d'optimiser la performance du logiciel. Avec les coordonnées Suisse (MN95), les fichiers 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.

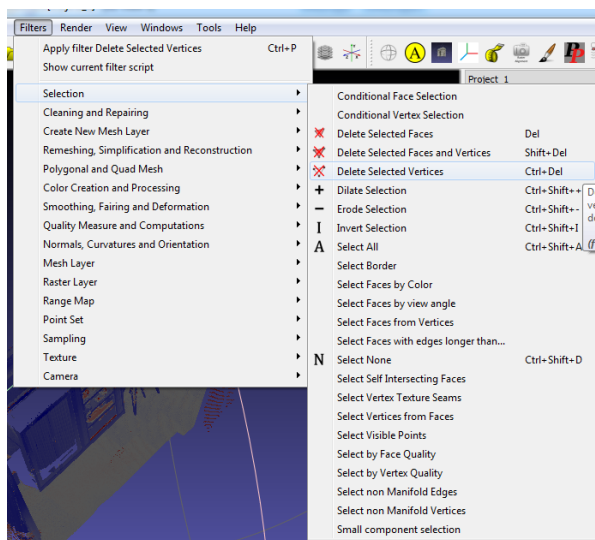
Dans ce lien, ci-après, se trouve une démonstration vidéo de géoréférencement.

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



10.4.4 Nettoyage

L'outil « Select Vertexes »  » 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

A COMPLETER avec les images et autres, des comparaisons entre les tests...

10.4.5.1 Calcul des 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 « Marching Cube » après être filtré de 3DR


1. 5/0.0001/15/1/500
2. 10/0.0001/15/1/500
3. 5/0.0001/15/1/1000
4. 10/0.0001/15/1/1000 → long calcul (5min)... mais bon calcul
5. 2/0.0001/15/1/1000 pas convergé
6. 15/0.0001/15/1/1000 → très long calcul (10 min)
7. 10/0.0001/15/1/2000
- 8.

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

1. 8/5/0/1/1.5/4/8
2. 2/5/0/1/1.5/4/8
3. 10/5/0/1/1.5/4/8
4. 10/1/0/1/1.5/4/8
5. 8/8/0/1/1.5/4/8
6. 8/1/0/1/1.5/4/8
7. 10/5/5/1/1.5/4/8
8. 10/5/9/1/1.5/4/8
9. 8/5/0/5/1.5/4/8
10. 8/5/0/0.5/1.5/4/8
11. 8/5/0/2/1.5/4/8
12. 8/5/0/1/0.5/4/8
13. 8/5/0/1/3/4/8
14. 8/5/0/1/10/4/8
15. 8/5/0/1/1.5/1/8
16. 8/5/0/1/1.5/10/8

10.4.6 Texturisation

Les étapes de la texturisation :

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 » il est possible de visionner les images. 
4. Avec le même outil, faire correspondre la face modélisée avec l'image en se déplaçant dans la vue 3D et quand la position de la face est bonne 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.
5. Pour terminer, aller dans le menu « Filters » → « Texture » et utiliser l'outil « Parameterization + texturing from registered rasters » pour faire la texture à l'aide de l'emplacement des photos fait dans les lignes précédentes.

Dans le lien suivant se trouve deux exemples vidéo de « texturisation » dans MeshLab :

https://www.youtube.com/watch?v=Pv6_qF1r7gs

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

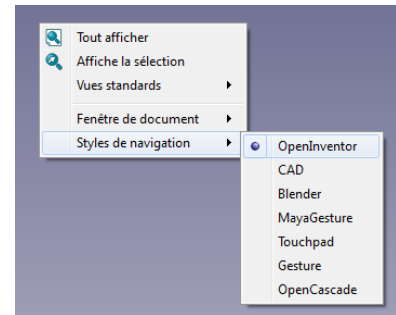
10.5 FreeCAD

10.5.1 Outils utiles pour la/les manipulation(s)

10.5.1.1 Navigation dans l'espace de travail

Clic droit sur la fenêtre de navigation ouvre un menu. Dans celui-ci se trouve la chose principale 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 suivants :

1. Importer le nuage de point 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 en 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 Modélisation (mixte)

1. Après avoir exporté les plans de CloudCompare (à l'annexe 1.1.7)
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).