A 3D point cloud visualization of a road embankment. The road surface is dark grey, and the embankment is light grey. There are several trees and bushes scattered across the scene. Three orange text boxes are overlaid on the image. A scale bar and a 3D coordinate system (X, Y, Z) are visible in the bottom right corner.

DONNÉES 3D MLS ET GESTION DES RISQUES EN TALUS : CARACTÉRISATION DES SURPLOMBS

Séminaire SFPT : Données, algorithmes et applications 3D

P. Azemard Cerema GéoCoD ; M. A. Chanut Cerema GéoCoD ; Y. Fargier Univ. Eiffel RRO

17 Mars 2025

Sommaire

1. Objectifs
2. Présentation des données 3D MLS
3. Indicateurs des méthodes de priorisation du risque
4. Méthode développée pour la détection & caractérisation des surplombs
5. Conclusions et Perspectives



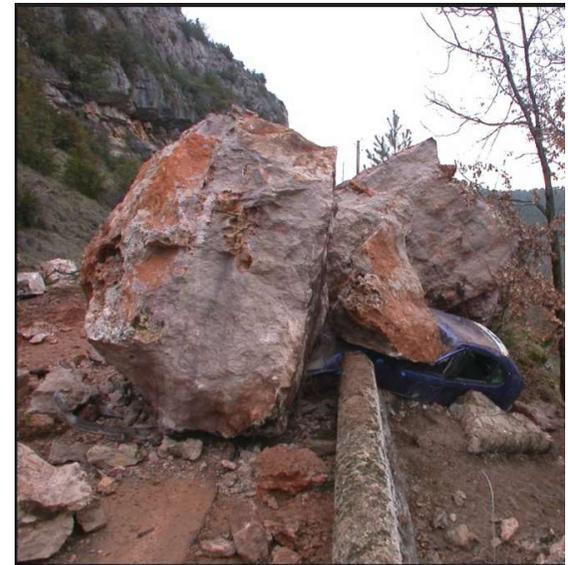
1. Contexte et objectifs

- **Contexte**

- Les Scanners Laser Mobiles (MLS) sont de plus en plus utilisés pour la gestion des infrastructures et de leurs équipements (panneaux, dispositifs de retenu, gabarits, etc.)
- Données exploitables pour la caractérisation des risques de chute de blocs depuis les zones visibles

- **Objectifs & moyens**

- Définir des indicateurs pertinents à l'échelle d'un itinéraire à partir de descripteurs issus du MLS
- Analyse morphologique détaillée à l'échelle décimétrique et/ou submétrique ; basée sur des approches existantes à calibrer ou développées pour cet objectif.



RD25 (Hérault)

2. Présentation des données 3D MLS

Matériel d'acquisition : TRIMBLE MX9 - 2 lasers en papillon

| Impulsion laser | 300 KHz | 500 KHz | 1000 KHz |
|---------------------------------|-------------|---------|----------|
| Portée cible réflectivité > 80% | 475 m | 370 m | 235 m |
| Portée cible réflectivité > 10% | 170 m | 130 m | 85 m |
| Nb retour par impulsion | 15 | 15 | 9 |
| Exactitude / précision | 5 mm / 3 mm | | |

| Précision à 1 écart type | Sans interruption GNSS | Avec 60 sec d'interruption GNSS |
|--------------------------|------------------------|---------------------------------|
| XY | 20 mm | 100 mm |
| Z | 50 mm | 70 mm |
| Tangage et roulis | 0,005 ° | 0,005 ° |
| Cap | 0,015° | 0,015° |

Post traitement avec PosPac + Trimble Business Center (TBC)

Calcule la trajectoire & crée le nuage colorisé

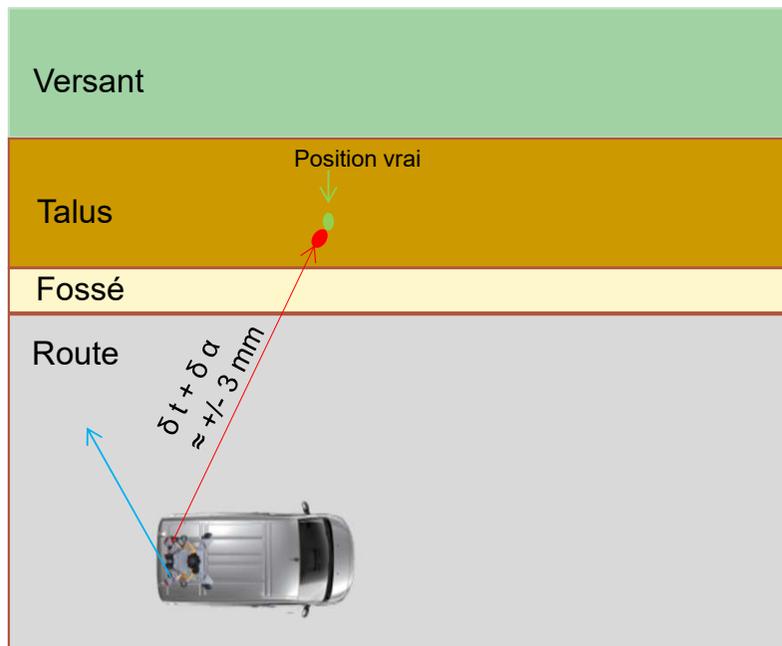
- colorisation imparfaite, non exploitable
- ne donne pas accès à l'ensemble des valeurs mesurées par les lasers (réflectance, déviation en particulier)



MX9 sur le véhicule Ceremap3D

2. Présentation des données 3D MLS

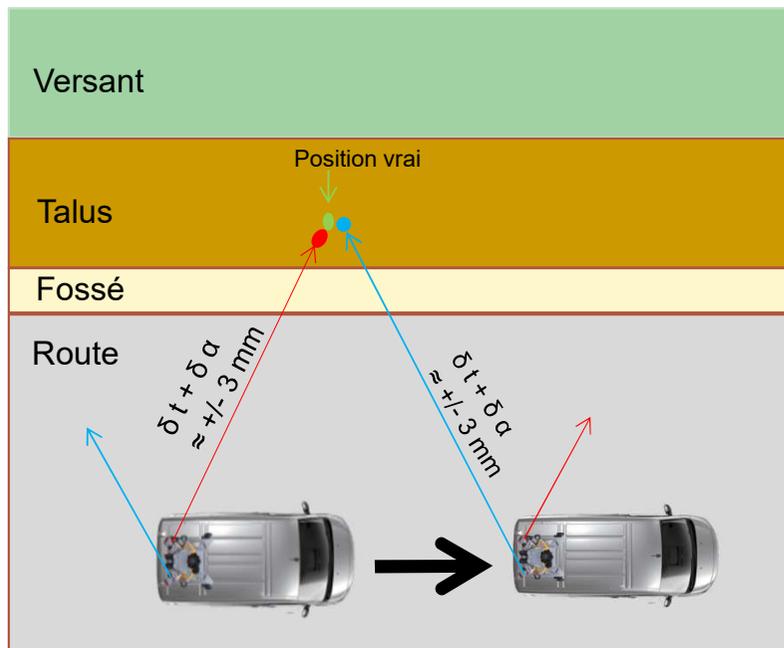
**Qualité du nuage : constitué de mesures par 2 lasers illuminant le talus à des moments différents
=> écart de position des points laser dû aux incertitudes de positionnement du véhicule**



T1 : δxyz et δ attitude
 $\approx +/- 45 \text{ mm}$ & $+/- 4\text{mm}@25\text{m}$

2. Présentation des données 3D MLS

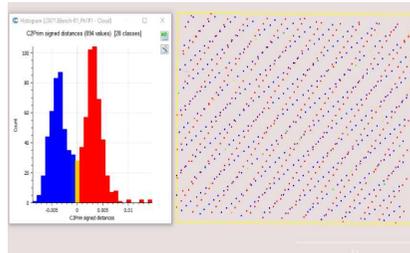
Qualité du nuage : constitué de mesures par 2 lasers illuminant le talus à des moments différents
=> écart de position des points laser dû aux incertitudes de positionnement du véhicule



T1 : δ xyz et δ attitude
 $\approx \pm 45 \text{ mm}$ & $\pm 4 \text{ mm}@25 \text{ m}$

T2 : δ xyz et δ attitude
 $\approx \pm 45 \text{ mm}$ & $\pm 4 \text{ mm}@25 \text{ m}$

7,0mm



écarts lasers sur cible plane



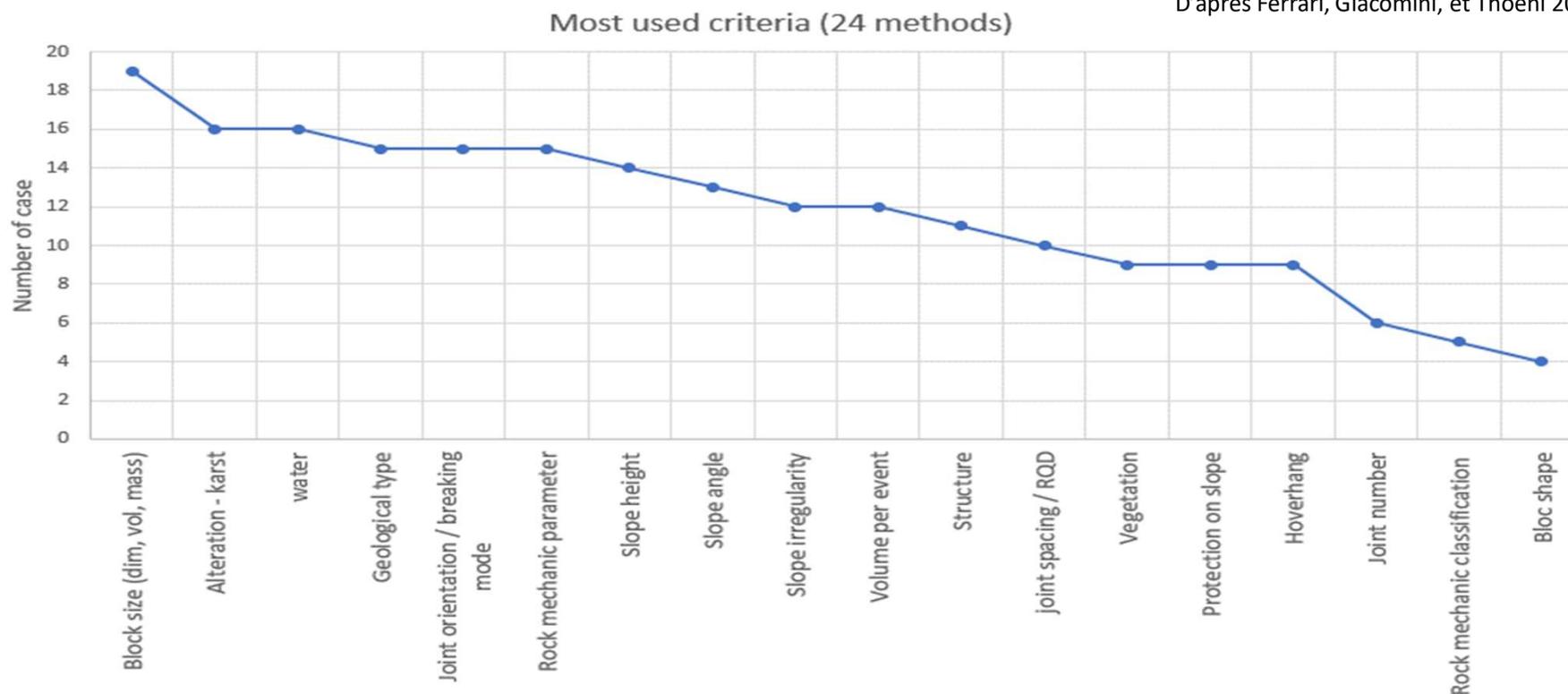
Évaluation du décalage sur 12 cas

- Écarts « aléatoires » avec une dispersion liée à la distance
- Valeurs des écarts inférieures aux incertitudes de positionnement (RMS d'attitude moyen de 4 mm à 25 m et RMS de position moyen de 45,6 mm $\approx 10 \times$ plus)
- Génère un bruit dans le nuage assemblé et donc sur la détermination des géométries planes ou des arrêtes
- Limitera la capacité de détection d'évènements

3. Descripteurs & Indicateurs des méthodes de priorisation

La bibliographie permet de cibler les indicateurs les plus utilisés

D'après Ferrari, Giacomini, et Thoeni 2016



3. Descripteurs & Indicateurs des méthodes de priorisation

Ces indicateurs classiques peuvent être évalués à partir des données MLS

Tableau des indicateurs courants et des catégories d'information disponible sur le MX9

| | | 3D geom | Réflectance | Déviation | RGB | Photos (IA) |
|-------------------------|------------------------|---------|-------------|-----------|-----|-------------|
| Taille du bloc | | ++ | = | + | - | - |
| Altération | | + | + | - | = | + |
| Eau | | - | + | - | = | ++ |
| Type Géologique | | = | = | - | - | + |
| Structure & Joint | Orientation | ++ | - | - | - | - |
| | Espacement | ++ | - | = | = | = |
| | Nombre famille | ++ | - | + | - | = |
| Meca Roche : | Rc | - | - | - | - | - |
| | Ouverture | - | - | - | - | = |
| | Persistance | ++ | - | = | - | + |
| | Rugosité & ondulations | = | - | - | - | - |
| | Classification | = | - | - | - | - |
| Hauteur talus | | ++ | - | - | - | - |
| Angle de talus | | ++ | - | - | - | - |
| Irrégularités du talus | | ++ | - | = | - | = |
| Volume par évènement | | ++ | - | - | - | = |
| Végétation | | ++ | - | - | = | = |
| Protection sur le talus | | = | ? | - | = | + |
| Surplomb | | ++ | - | - | - | = |
| Forme du bloc | | ++ | - | - | - | = |

- ++ Particulièrement bien adapté
- + Bien adapté
- = Faible intérêt ou information indirecte
- Non adapté

Les données géométriques 3D permettent de couvrir presque tous les indicateurs

3. Descripteurs & Indicateurs des méthodes de priorisation

Ces indicateurs classiques peuvent être évalués à partir des données MLS

Tableau des indicateurs courants et des catégories d'information disponible sur le MX9

| | 3D geom | Réflectance | Déviaton | RGB | Photos (IA) |
|-------------------------|------------------------|-------------|----------|-----|-------------|
| Taille du bloc | ++ | = | + | - | - |
| Altération | + | + | - | = | + |
| Eau | - | + | - | = | ++ |
| Type Géologique | = | = | - | - | + |
| Structure & Joint | Orientation | ++ | - | - | - |
| | Espacement | ++ | - | = | = |
| | Nombre famille | ++ | - | + | = |
| Meca Roche : | Rc | - | - | - | - |
| | Ouverture | - | - | - | = |
| | Persistance | ++ | - | = | + |
| | Rugosité & ondulations | = | - | - | - |
| | Classification | = | - | - | - |
| Hauteur talus | ++ | - | - | - | - |
| Angle de talus | ++ | - | - | - | - |
| Irrégularités du talus | ++ | - | = | - | = |
| Volume par évènement | ++ | - | - | - | = |
| Végétation | ++ | - | - | = | = |
| Protection sur le talus | = | ? | - | = | + |
| Surplomb | ++ | - | - | - | = |
| Forme du bloc | ++ | - | - | - | = |

- ++ Particulièrement bien adapté
- + Bien adapté
- = Faible intérêt ou information indirecte
- Non adapté

Les données géométriques 3D permettent de couvrir presque tous les indicateurs

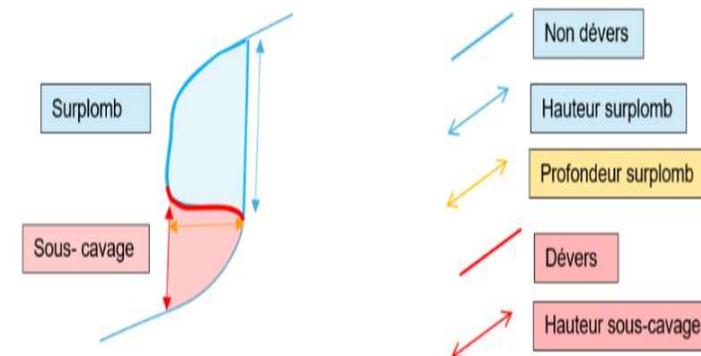
4. Détection et caractérisation des surplombs

Zones en dévers présentent un niveau d'aléa très supérieur aux zones non en dévers (Dunham et al. 2017 ; Mavrouli et al. 2024)

Difficultés : Zones mal vues en MLS (masques en crête et bermes)
Zones moins densément reconnues

On cherche à localiser ces zones et caractériser leur géométrie :

- **Indicateur global = ratio de surface en 3 classes**
- **indicateurs locaux = hauteur, largeur & profondeur de porte à faux, volume, forme, position / route** agrégés au niveau d'un ensemble homogène ("talus" au sens géotechnique)



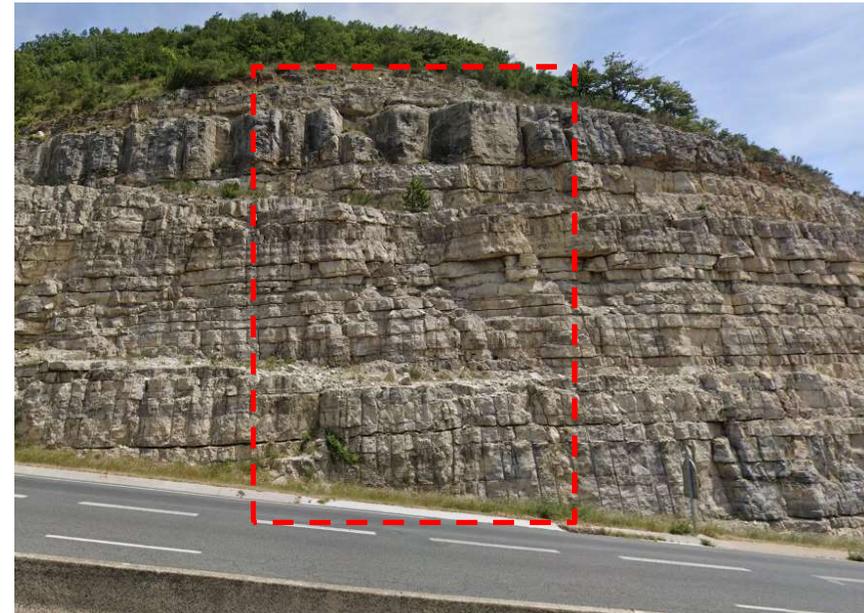
4. Détection et caractérisation des surplombs

Niveau global : proportion de zones en surplomb

Homogénéiser par maillage AlphaShape (10 cm)

Segmenter du coté vers le laser

Semer des points régulièrement espacés sur les mailles



Zone test

4. Détection et caractérisation des surplombs

Niveau global : proportion de zones en surplomb

Homogénéiser par maillage AlphaShape (10 cm)

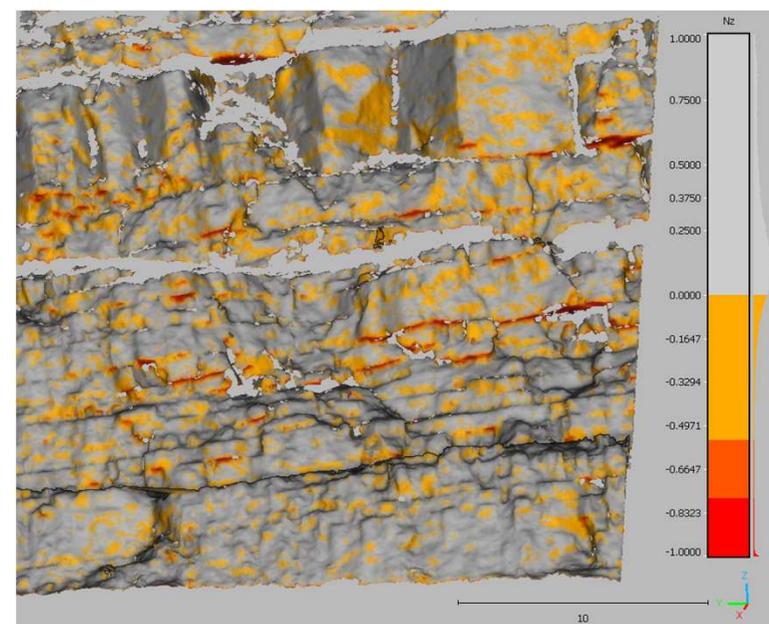
Segmenter du côté vers le laser

Semer des points régulièrement espacés sur les mailles

Descripteur = normale sur 15 cm orienté vers le bas (dévers)

Indicateur = ratio de surface développée en 3 classes

- $90-60^\circ$ = zones sub-verticales surplombantes, avec un niveau d'aléa comparable aux zones sub-verticales non surplombantes
- $60-30^\circ$ = zones intermédiaires
- $30-0^\circ$ = zones en dévers important ; avec un niveau d'aléa très supérieur aux zones non en dévers (Dunham et al. 2017 ; Mavrouli et al. 2024)



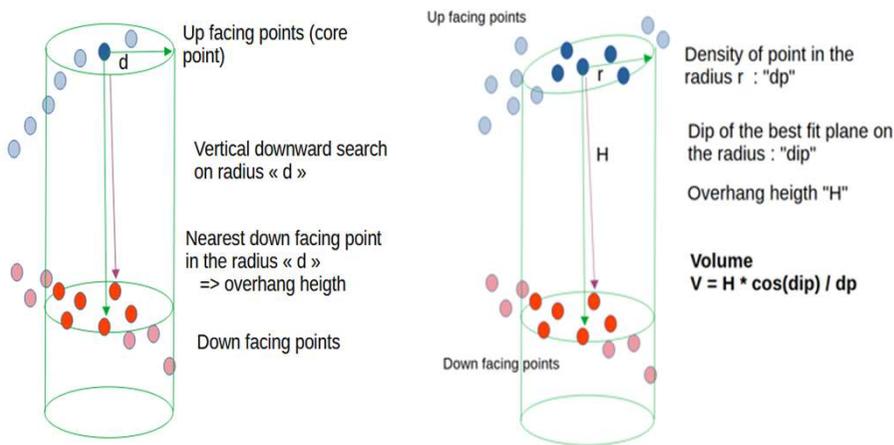
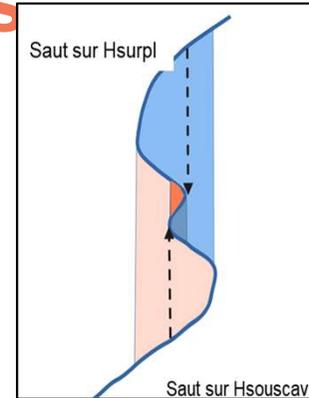
Colorisation par les classes de pendage (Nz)

4. Détection et caractérisation des surplombs

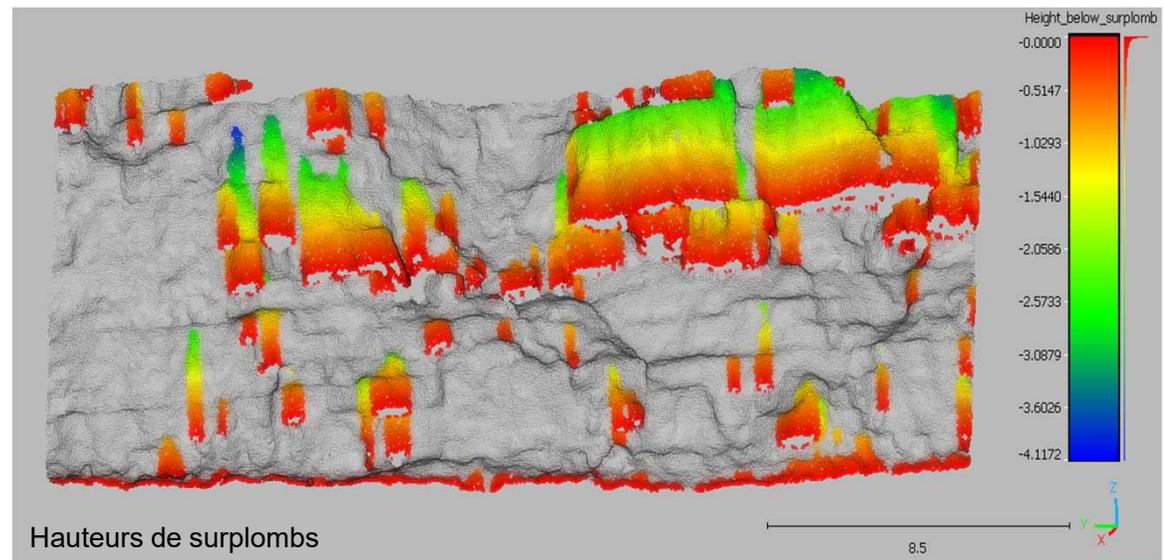
Niveau local : hauteur – volume

- Séparation du nuage homogénéisé en zones en “Dévers” et “Non Dévers”
- Calcul des hauteurs depuis les points ND vers les points D (vers le bas = surplomb ; vers le haut = sous cavage)
- Calcul du volume de surplomb associé à chaque point ND

=> Permet d'identifier des surplombs emboîtés



Principe du calcul



4. Détection et caractérisation des surplombs

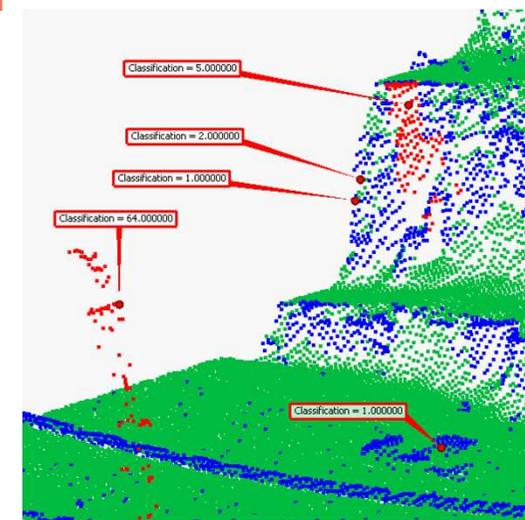
Niveau local : hauteur – volume



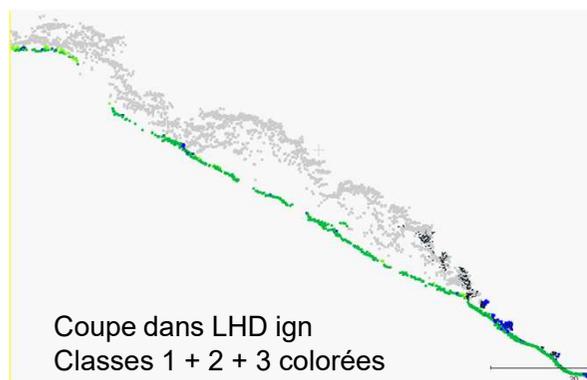
Intégration du nuage Lidar HD IGN pour les zones de ND masquées comme les bermes horizontales et la crête supérieure.

Pour compléter localement le nuage :

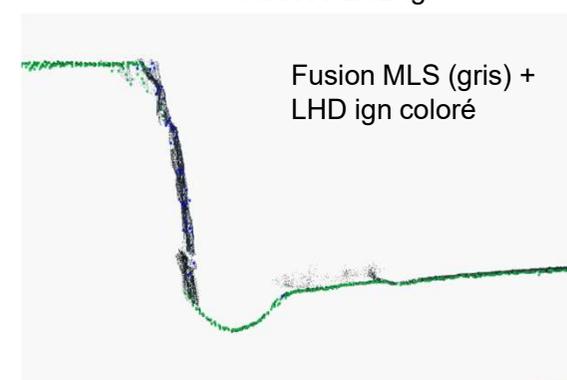
- Filtrer sur la catégorie 1, 2 et 3 de l'IGN
- Recalage ICP de chaque dalle LHD sur le nuage MLS
- Maillage + densification au niveau du MLS
- Fusion
- Calcul hauteurs sur nuage complété



Classes LHD ign



Coupe dans LHD ign
Classes 1 + 2 + 3 colorées



Fusion MLS (gris) +
LHD ign coloré

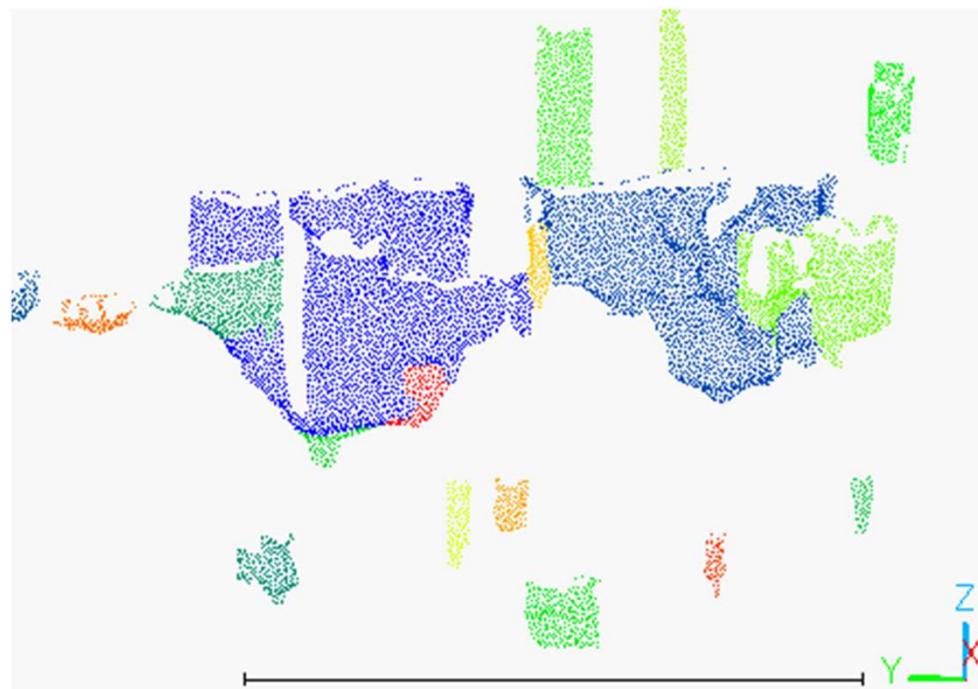
4. Détection et caractérisation des surplombs

Niveau local : hauteur – volume

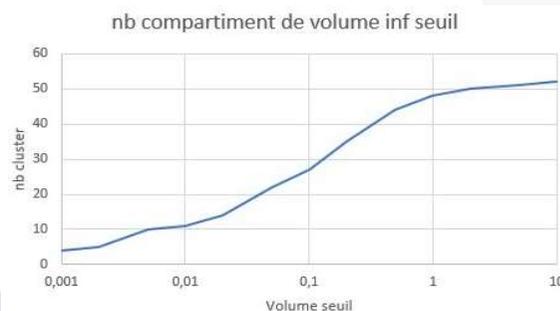
Au niveau local, identifier les compartiments et calculer leur volume :

- * Utilisation de DBScan dans le repère X = hauteur de surplomb et Y parallèle au talus
- * Calculer les valeurs cumulées des descripteurs (hauteur et volume) par compartiment sur l'ensemble des compartiments

Indicateur = paramètres caractéristiques de la hauteur / volume des compartiments (moyenne, écart type ou quantiles ou % à divers seuils de volume)



Clustérisation DBScan (eps 30cm – min pts 20) et seuil à > 50 pts



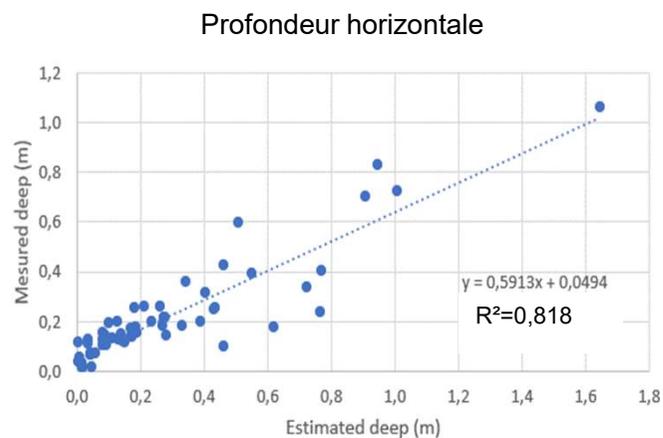
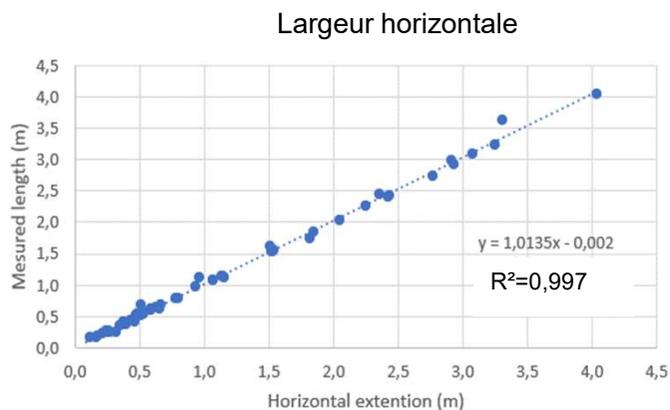
4. Détection et caractérisation des surplombs

Niveau local : dimensions de porte à faux

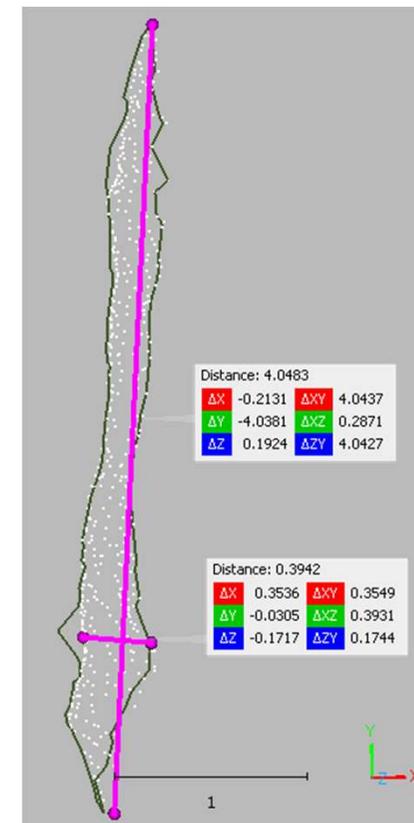
Largeur et profondeur horizontales, caractéristiques du porte à faux mécanique :

- PCA, Bounding Box et projection horizontale
- Largeur = diagonale de la BB en XY
- Profondeur = surface concave / largeur

Indicateur = valeur caractéristique (Moyenne écart type, quantile, % dépassant un seuil)



Corrélation des dimensions horizontales mesurées et calculées sur 60 compartiments



Vue verticale d'un compartiment et de la surface concave

4. Détection et caractérisation des surplombs

Niveau local

Forme directement à partir des dimensions

Et aussi distinguer des dalles ($H \ll L$ et P , $L \approx P$) ; colonnes ($H \gg L$ et P) ; écailles ($P \ll L$).

Centre de gravité – énergie potentielle

A partir des coordonnées X Y des points, et de $(Z - H/2)$ pondéré par la hauteur

Compense le manque les points sur la face arrière pour mieux contraindre le calcul

La hauteur / chaussée, couplée au volume, est un descripteur de l'énergie potentielle

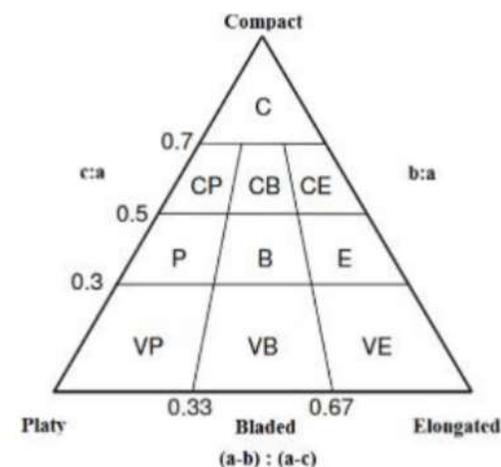


Diagramme Sneed et Folk

Indicateur = valeur caractéristique (Moyenne écart type ou quantile ou % dépassant un seuil)

5. Conclusion et perspectives

La méthode développée est pertinente pour :

1. Localiser les surplombs au sein du nuage de points et identifier les emboitements
2. Fournir :
 - Le ratio de surface en surplomb dans le talus, en plusieurs classes de pendage
 - La délimitation et localisation de chaque compartiment en porte à faux
 - Les dimensions et volume de chaque compartiment, leur potentiel effet sur l'infra (énergie)

Nécessite auparavant l'individualisation des talus rocheux au sein du nuage total acquis sur le linéaire

Travail se poursuivra pour d'autres indicateurs (fracturation, végétation, dimensions générales) atteignables avec les données MLS puis leur combinaison



Merci de votre attention

