

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 118 (2020)

**Heft:** 6

**Artikel:** Gestaltung eines Modells auf der Grundlage von LiDAR-Daten und  
Integration eines 3D-Projekts = Modélisation d'une maquette sur la  
base de données LiDAR et intégration d'un projet 3D = Modellizzazione  
di una maquette in base ai dati LiDAR e all'integrazi...

**Autor:** Brunner, Julien

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-905950>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Gestaltung eines Modells auf der Grundlage von LiDAR-Daten und Integration eines 3D-Projekts

Der geometrische Mittelpunkt des Wallis ist nun bekannt. Ein Geometer aus der Region hat ihn mit der Unterstützung von swisstopo in den 2000er-Jahren berechnet. Der Mittelpunkt des Wallis befindet sich mitten im Wald, in der Nähe von St-Luc. Ein Totem, auf dem die Walliser Fahne weht, bezeichnet die genaue Stelle. Der AVECEV<sup>(1)</sup> möchte diesen Ort durch den Bau einer Passerelle um den geometrischen Mittelpunkt herum aufwerten.

J. Brunner

Das Ziel besteht darin:

1. eine Beobachtungsplattform zu schaffen
2. die Landschaft so wenig wie möglich zu beeinträchtigen
3. einen Hightechbau umzusetzen, der das lokale Know-how in sich vereint

Die beiden ersten Punkte sind entscheidend für das Projekt. Eine schlechte Darstellung der Bäume könnte dazu führen, dass der Bau misslingt. Die hier vorgestellte Arbeit wird sich also auf die Darstellung der Bäume konzentrieren, wobei eine LiDAR-Aufnahme<sup>(2)</sup> die einzige Grundlage dazu bildet. Ausserdem werden auch alle Auswertungen erstellt, die notwendig sind, um zu prüfen, ob die Ziele erreicht wurden oder nicht. Ist es möglich, eine Beobachtungsplattform mitten im Wald zu bauen, die die Landschaft und die Bäume so wenig wie möglich beeinträchtigt? Wir werden versuchen, auf diese Frage eine Antwort zu finden.

## 1. Darstellung der Elemente

Ziel dieses Schrittes ist die Übermittlung der für die Prüfung der Passerelle notwendigen Informationen an den Architekten. Die entsprechende Datei wird folgende Angaben enthalten: Lage der Stämme, Lage und Höhe der Wipfel, Einfluss der

Kronen und Topographie des betroffenen Gebiets. Der geometrische Mittelpunkt wird ebenfalls dargestellt sein.

Die Auswertung und Prüfung des LiDAR wurden im Vorfeld durchgeführt. Seine wichtigsten Eigenschaften sind folgende:

- Dichte: ~70 Punkte pro m<sup>2</sup>
- Klassifizierung: nach dem ASPRS-Standard<sup>(3)</sup>
- Genauigkeit: ~10 cm

### a. Konturlinien

Ein DTM<sup>(4)</sup> wurde mit der Software ArcGis und der IDW-Interpolation<sup>(5)</sup> umgesetzt. Um das Rauschen aufgrund der Punktdichte zu reduzieren, wurde es gefiltert. Die Konturlinien wurden auf dieser Grundlage berechnet. Um die Datenmenge zu verringern, wurden die Linien mithilfe einer FME-Routine generalisiert.

Diese Methode wurde überprüft, indem mehrere unverarbeitete LiDAR-Höhenwerte mit den interpolierten Höhenwerten derselben Positionen auf dem gefilterten DTM verglichen wurden. Das Ergebnis (durchschnittlicher HF von 4 cm und Standardabweichung von 5 cm) zeigt, dass der Workflow keine Auswirkungen auf die ursprüngliche Genauigkeit der Punktwolke hat.

### b. Segmentierung

Das Ziel besteht darin, die drei grundlegenden Bestandteile eines Baumes darzustellen, nämlich:

- den Wipfel (3D-Punkt)
- den Stamm (2D-Punkt)
- die Krone (2D-Polygon)

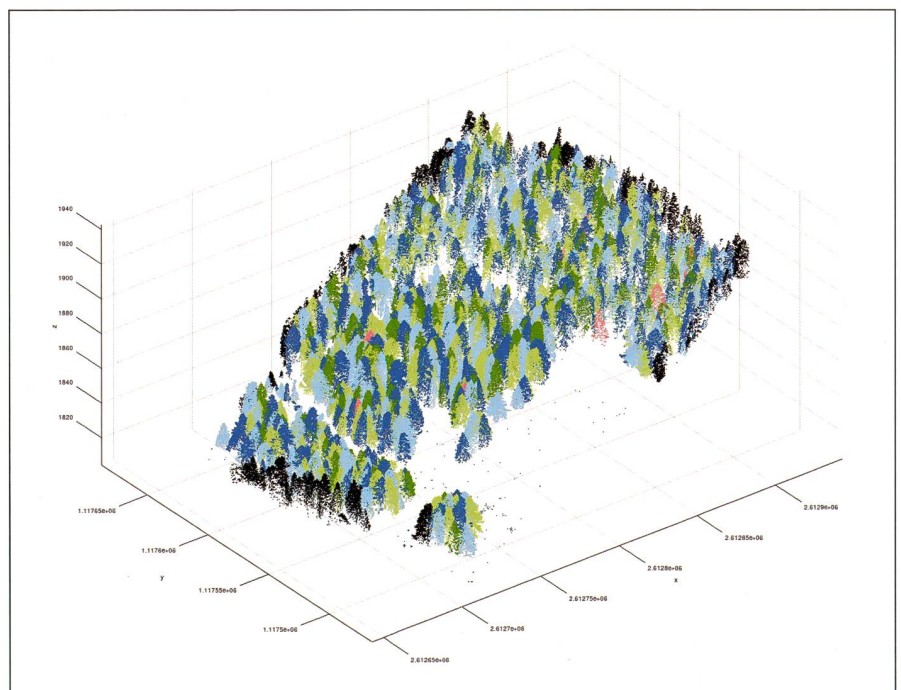


Abb. 1: Gefärbte Punktwolke (ohne Massstab).

Fig. 1: Nuage de points colorisé (sans échelle).

Fig. 1: Nuvola di punti colorizzata (senza scala).

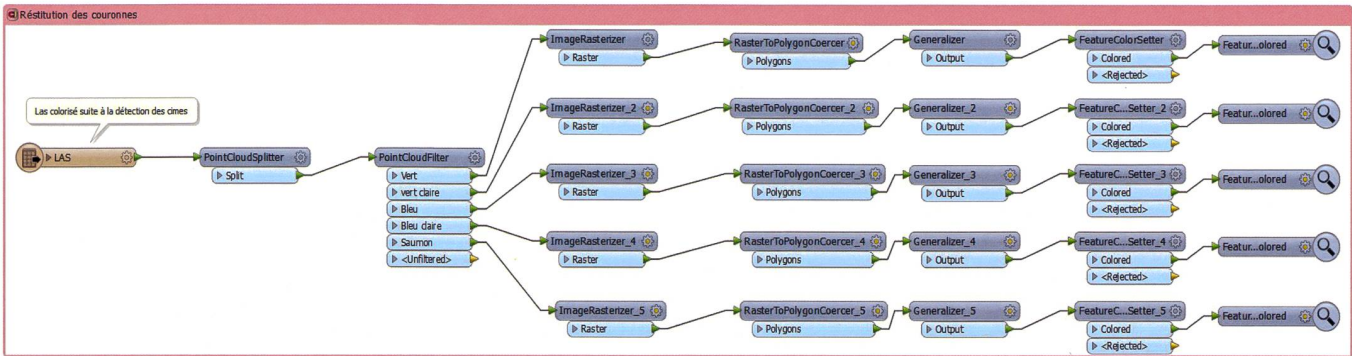


Abb. 2: Vorgehen bei der Darstellung der Kronen.

Fig. 2: Processus de restitution des couronnes.

Fig. 2: Processo di renderizzazione delle corone.

**Wipfel**

Für die Darstellung wurden Codes verwendet, die im Programm Octave implementiert sind. Ein Wolkenpunkt wird als Wipfel festgelegt, wenn in einem festgelegten Radius kein anderer Punkt höher liegt. Der Radius ist proportional zur Höhe des Baumes. Diese Höhe wird auf der Grundlage der digitalen Modelle (Terrain-, Baumkronen- und Höhenmodell) ermittelt, die vorab berechnet wurden. Ein Algorithmus ermöglicht es dann, jedem Wipfel die entsprechenden LiDAR-Wolkenpunkte zuzuweisen. Die beiden erzielten Ergebnisse sind eine Wolke, deren Punkte entsprechend ihrer Zugehörigkeit gefärbt sind, sowie die 3D-Position der Wipfel.

**Kronen**

Die Darstellung der Kronen erfolgt mithilfe einer FME-Routine auf der Grundlage der gefärbten Punktwolke, die bei der Ermittlung der Wipfel entstand. Die Wolke wird zunächst unterteilt und anschliessend gemäss den Farben der Wipfel gefiltert. Die einzelnen Wolken werden dann in Raster-Grids von 50 cm umgewandelt. Abschliessend werden die äusseren Zellen der einzelnen Bäume miteinander verbunden und dann pro Segment von maximal 20 cm geglättet. Der Vorteil dieses Vorgehens ist, dass die Kronen entsprechend ihrer tatsächlichen Form dargestellt werden.

**Stämme**

Die in Octave implementierten Codes ermöglichen die Darstellung der Stämme.

Sie stützen sich auf einen einfachen Grundsatz: Die Dichte der Vegetationspunkte ist in der Nähe eines Stammes höher. Auf diese Weise können wir die Lage aller Stämme und ihre Höhe bestimmen. Die Geländehöhe wird durch Interpolation auf dem DTM berechnet.

**c. Prüfung der Segmentierung**

Wir haben eine zweite unabhängige Erkennungsmethode verwendet: die manuelle Segmentierung. Diese manuelle Erkennungsmethode wurde mit der automatischen Methode verglichen. Die Prüfung der Wipfel hat zufriedenstellende Ergebnisse geliefert. Die Analyse für die Stämme hingegen ist komplizierter. Aufgrund der Erfassungsmethode (LiDAR) liegt es auf der Hand, dass gewisse Informationen über das Unterholz verloren gingen. Diese müssen folglich mit einer terrestrischen Aufnahme ergänzt werden. Die Kronen werden mit einem MNC<sup>(6)</sup> verglichen. Ihre Geometrien sind im Grossen und Ganzen winkeltreu.

**2. Analysen**

In diesem Schritt werden drei Ziele verfolgt:

1. die Auswirkungen der Passerelle auf die Bäume prüfen
2. die Höhe der Passerelle beurteilen
3. die Lage der Passerelle unter Berücksichtigung der verschiedenen in der Einleitung beschriebenen Ziele beurteilen

Die Lage und die Grösse der Passerelle sind nun bekannt. Bevor wir mit den Analysen begonnen haben, haben wir die Höhe der Passerelle durch Interpolation mit dem DTM berechnet.

**a. Folgenabschätzung Stamm**

Diese Analyse wird es ermöglichen, die Anzahl Bäume zu bestimmen, die vom Bau der Passerelle betroffen sind (betroffen oder gefällt). Alle Berechnungen wurden mit Excel durchgeführt. Alle Stämme, die sich in der Pufferzone von 2 m um die Passerelle befinden, werden selektiert. Die Höhe der einzelnen Bäume wird vom Bodenabstand der Passerelle subtrahiert. Die Differenz zwischen der Höhe der Passerelle und der Höhe des Stammes ergibt den Umfang der Fällung. Der Umfang der Fällung kann in Form eines Prozentsatzes mit der Höhe des Stammes in Beziehung gesetzt werden. Wenn über 30% der Höhe des Stammes entfernt werden, gilt dieser als gefällt.

**Krone**

Alle Punkte in der Pufferzone wurden beibehalten. Es wurde die gleiche Routine wie für die Segmentierung angewandt. Auf diese Weise können wir die Kronen bestimmen, die vom Projekt betroffen sind.

**b. Beurteilung der Höhe**

Die Höhe der Wipfel unterhalb der Passerelle wurde mit der Höhe der Passerelle verglichen. Um ein möglichst realistisches

Bild zu zeichnen, haben wir eine zusätzliche Höhe hinzugefügt, um die Augenhöhe eines Spaziergängers zu erreichen. Alle Wipfel, die höher als die Augenhöhe sind, würden die Sicht behindern, falls die Passerelle gebaut würde (nachstehend: «kritische Wipfel»).

Wir haben auch das Wachstum der Bäume der nächsten fünf Jahre berücksichtigt und die gleichen Berechnungen durchgeführt. Auf diese Weise kann die Entwicklung der Vegetation ab Datenerfassung vorweggenommen werden (nachstehend: «Wipfel, die in den nächsten fünf Jahren kritisch werden»).

### c. Beurteilung der Position

Die Analysen haben folgende Ergebnisse geliefert:

Gefällte Stämme: 30

Gefällte Kronen: 17

Veränderte Kronen: 23

Kritische Wipfel: 22

Wipfel, die in den nächsten fünf Jahren kritisch werden: 9

### d. Auswertung der Analysen

Für die Auswertung der Ergebnisse müssen einige Vorkehrungen getroffen und die Herkunft der Daten sowie die verwendete Methode berücksichtigt werden.

Die Wipfel werden mit verschiedenen Methoden geprüft. Das Ergebnis kann als

verlässlich betrachtet werden. Wie die Abbildung 3 zeigt, behindern die kritischen Wipfel die Sicht nicht. Die Tabelle 1 zeigt, dass die Wipfel, die in den nächsten fünf Jahren kritisch werden, keine grossen Auswirkungen auf das Panorama haben werden.

Die Auswertung bei den Stämmen hingegen ist anspruchsvoller. Hier muss auch der Teil der Stämme im Unterholz berücksichtigt werden. Diese Daten werden mit einer terrestrischen Aufnahme ergänzt.

## 3. Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Ausblick

Das 3D-Modell mit der in ihre Umgebung eingebetteten Passerelle konnte auf der Grundlage der Ergebnisse der einzelnen Schritte umgesetzt werden. Es gibt zahlreiche Verbesserungsmöglichkeiten. Diese werden nach dem Ermessen des Vereins geprüft.

Die verschiedenen Analysen sind verlässlich und werden eine schnelle Aktualisierung der Ergebnisse ermöglichen, wenn die Daten einmal mit einer terrestrischen Aufnahme ergänzt sein werden.

Abschliessend und um die einleitende Frage zu beantworten, können die Ziele erreicht werden. Wir werden allerdings nicht umhinkommen, einige Bäume zu fällen. Nichtsdestotrotz wurde die Passe-

relle so entworfen, dass sie sich bestmöglich in die Umgebung einfügt.

Eine Visualisierung des 3D-Modells ist unter folgendem Link abrufbar: [www.centre-du-valais.ch](http://www.centre-du-valais.ch).

### Anmerkungen:

(1) AVECEV: «Association pour la Valorisation et l'Exploitation du Centre d'Équilibre du Valais», Verein zur Aufwertung und Erschliessung des Mittelpunkts des Wallis

(2) LiDAR: Light Detection And Ranging (Fernmesstechnik, die sich auf die Analyse der Eigenschaften eines Lichtstrahls stützt, der von einem Objekt reflektiert wird.

(3) ASPRS-Standard (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing): Standardklassifizierung einer LiDAR-Punktwolke.

(4) DTM: digitales Terrainmodell

(5) IDW: IDW-Interpolation (Inverse Distance Weighted). Sie ermittelt den Zellenwert mit einer linear gewichteten Kombination verschiedener Referenzpunkte.

(6) MNC: «Modèle Numérique de la Canopée», digitales Baumkronenmodell

Julien Brunner

Geomatiktechniker FA

Ingénieurs et Géomètres Elzingre SA

Route de Chippis 44

CH-3966 Chalais

[julien.brunner@elzingre.ch](mailto:julien.brunner@elzingre.ch)

# Modélisation d'une maquette sur la base de données LiDAR et intégration d'un projet 3D

Le centre d'équilibre du Valais est connu. Il a été calculé dans les années 2000 par un technicien de la région, avec l'appui de swisstopo. Situé en pleine forêt, proche de St-Luc, ce point est représenté par un totem, orné du drapeau valaisan. L'AVECEV<sup>(1)</sup> a pour projet la valorisation de ce lieu en construisant une passerelle gravitant autour du centre.

---

J. Brunner

---

Les objectifs sont:

1. la création d'un point d'observation
2. un impact minimal sur le paysage
3. une construction high-tech regroupant le savoir-faire local

Les deux premiers points sont cruciaux pour le projet. Une mauvaise restitution des arbres pourrait se traduire par un échec lors de la construction. Le travail présenté ici va donc se concentrer sur la restitution des arbres, avec pour seule base un relevé LiDAR<sup>(2)</sup> et de créer toutes les analyses qui permettront de définir si les objectifs sont atteints ou non. Est-il possible de créer un

point d'observation, en pleine forêt, avec un impact minimal sur le paysage et les arbres? C'est à cette question que nous allons essayer de répondre.

## 1. Restitution des éléments

L'objectif de cette étape est de transmettre à l'architecte les informations nécessaires à l'étude de la passerelle. Le fichier final devra comprendre la position des troncs, la position et l'altitude des cimes, l'emprise des couronnes et une topographie de la zone. Le centre d'équilibre sera également représenté.

L'analyse et le contrôle du LiDAR ont été réalisés en amont. Ses caractéristiques principales sont les suivantes:

- densité: ~70 pts au m<sup>2</sup>
- classification: selon le standard ASPRS<sup>(3)</sup>
- précision: ~10 cm

### a. Courbes de niveau

Un MNT<sup>(4)</sup> a été réalisé avec le logiciel ArcGis, avec l'interpolation IDW<sup>(5)</sup>. Pour limiter le bruit consécutif à la densité de points, il a ensuite été filtré. Les courbes de niveau ont été calculées sur cette base. Afin de diminuer le volume de données, les courbes ont été généralisées via une routine FME.

Cette méthode a été contrôlée en comparant plusieurs altitudes brutes du LiDAR avec les altitudes interpolées, aux mêmes emplacements, sur le MNT filtré. Le résultat (FH moyen de 4 cm et un écart type de 5 cm) nous démontre que le processus de production n'a pas altéré la précision initiale du nuage de points.

### b. Segmentation

Le but est de restituer les 3 principaux éléments d'un arbre, à savoir:

- la cime (point en 3D)
- le tronc (point en 2D)
- la couronne (polygone 2D)

### Cimes

Cette restitution est réalisée sur la base de codes implémentés dans le programme Octave. Un point du nuage est déterminé comme cime si, dans un rayon défini, aucun autre point ne se situe plus

haut. Ce rayon est proportionnel à la hauteur de l'arbre. Cette hauteur est calculée sur la base des modèles numériques, (du terrain, de la canopée et de hauteur) calculés au préalable.

Un algorithme permet ensuite d'attribuer, pour chaque cime, les points du nuage LiDAR lui appartenant. Les 2 résultats obtenus sont un nuage dont les points sont colorisés en fonction de leur appartenance, ainsi que la position 3D des cimes.

### Couronnes

Cette restitution est réalisée grâce à une routine FME, sur la base du nuage de points colorisé lors de la détection des cimes.

Tout d'abord, le nuage est coupé puis filtré selon les couleurs des cimes. Les différents nuages sont ensuite transformés en grilles raster de 50 centimètres. Pour finir, les cellules extérieures de chaque arbre sont reliées entre elles, puis sont lissées par segment d'au maximum 20 centimètres.

Ce processus a pour avantage de restituer des couronnes conformes à leur forme réelle.

### Troncs

Les codes implémentés dans Octave permettent la restitution des troncs. Ils sont basés sur un principe simple: la densité des points de végétation est plus élevée à l'approche d'un tronc.

Nous obtenons ainsi la position de tous les troncs avec leur hauteur. L'altitude au sol est calculée par interpolation sur le MNT.

### c. Contrôle de la segmentation

Nous avons procédé à une deuxième détection indépendante: la segmentation manuelle. Cette détection manuelle a été comparée à la méthode automatique.

Si le contrôle des cimes a donné un résultat concluant, l'analyse est plus compliquée pour les troncs. Au regard de la méthode de saisie (LiDAR), il paraît évident que certaines informations en sous-bois ont été perdues. Il faudra donc les compléter avec un relevé terrestre.

Les couronnes sont comparées avec un

MNC<sup>(6)</sup>. Leurs géométries sont globalement conformes.

## 2. Analyses

Cette étape comporte trois objectifs distincts:

1. analyser l'impact de la passerelle sur les arbres
2. évaluer la hauteur de la passerelle
3. évaluer le positionnement de la passerelle par rapport aux différents buts énoncés en introduction

La position et les dimensions de la passerelle sont maintenant connus. Avant de commencer les analyses, nous avons calculé son altitude par interpolation avec le MNT.

### a. Analyse de l'impact

#### Tronc

Cette analyse va permettre de chiffrer le nombre d'arbres impactés (touchés ou abattus) par la construction de la passerelle. Tous les calculs sont réalisés sur Excel. Tous les troncs se situant dans la zone tampon de 2 m autour de la passerelle sont sélectionnés. L'altitude de chaque arbre est soustraite à la hauteur sur sol de la passerelle. La différence entre la hauteur de la passerelle et la hauteur du tronc nous donne la taille de la coupe. Cette taille de coupe peut être mise en relation avec la hauteur du tronc, sous la forme d'un pourcentage. Si le tronc est coupé de plus de 30% de sa hauteur, il est défini comme abattu.

#### Couronne

Tous les points situés dans la zone tampon ont été conservés. La même routine que pour la segmentation a été appliquée. Nous obtenons ainsi les couronnes impactées par le projet.

### b. Evaluation de la hauteur

L'altitude des cimes situées en aval de la passerelle a été comparée à la hauteur de la passerelle. Pour être plus réaliste, nous avons ajouté une hauteur supplémentaire pour trouver une altitude au niveau des yeux d'un promeneur. Toutes les cimes se trouvant plus élevées que le niveau des

yeux sont des cimes qui gêneraient la vue, si la passerelle était construite (ci-après: «Cimes critiques»).

Nous avons également pris en compte la croissance des arbres sur cinq ans et refait ces mêmes calculs. Cela permet d'anticiper l'évolution de la végétation depuis la saisie des données (ci-après: «Cimes critiques d'ici à cinq ans»).

### c. Evaluation du positionnement

Les résultats des analyses sont les suivants:

- Troncs abattus: 30
- Couronnes abattues: 17
- Couronnes modifiées: 23

Cimes critiques: 22  
Cimes critiques d'ici à cinq ans: 9

### d. Interprétation des analyses

Il est nécessaire de prendre certaines précautions concernant l'interprétation de ces résultats et de prendre en compte la provenance des données ainsi que la méthode employée.

Les cimes sont contrôlées par diverses méthodes. Le résultat peut être considéré comme fiable. Comme le démontre la figure 3, les cimes critiques ne gêneront pas la vue. Le tableau 1 démontre que les cimes critiques d'ici à cinq ans auront peu d'impact sur le panorama.

L'interprétation est en revanche plus délicate concernant les troncs. Il faut prendre en compte le taux de restitution des troncs en sous-bois. Ces données seront complétées par un relevé terrestre.

## 3. Résultats, conclusions et perspectives

La maquette 3D représentant la passerelle dans son environnement a pu être réalisée sur la base des résultats des différentes étapes. Les possibilités d'amélioration sont vastes. Celles-ci seront étudiées à la discrétion de l'association.

Les diverses analyses sont fiables et permettront, une fois les données complétées par un relevé terrestre, une mise à jour rapide des résultats.

En finalité, et pour répondre à la question de l'introduction, les objectifs sont réalisables. Nous ne pourrions pas échapper à l'abattage de certains arbres. Néanmoins, la passerelle a été étudiée pour une intégration maximale au site.

Une visualisation de la maquette 3D est disponible sur le site suivant: [www.centre-du-valais.ch](http://www.centre-du-valais.ch)

note:

- (1) AVECEV: Association pour la Valorisation et l'Exploitation du Centre d'Équilibre du Valais.
- (2) LiDAR: Light Detection And Ranging (technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur).
- (3) Standard ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing): classification standard d'un nuage de point LiDAR.
- (4) MNT: Modèle Numérique du Terrain.
- (5) IDW: Interpolation de pondération par l'inverse de la distance. Elle détermine la valeur des cellules via la combinaison pondérée de manière linéaire d'un ensemble de points.
- (6) MNC: Modèle Numérique de la Canopée.

Julien Brunner  
Technicien en géomatique avec Brevet  
Fédéral  
Ingénieurs et géomètres Elzingre SA  
Route de Chippis 44  
CH-3966 Chalais  
[julien.brunner@elzingre.ch](mailto:julien.brunner@elzingre.ch)

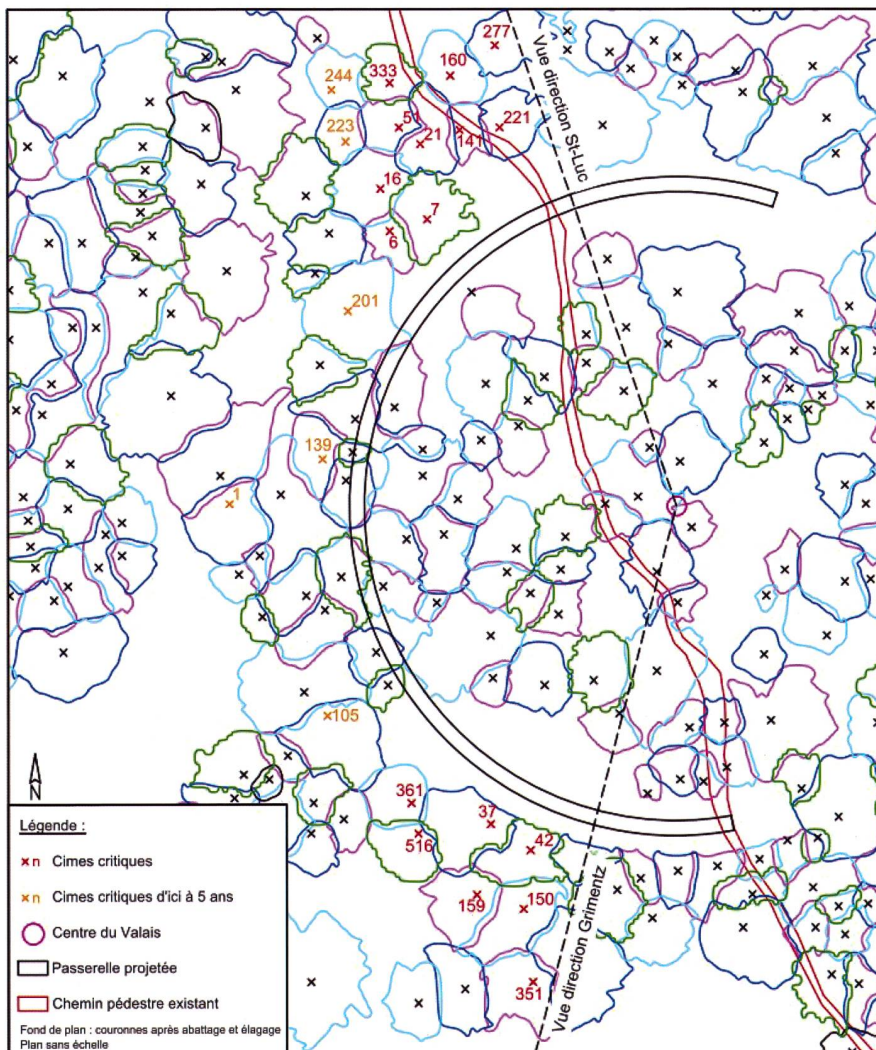


Fig. 3: Situation des cimes critiques et critiques d'ici à cinq ans.

Abb. 3: Situation der kritischen Wipfel und der Wipfel, die es in den nächsten fünf Jahren sein werden.

Fig. 3: Situazione delle cime critiche e critiche tra cinque anni.

# Modellizzazione di una maquette in base ai dati LiDAR e all'integrazione di un progetto 3D

Il centro di equilibrio geografico del Vallese è noto poiché è stato calcolato negli anni 2000 da un tecnico della regione con il sostegno di swisstopo. Situato nel bel mezzo della foresta, vicino a St-Luc, questo punto è rappresentato da un totem in legno, ornato dalla bandiera vallesana. L'AVECEV<sup>(1)</sup> mira alla valorizzazione di questo luogo costruendo una passerella che gravita attorno a questo centro.

*J. Brunner*

Lo scopo è:

1. creare un punto d'osservazione
2. avere un impatto minimo sul paesaggio
3. costruire un elemento high-tech aggregando le conoscenze locali

I due primi punti sono fondamentali per il progetto. Un rendering imperfetto degli alberi potrebbe tramutarsi in un insuccesso durante la costruzione. Questo lavoro di diploma è quindi incentrato unicamente sul rendering degli alberi, avendo come unica base un rilievo LiDAR<sup>(2)</sup>, e sul fatto di allestire tutte le analisi che consentiranno di definire se gli obiettivi sono stati raggiunti o meno. È possibile creare un punto d'osservazione, in piena foresta, con un impatto minimo sul paesaggio e sugli alberi? Questo è l'interrogativo a cui si cercherà di fornire una risposta.

## 1. Renderizzazione degli elementi

L'obiettivo di questa tappa consiste nel trasmettere all'architetto le informazioni necessarie per lo studio della passerella. Il file finale dovrà contenere la posizione dei tronchi, la posizione e l'altezza delle cime, l'entità delle corone e una topografia della zona. Si rappresenterà anche il centro di equilibrio.

L'analisi e il controllo del LiDAR sono stati realizzati preliminarmente. Queste sono

le sue caratteristiche principali:

- densità: ~70 punti per m<sup>2</sup>
- classificazione: secondo lo standard ASPRS<sup>(3)</sup>
- precisione: ~10 cm

### a. Curve di livello

Un MDT<sup>(4)</sup> è stato realizzato con il software ArcGis, con l'interpolazione IDW<sup>(5)</sup>. Per limitare il rumore correlato alla densità dei punti si è provveduto a filtrarlo. Le curve di livello sono state calcolate su questa base. Per ridurre il volume dei dati, le curve sono state generalizzate attraverso una routine FME.

Questo metodo è stato controllato confrontando diverse altitudini lorde del LiDAR con le altitudini interpolate, nelle stesse posizioni, sul MDT filtrato. Il risultato (FH medio di 4 cm e uno scarto tipico di 5 cm) sta a indicare che il processo di produzione non ha alterato la posizione iniziale della nuvola di punti.

### b. Segmentazione

L'obiettivo è di restituire i tre elementi principali di un albero, cioè:

- la cima (punto in 3D)
- il tronco (punto in 2D)
- la corona (poligono 2D)

### Cime

Questa renderizzazione è realizzata grazie a codici impiantati nel programma Octave. Un punto della nuvola è determinato

come cima se, in un raggio definito, nessun altro punto è situato più in alto. Questo raggio è proporzionale all'altezza dell'albero. Quest'altezza è calcolata sulla base di modelli digitali (del terreno, delle chiome e dell'altezza) calcolati precedentemente.

Un algoritmo consente successivamente di attribuire, per ogni cima, i punti della nuvola LiDAR a esso correlati. I 2 risultati ottenuti sono una nuvola di punti colorizzati in funzione alla loro appartenenza nonché alla posizione 3D delle cime.

### Corone

Questa renderizzazione è realizzata grazie a una routine FME, sulla base della nuvola di punti colorizzati durante la detezione delle cime.

La nuvola è dapprima tagliata e poi filtrata in base ai colori delle cime. Le varie nuvole sono successivamente trasformate in griglie raster di 50 centimetri. Infine, le celle esterne di ogni albero sono collegate tra loro e poi lisce per segmenti di 20 centimetri al massimo.

Questo procedimento offre il vantaggio di restituire le corone secondo la loro forma reale.

### Tronchi

I codici implementati in Octave consentono la renderizzazione dei tronchi. Si basano su un principio semplice: la densità dei punti della vegetazione è più alta in vicinanza di un tronco.

In tal modo si ottiene la posizione di tutti i tronchi con la loro altezza. L'altitudine dal suolo è calcolata tramite interpolazione sul MDT.

### c. Controllo della segmentazione

Abbiamo effettuato un secondo rilievo indipendente: la segmentazione manuale. Questa detezione manuale è stata confrontata con il metodo automatico.

Se il controllo delle cime ha portato a un risultato soddisfacente, l'analisi è più complessa per i tronchi. In merito al metodo di rilievo (LiDAR) sembra palese che determinate informazioni sul sottobosco siano andate perse. Sarà quindi

necessario completarle con un rilevamento terrestre.

Le chiome sono confrontate con un MDC <sup>(6)</sup>. Le loro geometrie sono nel complesso conformi.

## 2. Analisi

Questa tappa comporta tre obiettivi distinti:

1. analizzare l'impatto della passerella sugli alberi
2. valutare l'altezza della passerella
3. stimare la posizione della passerella rispetto ai diversi obiettivi menzionati nell'introduzione

Adesso sono note la posizione e le dimensioni della passerella. Prima di iniziare le analisi abbiamo calcolato la sua altezza tramite interpolazione con il MDT.

### a. Analisi dell'impatto

#### Tronco

Quest'analisi consentirà di quantificare il numero di alberi impattati (toccati o abbattuti) dalla costruzione della passerella. Tutti i calcoli sono effettuati in Excel.

Si procede a selezionare tutti i tronchi che si trovano nella zona cuscinetto di 2 m attorno alla passerella. Dall'altezza al suolo della passerella si sottrae l'altezza al suolo di ogni albero. La differenza tra l'altezza della passerella e l'altezza del tronco ci fornisce la dimensione del taglio. Quest'ultima viene relazionata all'altezza del tronco, sotto forma di percentuale. Se il tronco è tagliato per più del 30% della sua altezza, viene definito come «tagliato».

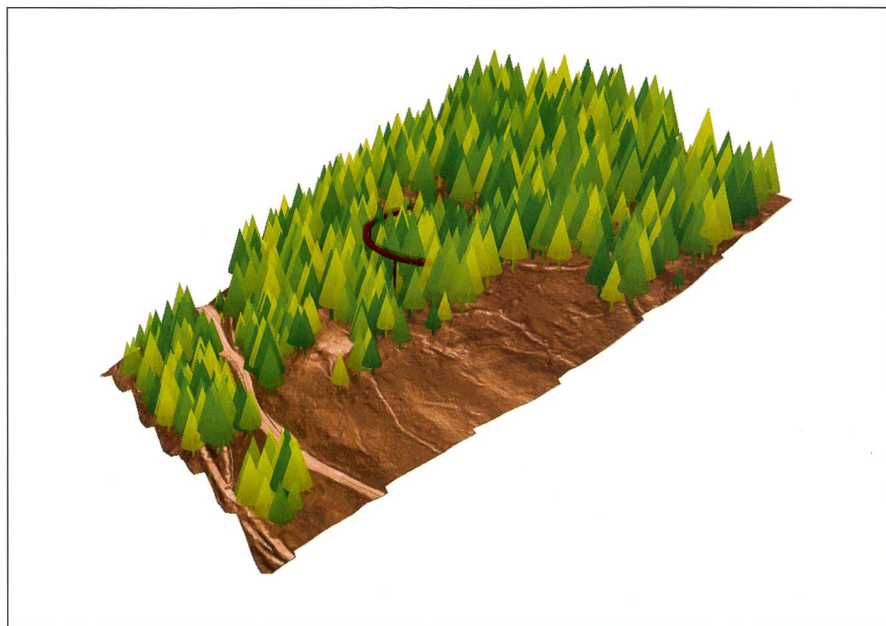


Fig. 4: Maquette finale (senza scala).

Abb. 4: Finales Modell (ohne Massstab).

Fig. 4: Maquette finale (sans échelle).

#### Corona

Tutti i punti situati nella zona cuscinetto sono stati conservati. Si applica lo stesso procedimento come per la segmentazione. In tal modo si ottengono le chiome impattate dal progetto.

### b. Valutazione dell'altezza

L'altezza delle cime situate a valle della passerella è stata confrontata all'altezza della passerella. Per essere più vicini alla realtà abbiamo aggiunto un'altezza supplementare per trovare un'altezza al livello degli occhi degli escursionisti. Tutte le cime che si trovano al di sopra dell'altezza

degli occhi sono delle cime che disturbano la visuale se la passerella fosse edificata (qui di seguito definite: «cime critiche»).

Abbiamo anche preso in considerazione la crescita degli alberi in cinque anni e rifatto gli stessi calcoli. Questo ci consente di anticipare l'evoluzione della vegetazione dalla raccolta dei dati (qui di seguito definite: «cime critiche tra cinque anni»).

### c. Valutazioni di posizionamento

I risultati delle analisi sono i seguenti:

- Tronchi abbattuti: 30
- Corone abbattute: 17
- Corone modificate: 23
- Cime critiche: 22
- Cime critiche tra cinque anni: 9

### d. Interpretazione delle analisi

È indispensabile adottare alcune misure precauzionali per l'interpretazione di questi risultati e tenere in considerazione la provenienza dei dati nonché il metodo utilizzato.

Le cime sono controllate in diversi modi. Il risultato può essere considerato affidabile. Come indicato sull'immagine 3, le cime critiche non disturbano la visuale. La

Estimation des cimes critiques d'ici à 5 ans			
Point	Alti. [m]	Alti. projetée [m]	FH [m]
201	1877.41	1879.41	-1.41
1	1876.87	1878.87	-0.87
105	1876.75	1878.75	-0.75
244	1876.59	1878.59	-0.59
223	1876.32	1878.32	-0.32
139	1876.03	1878.03	-0.03

Tab. 1: Tabella delle cime critiche tra cinque anni (elencate fig. 3).

Tab. 1: Tabelle der Wipfel, die in den nächsten fünf Jahren kritisch sein werden (in Abbildung 3 dargestellt).

Tab. 1: Tableau des cimes critiques dans cinq ans (affichées sur la fig. 3).



tabella 1 mostra che anche nel periodo da adesso a tra cinque anni le cime critiche avranno un impatto irrilevante sul panorama.

L'interpretazione è tuttavia più sensibile in relazione ai tronchi. Bisogna tenere in considerazione il tasso di resa concernente i tronchi. Questi dati saranno completati da un rilevamento terrestre.

### 3. Risultati, conclusioni e prospettive

La maquette 3D raffigurante la passerella inserita nel suo ambiente è stata realizzata in base ai risultati delle diverse tappe. Ci sono ampie possibilità di miglioramento che saranno vagliate discrezionalmente dall'associazione.

Le varie analisi sono affidabili e consentiranno, una volta completati i dati tramite

un rilevamento terrestre, di effettuare un aggiornamento rapido dei risultati.

Concludendo, per rispondere all'interrogativo iniziale è possibile affermare che gli obiettivi sono realizzabili. Non riusciremo pertanto a sfuggire all'abbattimento di certi alberi. In ogni caso, la passerella è stata studiata per essere integrata al massimo nell'ambiente circostante.

Una visualizzazione della maquette 3D è disponibile sul sito seguente: [www.centre-du-valais.ch](http://www.centre-du-valais.ch)

*nota:*

(1) AVECEV: Association pour la Valorisation et l'Exploitation du Centre d'Équilibre du Valais.

(2) LiDAR: Light Detection And Ranging (tecnica di misurazione della distanza basata sull'analisi delle proprietà di un fascio di luce rimandato verso il suo emittente.

(3) Standard ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing): classificazione standard di una nuvola di punti LiDAR.

(4) MDT: Modello Digitale del Terreno.

(5) IDW: Interpolazione dell'inverso della distanza. Serve a determinare il valore delle celle attraverso la combinazione ponderata del metodo lineare di un insieme di punti.

(6) MDC: Modello Digitale delle Chiome.

Julien Brunner

Tecnico in geomatica con attestato federale

Ingénieurs et géomètres Elzingre SA

Route de Chippis 44

CH-3966 Chalais

[julien.brunner@elzingre.ch](mailto:julien.brunner@elzingre.ch)



## Unsere präzisen Lösungen erfüllen Ihre Anforderungen.

Steigern Sie die Produktivität durch präziseres und effizienteres Arbeiten sowie einer exakten Planung im Vorfeld. Vom Konzept bis zur Fertigstellung bieten unsere Geodatenlösungen eine sichere Vernetzung, intuitive Software und präzise Messinstrumente, von denen Sie profitieren.

### FIELDWORK

Maschinenkontroll- und Vermessungssysteme AG  
Bleichelstrasse 22, CH-9055 Bühler, [www.fieldwork.ch](http://www.fieldwork.ch)

**TOPCON**  
AUTHORIZED DEALER