

ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES

Rapport stage de fin de première année 2015

# Valorisation de nuages de points acquis par LIDAR aérien



Johan LECLERCQ Jean-François VILLEFORCEI) Dounia HAMMAMI Sylvain JOURDANA

INTRODUCTION	2
I PRISE EN MAIN DES DONNEES	4
A. VISUALISATION	4
1) Utilisation d'Ocad	4
2) Utilisation de LAStools	7
B. COMPARAISON DES RENDUS OL LASER ET OCAD	8
1) Utilisation de OL Laser	8
2) Comparaison entre Ocad et OL Laser	10
C. VISUALISATION DES FALAISES	13
D. MESURE DE LA HAUTEUR DES FALAISES	18
1) Utilisation d'ArcGis et comparaison avec les mesures terrain	18
2) Comparaison de la mesure des hauteurs de falaises avec les résultats OL Laser	22
II ANALYSE ALGORITHMIQUE DES NUAGES DE POINTS	23
A. Donnees sources pour les analyses	23
1) Choix du format	23
2) Zones d'étude	24
B. DETECTION DE PLANS DANS UN NUAGE	25
C. ADAPTATION DU RANSAC A LA VISUALISATION DE FALAISES	26
1) Retrait des plans horizontaux	27
2) Fonction de retranchement	29
3) Gestion des trainées parasites	30
4) Résultats du RANSAC modifié pour la visualisation de falaises	31
D. FILTRE ANTI-PLAT	32
1) Principe du filtre	32
2) Application et résultats	32
3) Détection de plan post-FAP	34
E. CONTROLE DES PLANS DETECTES	35
F. PISTES D'AMELIORATIONS DES ALGORITHMES	36
III CLASSIFICATION	37
A. CLASSIFICATION AUTOMATIQUE	37
1) Utilisation de Kartapullautin	37
2) Utilisation de Toddler	39
3) Utilisation d'Arcgis	40
B. CLASSIFICATION MANUELLE	44
CONCLUSION	47
REMERCIEMENTS	48

# Introduction

Notre projet se base sur des relevés LIDAR (Light Detection And Ranging) effectués le 12 mai 2014 dans le Sud-Est de la France. Il s'agit d'ondes électromagnétiques dont on capte les différents retours afin d'acquérir des données altimétriques très fines (2 pts/m<sup>2</sup> effectués lors de ce relevé). Nous concentrons notre étude sur le site des anciennes carrières de Mane/Porchères, à une dizaine de kilomètres au Sud-Ouest de Forcalquier. Ci-dessous on retrouve une photographie aérienne de notre zone d'étude (à l'intérieur du cercle rouge) qui se trouve sur les communes de Mane et de Saint-Michel-l'Observatoire proches de Forcalquier.



Photographie aérienne de notre zone d'étude (anciennes carrières de Mane/Porchères)

On possède ainsi des données géographiques qu'il est intéressant d'analyser pour essayer de détecter la morphologie du terrain. Le but est de comparer la « réalité terrain » sur plusieurs thèmes : Reconstruction des falaises, visualisation des strates arborées/arbustives, corrélation avec la pénétrabilité de la forêt c'est-à-dire la densité du couvert, la hauteur des arbres, etc. L'ensemble permet de déterminer ce qui influe sur la progression pédestre. Les données LIDAR nous sont fournies sous forme d'un nuage de

points au format .las. Nous possédons aussi une carte topographique au 1 :2000 à la norme IOF de la zone comme nous le verrons plus tard ainsi que de la documentation sur l'analyse de relevés LIDAR (une thèse de cartographie 3D à l'aide de relevés LIDAR et un TP informatique sous Matlab d'extraction de plans dans un nuage de point notamment). Nous nous sommes alors attachés à tester différents logiciels dont le but principal est l'analyse de ce nuage de points. Ces tests ont été complétés par l'amélioration d'algorithmes permettant la visualisation de plans au sein d'un nuage de points.

Une prise en main des données qui nous ont été fournies a été le point de départ de notre projet. Ensuite, nous nous sommes rendus sur notre zone d'étude afin de mieux appréhender le terrain que nous allions étudier. Dans un premier temps, nous visualisons le nuage de points afin de le traiter ; nous utilisons différents logiciels permettant de mettre en évidence notamment le relief et les falaises. Nous verrons par la suite l'ensemble des possibilités présentées par ces logiciels. Ils vont donc nous être utiles dans la réalisation de notre but majeur à savoir donc l'extraction des données topographiques et du couvert végétal dans notre zone d'étude. Nous allons alors vérifier les résultats obtenus en salle avec la vérité du terrain.

Ensuite, nous prenons en main des algorithmes de visualisation de plans dans un nuage de points. Ainsi, nous pouvons détecter en priorité des plans verticaux afin d'acquérir des informations sur la topographie des lieux notamment déceler la présence de falaises. Nous pouvons alors comparer les résultats obtenus algorithmiquement avec ceux obtenus lors des visualisations précédentes.

Enfin, nous réalisons une classification du nuage de points que nous possédons afin de qualifier les différents couverts végétaux. Le but principal étant d'extraire du nuage de points les différentes strates de végétation et d'ensuite comparer les résultats obtenus avec les premières visualisations et les relevés de végétation effectués sur le terrain. Les logiciels Kartapullautin ainsi qu'ArcMap sont notamment utilisés. Le premier permet une visualisation de la végétation présente suivant un étalonnage des niveaux de végétation qu'on peut faire varier. Quant au second, il nous permet de calculer des statistiques suivant le nombre de points issus du nuage présents au sein d'une surface donnée.

# I Prise en main des données

# A. Visualisation

Notre zone d'étude se situe donc au Sud-Ouest de Forcalquier et est un site d'anciennes carrières de pierres. La topographie des lieux est effectivement marquée par cette ancienne activité : bien que la végétation ait repris une partie de ses droits sur les lieux, nous retrouvons de nombreuses falaises de plusieurs mètres de haut, plus ou moins recouvertes par la végétation. A cela, nous pouvons ajouter de nombreux murets, talus, tas de cailloux, constructions (maison, borie).

Afin de mieux appréhender notre zone d'étude et le travail d'analyse du relevé LIDAR, nous avons commencé par une visualisation et une transformation du nuage à l'aide des logiciels Ocad et LAStools. Comme nous allons le voir ces logiciels permettent en effet une visualisation pertinente du nuage de points en reconstruisant par exemple le relief de la zone.

## 1) Utilisation d'Ocad

Avant de se pencher sur l'utilisation du logiciel Ocad, il faut noter que nous possédons une carte de notre zone d'étude. Il s'agit d'une carte de course carte topographique à la norme IOF, numérique et vectorielle, réalisée par Hervé Quinquenel à l'échelle 1/2000. Celle-ci permet donc une connaissance précise du terrain d'une part au niveau de sa végétation mais aussi de son relief et de l'ensemble des données topographiques des lieux (murets, bories, falaises -franchissables ou infranchissables- etc.).

Ce logiciel nous a tout d'abord servi à étudier cette carte topographique à la norme IOF des carrières de Mane/Porchères. Mais nous avons aussi utilisé ce logiciel pour visualiser des images représentant l'ombrage de la pente, le gradient de pente, la hauteur de végétation etc. Pour cela, il faut charger le nuage de points dans l'onglet MNT puis l'analyser. Ensuite, nous choisissons une résolution (type de données des fichiers importés), prise pour nous à 2m, la valeur par défaut du logiciel, puis 1m et 0,5m pour tester des MNT plus fins. Bien entendu, la résolution à 0,5m est obtenue en plus de temps mais permet la meilleure analyse par la suite grâce à sa précision. Après, nous choisissons si nous voulons créer un MNT ou un MNS; les niveaux de retour vont alors être automatiquement sélectionnés. Pour le MNT, nous avons besoin des points du sol. Ce sont donc les derniers retours qui sont utilisés. Pour le MNS, en revanche, nous avons besoin des premiers retours pour inclure le sursol dans la modélisation. Une fois un de ces modèles créé (création d'images géoréférencées), nous pouvons créer des images témoignant du relief. La première option est une image du gradient de pente. On peut alors se rendre compte des éventuelles falaises et abrupts présents sur le terrain. Ensuite, nous créons un ombrage des pentes (voir figure 3) qui permet la visualisation des mouvements de surface (crevasses, alignements...) tels des murets, des dépressions etc. Après nous pouvons obtenir les courbes de niveau de la zone étudiée. Le paramétrage de l'équidistance et des lignes principales de pente est alors possible. Cela peut néanmoins amener à des résultats assez différents de ce qu'on trouve réellement sur le terrain (voir images ci-dessous).



*Visibilité des courbes de niveau sur la carte topographique IOF à gauche et courbes obtenues avec Ocad à droite* 

Une reprise terrain est alors nécessaire mais nous possédons une bonne base de départ. Une fois cela réalisé, nous pouvons nous intéresser au sursol. Ainsi, nous créons un MNE, qui est le sursol qui s'obtient par MNS-MNT, par différence entre les MNT et MNS créés précédemment. Par la suite, nous classifions les hauteurs de végétation. Cela permet d'obtenir une image pouvant aider à déterminer la végétation (limites de végétation, clairières etc.).



Aperçu du relief obtenu avec le logiciel Ocad



Aperçu de la classification des hauteurs de végétation avec Ocad

L'ensemble des images ainsi créées permet d'avoir une première visualisation des éléments, végétation, relief présents sur la zone étudiée. Il sera alors intéressant de comparer les résultats obtenus sous Ocad avec ceux obtenus avec d'autres logiciels. C'est pourquoi nous allons tout d'abord utiliser le logiciel LAStools qui permet de modifier le nuage de points brut dont nous disposons. Cela nous permettra d'améliorer par la suite notre analyse.

## 2) Utilisation de LAStools

Concernant le logiciel LAStools, nous avons utilisé plusieurs fonctions : « *las2dem* » qui permet d'obtenir le MNT que nous avons ensuite exporté sur QGIS afin de pouvoir le visualiser, puis « *las2las* » qui permet de redimensionner le nuage de points et de le fusionner. Cela nous permet d'avoir un seul nuage de points plutôt que plusieurs dalles ce qui sera utile pour le traitement avec d'autres logiciels (traitement algorithmique

notamment). « *las2txt* » permet de passer d'un fichier d'extension las à un fichier d'extension txt qui est le seul pris en charge par certains logiciels utiles par la suite. Nous avons aussi utilisé « *lasground* » et « *lasheight* » qui constituent une première étape avant la classification car ils permettent pour le premier de déterminer si un point appartient à la classe sol ou non et pour le second de calculer la hauteur par rapport au sol d'un point du nuage. Les deux dernières fonctions sont utilisées dans « lasclassify » qui réalise la classification des nuages de points en différenciant les constructions de la végétation haute c'est-à-dire les arbres. Ensuite, nous disposons de « lasinfo » qui permet d'avoir des informations sur les nuages de points comme par exemple la taille du nuage ou bien encore le nombre de points par mètre carré et « lasview » qui sert à visualiser le nuage de points (zoom, rotation, sélection d'une zone de l'image).



#### Rendu du MNT obtenu par LAStools

#### Ce MNT redimensionné

Une fois ces transformations effectuées, nous utilisons un nouveau logiciel (OL Laser) qui va permettre une nouvelle visualisation de la topographie des lieux. Il sera alors intéressant de comparer les rendus obtenus entre Ocad et OL Laser.

## B. Comparaison des rendus OL Laser et Ocad

#### 1) Utilisation de OL Laser

Nous avons utilisé le logiciel OL Laser afin d'analyser le nuage de points issus du LIDAR dont nous disposons ; ce logiciel est un logiciel Suédois conçu pour l'analyse des nuages de points LIDAR et permet particulièrement la visualisation des contours et des falaises. Pour cela, nous ouvrons le fichier laser dans le logiciel puis nous créons une surface TIN. Ensuite nous pouvons obtenir les courbes de niveau (O-Map object, contours) dont nous pouvons choisir l'équidistance (une valeur par défaut étant proposée). De plus, nous pouvons obtenir des photos représentant la pente, les classes d'objets ou bien encore le relief.



Aperçu de la classification de la hauteur de végétation

Zoom de l'image ci-contre



Image représentant l'ombrage des pentes

Zoom de l'image ci-contre



Image représentant le gradient de pente

Zoom de l'image ci-contre

## 2) Comparaison entre Ocad et OL Laser

Nous avons alors comparé ces résultats avec ceux obtenus avec le logiciel Ocad. Du côté gauche nous retrouvons les images obtenues avec OL Laser et à droite celles d'Ocad. Les logiciels Ocad et OL Laser permettent tous les deux d'obtenir une classification des hauteurs de végétation, l'ombrage de la pente permettant de déceler le relief ainsi qu'un gradient de pente.





Classification des hauteurs de végétation avec OL Laser à gauche et Ocad à droite

Sur la première série d'images, nous comparons les classifications des hauteurs de végétation. L'échelle va du rouge au blanc en passant par le jaune et le vert, le blanc représentant la végétation la plus haute. Nous nous rendons alors compte que les résultats sont similaires si ce n'est identique. Les deux logiciels semblent donc permettre une visualisation des niveaux de végétation. Il convient néanmoins de comparer les résultats obtenus avec la vérité terrain représentée par la carte topographique IOF qui nous est fournie pour ce qui est des zones jaunes c'est-à-dire les zones dégagées. Nous analyserons donc par la suite le nuage de points issu des relevés LIDAR que nous superposerons dans un SIG avec la couche des données issues des relevés effectués afin de réaliser la carte topographique IOF.



Aperçu des gradients de pente obtenus avec OL Laser à gauche et Ocad à droite



Zoom des images précédentes (ci-dessus) comparaison sur carte Ocad (ci-dessous)



Les images présentes ci-dessus témoignent de l'ombrage des pentes. Elles permettent donc de traduire le relief de la zone. Bien qu'assez légère, une différence est notable entre les deux : certaines pentes obtenues avec OL Laser sont moins franches, plus douces, elles présentent comme un certain lisage. Or sur le terrain on voit clairement qu'il s'agit de falaises abruptes. Le logiciel Ocad est donc dans ce cas plus pertinent.



Gradients de pente (OL Laser à gauche, Ocad au centre) et carte CO (à droite)

Cette dernière série d'images est celle qui fait apparaitre le plus de différences. Effectivement, pour ce qui est de la zone 1, l'orthogonalité des façades formées par les falaises est moins marquée avec OL Laser. Ce dernier logiciel ne montre pas non plus les murets et dépressions dans la zone 2. Comme en zone 1, OL Laser présente des falaises arrondies en zone 3. Ocad permet toujours la meilleure visualisation des falaises en zones 5 et 6. En revanche, seul OL Laser permet de visualiser les deux zones caillouteuses au centre de la zone 4.



Gradients de pente (OL Laser à gauche, Ocad au centre) et carte CO (à droite)

En conclusion, le logiciel Ocad est celui qui est le plus à-même de réaliser le genre d'images présentées ici. C'est en effet lui qui permet la visualisation de la plupart des falaises réellement présentes tout en montrant la même végétation et un relief plus marqué qu'OL Laser. Néanmoins, seul ce dernier logiciel semble être en mesure de détecter les tas de pierre formant une butte.

Terrain \ Logiciel	OCAD	OL LASER
Orthogonalité des façades	Cohérente	Insuffisante
Murets - Dépressions	Visibles	Invisibles
Zones caillouteuses	Invisibles	Visibles

Nous avons vu, notamment en zone 1, que des différences sont notables au niveau de la visualisation des falaises. Or OL Laser présente l'option de visualiser seulement les falaises. Il serait donc intéressant de lancer de cette manière une nouvelle comparaison des différences de visualisation de seulement les falaises.

# C. Visualisation des falaises

Une autre option présentée par le logiciel est la visualisation de falaises. Nous nous sommes alors attardés sur ce point, effectuant différents tests en jouant sur les paramètres de visualisation des falaises. Nous avons fait varier la hauteur de visualisation (falaises de plus de 0.5m, 1m, 2m, 3m et 5m) ainsi que la longueur de celles-ci (plus de 1, 2 ou 5m). Nous avons choisi ces valeurs en raison des observations faites lors de la reconnaissance initiale sur le terrain. Une fois le calcul effectué, nous avons cherché les différences de visualisation afin de pouvoir analyser les résultats. Cela a été rattaché à une confrontation au terrain.





Visualisation : H=0.5 et L=2



Visualisation : H=1 et L=1

Visualisation : H =0.5 et L=1



*Visualisation : H=2 et L=2* 



Superposition des zones détectées avec OL Laser (H=0.5 et L=1) et la carte topographique IOF



Nous pouvons noter des décalages dans certaines zones (exemple zone 1 et 2, image précédente), des arrondis au niveau de falaises droites (zone 3 et 4) de la sur-détection (zone 5) et sous-visualisation (zone 6 et 7). Nous avons donc fait des vérifications sur le terrain pour comprendre ces différences (série d'images ci-dessous).



Nous sommes ici dans le cas d'une visualisation à une hauteur de 0.5m. Nous pouvons voir qu'une partie du talus a été détectée avec une longueur de 1m (images cidessus à gauche) seulement elle n'a pas été détectée avec une longueur de 2m. Nous nous sommes donc rendus sur le terrain (image de droite) afin de voir de quoi il s'agissait. Ainsi, il se trouve sur le terrain un muret d'une hauteur de 1m pour une longueur d'une douzaine de mètres. Il est donc normal qu'il ait été détecté pour une hauteur de 0.5m. Cela dit, il aurait dû être relevé dans sa totalité (au niveau de la longueur) et donc visible pour une longueur de 2m. Le logiciel semble ainsi atteindre ses limites ici. Cela peut être explicable du fait qu'il s'agit d'un muret et non d'une falaise. En effet, celui-ci présente un vide de part et d'autre contrairement à une falaise qui est abrupt dans seulement une direction. Cette explication ne permet cependant pas de comprendre pourquoi une partie a été détectée (tâche rouge de la photo de gauche) si ce n'est un sol un peu plus haut côté Sud-Ouest au niveau de la tâche.



Ici, nous pouvons noter un léger décalage entre la zone de visualisation de la falaise (arrondi rouge) et l'emplacement réel sur le terrain de la falaise. Une fois sur le terrain, nous voyons que la zone sud de la falaise présente de nombreux rochers comme c'est visible sur la carte topographique IOF. Il semble donc que le logiciel OL Laser ait détecté la bande rocheuse au lieu de la falaise. Cela expliquerait ce décalage notable. Un même problème est présent sur la série d'images suivante (décalage de la visualisation à cause d'une bande rocheuse au-dessus de la falaise).





Sur le troisième groupe d'images (ci-dessous) nous observons une détection au Sud-Ouest de la borie. Celle-ci correspond au talus visible sur la photo de droite. Il semble que ce soit la forte pente présente du côté Est qui implique la détection. Cependant, il semble toujours incohérent qu'il détecte seulement une partie du talus (de longueur 1m) alors que le talus s'étend sur une dizaine de mètres.



Sur le dernier groupe d'images (ci-dessous), nous détectons deux petites falaises (hauteur de visualisation 0.5m et longueur de 1m). Il s'agit sur le terrain d'un muret d'une dizaine de mètres de longueur et d'une hauteur d'un mètre. Le décalage notable est sans doute dû à une imprécision du GPS utilisé lors de la cartographie et de la résolution LIDAR et du nombre de points relevés dans cette zone. Par ailleurs, nous ne détectons pas l'ensemble du talus certainement car il s'agit d'un abrupt en terre présentant seulement quelques cailloux et ne possédant pas de limite bien nette.





Page 17 sur 48

Après analyse des résultats obtenus avec le logiciel OL Laser et la confrontation terrain effectuée, nous pouvons conclure que la visualisation des falaises avec ces logiciels est cohérente. Effectivement, en utilisant simplement le paramétrage par défaut du logiciel, la plupart des falaises sont détectées. Pour ce qui est des plus hautes il n'y a aucun problème. En revanche, les petites falaises, celles cachées dans la végétation ainsi que les murets présentant des pentes de part et d'autre sont difficilement détectables dans leur totalité. De plus, les falaises présentant des zones rocheuses autour amènent une visualisation erronée (cailloux détectés plutôt que le haut de la falaise). La visualisation de falaises effectuée avec ce logiciel n'est donc pas suffisante pour connaître avec précision la vérité du terrain. Par ailleurs, la hauteur des falaises détectée est erronée. Nous avons alors voulu réaliser une comparaison avec les hauteurs obtenues avec un autre logiciel (ArcGis) et les mesures terrain effectuées. Cela nous permettra de connaître la hauteur exacte des falaises et ainsi de se rendre compte des erreurs notables de visualisation des falaises pour des hauteurs élevées avec OL Laser (non visibles pour 5m par exemple alors que nous allons voir qu'en réalité certaines falaises dépassent les 7m avec des longueurs de plus de 2m).

# D. Mesure de la hauteur des falaises

## 1) Utilisation d'ArcGis et comparaison avec les mesures terrain

Nous nous sommes rendus sur le terrain pour mesurer la hauteur de certaines falaises et nous les avons comparées avec les valeurs de hauteurs obtenues avec ArcGis. Après ce premier échantillonnage où nous avons obtenu des écarts de hauteur de l'ordre du décimètre, nous avons référencé toutes les falaises, murs, maisons et talus. Nous avons alors remesuré l'ensemble de ce panel sur ArcGis et sur la zone.

Les mesures terrain ont été effectuées au décamètre et au télémètre laser pour les endroits inaccessibles (borie par exemple).

Les mesures en salle ont été effectuées avec ArcGis et notamment le Module ArcMap à l'aide de l'outil Vue du profil du jeu de données LAS. Après comparaison des résultats obtenus nous avons observé des écarts de l'ordre de 10 cm et donc validé les mesures sur les nuages de points 3D.

Numéro	Orientation	Туре	H_terrain	H_ArcGis	
Zone 1	Nord	falaise	4,2	4,3	
	Nord-Ouest	falaise	5	4,9	
Zone 2	Sud	rocher	2	2	
Zone 3	Nord-Est	falaise	2,8	2,7	
Zone 4	Nord-Ouest	mur	6,4	6,3	
	Est	mur	5	5	
Zone 5		borie	3,7	3,4	
		rocher	1,1	1	

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Pour obtenir ces résultats, nous avons joué sur différents filtres :

- tous les points
- terrestre
- non terrestre
- premier retour

Nous choisissons alors celui qui permet la mesure la plus précise suivant les différents cas.





Filtre « terrestre »

Filtre « tous »

Les statistiques sur la mesure des hauteurs de falaises sont déterminées selon le paramètre suivant : Ecart =  $|H_arcgis - H_terrain|$ .

L'écart brut (i.e. sans retoucher ni éliminer de mesures) moyen est de 76 cm. L'écart moyen obtenu après élimination des trois mesures absurdes (où un écart de plus de 2 mètres est constaté) vaut 55 cm.

Dans le cas d'une bande haute et étroite, le filtre "terrestre" ne suffit pas. Dans ce cas-là on prend toutes les données LIDAR (filtre "tous").

On observe un biais général de l'ordre de 50 cm dû aux conditions de mesures sur le terrain. On distingue en effet trois cas où les mesures terrain et théorique diffèrent.

 Affichage du profil
 Image: Section 1
 Image: Section 2
 Image: Section 2

La mesure théorique a été faite entre les deux plans horizontaux (vraie dénivelée, 1<sup>ère</sup> mesure) mais la mesure terrain s'est faite sur la partie verticale de la falaise (2<sup>ème</sup> mesure). Cela a donc engendrée une erreur de mesure due à la non-verticalité du haut de la falaise.

• 1er cas :

• 2ème cas :



La mesure théorique a été effectuée au bas de la pente (à cause de l'érosion) alors que la mesure terrain s'est faite sur la partie verticale. Une nouvelle fois une erreur est induite par la morphologie du terrain. La mesure est moins précise sur une pente qui est moins nette.

• 3ème cas :



Le cas de mesure de la hauteur d'une borie nous pose un problème, toujours non résolu, puisque les mesures au télémètre donnent 4,8 m tandis que la mesure sous ArcGis donne 3,5 m. Effectivement, il est difficile de déceler dans le nuage de point le haut de la borie et le retour correspondant à cause de la forme bombée du toit et de la végétation bordant la construction.

Nous décidons alors de remesurer les falaises problématiques (écart supérieur à 40 cm) avec les nouveaux critères issus du terrain. L'écart moyen alors obtenu tombe à 19 cm, ce qui est de l'ordre de la précision attendue du LIDAR (dizaine de centimètres).

L'écart-type sur les mesures vaut 24 cm, et celles-ci sont centrées en 0,03 m. Cependant on constate un pic anormal en -0,3 m inexpliqué.

Pour vérifier l'étalement des erreurs, on applique une courbe de tendance polynomiale de degré 4. Celle-ci est pratiquement symétrique et centrée en 0.



Nous voyons donc que les mesures effectuées sur le terrain et celles d'ArcGis corroborent (exception faite du cas de la borie). Nous pouvons donc à présent comparer ces hauteurs de falaises à celle visibles avec OL Laser.

2) Comparaison de la mesure des hauteurs de falaises avec les résultats OL Laser



Sur les images ci-dessus, la visualisation avec OL Laser se fait pour une hauteur de 5m et une longueur de 1m. Les mesures effectuées précédemment prouvent que les falaises présentes dans la zone mesurent plus de 7m au niveau des façades Est et Ouest (voir flèches) sur plus d'un mètre de longueur. Il est donc anormal que dans la zone sélectionnée quasiment aucune falaise ne soit visible. Le logiciel OL Laser semble donc permettre une visualisation de l'ensemble des falaises pour des paramètres (hauteur et longueur) fixés très bas. Il ne permet donc pas de connaître les dimensions de celles-ci, seulement leur présence.

Une fois l'ensemble de ces comparaisons effectuées, nous avons voulu faire une analyse algorithmique. Cela afin d'avoir une nouvelle recherche des falaises à l'aide de la détection des plans verticaux. Nous sommes une nouvelle fois dans une quête d'extraction automatisée des données topographiques des lieux.

# II Analyse Algorithmique des nuages de points

En parallèle des analyses via les logiciels pouvant manipuler les nuages de points LIDAR, nous avons cherché à comprendre et manipuler des algorithmes pour réussir à déterminer des éléments particuliers à partir de calculs. Le but est de détecter et décrire les falaises, talus et autres structures montrant de grandes variations altimétriques. Les traitements se font sur Matlab, logiciel de calcul matriciel.

# A. Données sources pour les analyses

## 1) Choix du format

Les données LIDAR brutes sont des fichiers encodés en binaire qui comprennent la position des points (coordonnées X, Y et Z géoréférencées en Lambert 93) et des métadonnées (l'intensité, la classification, l'ondulation de la réponse etc...). Pour des algorithmes calculant des structures géométriques, il n'est nécessaire que des coordonnées 3D des points. Un format texte est plus pratique pour manipuler les données.

Deux logiciels nous permettent d'exporter des fichiers type .xyz depuis les fichiers .las, LAStools et Ocad. Les fichiers provenant de LAStools sont bruts, reportant le nuage de points fidèlement, tandis qu'Ocad transforme le nuage de points en une grille régulière, interpolant l'altitude à partir du nuage de points d'origine. Les deux logiciels permettent de sélectionner uniquement les derniers retours, ce qui correspond aux points du sol. Comme nous voulons étudier les reliefs particuliers, nous avons besoin uniquement de ces points-là. Pour déterminer le format le plus adapté, nous avons effectué plusieurs tests des algorithmes avec les deux types de fichiers. Il s'est avéré que les fichiers bruts donnent de moins bons résultats. En effet, les points sont répartis de manière déséquilibrée, avec des zones de 1 à 3 m<sup>2</sup> sans points et d'autres avec plus de 5 points/m<sup>2</sup>, et cela gêne les calculs. A l'opposé, les fichiers en grille fonctionnent bien. La perte d'exactitude qu'on peut imaginer des interpolations n'handicape pas les calculs, mais l'on peut voir que les résultats diffèrent légèrement de la réalité terrain. Par exemple, une falaise verticale apparait penchée. Cidessous, un exemple de traitement avec le même paramétrage avec les deux types de fichiers sur la même zone. On voit clairement que le fichier issu de LAStools se montre trop dispersé et ne permet pas de détecter des falaises, à l'inverse de la grille régulière issue d'Ocad qui permet de voir plusieurs plans obliques suivant une pente du terrain ainsi qu'une falaise (en jaune).



*Zone07 – Analyse du fichier brut (à gauche) et du fichier interpolé (à droite)* 

#### 2) Zones d'étude

Pour tester l'algorithme au fur et à mesure de sa conception, il a été nécessaire de délimiter plusieurs zones d'études. D'une part, elles permettent de voir différents cas spécifiques et se repérer facilement dans la visualisation du nuage de points. D'autre part, un nuage de points moins grand allège énormément les temps de calculs. En effet, l'algorithme nécessite un grand nombre d'itérations pour obtenir un résultat fiable et les différentes fonctions ajoutées derrière possèdent des boucles imbriquées parcourant la liste de points.

Ainsi, nous avons délimité plusieurs zones, regroupant des structures bien particulières et variées. Ce découpage permet d'analyser différents éléments. Certaines zones ne se sont pas pertinentes pour les algorithmes sur lesquels nous avons travaillés, mais elles présentent des cas particuliers qui peuvent servir pour d'autres analyses (sur les variations de végétation notamment, en vert dans le tableau). Nous avons déterminé aussi deux zones plus réduites qui isolent deux falaises en particulier (en bleu dans le tableau).



*Répartition des zones d'étude sur le site* 

Zones	Description	Limite Ouest	Limite Est	Limite Sud	Limite Nord
Z01	Carrière et villa (murs, toiture, escaliers)		919 913	6 316 788	6 316 844
Z02	Pierrier + couloir de falaises	919 866	919 886	6 316 858	6 316 925
Z03	Muret (structure de petite taille mais longue)	919 992	920 011	6 316 998	6 317 109
Z04	Clairières	920 076	920 139	6 316 958	6 317 020
Z05	Muret (structure de petite taille mais longue) et talus	920 089	920 121	6 317 069	6 317 111
Z06	Différence végétations (variations de densité)	920 229	920 260	6 317 101	6 317 145
Z07	Borie et falaises variées (avec ou sans végétation)	920 266	920 290	6 317 140	6 317 177
Z07 réduite	Mur de carrière irrégulier isolé	920 270	920 290	6 317 140	6 317 158
Z08	Borie et blocs de pierre cubiques (1,10m de coté)	920 333	920 354	6 317 237	6 317 250
Z09	Carrière (falaises droites, forte orthogonalité)	920 355	920 414	6 317 212	6 317 257
Z09 réduite	Mur de carrière droit isolé	920 360	920 383	6 317 213	9 317 227
Z10	Falaises variées (avec ou sans végétation)	920 395	920 487	6 317 300	6 317 366

# B. Détection de plans dans un nuage

Pour construire notre algorithme, nous avons commencé par étudier le TP d'extraction de structure du cycle PPMD composé par Bruno Vallet. Ce TP a pour sujet de chercher à construire un plan qui représenterait le plus fidèlement possible un nuage de points. Pour ce faire, il sélectionne aléatoirement 3 points du nuage pour construire un plan et contrôle le nombre de points que l'on peut assimiler à ce plan. Il répète cette opération un grand nombre de fois, dépendant de la taille du nuage de points et du nombre minimum de points que nous recherchons pour le plan pour que, statistiquement, on puisse être assuré d'avoir le meilleur plan possible. Cet algorithme s'appelle le RANdom SAmple Consensus(RANSAC). Dans la fin du TP, le code permet de répéter l'opération plusieurs fois pour détecter plusieurs plans et d'afficher l'ensemble des résultats dans une fenêtre de visualisation.





*Z09 réduite – Algorithme d'origine (nmin=25, S=0.25)* 

Deux paramètres sont à manipuler lors des tests : le premier est le nmin, nombre minimum de points nécessaires pour valider un plan, influençant beaucoup le temps de calcul et la qualité des données. Plus il est bas, plus le calcul sera long et plus il y aura de plans détectés, mais les derniers plans détectés auront de fortes chances d'être des mauvaises interprétations. A l'opposé, on remarque que les valeurs élevées apportent une incertitude sur la précision. En effet, deux lancements successifs de l'algorithme avec les mêmes paramètres ne donnent pas les mêmes résultats et une haute valeur de nmin augmente la variation entre ceux-ci tandis qu'un nombre réduit la diminue.

Le second est le S, distance maximum entre un point et le plan pour considérer qu'il fait partie du plan. C'est la tolérance que l'on détermine sur le bruit de notre extraction de structure. Trop bas, il limite le nombre de points dans le plan et risque d'empêcher la validation de celui-ci. A l'inverse, un S trop élevé associerait au plan des points qui ne lui correspondent pas du tout.

Avec une série de tests, nous avons pu déterminer les réglages des paramètres adaptés à notre zone d'étude :

- Nmin : 50 points pour les petites zones, 100 points pour les grandes zones, voir 250 points pour les grandes zones pour lancer des calculs rapides.
- S: 0,25m correspond bien à notre densité de points.

Nous nous sommes appropriés le code correspondant à ce TP, l'adaptant aux besoins de notre étude. Nous avons retouché l'affichage des plans en couleur pour gérer les tests qui présentent un grand nombre de plans et nous avons ajouté une commande d'écriture de fichier texte pour pouvoir enregistrer les résultats sous la forme d'un fichier par plan, comprenant l'équation du plan et l'ensemble des points qui lui sont associés (format .xyz avec une ligne d'en-tête).

# C. Adaptation du RANSAC à la visualisation de falaises

Les tests ont permis de mettre en évidence deux problèmes majeurs pour notre étude. Les points étant plus nombreux sur le sol que sur les falaises, les plans horizontaux ressortent largement. Les plans en pente ou verticaux se déterminent moins bien car les points des arêtes entre le sol et les falaises se retrouvent associés aux plans horizontaux détectés en premiers et ne peuvent alors servir aux calculs pour déterminer les plans verticaux. Le second problème est que le plan est théoriquement infini. Cela signifie qu'en plus des points correspondant réellement au plan déterminé, l'algorithme va aussi lui associer des points qui peuvent être présents plus loin dans la zone d'étude, qui appartiendraient à d'autres plans en théorie, mais qui se retrouvent dans la ligne de coupe entre les deux plans. Pour améliorer notre visualisation des falaises, nous avons dû chercher à pallier ces problèmes que sont les plans les horizontaux et les trainées parasites.



*Z09 – Plans horizontaux ou obliques bien présents, plans verticaux absents. Les plans horizontaux traversent la carrière pour continuer sur la falaise opposée (nmin=250, S=0.25)* 

## 1) Retrait des plans horizontaux

Pour isoler les plans horizontaux et plans à faible pente du calcul, il a fallu trouver un critère qui les caractérise. Nous nous sommes tournés vers le vecteur normal unitaire, que l'on peut aisément calculer à partir de l'équation du plan. En théorie, un plan horizontal devrait avoir un vecteur normal de la forme (0,0,1).

Nous avons effectué une série de tests avec l'affichage dans la console de la liste des plans, comprenant le nombre de points, l'équation du plan et le vecteur normal unitaire. A l'aide de la visualisation, nous avons déterminés quels plans sont suffisamment proche de l'horizontal, de sorte à comparer leurs vecteurs normaux unitaires à ceux des autres plans.

402	-73179086.3999988	0.0128301350529797
206.5	-40091113.5999995	0.0142784312292687
447	-39848881.4600005	0.0437598911827717
355.25	-330748796.325004	0.0812395464930366
-15	2540714.39999975	-0.0233206399949136
-11.5	41858021.7400021	-0.295642586353781
-62.75	137207175.224999	-0.160983937339991
29.75	36733304.9999979	0.130325486064555
olumns 7 through 8		
olumns 7 through 8		
Olumns 7 through 8	0.999557033197902	
Columns 7 through 8 0.0268537710411384 0.0285568624585412	0.999557033197902 0.999490186048945	
Columns 7 through 8 0.0268537710411384 0.0285568624585412 0.00764345392467336	0.999557033197902 0.999490186048945 0.999012837523009	
olumns 7 through 8 0.0268537710411384 0.0285568624585412 0.00764345392467336 0.133661574183875	0.999557033197902 0.999490186048945 0.999012837523009 0.987691611623939	
Columns 7 through 8 0.0268537710411384 0.0285568624585412 0.00764345392467336 0.133661574183875 -0.0233206399949136	0.999557033197902 0.999490186048945 0.999012837523009 0.987691611623939 -0.999455999782109	
Columns 7 through 8 0.0268537710411384 0.028556624585412 0.00764345392467336 0.133661574183875 -0.0233206399949136 -0.444199308849917	0.999557033197902 0.999490186048945 0.999012837523009 0.987691611623939 -0.999455999782109 -0.8457437171 <u>8</u> 1099	
Columns 7 through 8 0.0268537710411384 0.0285568624585412 0.00764345392467336 0.133661574183875 -0.0233206399949136 -0.444199308849917 -0.301751287200089	0.999557033197902 0.999490186048945 0.999012837523009 0.987691611623939 -0.999455999782109 -0.845743717181099 -0.939696936566042	

*Z02 – Vecteurs normaux unitaires des plans horizontaux en jaune (colonnes 6 à 8)* 

Il ressort de cette série de tests que nous pouvons assurer qu'un plan est horizontal ou à faible pente si les valeurs de son vecteur normal unitaire correspondent à ces équations :

# Abs(z) > 0.99 Abs(x) + Abs(y) < 0.15

Dans un premier temps, nous avions testé Abs(x) < 0.10 ET Abs(y) < 0.10, mais le critère planimétrique rassemblant les deux plutôt qu'un critère appliqué en x et en y nous a paru plus adapté car nous avons eu un cas de plan horizontal dont le x valait 0.02 et le y valait 0.11, mais qui était horizontal d'après la visualisation. En effet, il est possible que le décalage planimétrique ne se fasse quasiment que dans le sens d'un axe et qu'il sorte du critère dans un sens alors qu'il est très faible dans l'autre. Après une série de tests avec les valeurs ci-dessus, nous avons décidé de viser plus large au niveau des critères et les avons modifiées en conséquence : 0.95 pour le Z et 0.30 pour la planimétrie.

Une fois ces critères déterminés, nous avons pu les intégrer à l'algorithme. L'idée est alors de ne pas valider les plans horizontaux pour qu'il se concentre sur les plans verticaux. Lorsque le calcul trouve un plan et qu'il se révèle horizontal, il ne peut pas le mettre comme meilleur plan de la série statistique. Le problème de ce principe est que les points des plans horizontaux font office de points faux dans la détection d'autres plans et l'algorithme décompose ces plans horizontaux en plans en pente qui rendent la suite de la visualisation des falaises inefficace.



209 réduite – Apparition de nombreux plans en pente basés en partie sur les plans horizontaux ignorés (nmin=50, S=0.25)

Nous avons donc modifié le code pour que les points du plan détecté comme horizontal soient supprimés du nuage où s'effectue le calcul. Ainsi, les points qui ne nous intéressent pas sortent du calcul. Mais demeure le problème des arêtes, points de liaison entre un plan horizontal et un plan vertical, qui disparaissent en même temps. C'est pourquoi il nous a fallu développer en même temps une fonction de retranchement qui « rogne » au niveau des bordures des plans horizontaux pour que ne soient pas supprimés les points des arêtes.



*Les arêtes, entourées en vert, doivent être conservées dans le calcul, contrairement au reste des points bleus et rouges)* 

## 2) Fonction de retranchement

Le retranchement a pour but d'isoler d'un plan horizontal les points qui sont en bordure de son nuage de points, afin de les garder par la suite dans les calculs. Pour utiliser cette fonction, nous partons d'un nuage de points correspondant à un plan. Comme nous avons choisi d'utiliser en entrée les données issues d'Ocad, nous savons que la répartition planimétrique correspond à une grille orthogonale et régulière avec un pas de 0,50m. Nous pouvons utiliser cette information pour constituer l'algorithme de retranchement.

Nous vérifions, pour chaque point, la distance qui le sépare des autres points. En fixant une distance seuil de 0.75m, nous déterminons qu'un point ayant 7 points proches (y-compris lui) ou moins est considéré comme une bordure. Cela correspond à un point pour lequel il manque au moins 2 points dans son voisinage direct. Les bordures du nuage comprennent les arêtes que nous cherchons à réinjecter dans le calcul de détermination des falaises. Par la suite, il est donc possible de les lister pour les ôter du nuage de points du plan horizontal et qu'ils ne se fassent pas supprimer dans la suite de l'algorithme.



Schémas du principe de retranchement des bordures

## 3) Gestion des trainées parasites

En réfléchissant à une méthode pour régler le problème des débordements des plans sur des reliefs éloignés, formant des trainées parasites, nous avons envisagé plusieurs possibilités.

La première était d'utiliser le vecteur « Mean Shift », une formule permettant de déterminer les maximas de densité dans un nuage qui s'utilise normalement pour dissocier les différents arbres de la canopée. Nous avons découvert ce principe développé dans la thèse d'António Ferraz sur la « Cartographie 3D d'une forêt à partir des données LIDAR aéroporté ». En détournant cette fonction, nous aurions pu isoler des blocs disparates de points pour un plan donné. Mais le temps de calcul peut s'allonger fortement avec cette méthode et il aurait été difficile d'automatiser le choix parmi ces blocs du bon ensemble de points pour le plan en question.

La seconde possibilité est de s'appuyer sur la fonction de retranchement. En effet, les débordements observés ont généralement la forme de trainées, avec un nombre de points réduits. La fonction de retranchement doit donc réduire ces trainées. Pour maximiser cet effet, nous avons modifié les paramètres pour agrandir la zone de voisinage en adaptant le seuil du nombre de points proches (d=1.25m, points proches <= 14 sur les 21 points possibles). Ces paramètres sont plus adaptés pour détecter des points répartis en trainées. Pour vérifier le bon fonctionnement de cette partie de code, nous avons testé avec ou sans sur une zone, en gardant l'affichage des plans horizontaux pour visualiser la fonction de retranchement.



Z09 – Avant et Après la fonction de retranchement (nmin=250, S=0.25)

# 4) Résultats du RANSAC modifié pour la visualisation de falaises

Le lancement de l'algorithme, comprenant la suppression des plans horizontaux et la fonction de retranchement, sur plusieurs zones d'études donne des résultats mitigés. Le traitement des zones simples, tels que les zones 09 et 07 réduites, permet de mettre en évidence la falaise, même si l'on trouve parfois plusieurs plans se superposant presque. Par contre, dès qu'on lance les calculs sur une zone plus large, il n'arrive pas à trouver les plans verticaux et va dessiner des plans obliques comprenant un maximum de points parmi l'ensemble du site, sans aucune réalité physique.



209 réduite à gauche – Le plan bleu et le plan rouge, presque superposés, dessinent la falaise (nmin=50, S=0.25)

# 209 à droite – Vue du dessus. Le plan bleu est un plan oblique sans réalité physique (nmin=50, S=0.25)

Il n'est donc pas possible de faire une visualisation généralisée, mais une recherche ciblée sur un élément connu ou repéré permet d'obtenir une confirmation géométrique de la structure présente. Toutefois, l'algorithme n'est pas idéal. Les temps de calculs sont longs et les variations dans les plans détectés entre plusieurs calculs identiques montrent que la part aléatoire de la recherche de plan demeure présente. Nous avons donc cherché d'autres possibilités pour améliorer la détection des plans.

# D. Filtre Anti-Plat

## 1) Principe du filtre

Lors de la phase de réflexion en vue d'améliorer l'algorithme au mieux pour notre sujet, nous avons formulé l'idée d'un filtre qui aurait pour but de détecter les points qui ne se retrouve pas dans des pentes pour les supprimer du fichier de points, dans le but d'alléger les nuages de points et améliorer les résultats de la détection de plans. Algorithme séparé du RANSAC modifié étudié plus tôt, il serait un traitement complémentaire à effectuer en amont. Ce filtre Anti-Plat (FAP) repose sur un principe d'association planimétrique des points qui se suit d'une comparaison d'altitude pour connaitre le dénivelé entre 2 points voisins.

Comme nous nous basons sur un nuage de points en grille planimétrique régulière de 50cm, il a été aisé de paramétrer le voisinage des points. Pour le point courant, on donne des valeurs minimum et maximum en Est et Nord de sorte à inclure uniquement les 8 voisins proches, présents à 0,50m pour la moitié et 0,71m pour l'autre. En fixant en paramètre une hauteur minimum de 0,50m, cela donne une pente minimum de 45° ou 35° selon les cas. Si le dénivelé est suffisant avec un voisin, le filtre passe au point suivant. Si au contraire, aucun des voisins ne présente un tel dénivelé, on peut considérer que le point courant est dans une zone plate et que sa présence est inutile pour détecter un plan vertical. Le filtre supprime donc le point et passe au point suivant.

La partie finale de l'algorithme permet une visualisation des points conservés et écrit un nouveau fichier qui les contient.

## 2) Application et résultats

L'algorithme a un temps de calcul relativement rapide pour des zones réduites mais les zones très étendues (par exemple, la zone Nord-Est de notre site d'étude qui fait 14ha) amènent un temps de calcul très important. Nous l'avons donc conçu pour que les points des zones plates soient supprimés au fur et à mesure, de sorte à ce qu'ils ne soient plus inutilement testés par la suite. Cela a tendance à accélérer le temps de calcul sur la fin. Par exemple, pour la zone de 14ha qui a demandé 3h05 de calcul, l'algorithme a fait 33% de son traitement en 1h45, le second tiers en 1h et le dernier tiers en 20min. On voit donc l'accélération progressive du temps de calcul par point au fur et à mesure que les points inutiles sont éliminés. De manière générale, les calculs étaient très rapides : sur les zones d'étude créées précédemment, le temps de calcul était de 1 minute pour les plus grandes zones et de quelques secondes pour les zones réduites.

Au niveau de l'efficacité de la réduction du nuage de points, on peut voir en appliquant le FAP que le nombre de points diminue de 72% pour les zones comportant principalement du relief jusqu'à 86% pour un terrain comportant beaucoup de terrains plats à côté des falaises. Pour la Zone Nord-Est de 14ha, la prédominance de terrains plats en surface amène cette réduction jusqu'à 96%.

	Z09 réduite	Z09	Z07	Z10	Z01	Zone Nord-Est
Points d'origine	1 363	10 829	3 675	24 605	20 679	573 724
Points conservés	363	2 714	1 017	3 442	4 481	22 420
Réduction	73%	75%	72%	86%	78%	96%

Tableau des résultats du FAP sur quelques zones d'étude (Hmin=0.50m)

La visualisation permet de repérer les endroits où se trouvent les falaises et les vues de dessus permettent de comprendre les reliefs principaux.



Comparaison entre le filtre FAP et une carte topographique IOF faite sur le terrain (Z09 en haut, Z01 en bas)

Le filtre Anti-Plat donne une bonne approximation des falaises en nuage de points, ainsi que pour les talus et quelques reliefs ponctuels, mais il connait quelques limites que nous avons pu éprouver avec les tests des différentes zones d'études. Tout d'abord, certaines falaises ne sont pas gérées correctement à cause d'interpolations faussées d'Ocad sur les murs larges de quelques mètres et au moins deux fois plus hauts (comme on peut le voir en A). De même, les bâtiments (par exemple, la villa présente dans le Sud-Ouest en B) sont mal détectés. On retrouve bien quelques alignements de points mais on ne retrouve pas la forme générale du bâtiment. Pour ce qui concerne les murets et autres reliefs légers (Z03 et Z05), ils n'arrivent pas à les détecter, même en faisant varier les paramètres. Ils sont noyés dans le bruit et les reliefs naturels alentours. Ces murets n'étaient pas détectés non plus par les traitements sur d'autres logiciels, ce qui suggère que leurs reliefs sont trop légers pour être détectés ou que les données LIDAR ne sont pas assez denses à cet endroit pour les faire ressortir. Enfin, les bories présentes dans les zones d'étude ne sont pas détectées non plus. Nous pensons que la pente douce du toit et les interpolations d'Ocad lissent l'emplacement de la borie.

Bien que l'algorithme s'appuie sur la présence de points voisins, provenant de la grille régulière, nous avons testé le filtre Anti-Plat sur un fichier brut en faisant varier les paramètres pour chercher la meilleure combinaison, notamment sur la distance maximum de voisinage. Les résultats montrent que le filtre n'est pas adapté aux données brutes et ne permet pas d'en extraire efficacement les zones de dénivelé.



Comparaison des Filtres Anti-Plat sur la Z07 (données brutes à gauche, grille Ocad à droite)

## 3) Détection de plan post-FAP

Grâce au Filtre Anti-Plat, les nuages de points sont allégés et comprennent moins de points risquant de perturber la détection des plans verticaux. Nous avons donc relancés des tests de l'algorithme RANSAC modifié sur nos zones d'études préalablement traitées avec le FAP. Pour les zones larges et complexes, la détection ne fonctionne toujours pas. Il détecte de manière erronée des plans horizontaux en recoupant plusieurs falaises.



Z10 – Des couches en pente légère ont été supprimés (nmin=100, S=0.25m)

Par contre, les zones réduites ou des zones petites et très marquées permettent de détecter les falaises qui s'y trouvent. On retrouve parfois des plans dédoublés, mais le plan secondaire comporte moins de points que dans les calculs sans le filtre Anti-Plat. Une série de lancements de l'algorithme pour le même fichier détecte des plans qui varient moins qu'avant. La partie aléatoire de la recherche de plan se réduit.



A gauche : Z09 réduite (nmin=50, S=0.25m) | A droite : Z02, le « couloir » de falaises (nmin=50, S=0.25m)

# E. Contrôle des plans détectés

Pour qualifier les plans détectés, nous avons fait une comparaison entre l'angle de la pente de ce plan (calculé à partir du vecteur normal unitaire) et l'angle de la pente mesuré sur la vue 3D d'ArcMap. Ce logiciel permet de draper une surface triangulée sur le nuage de points LIDAR sur laquelle on peut mesurer les pentes.

Falaico	Pentes			
Falaise	mesurée	du plan		
Z02 Nord	65,6°	63,8°		
Z02 Sud	62,0°	60,0°		
Z07 réduite	78,1°	72,2°		
Z09 réduite	70,0°	67,6°		

Les résultats montrent que les plans détectés sont cohérents avec la surface obtenue sur ArcMap. Il est alors possible de visualiser la pente de chaque triangle de la surface et de moyenner les valeurs présentes sur une falaise. A quelques degrés près, l'algorithme arrive à reconstituer la falaise de la même manière que le logiciel ArcMap. Néanmoins, un cas sur les 4 façades mesurées nous indique un problème par rapport à la réalité terrain. C'est celui de la façade de la zone 09 réduite, un mur quasiment vertical qui est détecté en forte pente, que ce soit par l'algorithme ou par ArcMap.

Cela montre que le nuage de points LIDAR n'est pas suffisamment dense sur notre zone pour modéliser correctement les falaises. Il est possible de les détecter, mais la précision sur la pente reste réduite. Cela permet toutefois de visualiser des zones bloquant le déplacement. Il est possible par la suite de faire des vérifications sur le terrain pour affiner les résultats, en se concentrant directement sur les zones détectées.

# F. Pistes d'améliorations des algorithmes

Pour l'algorithme de visualisation des plans, plusieurs pistes existent pour améliorer le code. La fonction de retranchement est un peu lourde dans son calcul et pourrait, en utilisant un code proche de celui du filtre Anti-Plat, réduire un peu le temps de calcul. De plus, elle retranche forcément les bordures de plans horizontaux qui touchent les bords de la zone d'étude. Ces points ne font pas partie d'arêtes utiles pour la suite, mais se retrouve injectés tout de même dans le calcul. Il serait intéressant de trouver un moyen simple de les différencier et de ne pas les garder.

La détection de plan RANSAC qualifie les plans par rapport au nombre de points présents, mais il pourrait être intéressant de modifier les critères de qualité pour prendre en compte la pente du plan. Ainsi, un plan avec moins de points qu'un autre mais plus vertical pourrait être considéré comme plus fiable et il aura plus de chance d'être détecté.

Quant au filtre Anti-Plat, une piste d'optimisation du temps de calcul serait de modifier la gestion des matrices de sorte à pouvoir valider les points deux par deux. En effet, lorsqu'on détecte un fort dénivelé entre le point courant et un de ses voisins, on pourrait valider le voisin en même temps que le point courant, mais cela nécessiterait qu'il soit enlevé de la liste de test tout en restant dans la liste de recherche de voisins.

# **III** Classification

Nous avons ensuite décidé de réaliser une classification du nuage de points afin de déceler une corrélation entre le nombre de points relevé dans une zone et le couvert végétal de cette zone. Cela dans le but d'obtenir la végétation présente sur le terrain directement par classification d'un nuage de points.

# A. Classification automatique

## 1) Utilisation de Kartapullautin

Kartapullautin est un logiciel dédié à la création de cartes de course d'orientation pour l'entrainement sans vérification sur le terrain. Il permet donc d'analyser un nuage de points LIDAR pour détecter la végétation et les courbes de niveau entre autre. Il est par exemple utilisé pour découvrir des zones intéressantes à cartographier, notamment dans des zones difficiles d'accès.

Pour lancer le calcul, il suffit de cliquer déposer le fichier contenant le nuage de points (extension laz dans notre cas) dans l'application « pullauta.exe ». Nous avons choisi d'utiliser directement le nuage brut fusionné et redimensionné afin de prendre en compte seulement la zone qui nous intéresse. A noter que l'application « las2txt » doit être présente dans le même dossier que l'application « pullauta » et le nuage de points. Après une quinzaine de minutes de calculs, nous disposons de plusieurs images représentant une visualisation de la végétation et des falaises, la même chose en ajoutant les dépressions en violet, les falaises seules et la végétation seule. Nous obtenons un premier résultat avec les paramétrages de base (photos ci-dessous).



*Résultat obtenu avec le paramétrage initial, comparaison avec les courbes de niveau présentes sur la carte topographique IOF* 

Nous nous rendons compte que les courbes de niveau ne collent pas vraiment avec celles présentes sur la carte topographique IOF ; cela est particulièrement flagrant au niveau de la maison de la partie Sud de la zone.

Pour finir, nous avons réalisé une comparaison de la végétation obtenue avec Kartapullautin par rapport à celle répertoriée sur la carte topographique IOF. Une nouvelle fois les résultats ne sont pas concluants. En effet, nous n'avons aucune différenciation entre les zones blanches et vertes de la carte topographique IOF, les clairières ne sont pas toujours visibles et nous avons du mal à faire une différenciation acceptable entre les différents niveaux de vert. C'est pourquoi nous avons essayé de faire varier l'étalonnage du paramètre « greenshades » dans le fichier « pullauta.ini ». Un premier test avec un étalonnage entre 0.15 et 0.35 mais nous avons obtenu une image « toute verte » (ci-dessous) ne permettant de déceler aucune différence dans la végétation.



Résultat avec un étalonnage entre 0.15 et 0.35

Un second étalonnage (0.5|1.0|1.5|2.0|2.5|3.0|5.0|10.0|20.0|99) a permis d'estomper les niveaux de vert obtenu tout d'abord. Cela semble alors un peu mieux coller à la réalité (notamment la différence blanc/vert) mais nous perdons toute précision sur les différents niveaux de vert.



*Résultat obtenu avec le second étalonnage* 

En conclusion, il semble nécessaire d'avoir une très bonne connaissance du logiciel pour pouvoir l'utiliser sereinement en obtenant des résultats satisfaisant. Cela en raison du paramétrage précis qu'il faut effectuer en connaissance du terrain. Il faut donc posséder au préalable une cartographie d'une partie de la zone (au niveau de la végétation présente) afin de pouvoir réaliser un étalonnage des paramètres en corrélation avec les premières informations que nous obtenons donc avec cette carte.

## 2) Utilisation de Toddler

Toddler offre un outil de visualisation de nuage de points 3D. Il possède également un outil de classification automatique fondé sur les différences d'altitude entre les points. En important un fichier au format .asc ou .mnt, le logiciel affiche le nuage de points et permet de le manipuler.



Le principal intérêt de ce logiciel est qu'il est pratique pour avoir une idée rapide du nombre de classes à créer dans un nuage de points

Par exemple dans le cas de notre nuage de points, Toddler détecte 8 classes différentes : sol, végétation basse, moyenne et haute, culture, bâtiments, route et bruit...

Lors de la classification sous ArcGis, nous utiliserons les classes déterminées par Toddler.

## 3) Utilisation d'Arcgis

Les deux outils précédents trouvent leurs limites assez rapidement, c'est pourquoi il est indispensable de travailler avec un logiciel puissant tel qu'ArcGis, et plus particulièrement le module ArcMap. Lors de l'import du jeu de données LAS, il est possible de modifier le type de représentation pour que le nuage apparaisse sous forme de classes. Dans les propriétés du jeu de données LAS, « classification » est choisie comme attribut. Nous la paramétrons avec l'outil de classification automatique selon la hauteur des points par rapport au sol estimé. Le nuage ainsi classifié est tel que ci-dessous :



Le but étant d'établir les réglages des filtres à appliquer pour détecter la végétation, la base géométrique est la carte topographique IOF sous forme vectorisée et géoréférencée. Le taux de remplissage d'une surface sera notre indicateur. Il s'agit du nombre de points d'une

certaine classe (sol, végétation, ...) dans une surface rapporté au nombre de points total contenus de la surface. En effet le nombre de points ne suffit pas seul à classifier les zones de végétation puisqu'il ne tient pas compte des superficies.

• Comptage du nombre de points LIDAR par zone de végétation :

Dans la boîte à outils d'ArcMAP nous utilisons l'outil "Statistiques de points LAS par surface" du module 3D Analyst. Celui-ci détermine le nombre de points inclus dans une surface ou un ensemble de surfaces données en spécifiant l'ID de la surface vectorisée. Il prend en entrée le nuage de points .lasd et la couche vectorisée de végétation. Il est possible d'ajouter des paramètres comme l'altitude minimale, maximale, moyenne de la surface...



Les paramètres des filtres sont séparés en deux parties. D'une part le type de végétation (haute, basse, sol, bâtiment, ...) et d'autre part le type de retour (si le point LIDAR est le premier retour du faisceau, le deuxième, le dernier, l'unique retour etc...). Le bon réglage permet de mettre en évidence les nuances entre les couverts végétaux.



Filtre pour la zone dégagée

Nous relevons le nombre de points LIDAR total et le nombre de points avec le filtre adapté à la télédétection de la zone de végétation (selon la densité du couvert végétal). Chaque couche de résultat est exportée séparément selon le type de végétation pour plus de clarté.

Par exemple le retour 1 du nuage LIDAR (figure 24) permet de télédétecter plus aisément les zones de végétation "dégagée".

Ensuite nous appliquons les filtres ainsi créés pour établir des statistiques sur les zones vectorisées de végétation. Voici l'ensemble des filtres testés :

Végétation basse + retour unique

Taux de remplissage dans les zones denses = 0,4 %.

Il permet l'identification des zones denses et moyennement denses. En effet la principale propriété des zones de végétation dense est l'omniprésence d'arbres, ainsi le faisceau LIDAR ne peut en aucun cas être retourné de manière unique au niveau du sol.

#### Végétation haute + retour 1

Taux de remplissage dans les zones denses = 69 %. Ce filtre facilite l'identification des zones de forêt. Il a l'effet opposé au premier filtre.

## Végétation moyenne + retour 2

Il permet de distinguer les zones denses des zones peu denses car les premières se caractérisent par non seulement des arbres, mais aussi des arbustes envahissant qui empêchent la progression. Le premier retour est au niveau de la canopée, puis le deuxième retour est, dans le cas de la végétation dense, au niveau de la strate médiane de végétation ; et dans le cas de la végétation peu dense au niveau du sol.

#### Végétation basse + retour 2

Taux de remplissage dans les zones denses = 9,7 %.

Taux de remplissage dans les zones praticables = 7,7 %.

Ce filtre avait pour objectif d'identifier les zones de végétation praticable par rapport aux zones denses. Les résultats ne sont pas assez nets pour permettre d'utiliser ce paramétrage en classification. Ceci est dû principalement au paramétrage de la classification automatique par hauteur (choix des hauteurs des différentes strates inadéquat).

C'est pourquoi il faut trouver un autre filtre pour remplir la même tâche.

Sol + retour 2

Taux de remplissage dans les zones denses = 6,8 %.

Taux de remplissage dans les zones praticables = 15,2 %.

Ce filtre différencie les zones praticables et végétation dense. En effet les zones praticables sont composées en général d'arbres hauts avec peu de végétation en dessous (ni moyenne ni basse). C'est pourquoi le deuxième retour du faisceau LIDAR retourne plus souvent le sol dans le cas de la végétation praticable que dans le cas de la végétation dense.

# B. Classification manuelle



#### Zone de classification manuelle

Dans le but de confirmer la qualité de la classification automatique par altitude, nous décidons d'opérer une classification manuelle d'une partie de notre zone. Nous avons découpé un nuage de points comprenant uniquement cette partie, puis nous avons enlevé toute classification existante dedans pour la reprendre à zéro. En utilisant l'outil de visualisation en coupe, nous pouvons voir une petite partie du nuage, vue de côté. Il est alors possible de sélectionné certains points et de leur donner un nouveau code de classe.



Application d'un code « sol » pour les points sélectionnés dans la coupe

Il faut donc pratiquer une série de coupes, de sorte à classifier la totalité du nuage. Il faut orienter les coupes dans le sens de la pente car, dans le cas contrairement, les points appartenant au sol se retrouvent les uns au-dessus des autres et il est possible de se tromper dans la classification. Nous avons pu déterminer la classification en 4 éléments principaux : le sol, la végétation basse (jusqu'à50cm de haut), la végétation moyenne (jusqu'à 1m50-70 de haut) et la végétation haute (au-delà de 1m50-70 de haut).



Coupe du terrain comprenant les diverses couches de végétations

Cette classification se fait donc à la main et l'opérateur attribue les classes en fonction de ce qu'il discerne de la coupe. Cette méthode est évidemment plus longue que la classification automatique (1 journée de travail pour cette zone en manuel, quelques minutes pour l'ensemble du site en automatique).

Filtre	Haute + retour1	Sol + retour2	Sol + retour2	Sol + retour2
Végétation	Dense	Semi-ouverte	Dense	Praticable
Automatique	69 % ± 9 %	19 % ± 5 %	7 % ± 3 %	15 %
Manuelle	75 % ± 8 %	16 % ± 7 %	12 % ± 3%	23 %

Une fois la classification terminée, nous appliquons les mêmes filtres qu'avec la classification automatique, de sorte à les comparer.

#### Comparaison des taux de remplissage (avec écart-type) obtenus avec la classification automatique et avec la classification manuelle

Globalement la classification manuelle donne les mêmes résultats en accentuant les différences entre classes, ce qui renforce la qualité de celle-ci. Nous pouvons donc affirmer que la classification automatique est cohérente et apporte des résultats réalistes. Le seul problème que l'on a constaté est au niveau de la végétation basse. En effet, lors de la saisie manuelle des points LIDAR, il est apparu que la distinction entre sol et végétation basse était compliquée, comme elle ne peut se baser que sur l'altitude des points les uns par rapport aux autres, sans prendre en compte d'autres éléments comme le numéro de retour. La classification manuelle est donc moins efficace que l'automatique pour gérer la végétation basse.

# Conclusion

Nous avons cherché à déterminer comment les données LIDAR pouvaient servir pour analyser un terrain et avoir connaissance des éléments pouvant influencer la progression pédestre. Nous voulions ainsi arriver à détecter les données topographiques des lieux et les strates de végétation.

L'utilisation de plusieurs logiciels nous a permis de comparer les résultats obtenus entre eux. Le logiciel Ocad semble être la plus à même de nous permettre de détecter les données présentent sur le terrain. Nous visualisons la plupart des falaises et nous avons une idée de la végétation, plus particulièrement des zones de clairières qui sont précises, et le relief est plus marqué qu'avec OL Laser. Cependant, seul OL Laser permet la visualisation de certains petits éléments tels des zones caillouteuses formant une butte. A noter qu'avec ce logiciel la visualisation des falaises est possible mais nous n'en connaissons pas les dimensions exactes (hauteur et longueur).

Cela nous a aussi permis d'estimer la qualité de leurs résultats par rapport à la réalité terrain et ce que le nuage de points LIDAR permet ou non de détecter. Les talus irréguliers, petites constructions (bories) ou les murets ne sont pas détectables à ce niveau de densité. Certaines falaises sont déformées par un manque de points, donnant des pentes fortes plutôt que la verticalité. D'autres falaises, qui sont des murs au moins deux fois plus hauts que larges, sont aplanies. Néanmoins, nous pouvons rapidement obtenir une détection générale de la structure du terrain qu'il est possible d'affiner par une reconnaissance terrain.

La structure de la végétation joue aussi un rôle important dans la progression pédestre, c'est pourquoi nous avons cherché à utiliser et créer des outils de classification à partir de données brutes telles que des zones géographiques et un jeu de données LAS. Nous avons rencontré des difficultés pour trouver les outils adéquats, mais une fois la démarche établie, nous avons pu obtenir des résultats satisfaisants qui, réutilisés dans le cadre de traitements automatiques, conduisent à la détection fiable des différents types de végétation.

Ce projet aura été l'occasion de découvrir ou du moins de mieux appréhender le domaine de l'analyse spatiale. Il nous a permis de nous familiariser avec de nombreux logiciels (Ocad, OL Laser, Kartapullautin, Matlab, ArcGis etc.) qui nous serons certainement à nouveau utiles dans nos travaux futurs. Nous avons pu mettre en pratique les techniques (notamment dans le domaine informatique, dont le développement) apprises tout au long de l'année. Nous avons aussi pu travailler sur le terrain ce qui est toujours plaisant et dépaysant par rapport au travail informatique seul. Nous avons ainsi découvert un environnement pour le moins original par la présence de murs de falaises recouverts par la végétation, ce que nous n'imaginons pas en arrivant sur les lieux. Il nous aura aussi permis de mieux appréhender le travail de groupe en devant gérer la répartition des tâches afin de gagner en temps. Pour cela, ce projet restera une expérience enrichissante dans un cadre de travail paisible.

Ce projet a permis de tester des outils qui peuvent être de bons moyens pour avoir une connaissance rapide du terrain d'une zone complexe et identifier les éléments qui peuvent influencer la progression pédestre. Ils peuvent avoir plusieurs applications. Tout d'abord, ces connaissances sont très utiles pour dessiner des cartes de CO et peuvent apporter un gain de temps aux organisateurs de ce sport. Mais c'est dans le monde de l'urgence qu'ils peuvent apporter beaucoup : ils permettraient aux secours de mieux connaitre le terrain et adapter leurs approches pour plus d'efficacité. De même, une opération militaire en terrain inconnu peut bénéficier d'une reconnaissance aérienne et ce malgré le couvert des arbres. Enfin, la classification des végétations permet de repérer les zones denses en végétation basse. Comme c'est la source principale de propagation des flammes en cas d'incendie, ces données peuvent aider dans la lutte contre les incendies en visualisant à l'avance les zones à risques à aménager ou à protéger.

# Remerciements

Nous voudrions remercier Hervé Quinquenel pour son aide et pour la constitution de la carte topographique IOF sur laquelle nous avons pu nous appuyer pour vérifier et comparer nos résultats.

Nous voudrions aussi remercier António Ferraz et Bruno Vallet pour leurs travaux dans le domaine de l'analyse des nuages de points LIDAR.