

Etude des méthodes de mesures de volume de dépôts d'avalanche en Haute Maurienne

Sylvain PECH

Encadré par Michaël DESCHÂTRES
(ingénieur d'étude, Irstea)

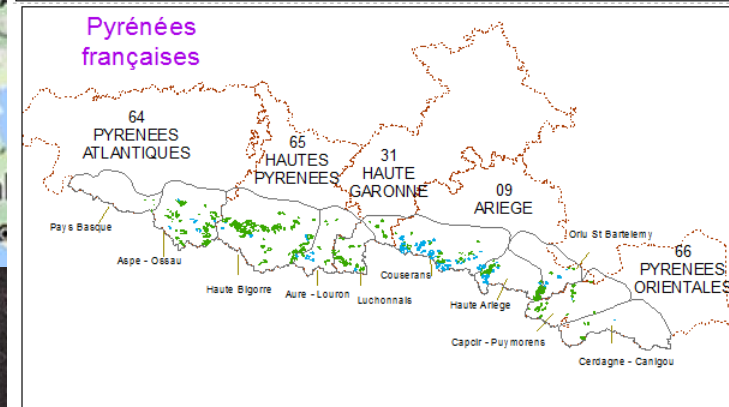
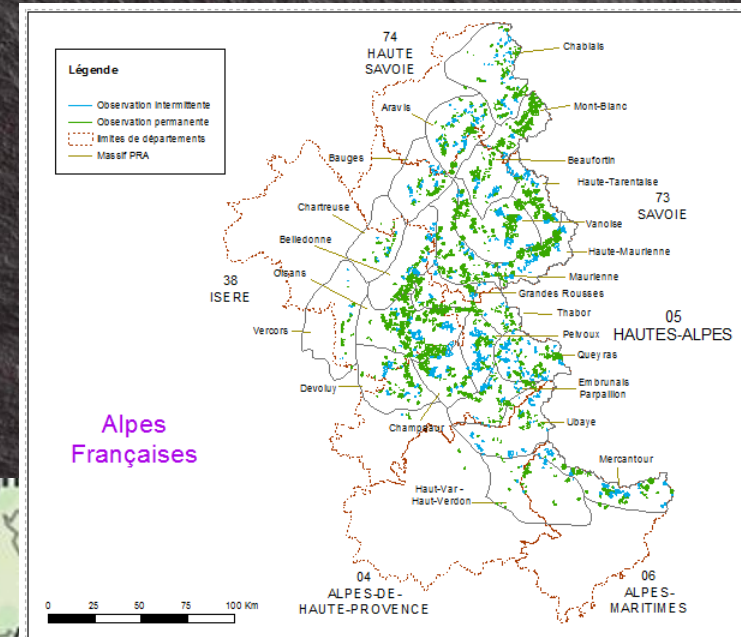


Institut national de Recherche en
Sciences et Technologies pour
l'environnement et l'agriculture

l'Enquête Permanante sur les Avalanches (EPA) en quelques chiffres :



L'EPA est une Base de Données (Min.Ecologie/Onf/Irstea)

- 97 000 avalanches observés Depuis 1899
- 12 départements, 450 communes , 3900 sites



Principe de l'EPA :

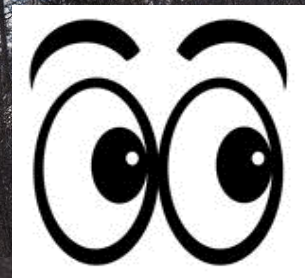
À chaque fois qu'une avalanche a lieu sur un site EPA, les observateurs notent les caractéristiques de l'événement (dates, enneigement, altitudes de départ et d'arrivée, type d'avalanche, taille du dépôt) sur des avis d'avalanches

AVIS D'AVALANCHE		
Identification de l'événement	 Département Commune d'.... Site EPA N°.....	N° d'ordre d'expédition (par commune) CAMPAGNE 20... - 20... 
	Evénement entre Jour.... Mois.... Heure..... et Jour.... Mois.... Heure.....	
Description de l'événement	Départ altitude (m.) par branche	
	Arrivée altitude (m.) par branche Versant opposé <input type="checkbox"/> Zone plane <input type="checkbox"/>	
	Dépôt Longueur maximale..... m. largeur moyenne..... m. Hauteur moyenne..... m.	
Caractéristiques : A.... B.... C.... D.... E.... F....		
Météo zone de départ	3 j. précédant l'événement Neige fraîche 0 cm <input type="checkbox"/> 1 à 20 <input type="checkbox"/> 21 à 50 <input type="checkbox"/> 51 à 100 <input type="checkbox"/> + de 100 <input type="checkbox"/> Inconnu <input type="checkbox"/> Vent fort <input type="checkbox"/> direction.... Redoux <input type="checkbox"/> Pluie <input type="checkbox"/> Inconnu <input type="checkbox"/>	
	4 h. précédant l'événement Neige <input type="checkbox"/> Pluie <input type="checkbox"/> Vent fort <input type="checkbox"/> Ciel clair <input type="checkbox"/> Nuages <input type="checkbox"/> Brouillard <input type="checkbox"/> Inconnu <input type="checkbox"/>	
Cause déclenchement	Naturelle <input type="checkbox"/> Humaine involontaire <input type="checkbox"/> Artificielle <input type="checkbox"/> Inconnue <input type="checkbox"/>	
Victimes	Néant <input type="checkbox"/> Blessés <input type="checkbox"/> Morts <input type="checkbox"/>	
Dégâts ou lieux atteints	Néant <input type="checkbox"/> Constructions <input type="checkbox"/> Poteaux <input type="checkbox"/> Forêt <input type="checkbox"/> Routes <input type="checkbox"/> Cours d'eau <input type="checkbox"/>	
Visibilité lors du constat	Bonne <input type="checkbox"/> Bonne sauf zone de départ <input type="checkbox"/> Incomplète <input type="checkbox"/>	Alerte « BD événement - CLPA » <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Nom Qualité informateurs		
Remarques :	Nom de l'observateur : Date de constat/...../.....	

Estimation visuelle des dimensions du dépôt, réalisée par un operateur de l'ONF (office National des Forêts) dans le cadre de l'EPA



Volume de neige déposé ?



Estimation rendu difficile : distance au dépôt, présence de masques, conditions climatiques...

→ Quelle fiabilité peut on accorder à ces estimations sur lesquelles s'appuient les experts et aménagistes ?

Convention qui donne pour objectifs de **mesurer** ces volumes et de comparer les résultats aux **estimations** de l'ONF.

- Nécessité d'avoir des mesures **précises** et **fiables**.

3 techniques de mesures sont testées:

- Le laser Scan Terrestre (LST)
- La photogrammétrie terrestre
- La photogrammétrie par drone

Quelles sont les sources d'erreurs liées à l'utilisation de ces instruments ?

Quel est celui qui fournit les résultats les plus précis ?

Quel est le plus adapté aux conditions montagneuses ?



Le même couloir en été puis en hivers



Le Laser scan terrestre



La photogrammétrie par drone

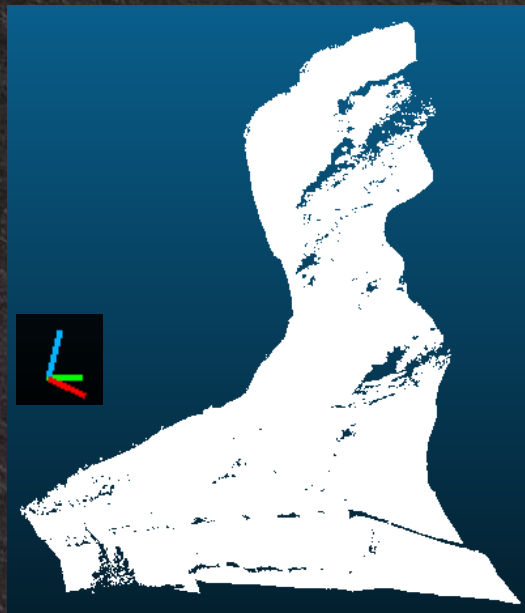
Le laser scan terrestre



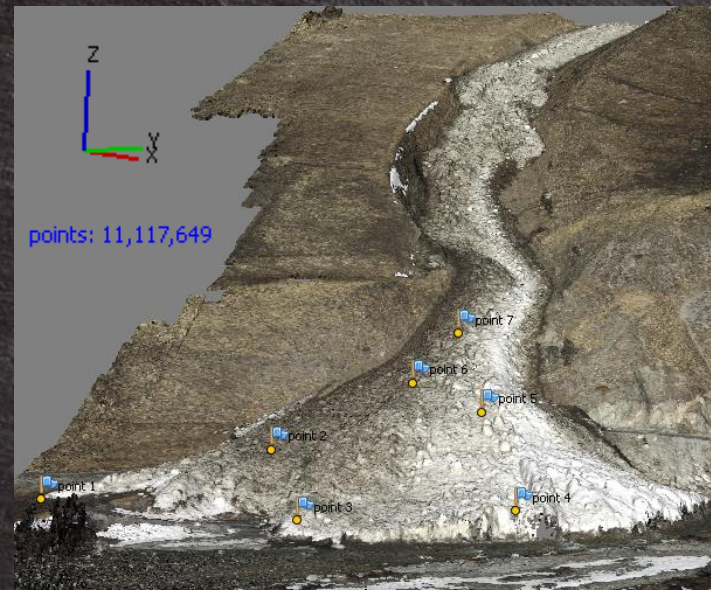
La photogrammétrie par drone

La photogrammétrie terrestre

Le laser scan terrestre



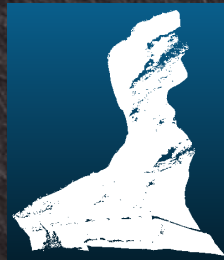
Nuage de points 3D du sol nu obtenu avec le Laser Scan.



Nuage de points 3D du dépôt obtenu avec le drone.



Aquisition



Nuages de points



Interpolation



MNT du sol nu et MNT du dépôt



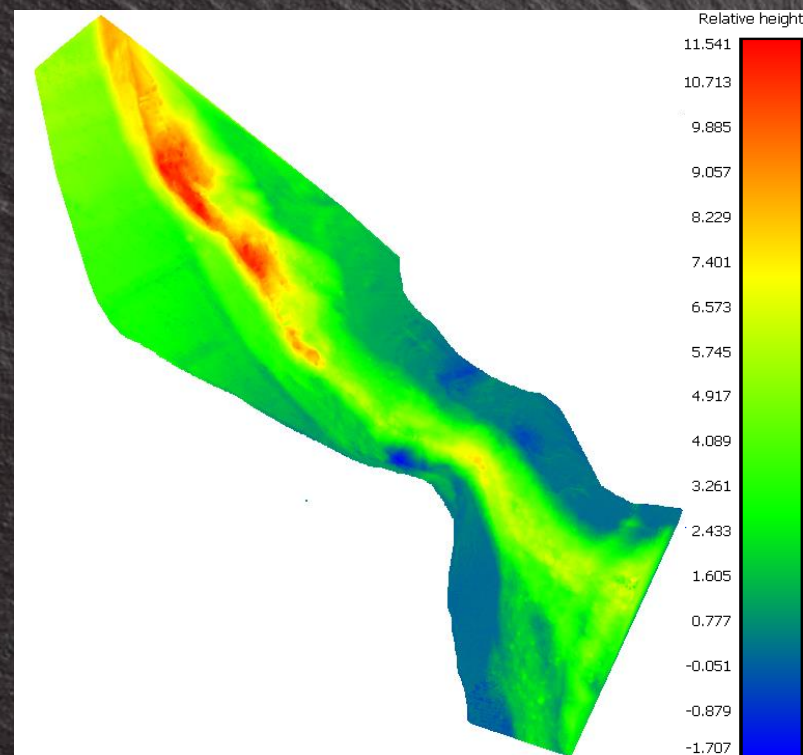
MNT du dépôt (hivers)

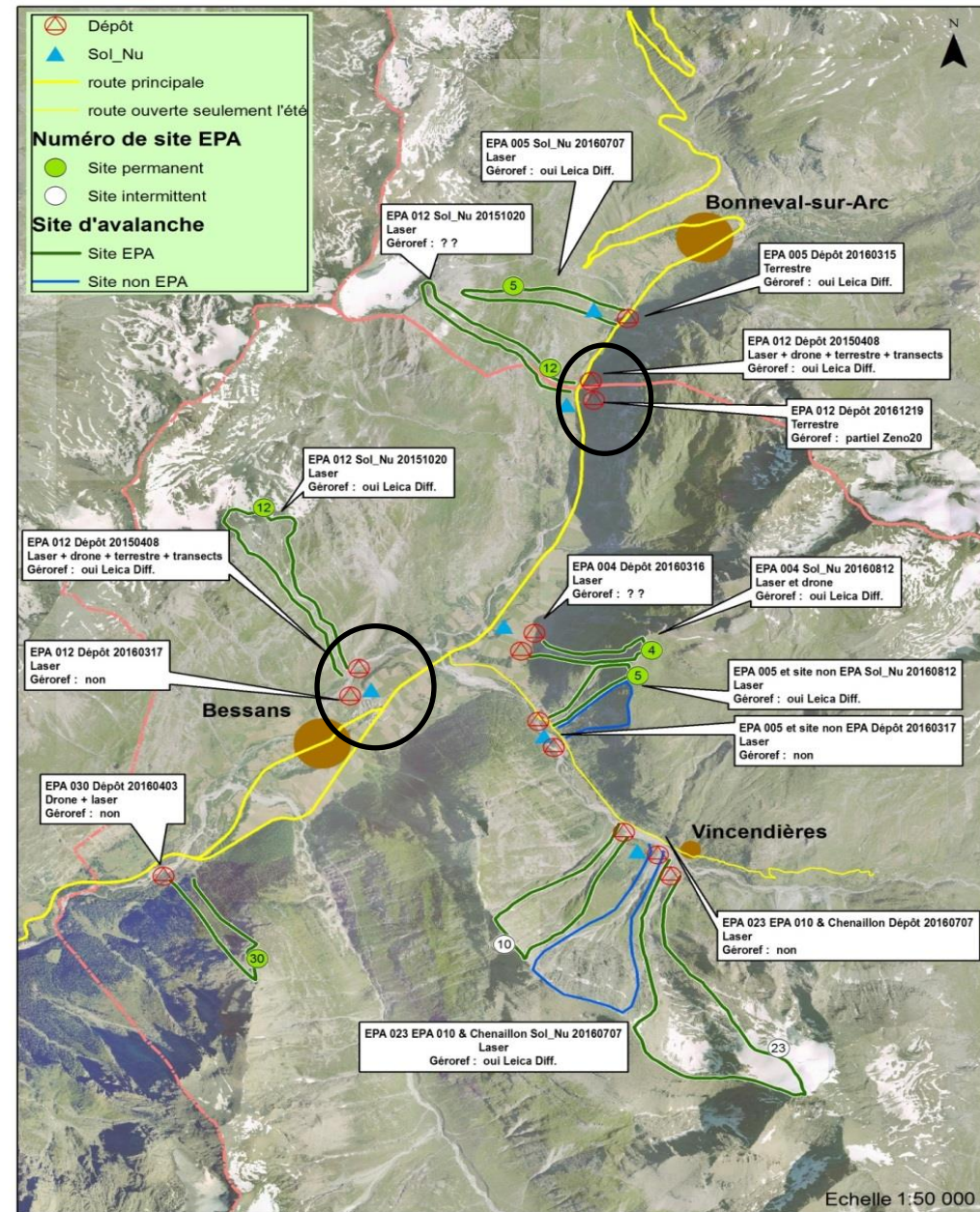
-



MNT du Sol nu (été)

=

Carte de hauteur de neige
→ volume



- Vallée En haute Maurienne dans le département de la Savoie (73)
- Nombreux enjeux: villages de Bessans et de Bonneval sur Arc, route et pistes nordiques.

Nombreux dépôts scannés depuis 2015

- Deux sites pilotes: « Bessans 12 » et « Bonneval12 »
 - Scannés avec plusieurs méthodes

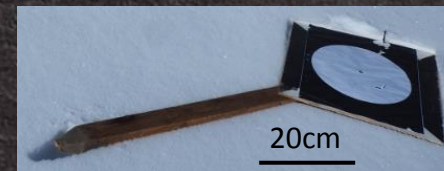
Cibles géoréférencés

Pour **toutes les méthodes**, placement de cibles géoréférencés :

- Permet de géoréférencer le dépôt et de corriger les distorsions/ déformations.
- Répartition uniforme sur l'ensemble du dépôt.
- Exposition importante au risque avalanche, nécessite la présence d'une deuxième personne pour faire la surveillance.



Mesure de cibles avec le Leica zeno 20, précision centimétrique, *Emmanuel Thibert*

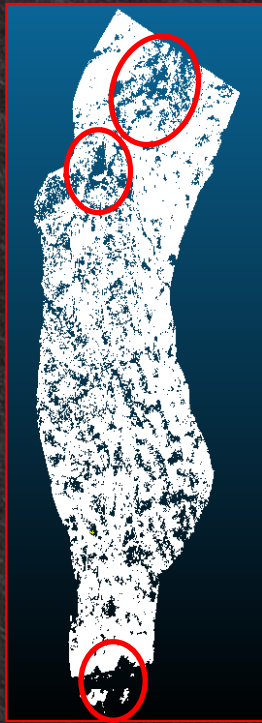


Cible utilisée

Sur le site de Bonneval 12

Dépôt prit avec les trois méthodes et le sol nu prit avec le laser scan terrestre.

Comparaison des nuages de points:



Sol Nu Lidar

Densité: **140pts/m²**



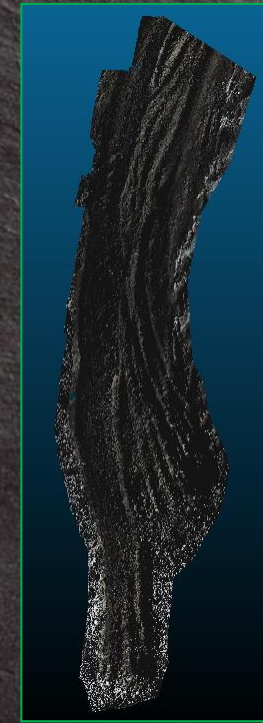
Dépôt Lidar

Densité: **150pts/m²**



Dépôt ph.Terrestre

Densité: **140 pts/m²**



Dépôt Ph.Drone

Densité: **400pts/m²**

Comparaison des nuages de points: vu de côté



Comparaison des nuages de points: vu de côté



Comparaison des nuages de points: vu de côté



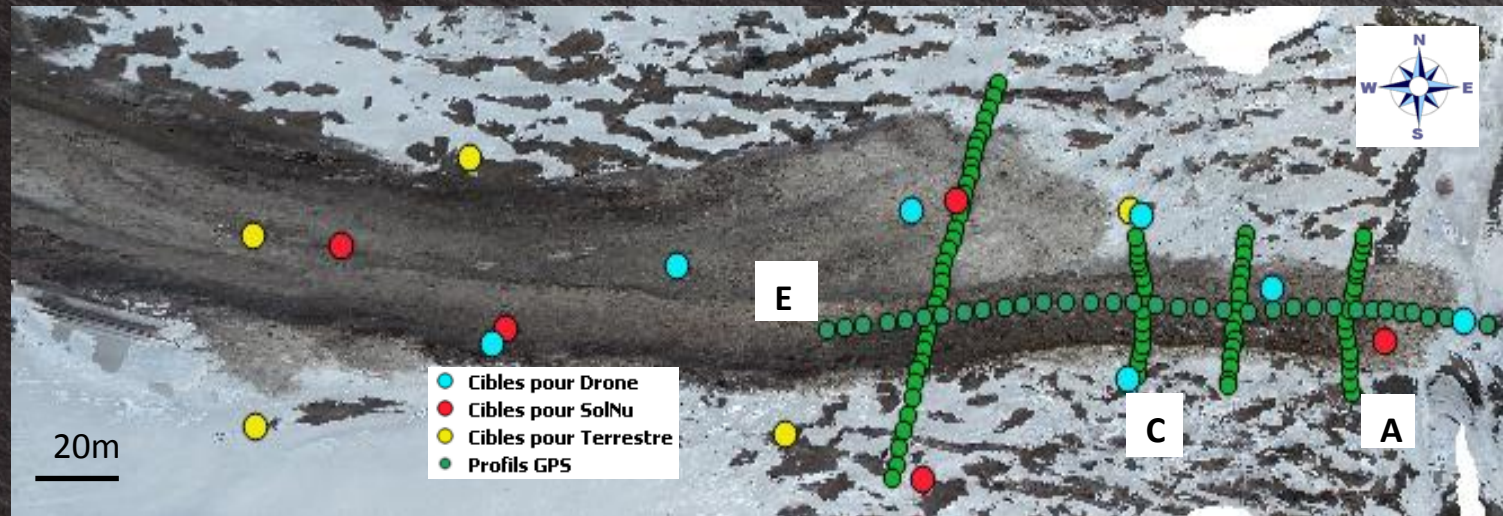
Comparaison des nuages de points: vu de côté



Estimation par transect GPS de la précision des MNT obtenus à partir des nuages de points:

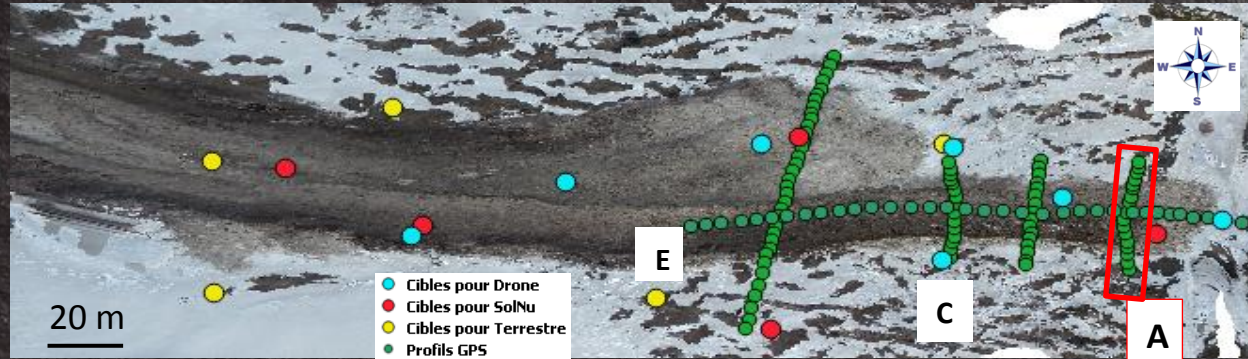
5 profils avec des mesures GPS précises à 1cm

objectif: Comparer les altitudes mesurées au GPS avec celles extraites des MNT le long des profils



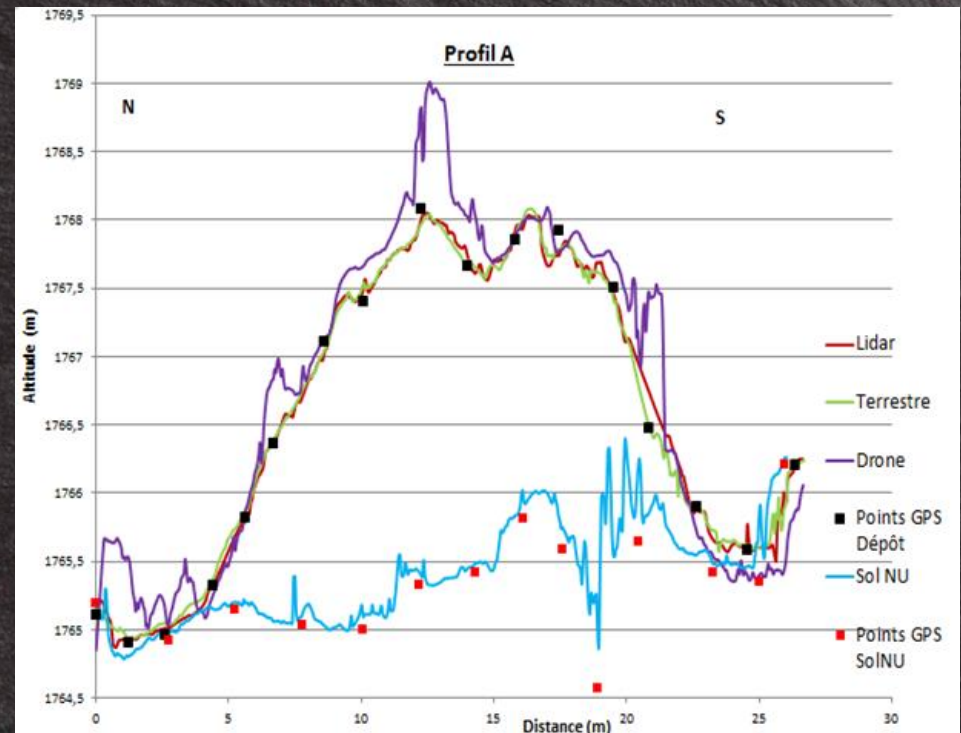
Site de Bonneval 12

Estimation par transect GPS de la précision des MNT obtenus à partir des nuages de points:



MNT	EQM
Sol nu Lidar	21cm
Dépôt Drone	38cm
Dépôt Terrestre	8 cm ✓
Dépôt Lidar	8 cm ✓

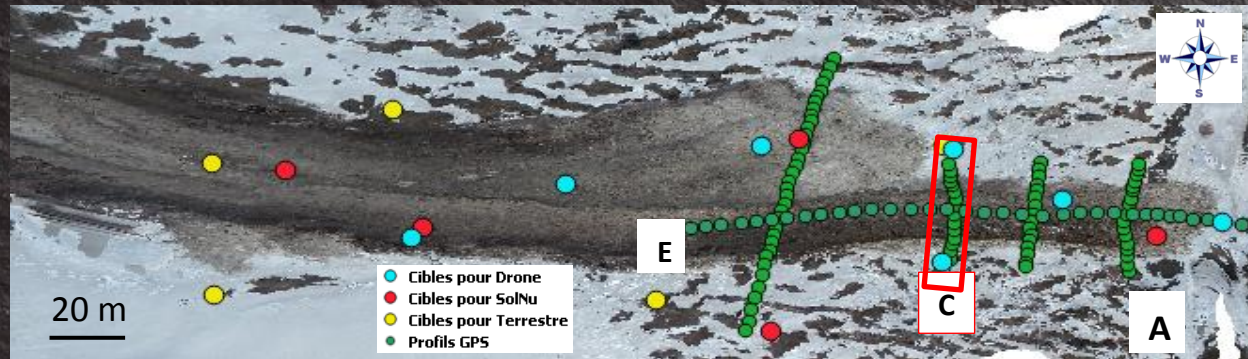
Erreurs moyennes quadratiques calculées entre les altitudes des MNT et celle mesurées au GPS (altitudes de référence)



Altitudes extraites sur les différents MNT le long du profil A

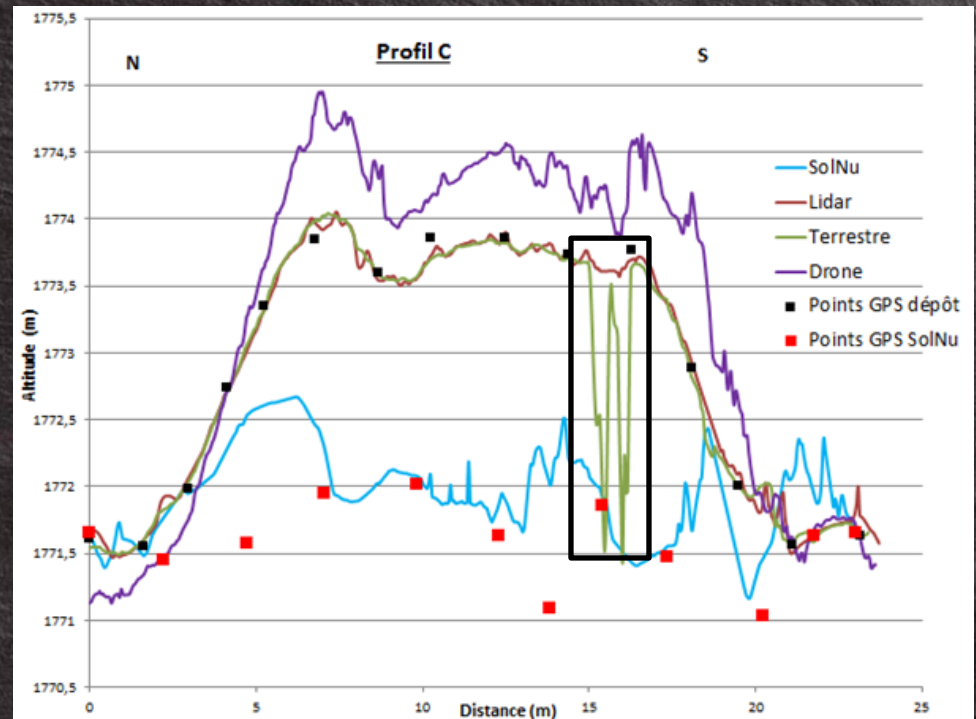
Site de Bonneval 12

Estimation par transect GPS de la précision des MNT obtenus à partir des nuages de points:



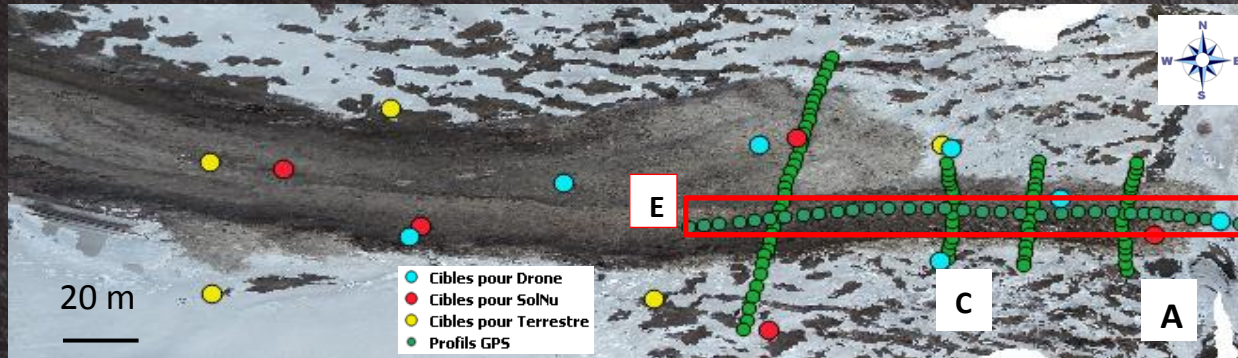
MNT	EQM
Sol nu Lidar	45cm ✗
Dépôt Drone	56cm ✗
Dépôt Terrestre	8 cm ✓
Dépôt Lidar	6 cm ✓

- Très localement perte brutale de 2m de hauteur de neige (MNT terrestre)
- Le MNT du Sol Nu a tendance à surévaluer les altitudes



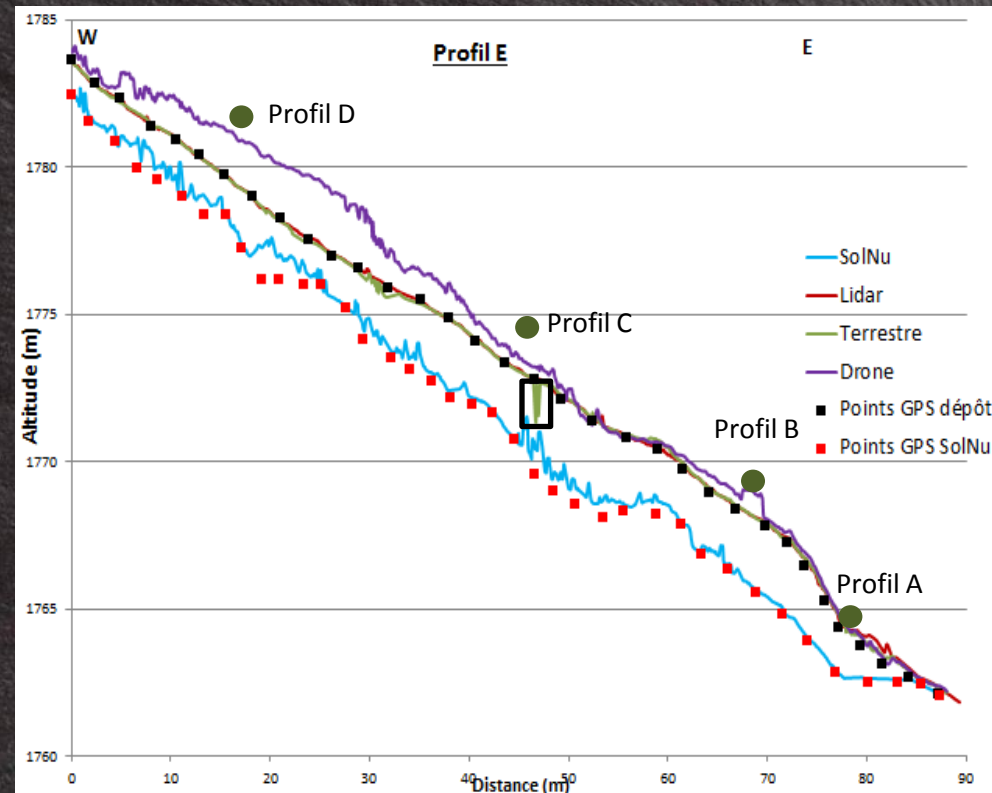
Site de Bonneval 12

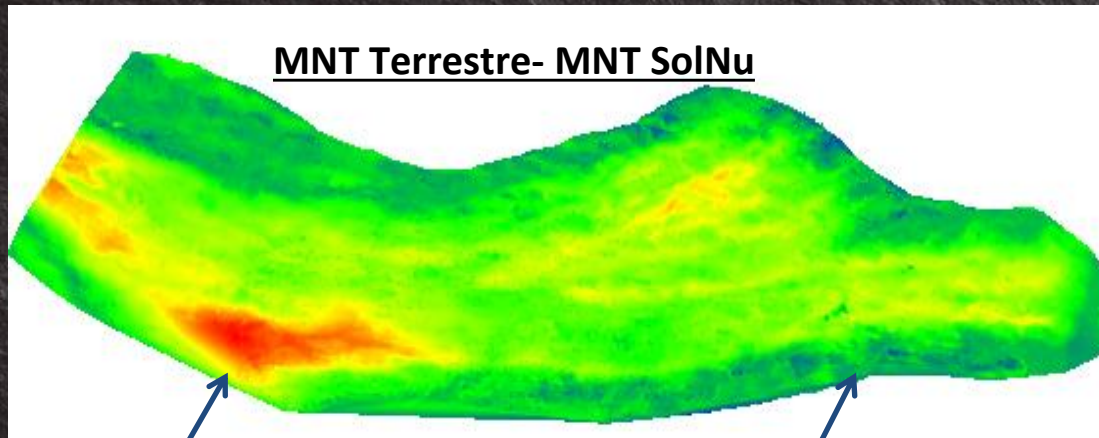
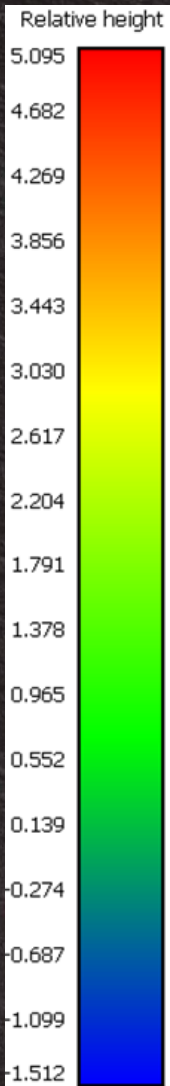
Estimation par transect GPS de la précision des MNT obtenus à partir des nuages de points:



Profil E: résumé toutes les observations:

- MNT Lidar : bonne corrélation en tous points avec les mesures GPS (EQM < 20cm)
- MNT terrestre: bonne corrélation mais petites zones d'incohérences très localisées
 - Mauvaise interpolation des grosses zones de blanc
- MNT Drone: imprécis sur le bas, mauvais en haut
 - Dû aux conditions de luminosité: tombée de la nuit
- MNT Sol nu: bon sur le bas mais tendance à la surélévation sur la partie haute du dépôt.
 - Dû à la présence de nombreux arbustes ?





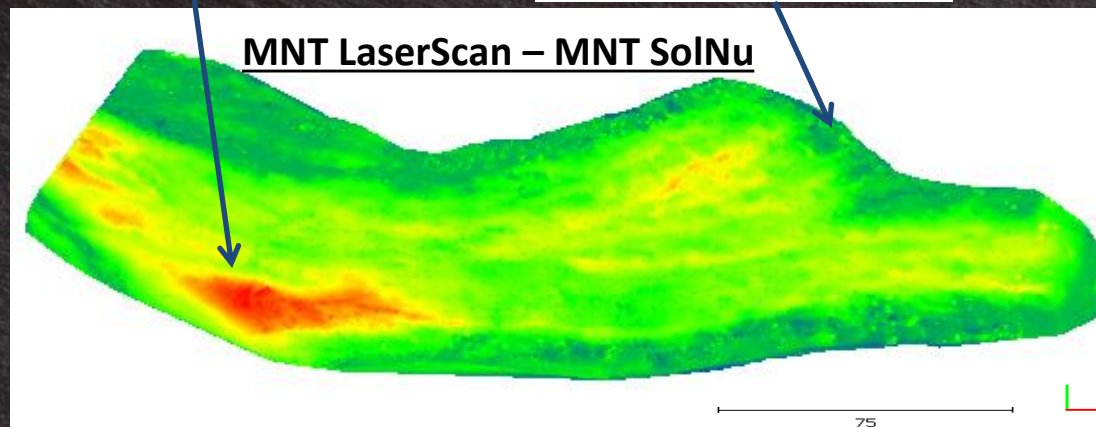
Hauteur max : 5m

Entre -20 et +15cm à côté du dépôt

Volume: 11,072.132
Surface: 10,673.685

Added volume: (+)11,700.709
Removed volume: (-)628.577

Matching cells: 95.3%



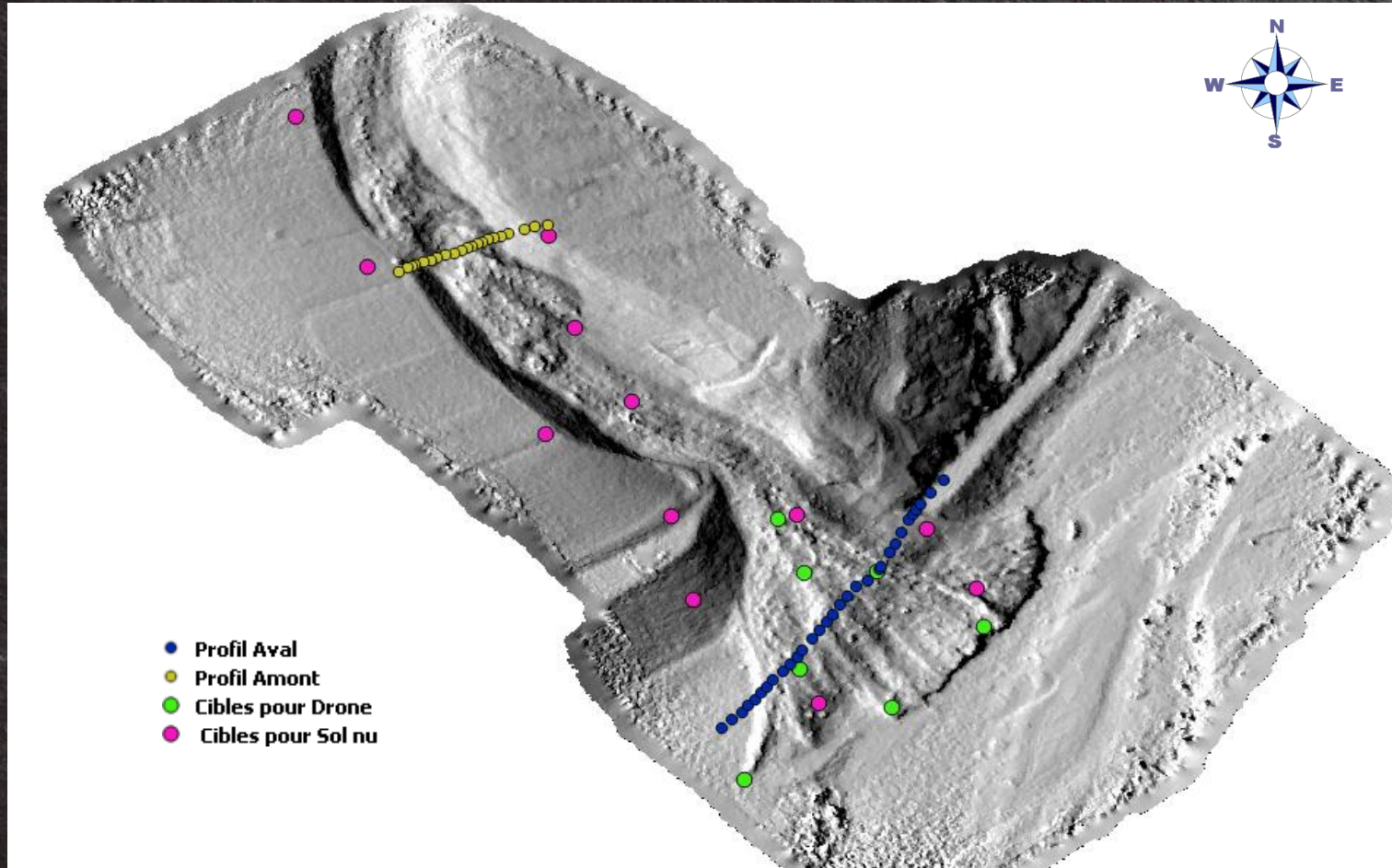
Volume: 11,057.389
Surface: 10,639.307

Added volume: (+)11,797.281
Removed volume: (-)739.892

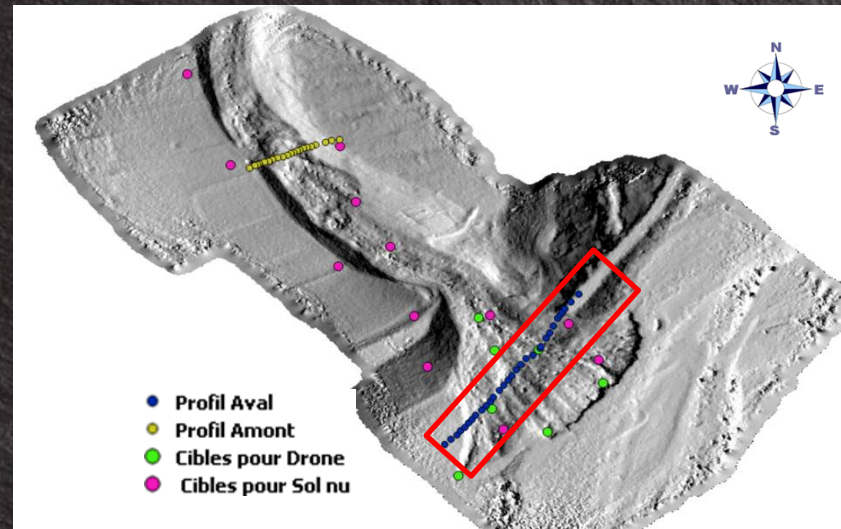
Matching cells: 96.5%

- Excellente concordance entre les deux cartes
- Hauteurs cohérentes
- Seulement 14m² de différence soit 0,14%

Dépôt de Bessans 012

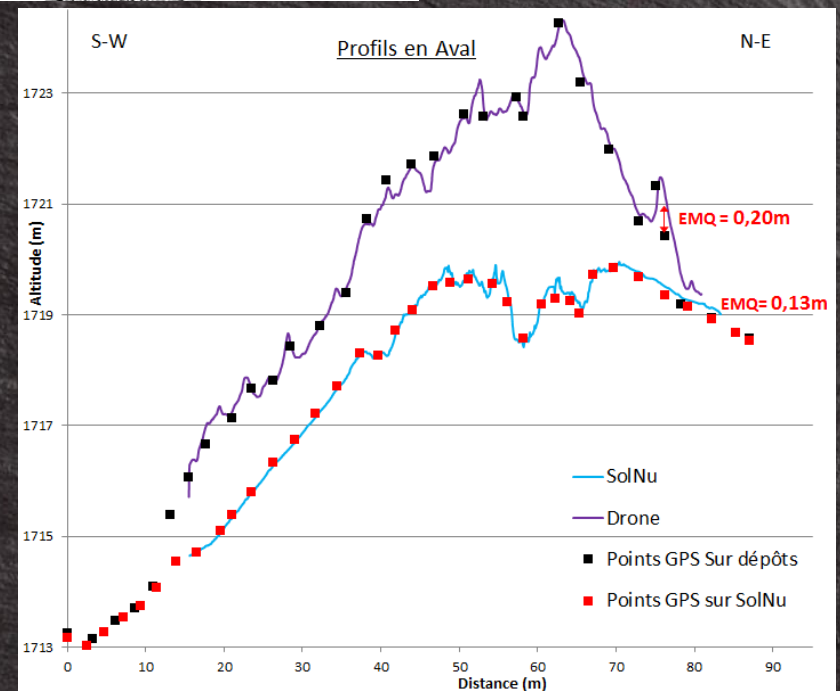


Site de Bessans 12



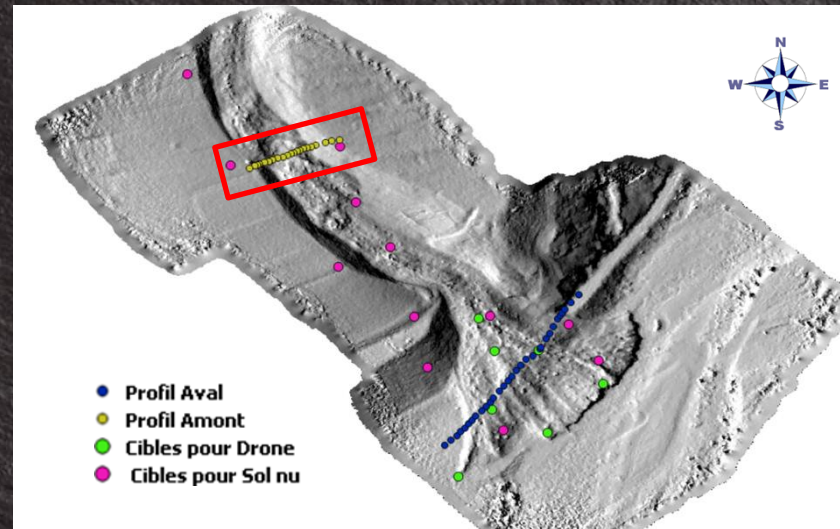
Méthodes	EQM
Sol nu Lidar	13cm ✓
Dépôt Drone	20cm ✓

Erreurs moyennes quadratiques calculées entre les altitudes des MNT et celle mesurées au GPS (altitudes de référence).



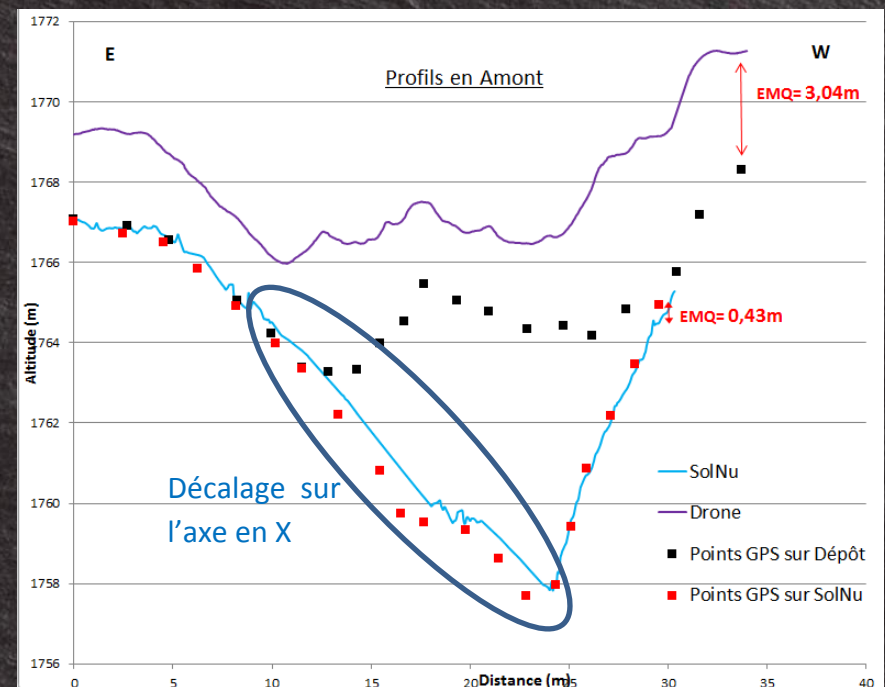
Altitudes extraites sur les différents MNT le long du profil A

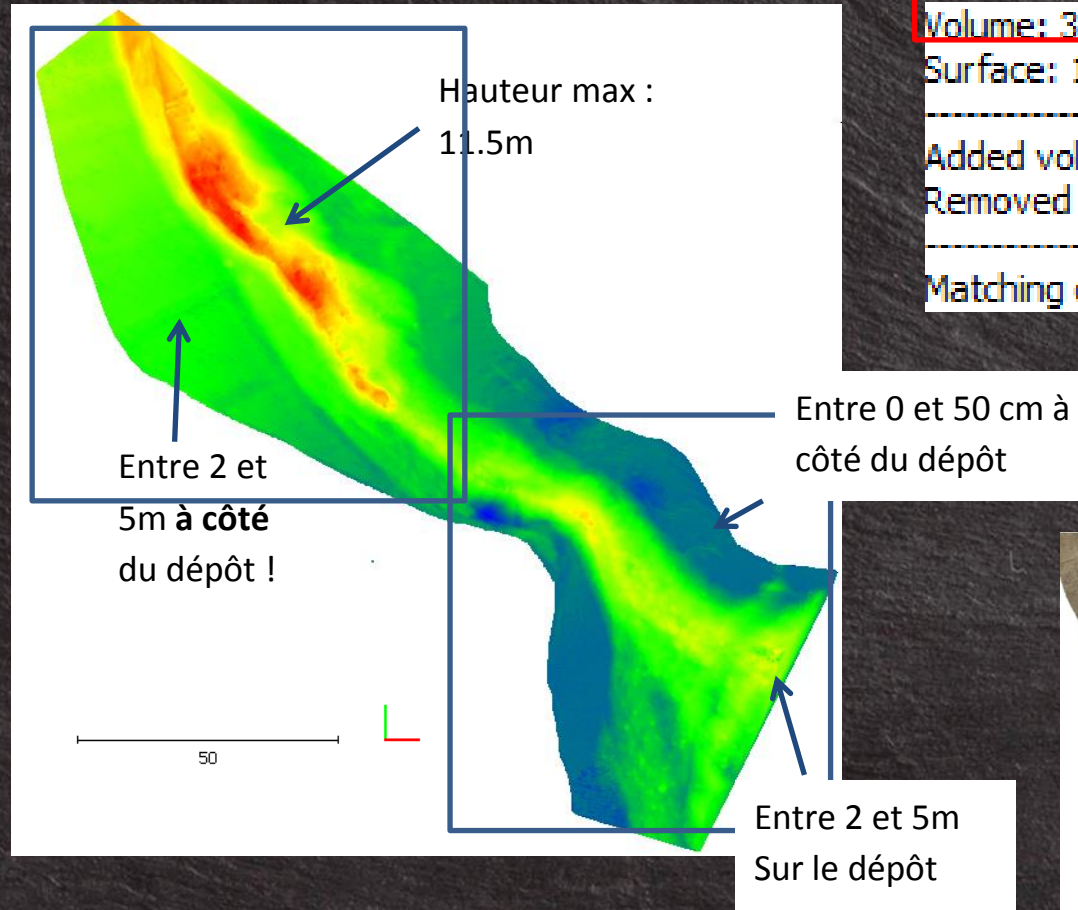
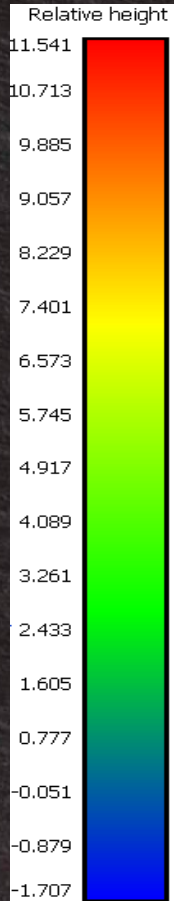
Site de Bessans 12



méthodes	EQM
Sol nu Lidar	43cm
Dépôt Drone	304cm ✘

- Très forte erreur (3m) sur la partie amont du MNT du drone
 - Dû à l'absence de cibles placées sur la partie supérieur du dépôt





Volume: 32,165.219

Surface: 11,892.227

 Added volume: (+)32,305.259

Removed volume: (-)140.040

 Matching cells: 99.4%



Orthophoto, absence de neige sur le côté du dépôt

- Hauteurs cohérentes sur la partie basse mais très incohérentes sur la partie haute du dépôt
 - Volume de 32165000 m³ largement surestimé

- Nombre de cas étudiés encore insuffisants pour pouvoir tirer des conclusions définitives
- Résultats décevants des acquisitions par drone
 - Faire attention au placement des cibles
 - Prendre en considération la luminosité
 - fortes contraintes : 2 dronistes, matériel très fragile, absence de vent...
- Dans l'ensemble, bon résultats pour la lasergrammétrie
 - À améliorer sur des dépôts avec des arbustes
- Malgré un nuage de point de mauvaise qualité, excellents résultats pour la photogrammétrie terrestre
 - Méthode à développer au vu de ces résultats et des faibles contraintes climatiques et matérielles qu'elle engendre.
- Le volume de **12 dépôts scannés** durant l'hivers 2016-2017 devraient pouvoir être calculé à l'automne 2017 (une fois que les sols nu auront été scannés). La comparaison de tout les volumes calculés avec les estimations de l'ONF pourra alors débiter.

- Utilisation d'une perche de 6m pour la photogrammétrie terrestre
 - S'affranchir des masques



- Utiliser un distance-mètre relié GPS RTK pour prendre les cibles à distance
 - Gain de temps et réduction du risque

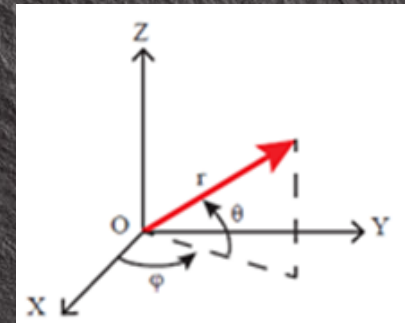
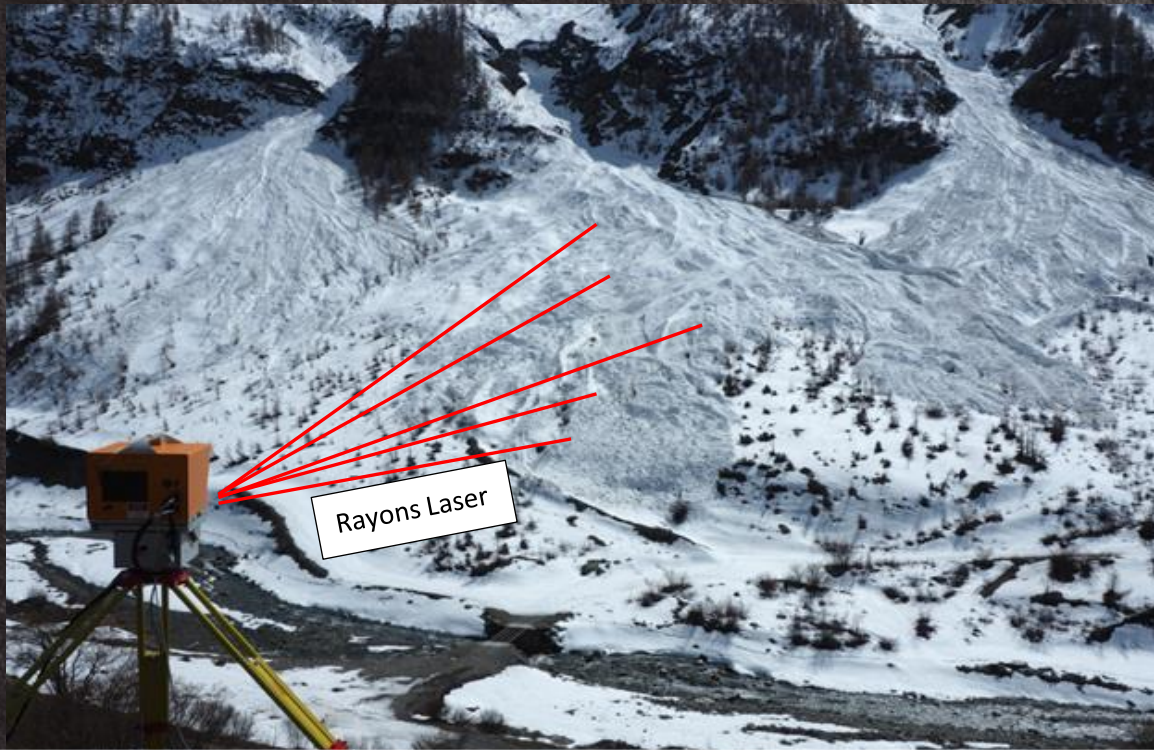


- Elimination des arbres sur les MNT issus du laser scan
- Etablir un protocole permettant de définir la meilleure hauteur de vol pour une focale donnée
- Faire des tests de sous échantillonnages pour trouver le meilleur rapport entre bonne densité permettant un bon calcul de volume et temps d'acquisition raisonnable
- Former des « operateurs droniste » pour assister le pilote
 - simplification de la démarche qui demande actuellement la présence de deux pilotes de drones

Merci de votre attention

LST vs Photogrammétrie

	Laser Scan Terrestre	Photogrammétrie	
		<u>Drones</u>	<u>Terrestre</u>
Personnel nécessaire	2 personnes minimum	3 personnes minimum dont 2 Dronistes	2 Personnes minimum
Contraintes climatiques	Vent < 30km/h (pas de déplacement de neige) ; Temps sec : ni pluie ni brouillard ni neige	Vent < 20 km/h pour pouvoir voler, bonne visibilité ; Temps sec : ni pluie ni brouillard ni neige	Vents < 40km/h, pas de nuage ; Temps sec : ni pluie ni brouillard ni neige
Contrainte matériel	Matériel très lourd et très fragile	très fragile (casse fréquente) et encombrant	aucunes
Cout matériel	Très coûteux, 180000€ H	Couteux : 17000 euros	2000 euros
Contrainte de terrain	pas de masque, personne dans la zone de tir	pouvoir décoller et atterrir à proximité ; surface réduite par réglementation	Avoir une vue dégagée sur le dépôt
Disponibilité du matériel	1 seul Laser à partager entre plusieurs laboratoires.	Disponibilité des dronistes et des drones	Toujours disponible
Temps moyen acquisition par dépôt (comprenant pose des cibles, installation etc)	3h par dépôt, mais possibilité de prendre plusieurs dépôts en même temps	3h30 ; réglages et programmations des vols assez long, nécessité de changer de batterie	2h
Traitement	Rapide (moins de 2h) et simple une fois la technique maîtrisée.	Simple mais temps considérable (pointage de toutes les cibles sur chacune des photos (2h) et temps de calcul du logiciel considérable (1 ou 2 jours).	
Qualité du nuage de point obtenu	bonne	excellente	Variable



$$X = r * \cos \theta * \cos \varphi$$

$$Y = r * \cos \theta * \sin \varphi$$

$$Z = r * \sin \theta$$

Longueur d'onde	1064nm (invisible à l'œil)
Type d'émission	pulsé
Puissance moyenne	120mW
Diamètre du faisceau	14mm
Divergence du faisceau	0,014324°
Précision sur la distance	11mm à 100m
Précision Angulaire	80 μrad
Classe	3B (Très dangereux !)
Portée du Laser	1500m

$$D = \frac{c * t}{2}$$

c : la vitesse de la lumière (en $m * s^{-1}$)
t : le temps de parcours (en s)

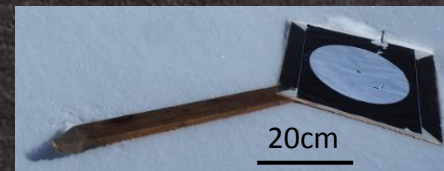
D : la distance séparant le SLT du point mesuré sur la surface d'intérêt (en m)

1-Placement de cibles géoréférencés

- Permet de géoréférencer le dépôt et de corriger les distorsions/ déformations.
- Répartition uniforme sur l'ensemble du dépôt.
- Exposition importante au risque avalanche, nécessite la présence d'une deuxième personne pour faire la surveillance.



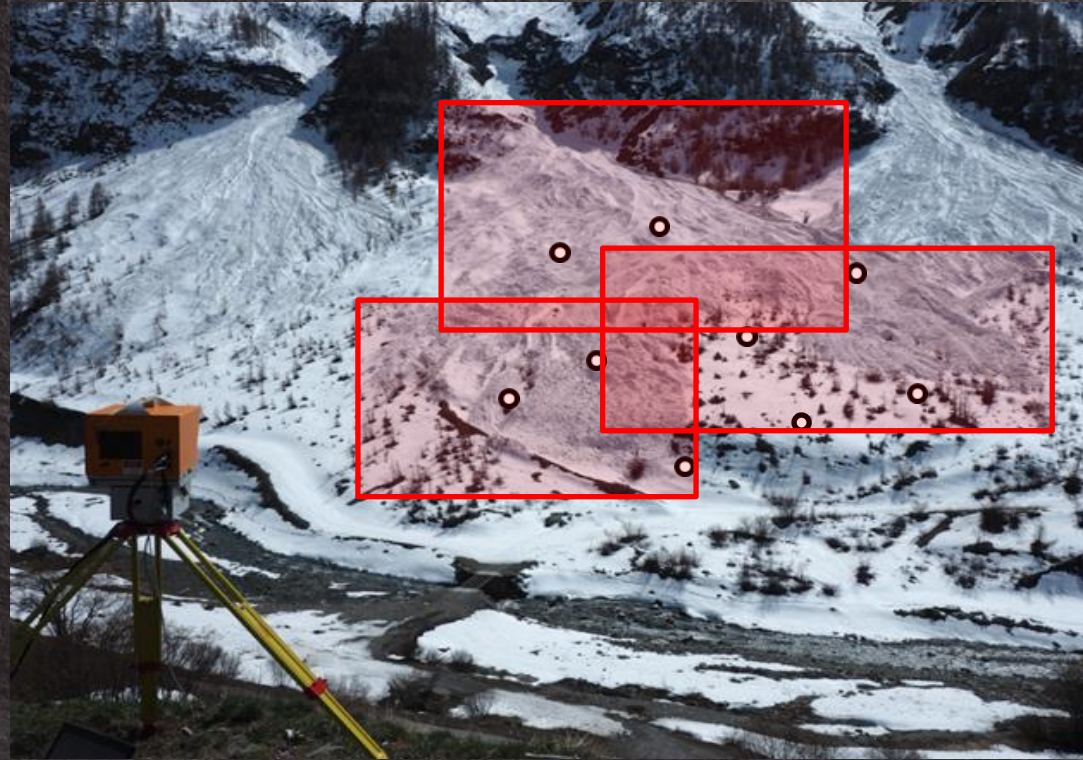
Leica Zeno 20, précision centimétrique



Cible utilisée

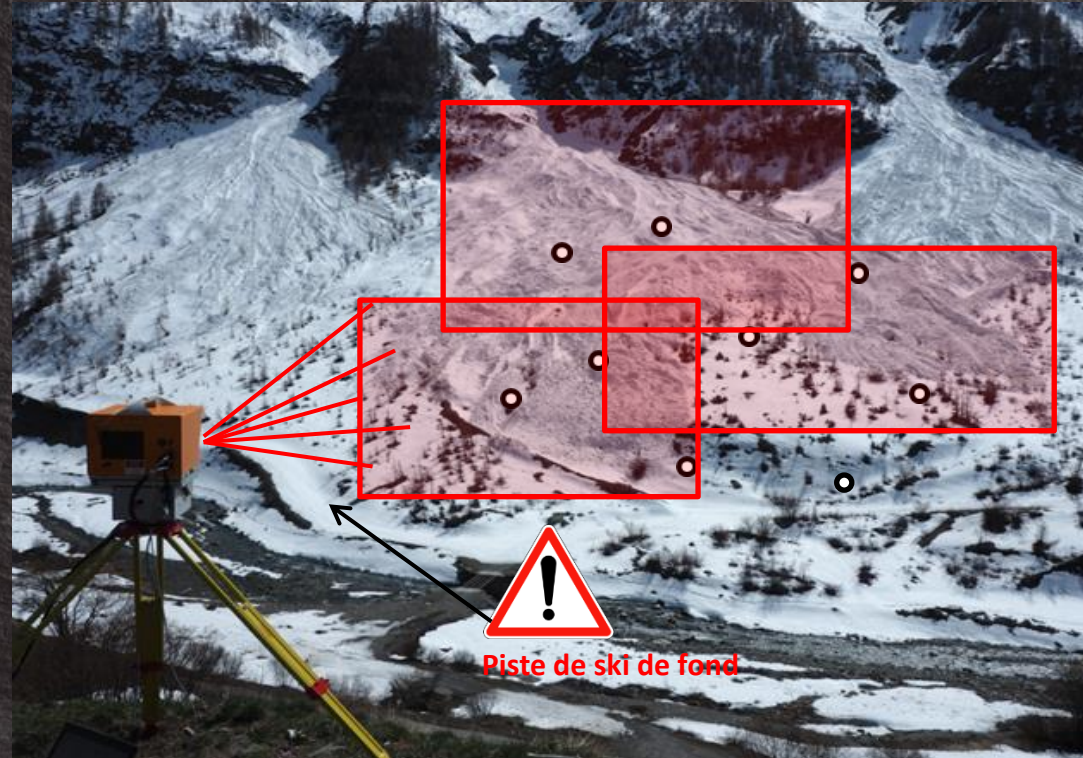
2-Choix des paramètres et de la zone de scannage:

- Découpage du dépôt en plusieurs zones (veiller à incorporer toutes les cibles)
- Choix du pas de balayage : entre 2 et 8cm

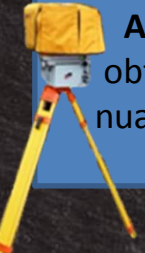


3-Lancement du Tir:

- Veillez à ce que personne ne pénètre dans la zone de Tir
- Bloquer l'accès si nécessaire



Traitement du nuage de points



Acquisition:
obtention d'un
nuage de points

Logiciel PARSEUR

- Ajout de paramètres météo : humidité, température et pression atmosphérique.
- Ajout d'un paramètre de calibration.

Exportation du nuage
de points au format
PIF

Traitement du nuage de points

Logiciel PARSER

- Ajout de paramètres météo : humidité, température et pression atmosphérique.
- Ajout d'un paramètre de calibration.



1- ajout de paramètres:
Focale, espacement
moyen...

Logiciel Polyworks

Nuage de points au format
PIF

2- Importation d'une
matrice de déformation:
3 translation et 3
rotations

3- Pointage et
géoréférencement des cibles
(coordonnées XYZ)

Les sources d'erreurs :

Sont divisibles en quatre catégories:

- Erreurs instrumentales
- Erreurs liées à l'objet numérisé
- Erreurs environnementales
- Erreurs méthodologiques

Les erreurs instrumentales:

- Sont directement liées à la conception générale de l'appareil
- Ont un impact sur les mesures de distances et d'angles
- Sont de type systématiques et aléatoires

- Incertitude sur le mesure de distance σ_D

$$\sigma_D = \frac{c * t}{2 * \sqrt{\frac{S}{B}}}$$

Avec : c : la vitesse de la lumière
(en $m * s^{-1}$)

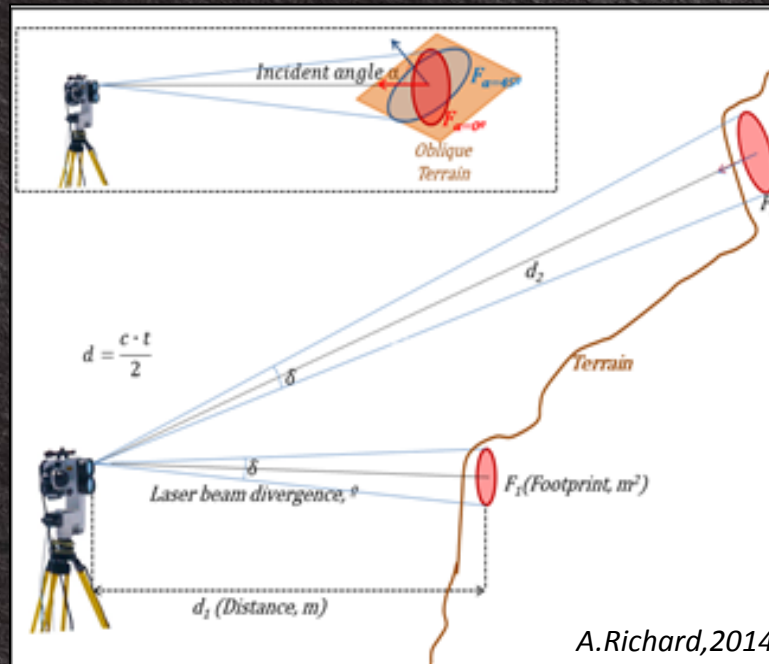
t : le temps de parcours (en s)

$\frac{S}{B}$: le rapport signal sur bruit

Influencé par le bruit des éléments
électroniques et par les caractéristiques du
récepteur.

Les erreurs instrumentales:

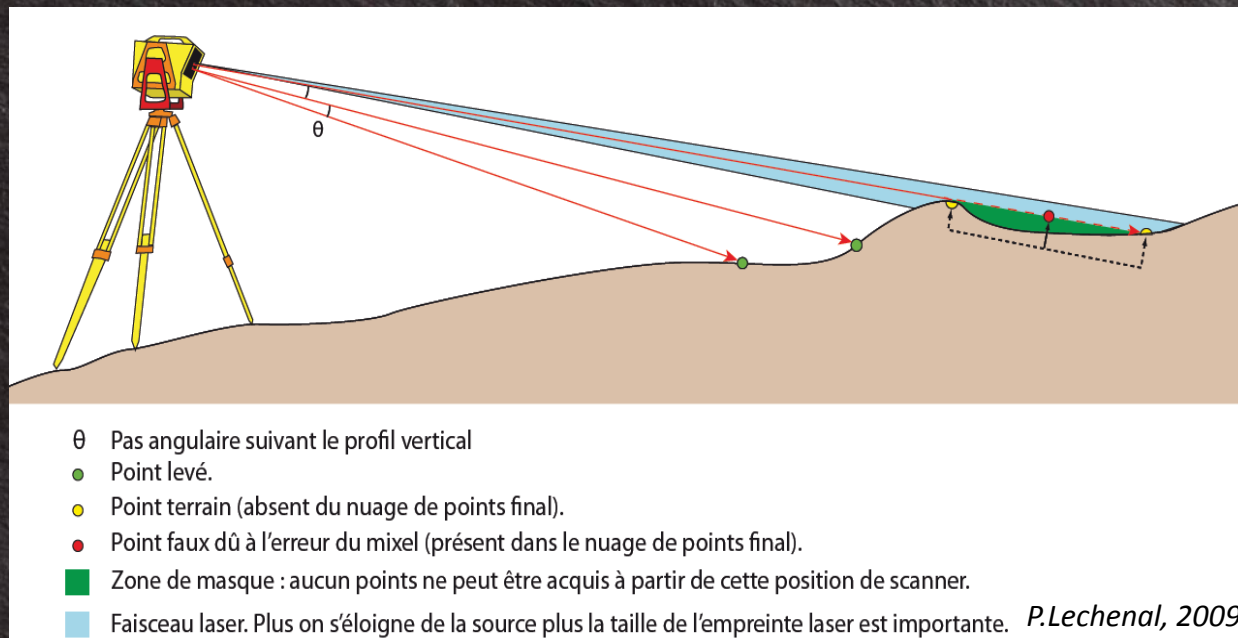
- Incertitude sur la résolution spatiale dû à l'emprise de l'empreinte laser



- Les valeurs mesurées sont issues de la moyenne de l'ensemble des points se trouvant dans l'empreinte
- La précision des mesures diminue lorsque l'empreinte grossie.
- La taille de l'empreinte est fonction de la distance et de l'angle d'incidence à l'objet.

Les erreurs instrumentales:

- Création de faux points lorsque le laser touche une crête



➤ Dépendant de la taille de l'empreinte laser

Les erreurs liées à l'objet numérisé:

Mauvaise réflectance dû à :

- Rugosité de la surface
- Humidification de la surface
- Taille des grains

Les erreurs environnementales:

Influence des conditions atmosphériques:

- Température
 - Pression atmosphérique
 - Humidité
- } Doivent être relevés

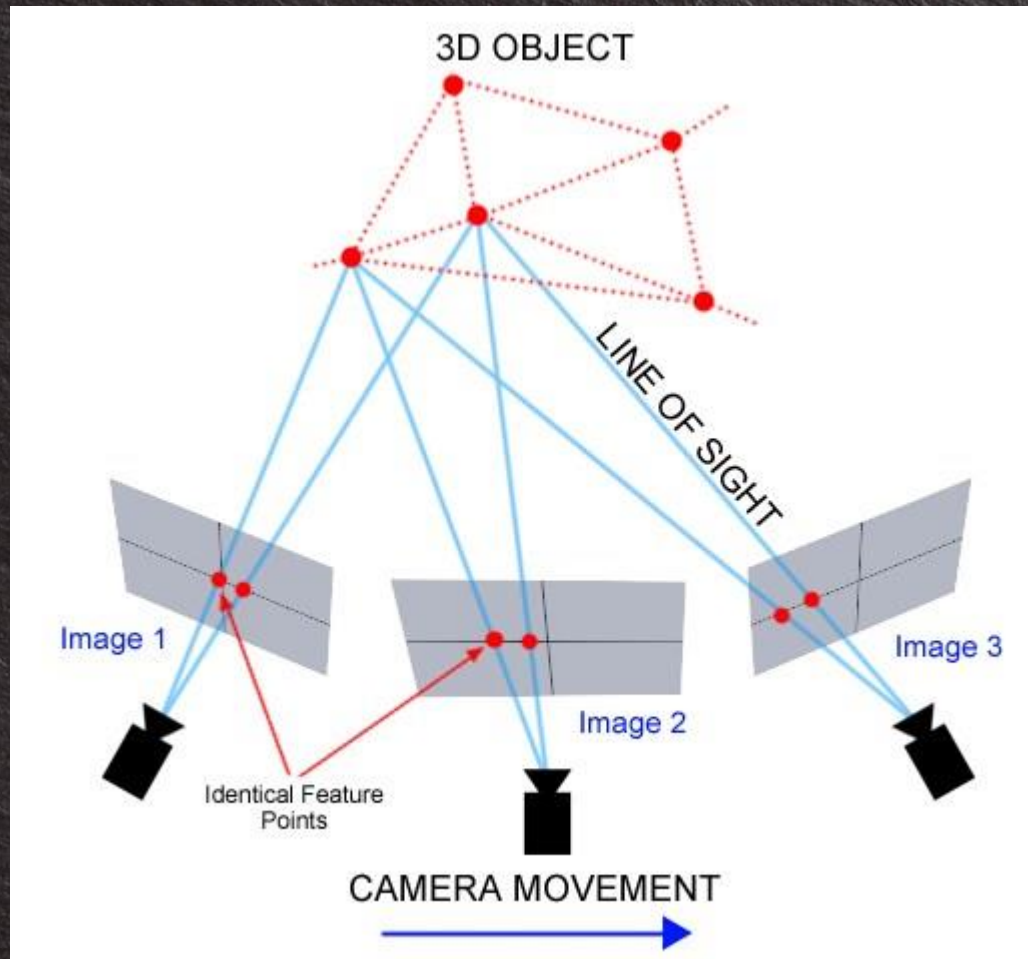
Les erreurs méthodologiques

Des erreurs peuvent apparaître selon le choix:

- De la journée de scannage
- De la zone de Tir
- Des paramètres de résolution
- Du positionnement des cibles et de leur densité

- Erreurs liées à une mauvaise utilisation des logiciels de traitement
 - Pratique régulière nécessaire

- **Reconstitution d'un objet en 3D à partir de photos prises depuis différents points de vue.**
 - Exploitation de l'effet de parallaxe qui nous permet de voir quotidiennement le relief grâce à nos yeux et leurs rétines



Reconstitution d'un objet en 3D par prises de vue successives

1- La Lasergrammétrie

**2- La Photogrammétrie
terrestre**

3- La photogrammétrie
par drone



1- La Lasergrammétrie

**2- La Photogrammétrie
terrestre**

3- La photogrammétrie
par drone



1- La Lasergrammétrie

**2- La Photogrammétrie
terrestre**

3- La photogrammétrie
par drone



1- La Lasergrammétrie

2- La Photogrammétrie terrestre

3- La photogrammétrie
par drone



1- La Lasergrammétrie

2- La Photogrammétrie terrestre

3- La photogrammétrie
par drone



1- La Lasergrammétrie

2- La Photogrammétrie terrestre

3- La photogrammétrie
par drone



1- La Lasergrammétrie

**2- La Photogrammétrie
terrestre**

3- La photogrammétrie
par drone



1- La Lasergrammétrie

2- La Photogrammétrie terrestre

3- La photogrammétrie
par drone



Alignement des photos:

- Se base sur la recherche de pixels concordant entre les différentes photos

$$\text{Coefficient de corrélation entre photos} = \frac{\sum (P_{ph1} - P_{ph1}^{moy})(P_{ph2} - P_{ph2}^{moy})}{\sqrt{\sum (P_{ph1} - P_{ph1}^{moy})^2 \sum (P_{ph2} - P_{ph2}^{moy})^2}}$$

Avec :

P_{ph1} = Niveau de gris du pixel sur la photo 1

P_{ph2} = Niveau de gris du pixel sur la photo 2

P^{moy} = une moyenne des valeurs de niveaux de gris à l'intérieur de la matrice de corrélation

Les sources d'erreurs :

Erreurs instrumentales :

- Mauvais signal GPS → positions des cibles erronées

Erreurs méthodologiques:

- Présence de masques ou de zones d'ombre
- Mauvaise superposition des photos
- Dépôt trop ancien



Dépôt ancien, absence de rugosité

Dépôt encore récent, bonne rugosité

Erreurs lors de la prise des photos:

- Effet de Filé



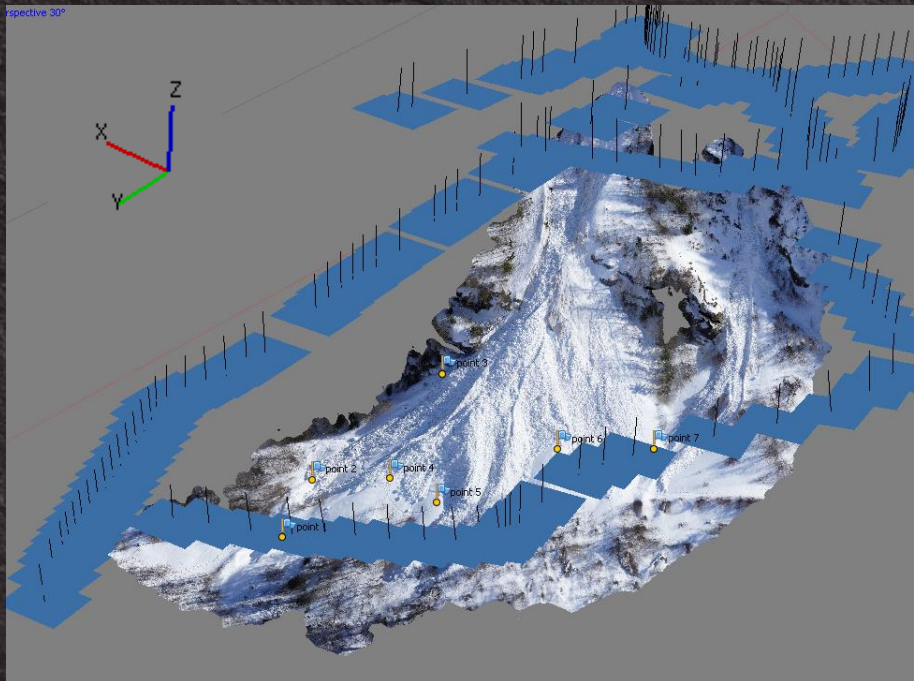
- Image surexposée



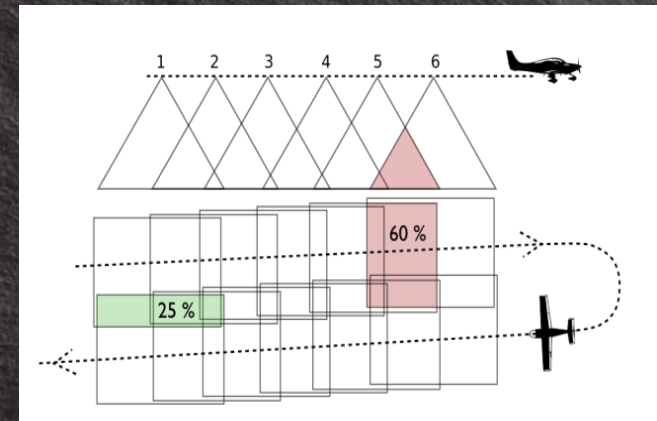
Erreurs environnementales:

- Ombre changeante dû à la présence de nuages
- Effets du vent: soulèvement de neige, mouvement d'arbres, déstabilisation du drone...

- Même principe que la photogrammétrie terrestre mais prises de vue verticales
 - moins de distorsion à corriger
- Permet de scanner des dépôts entourés d'arbres
- Possibilité d'automatiser un vol préprogrammé: Hauteur, vitesse et recouvrement du vol
 - Meilleure homogénéité que pour un vol manuel



Nuage de points sous Photoscan issu d'un vol manuel



Recouvrement théorique