

Positionnement & Télédétection

LiDAR/Scan/ogram

Matthieu Ferry, matthieu.ferry@umontpellier.fr

Plan du cours

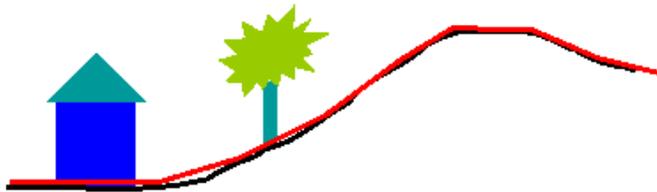
- Principes de topographie
 - MNE/MNT/MNS
 - Applications
- Mesure directe (télémétrie laser)
 - par temps de vol (LiDAR)
 - par déphasage (Scan)
- Mesure indirecte (photogrammétrie)
 - principes
 - capteur camera obscura (champ proche, aérien)
 - capteur pushbroom (satellite)
- Visualisation

Principes de topographie

- Mesure et représentation des altitudes
- Mesures éparsees: nuage de points 3D
- Mesures exhaustives (ou éparsees interpolées): matrice (raster)
- Méthode selon résolution/précision souhaitées
- Toujours réalisées dans un référentiel avec une origine des altitudes

Modèles numériques

- Modèle Numérique d'Élévation: tout
- Modèle Numérique de Terrain: MNE du sol
- Modèle Numérique de Surface: $\max(\text{MNE})$

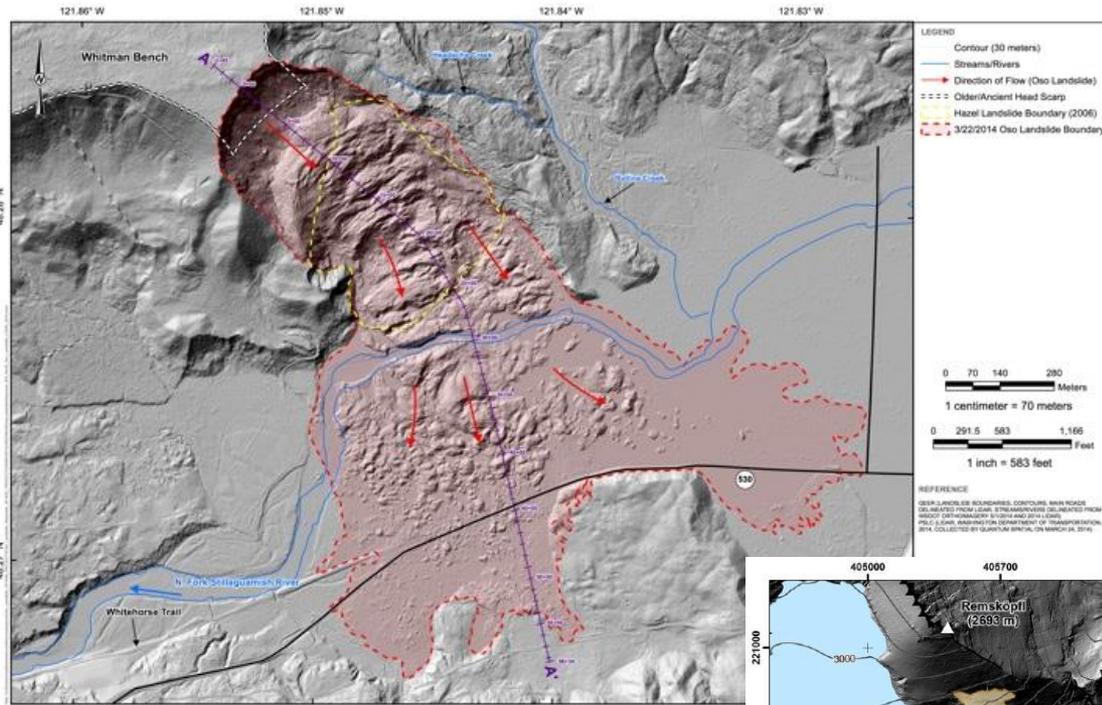


MNT



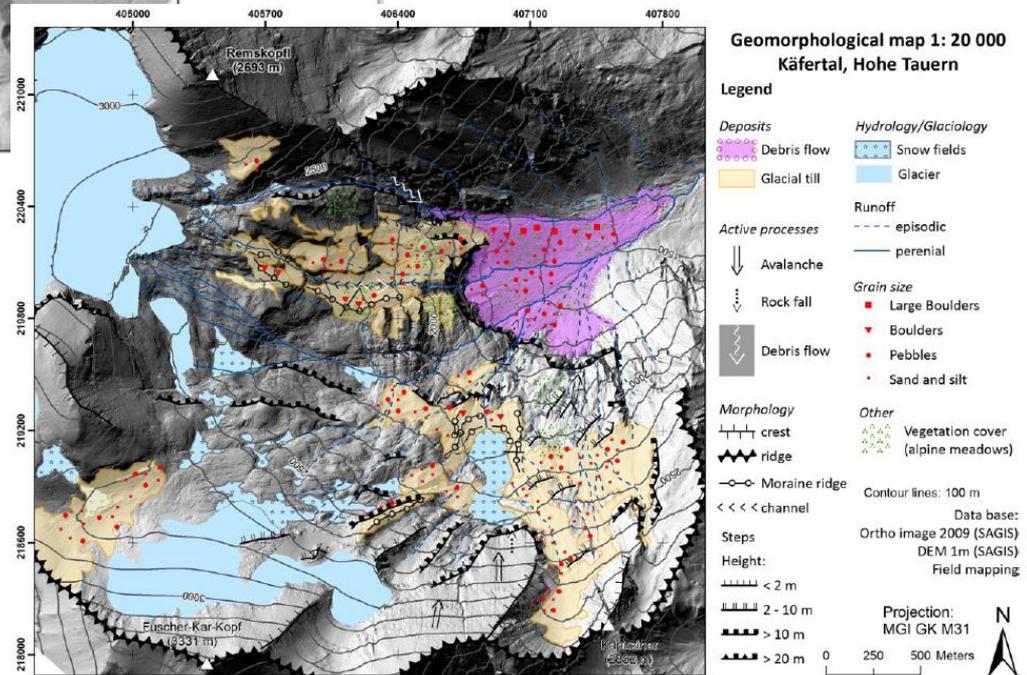
MNS

Applications - Cartographie

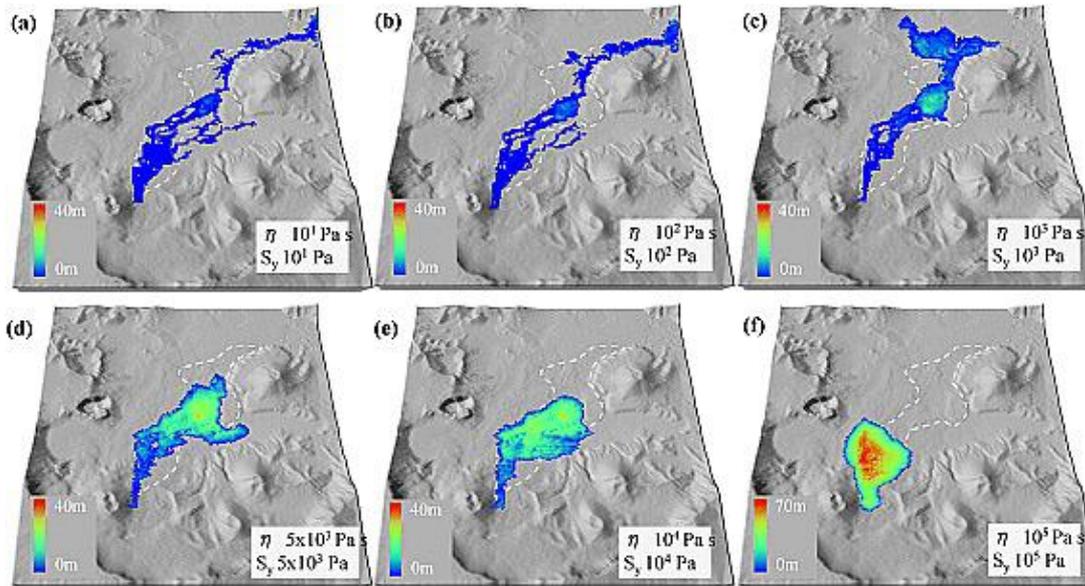


Glissement de terrain d'Oso (2014)

Vallée glaciaire du Käfertal

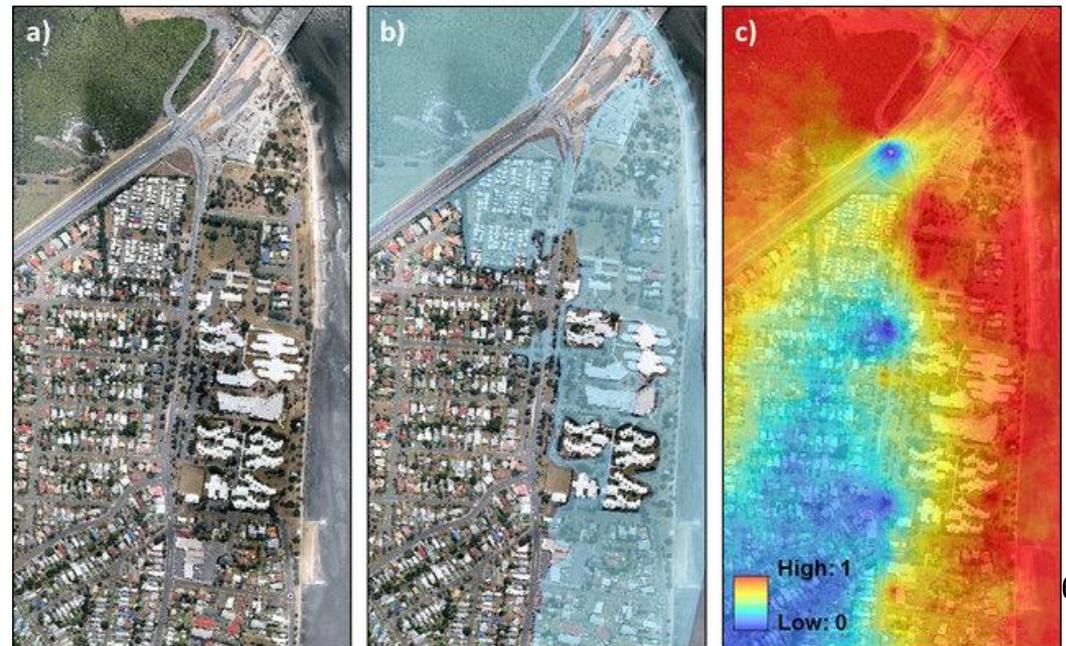


Applications - Modélisation



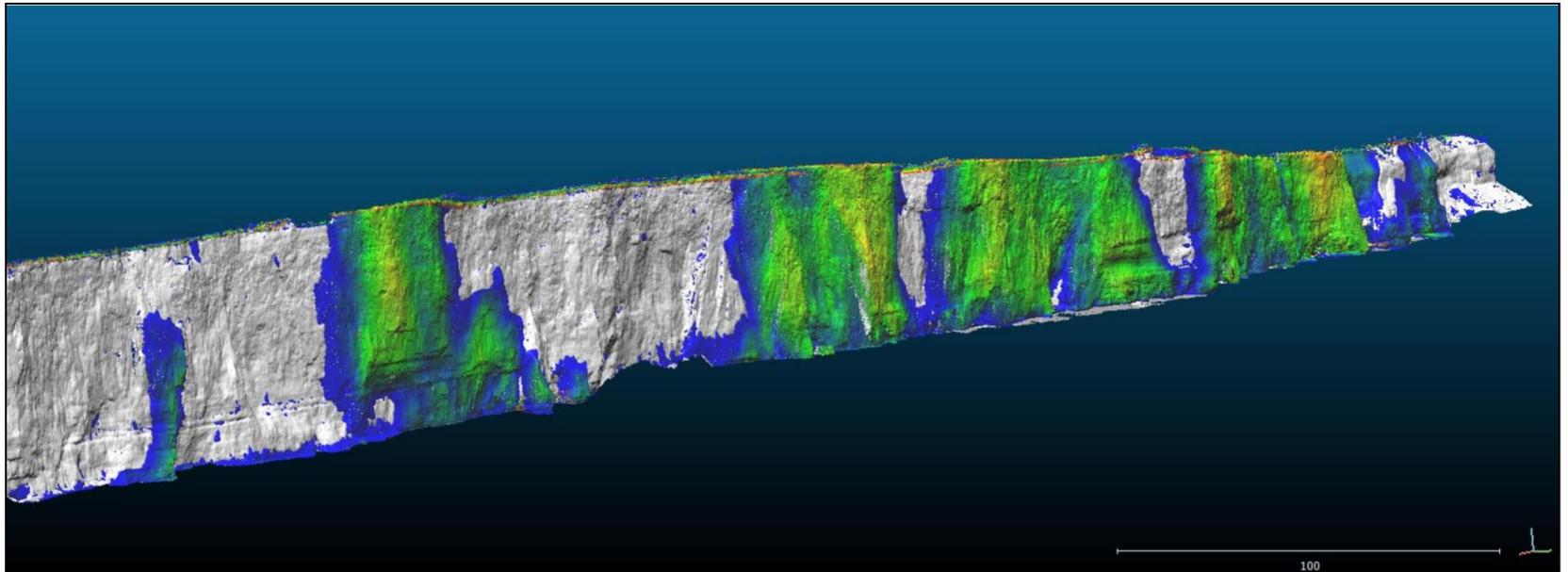
Modélisation d'écoulement de lave par le volcan Okmok

Modèle d'inondation par onde de tempête (b) et probabilité d'occurrence (c)



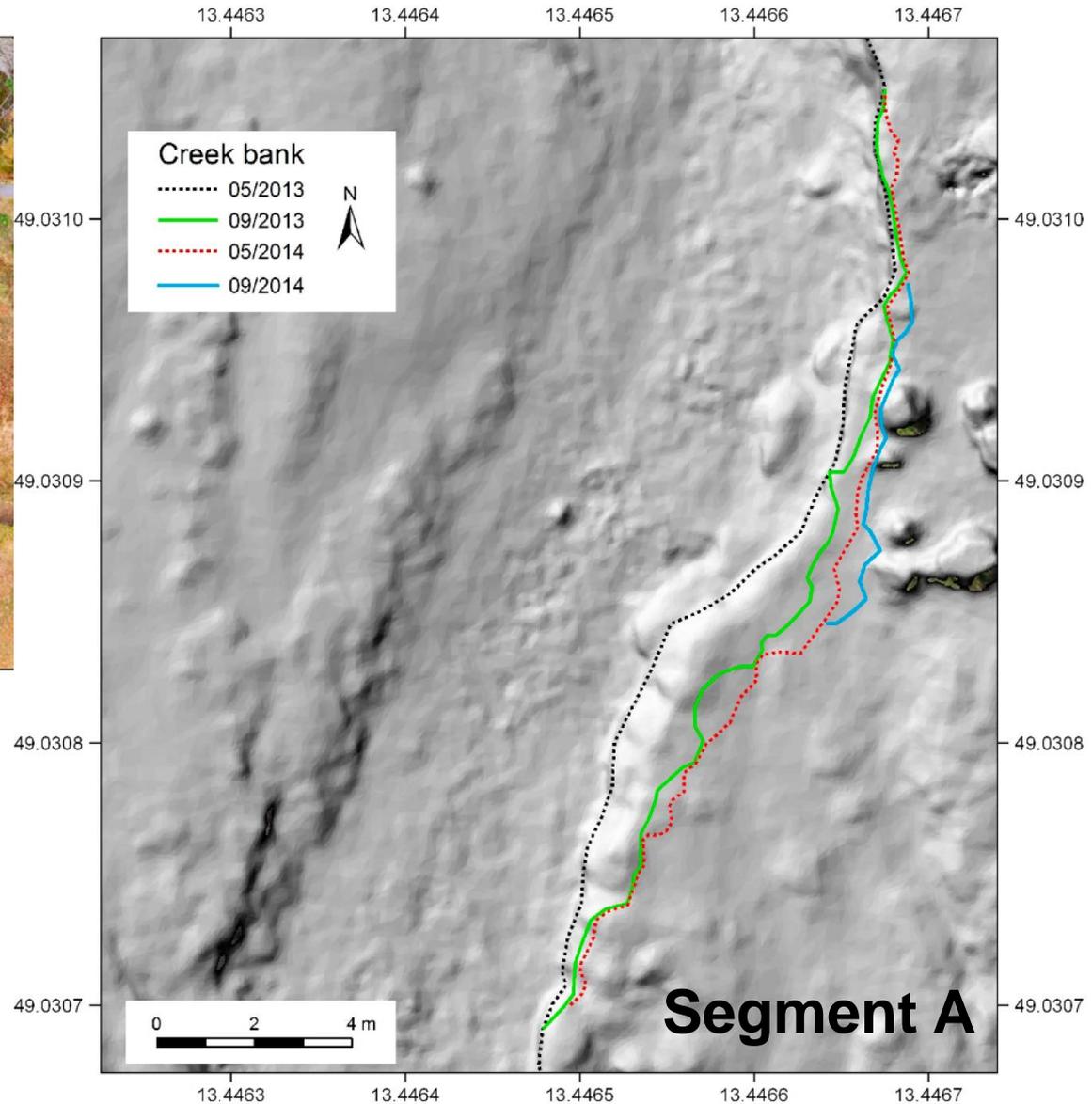
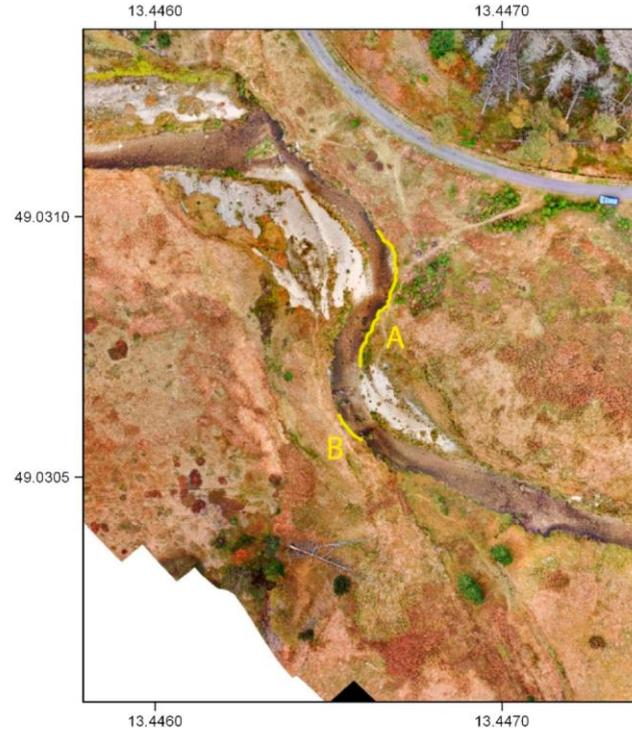
Application - Retrait de la côte

- Vitesse de retrait 0.1-0.5 m/an
- Photogrammétrie UAV



Projet Ricochet (ANR): Azur Drones, U. Caen, BRGM...

Application - Suivi d'érosion



- Orthophoto + MNT par photogrammétrie
- Suivi de la mobilité des berges sur 16 mois

Plan du cours

- Principes de topographie
 - MNE/MNT/MNS
 - Applications
- Mesure directe (télémétrie laser)
 - par temps de vol (LiDAR)
 - par déphasage (Scan)
- Mesure indirecte (photogrammétrie)
 - principes
 - capteur camera obscura (champ proche, aérien)
 - capteur pushbroom (satellite)
- Visualisation

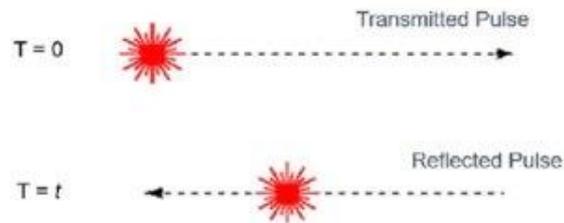


Télémétrie laser

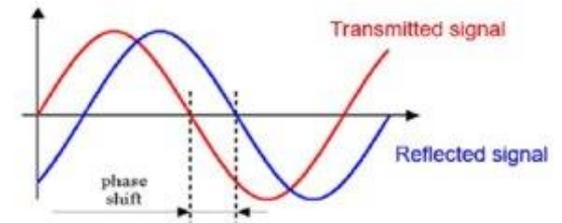
- Mesure directe par faisceau laser
- 4 paramètres de mesure: angles V et H, temps, intensité
- (Colorisation RVB par photographie)
- Mesure du temps de vol » LiDAR (Light Detection and Ranging)
- Mesure du déphasage » Scan (laserscanning)
- Intensité fonction de distance, incidence, couleur et rugosité de la cible

LiDAR vs. Scan

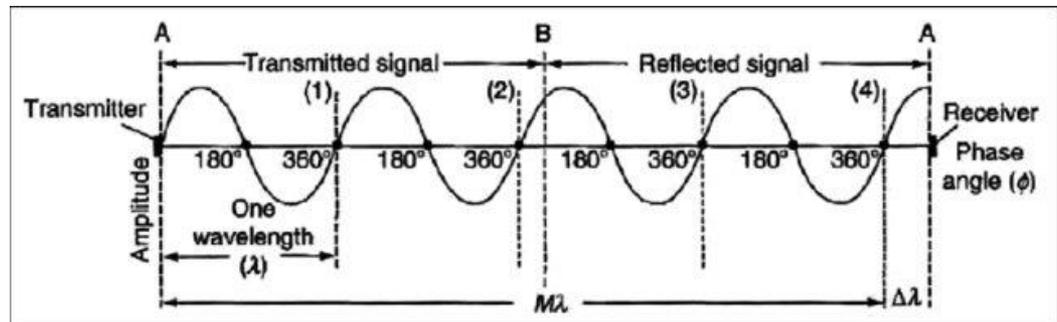
	LiDAR	Scan
Distance	Temps de vol	Déphasage
Signal	Impulsion	Continu
Vitesse d'acquisition	100s-1000s pts/s	100000s pts/s
Portée max.	qqs km	100s m
Retours	Multiples	Unique



Time-of-flight

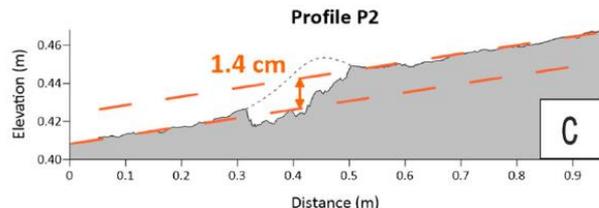
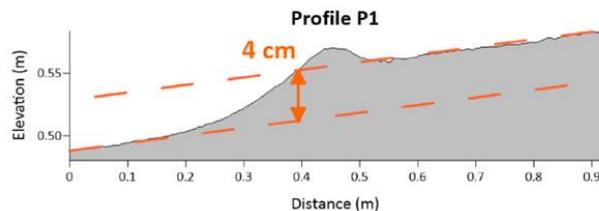
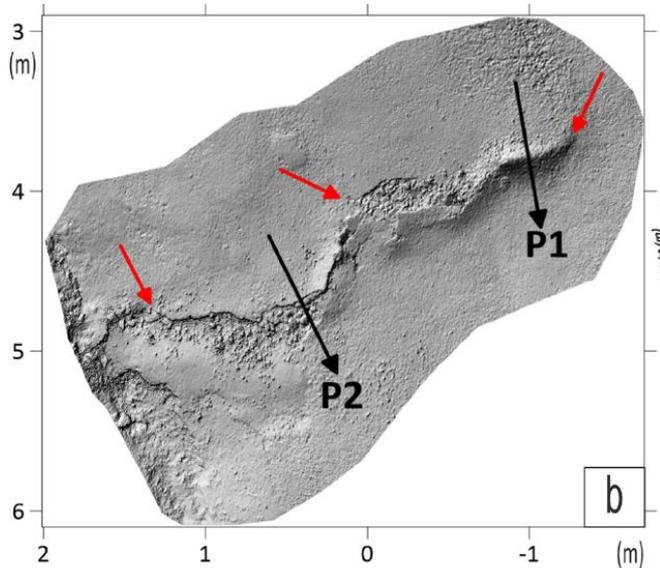


Phase-shift



LiDAR/Scan terrestre

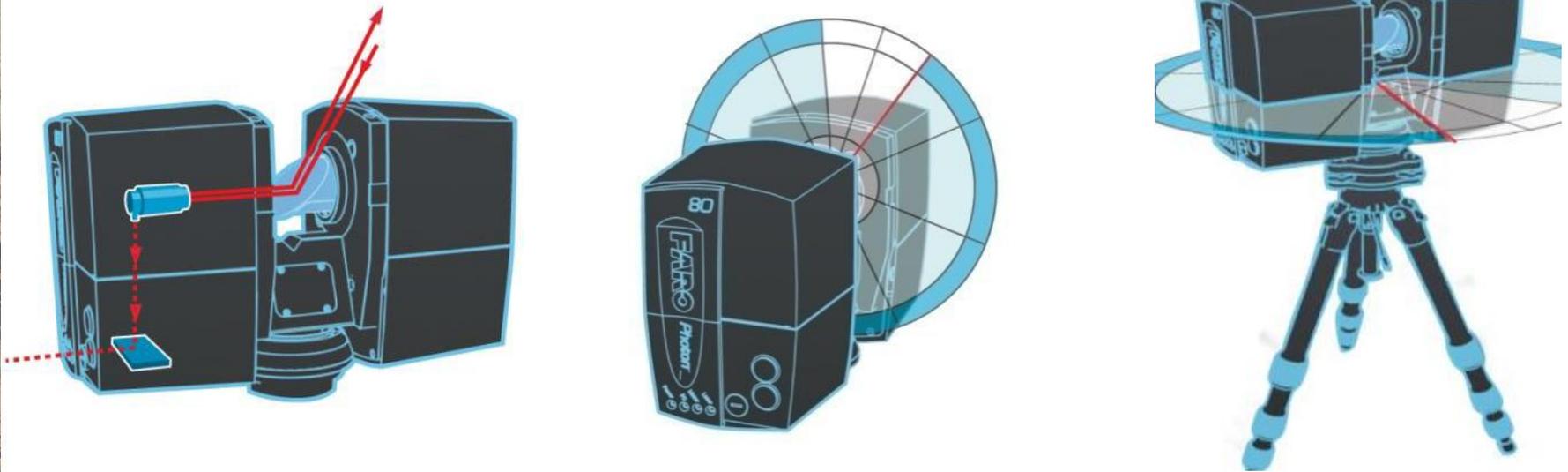
- Implantation sur trépied (ev. topo)
- Occlusions par relief et végétation
- Mesure de très petits objets
- Très haute résolution
- Travail sous canopée
- Un opérateur suffit
- Mesure à distance



Séisme du Teil (Ardèche), 11/2019



Scanner 3D Faro X330



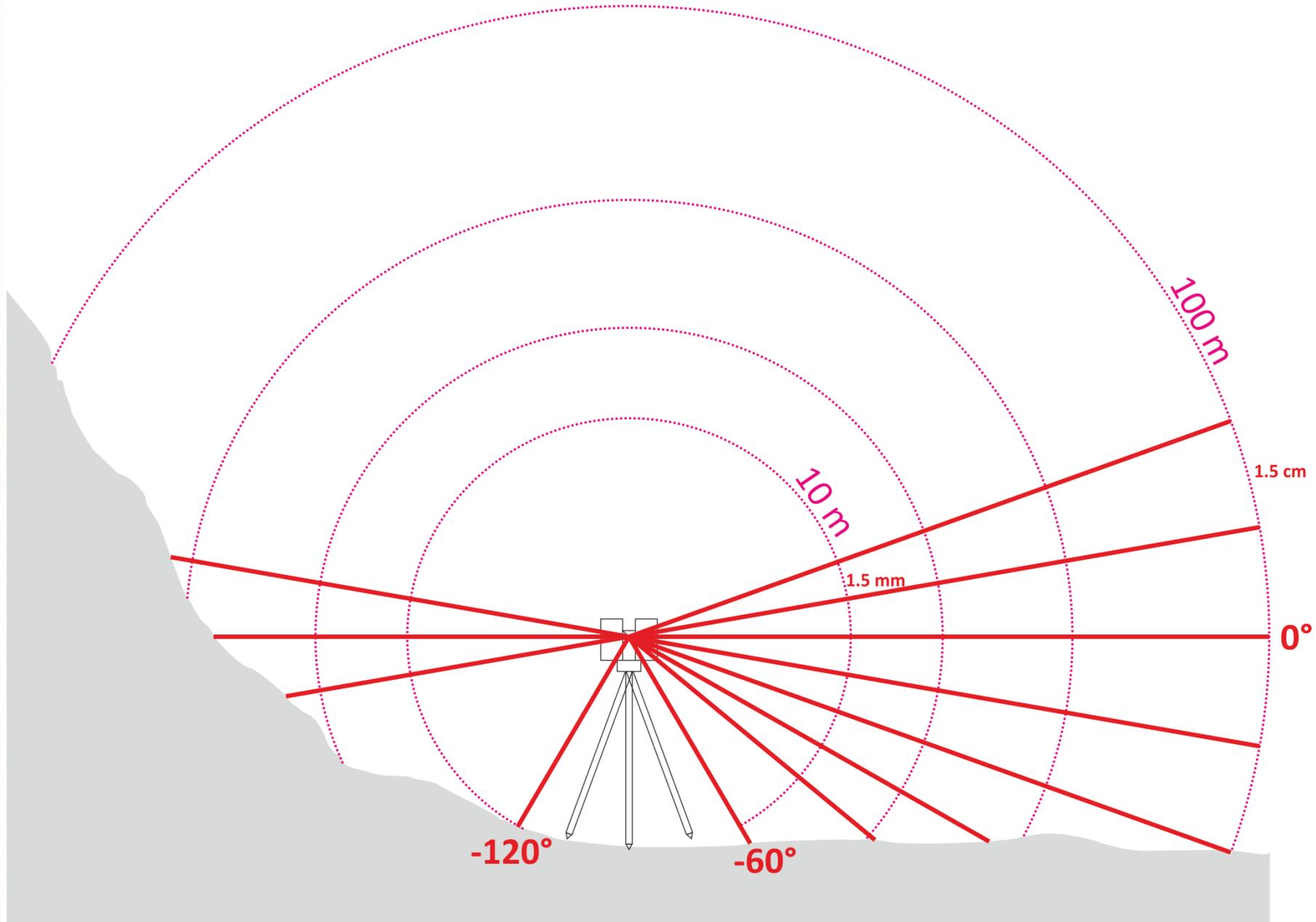
- Emission d'un faisceau laser
- Distribution verticale par miroir rotatif (300°)
- Distribution horizontale par rotation du scanner (360°)
- Portée 330 m
- Résolution 1.5 mm à 10 m

Orientations

- Orientation interne
 - H (inclinomètre)
 - V (boussole)
 - ω (calibration moteurs)
- Orientation externe
 - Centrale inertielle
 - GCPs
- Géoréférencement
 - Intégration de références dans le scan

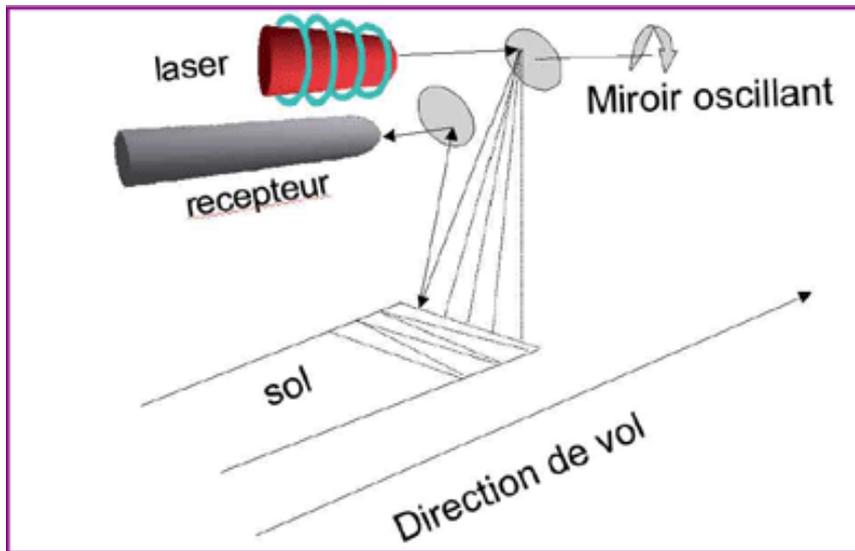


Résolution



LiDAR aéroporté

- Avion / hélicoptère
- Altitude de vol: 1000 - 3000 m
- Résolution max: 0.2 m

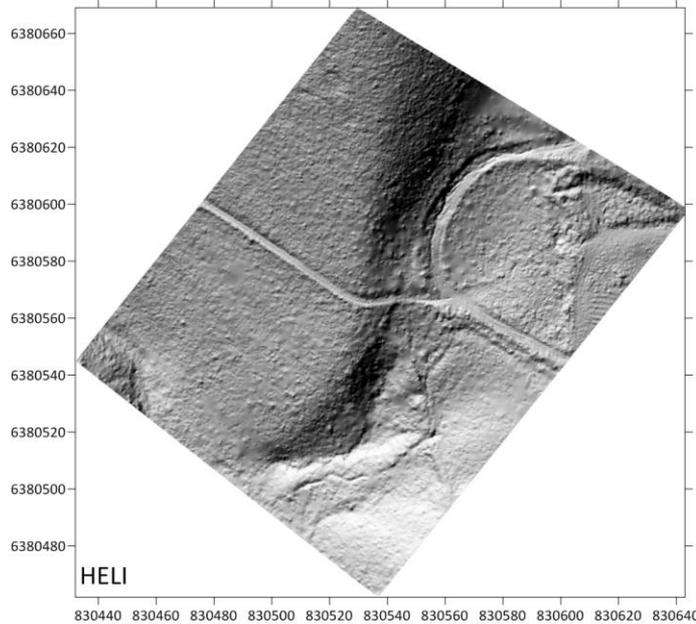


LiDAR sur UAV

- Poids: 1.5 kg
- Altitude de vol: 50 m
- Précision: 3 cm (XY), 10 cm (Z)
- ~70 k€

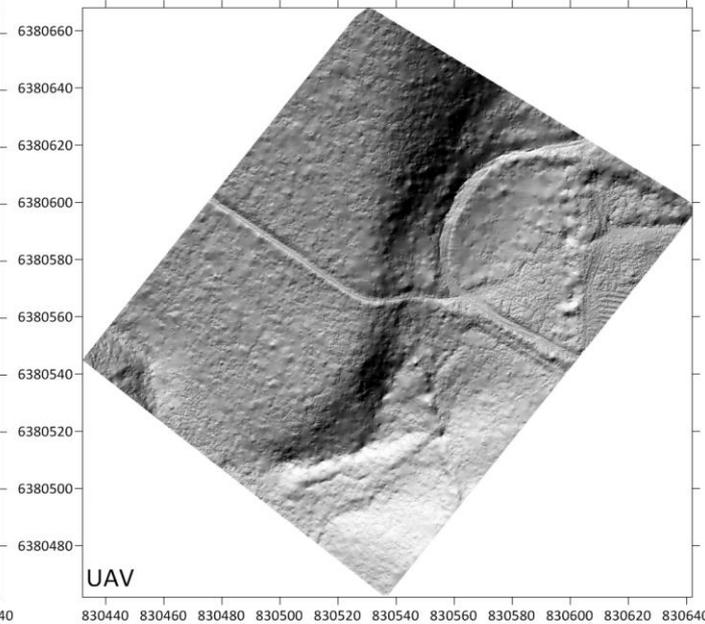


Hélicoptère vs. UAV



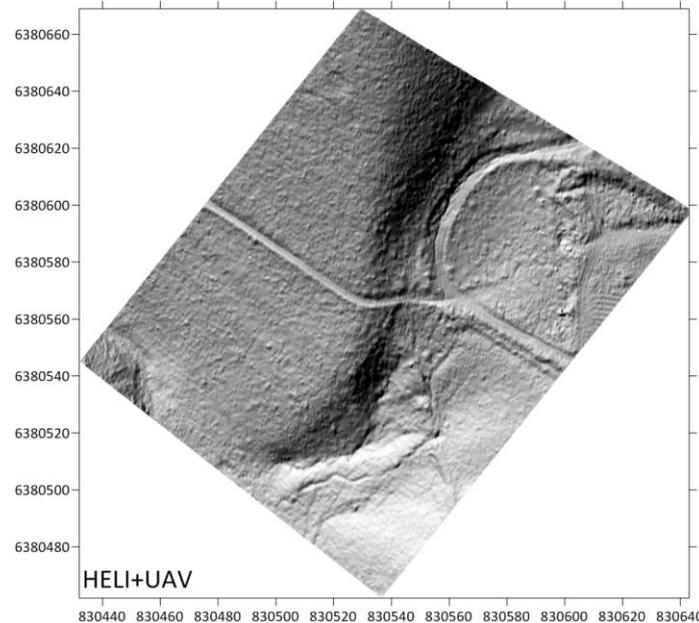
HELI

Alt vol.: 1500 m
Rés.: 0.5 m
Tps acqui.: qqs h



UAV

Alt vol.: 50 m
Rés.: 0.2 m
Tps acqui.: qqs j

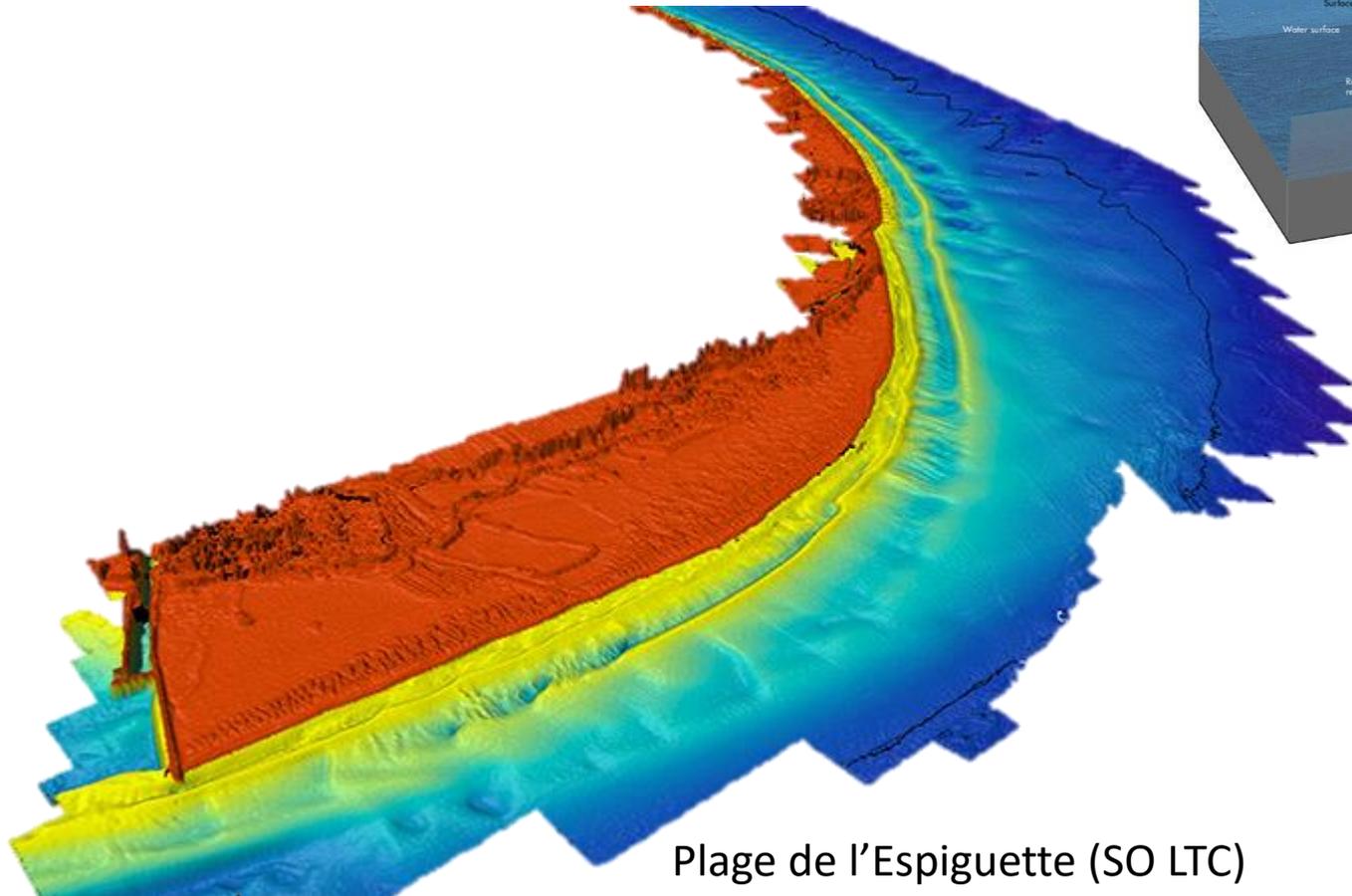
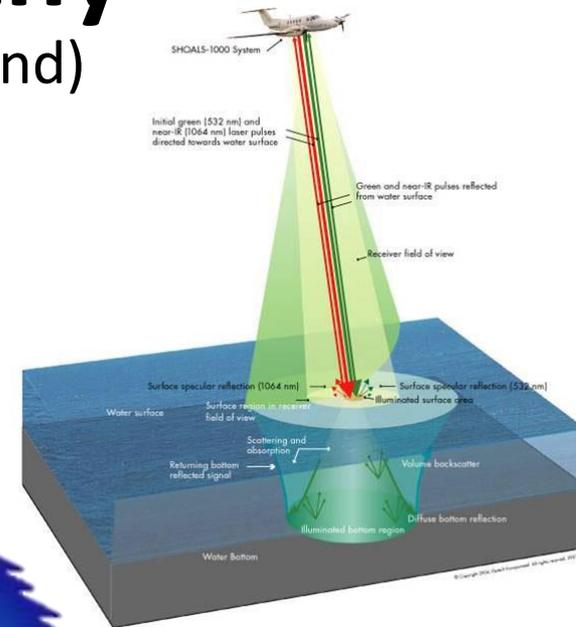


HELI+UAV



LiDAR topo-bathy

- Double faisceau rouge (surface) + vert (fond)
- Profondeur d'investigation qqs 10s m
- Résolution qqs m



Plage de l'Espiguette (SO LTC)



Pré-traitement LiDAR/Scan

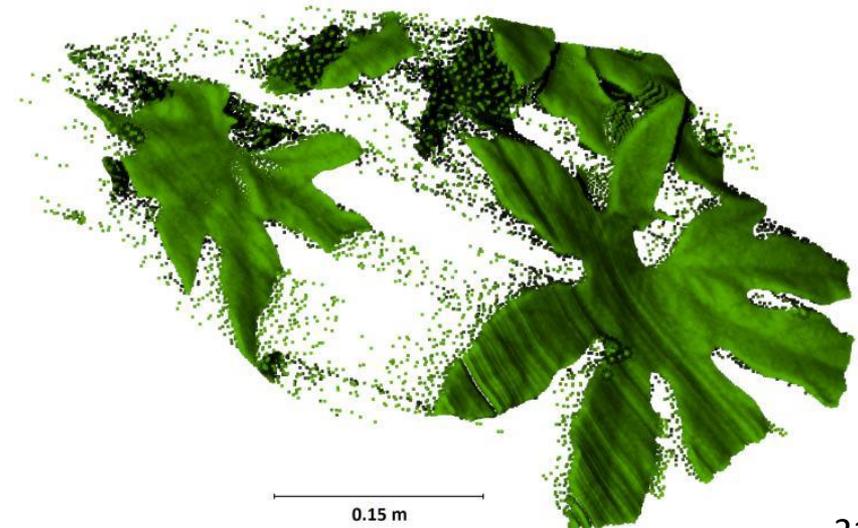
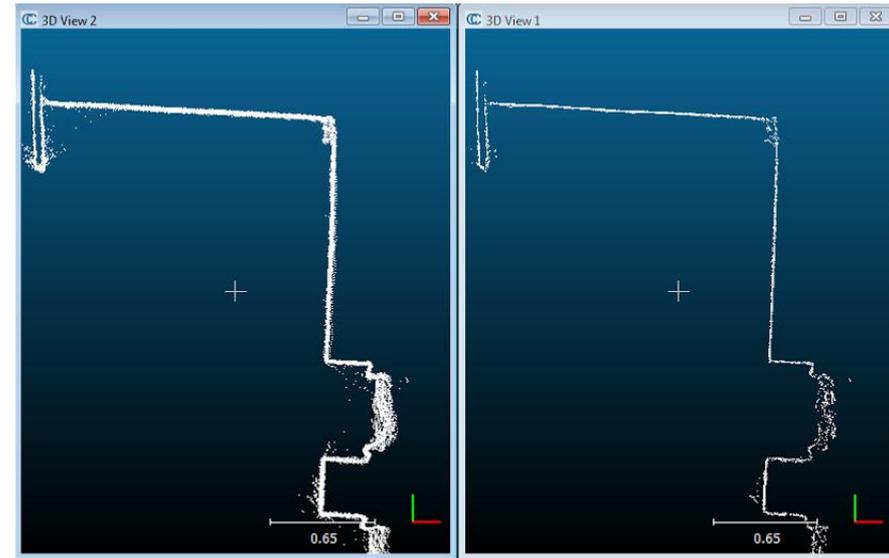
- Recollement
 - Assemblage des stations via références communes
 - Géoréférencement par positions des références
- Numérisation
 - Conversion coord. pol. vers cart. dans référentiel final
- Octree
 - Hiérarchisation du ndp



Identification des points aberrants

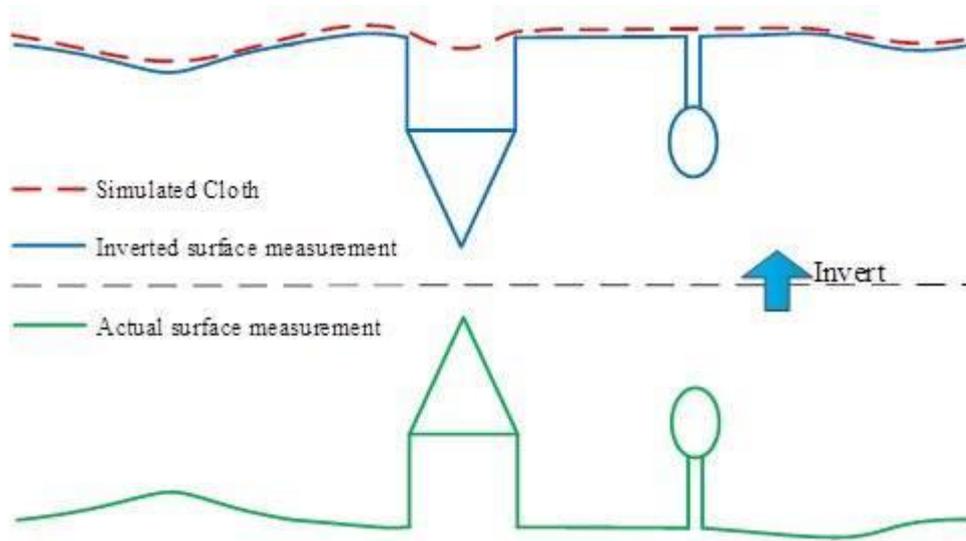
- Points isolés (oiseaux, artéfacts...)
 - Filtre de densité sur boîte glissante
 - Calcul de la distance moyenne entre un point et ses voisins

- Effets de bord
 - Filtre de densité dans la direction de scan

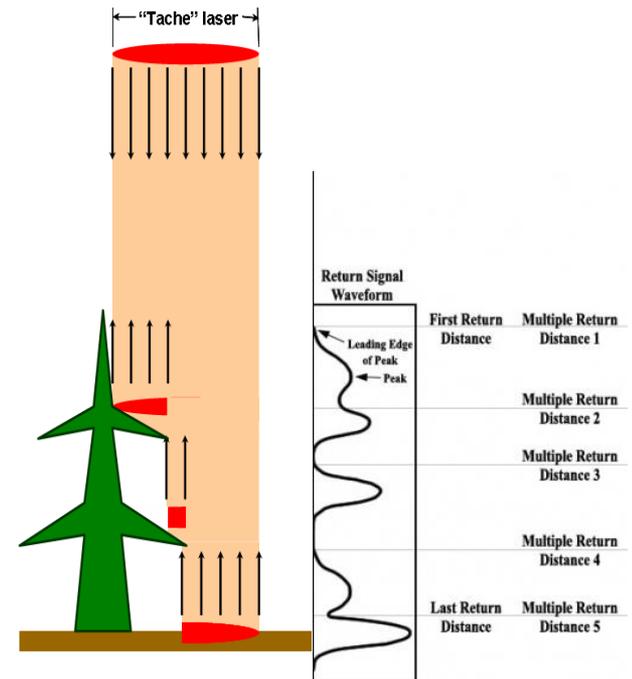


Séparation sol/sur-sol

- Classification par intensité
- Dernier écho (LiDAR)
- Filtres topologiques

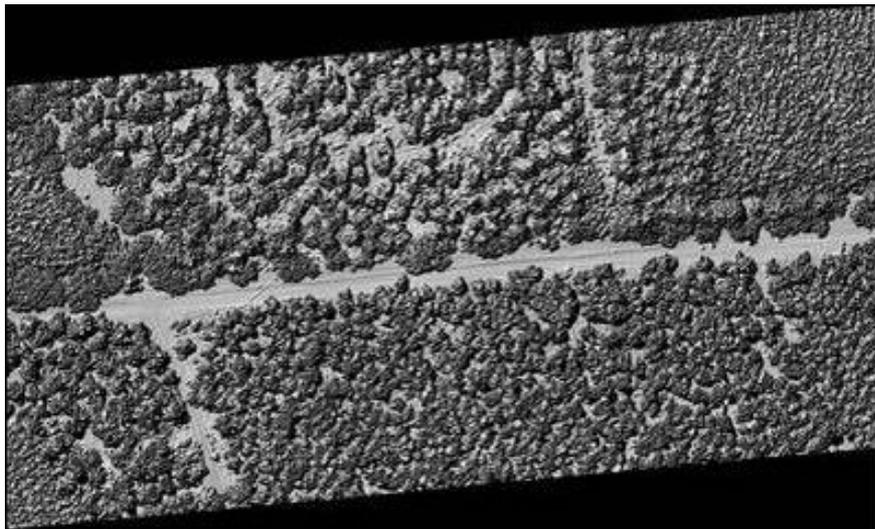
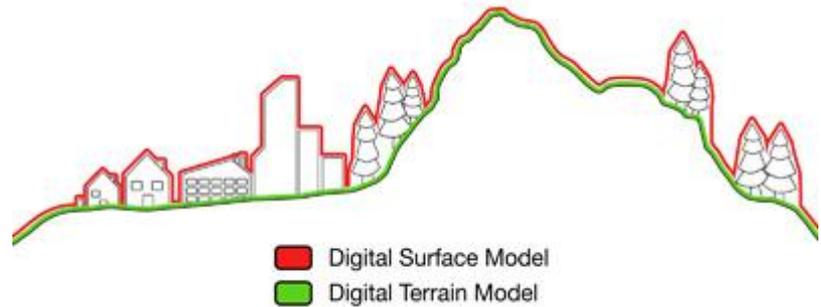


Filtre CSF

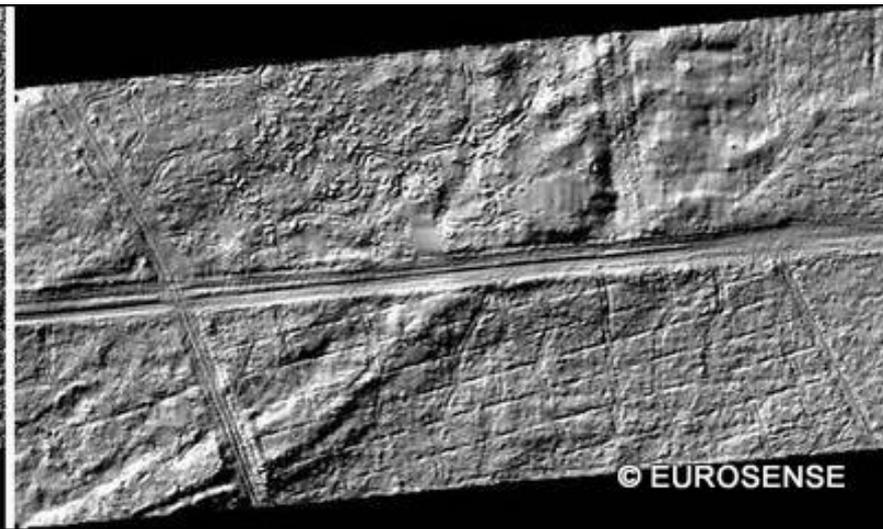


Séparation sol/sur-sol

- Classification du nuage de points: sol, bâtiment, végétation haute, végétation basse
- Production MNS, MNT, hauteur de bâtiment, hauteur de végétation



MNS



MNT

Plan du cours

- Principes de topographie
 - MNE/MNT/MNS
 - Applications
- Mesure directe (télémétrie laser)
 - par temps de vol (LiDAR)
 - par déphasage (Scan)
- Mesure indirecte (photogrammétrie)
 - principes
 - capteur camera obscura (champ proche, aérien)
 - capteur pushbroom (satellite)
- Visualisation

Photogrammétrie

Toute technique de mesure qui permet de modéliser un espace 3D en utilisant des images 2D

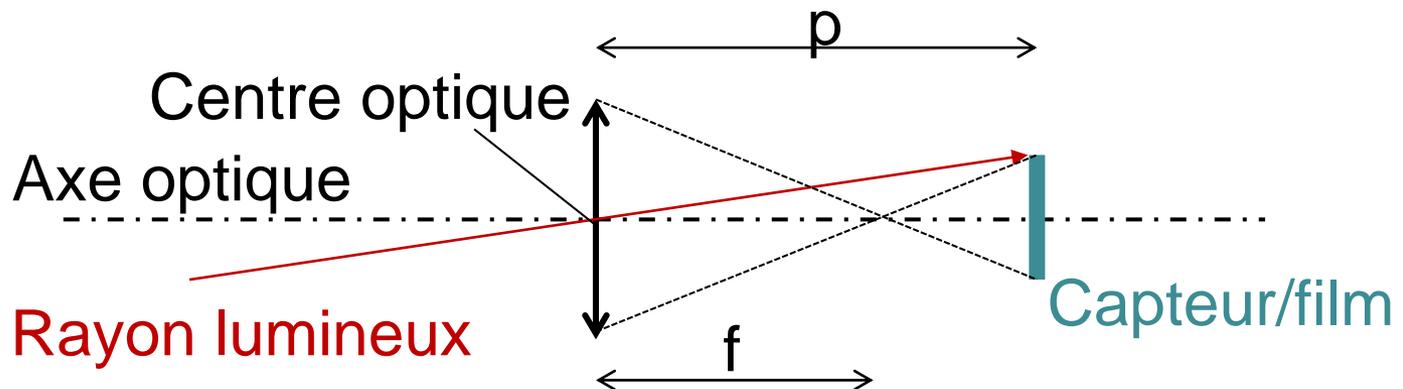


Wild C2 (1925)



Paramètres optiques

- **distance focale**, la distance entre le centre optique de la lentille et le point de convergence (foyer image, F_i) des rayons parallèles à l'axe optique. Lorsque la mise au point est faite à l'infini, le centre optique et le fond de chambre sont distants de f
- **format de capteur**, la taille de la surface sensible (négatif film ou capteur CCD)
- **angle de champ**, le champ visuel embrassé par un objectif. Sa valeur numérique est donnée par l'angle défini par la portion de l'espace accessible par la diagonale du capteur
- **distance principale**, la distance entre le centre optique et le plan de mise au point. Lorsque la mise au point est à l'infini alors $p=f$



Principe de parallaxe

Changement apparent de position d'objets statiques avec la position d'observation

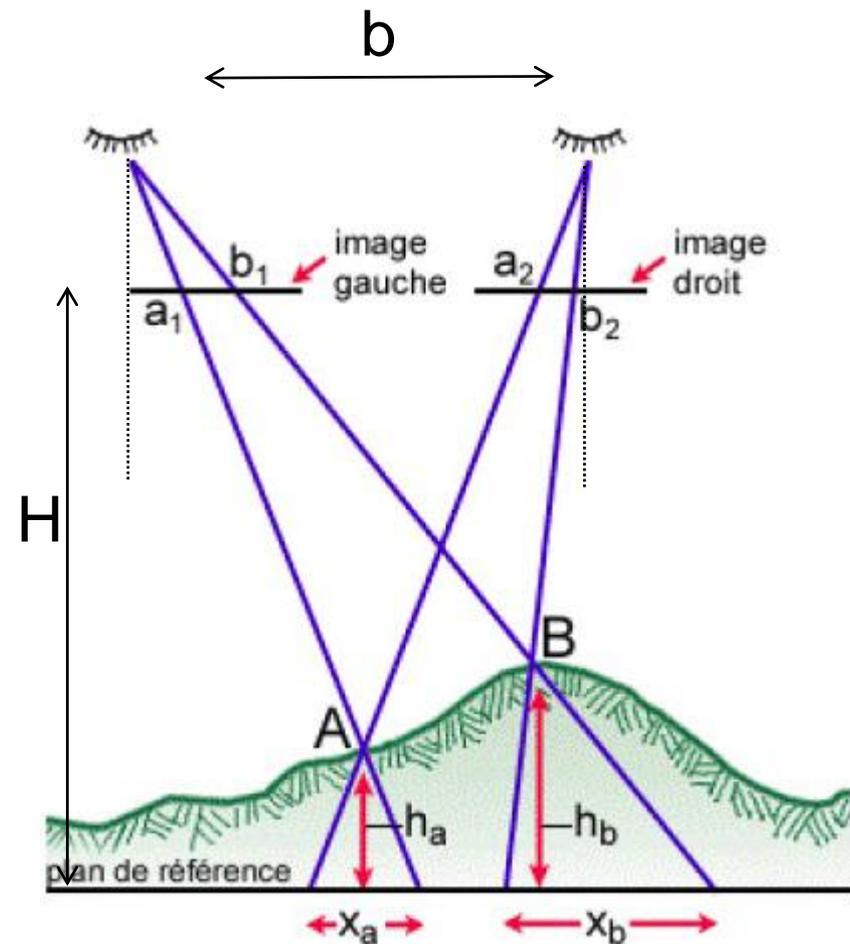
Hauteur d'un objet
 $h_a = H - b \cdot f / Pa$

H: altitude / plan de réf.

b: base

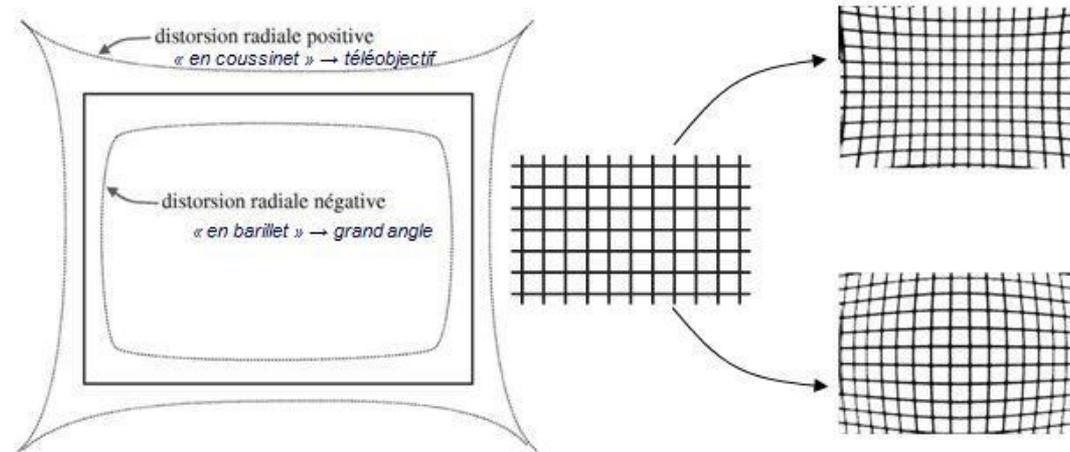
f: distance focale

Pa: parallaxe ($a_1 - a_2$)



Orientation interne

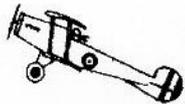
- Distorsion géométrique (optique)



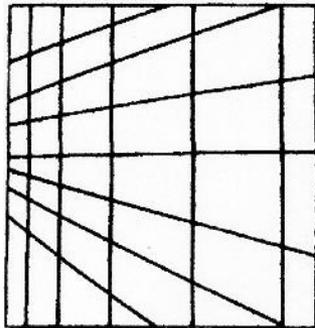
- Distorsion du capteur (CCD/film)
- Etalonnage régulier de la caméra

Orientation externe

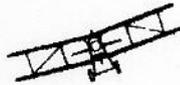
Tangage



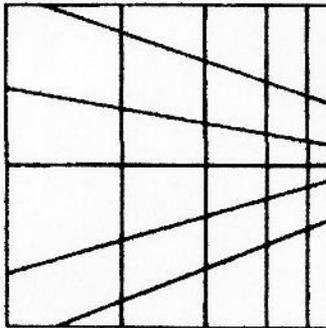
flight direction



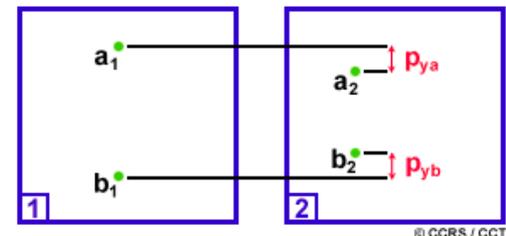
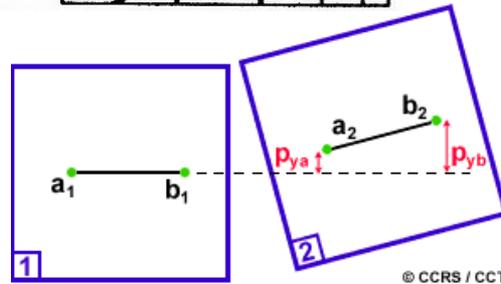
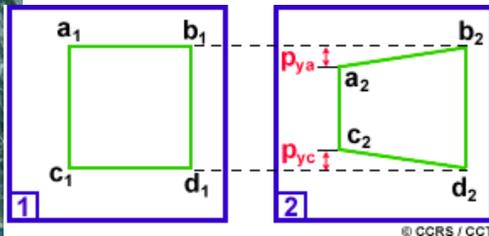
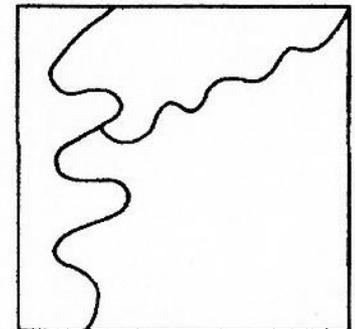
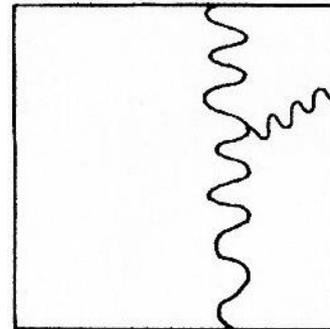
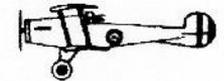
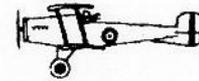
Roulis



flight direction



Altitude



- Centrale inertielle, altimètre
- Points d'appui au sol

Anomalies géométriques

Nadir



Devers 1 D



Devers 2 D

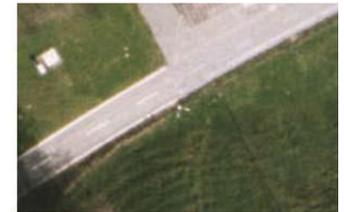
Devers + ombre



Points d'appui

- Points d'amer, d'ajustage, de calage, Ground Control Points
- Points de coordonnées précises connues mesurées sur le terrain et facilement identifiables dans les images

- Géoréférencement



- Points d'initiation précis



- Attention ! Distincts des points de validation

Résolution

- Résolution dans l'espace objet (terrain)
 - taille du pixel au sol (Ground Sampling Distance)
 - variable spatialement
- Identification
 - identification à partir de $3xR$
 - interprétation à partir de $20xR$

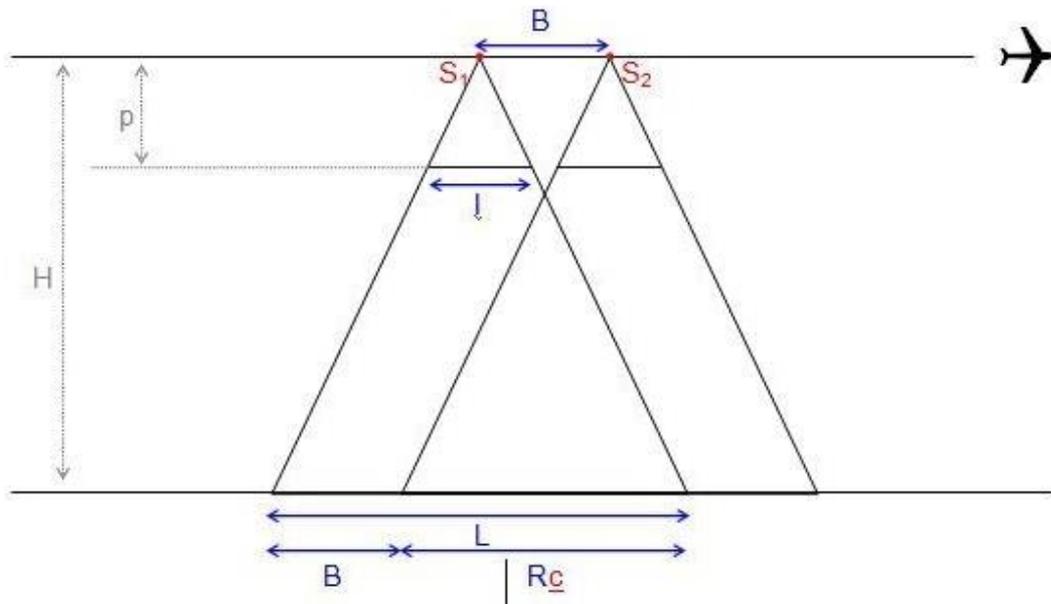


GSD 1.6 m



GSD 0.2 m

Géométrie d'acquisition



B: base (distance entre deux photos)

L: longueur de la photo

Rc: recouvrement

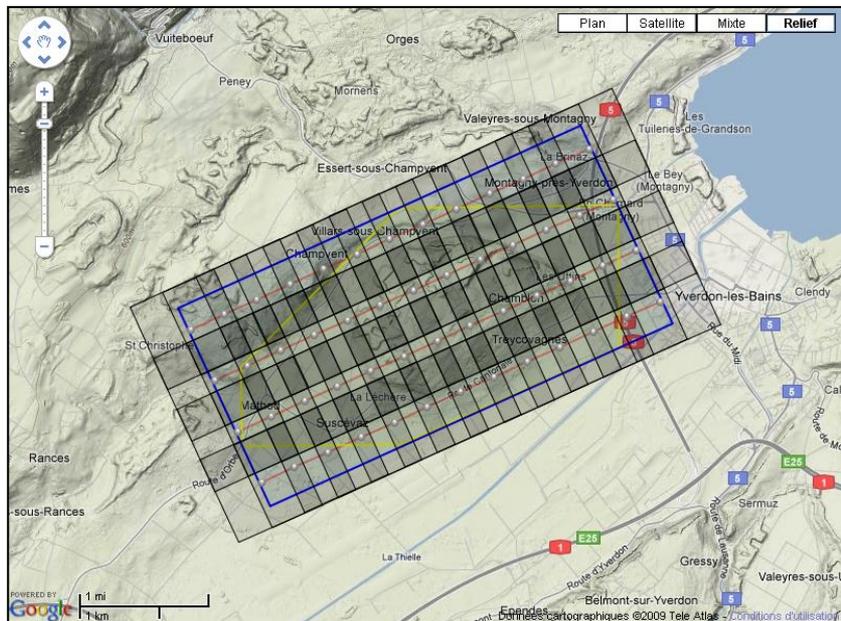
H: altitude de vol (/sol)

B/H influence la précision altimétrique

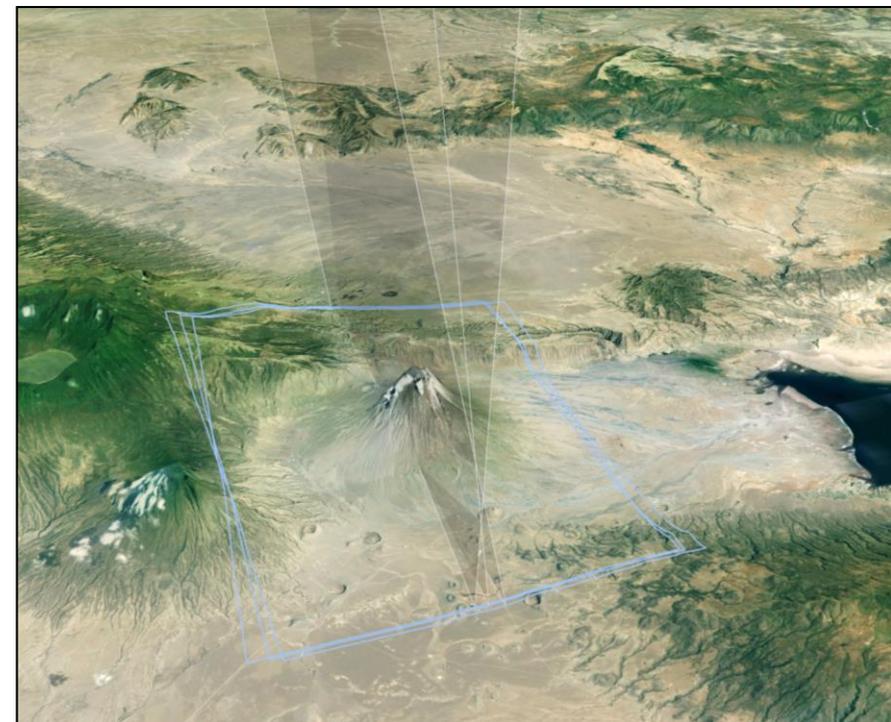
H/p: échelle

Plan de vol

- Assurer recouvrement longitudinal et latéral
- Assurer résolution en fonction de des objectifs (selon altitude de vol, focale et résolution du capteur)



Capteur chambre noire



Capteur pushbroom

Traitement

- Corrections des paramètres d'orientation
 - CN: import de la calibration, identification des GCPs
 - PB: import des RPCs, identification des GCPs
 - Génération des images épipolaires
- Recherche des points analogues
 - Identification des points particuliers (contraste, SIFT)
 - Modélisation par blocs
- Triangulation
 - Stéréo / multi-vues
 - Post-traitement

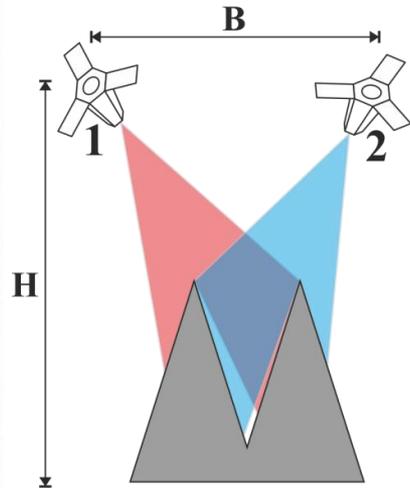
Post-traitement

- Multi-vues Structure-From-Motion → nuage de points
- Multi-vues SFM + vues obliques → 3D
- Séparation sol/sur-sol par filtre topologique (LiDAR) et classification colorimétrique en espace HSV
- Couple stéréo → raster

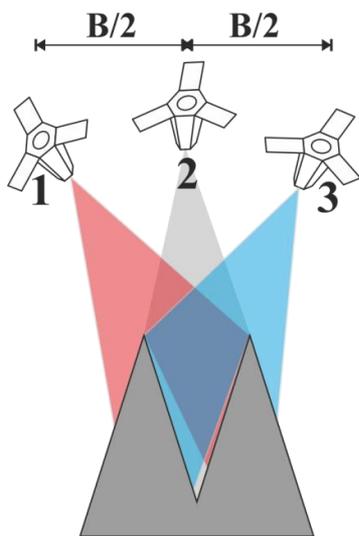
- Nuage de points → rastérisation (z unique) avec interpolation



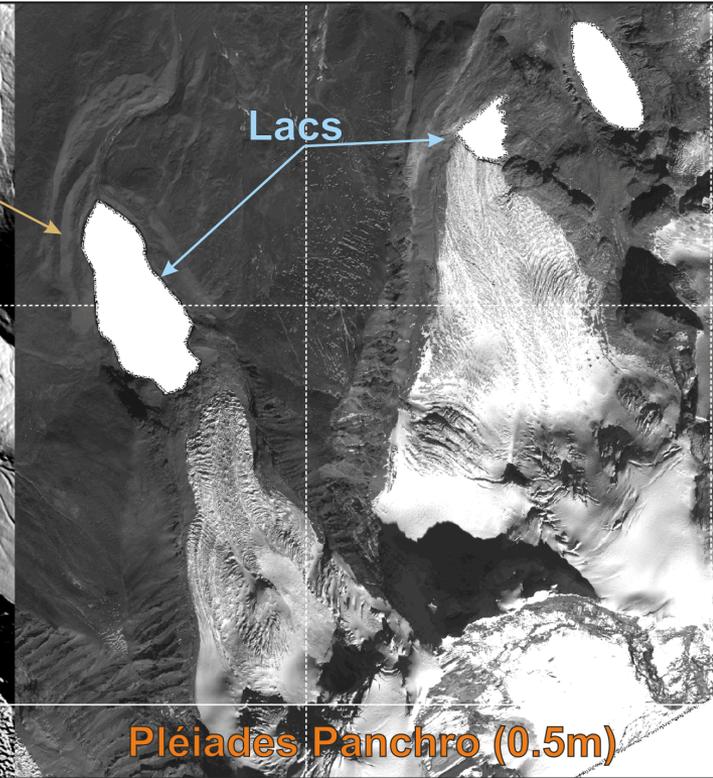
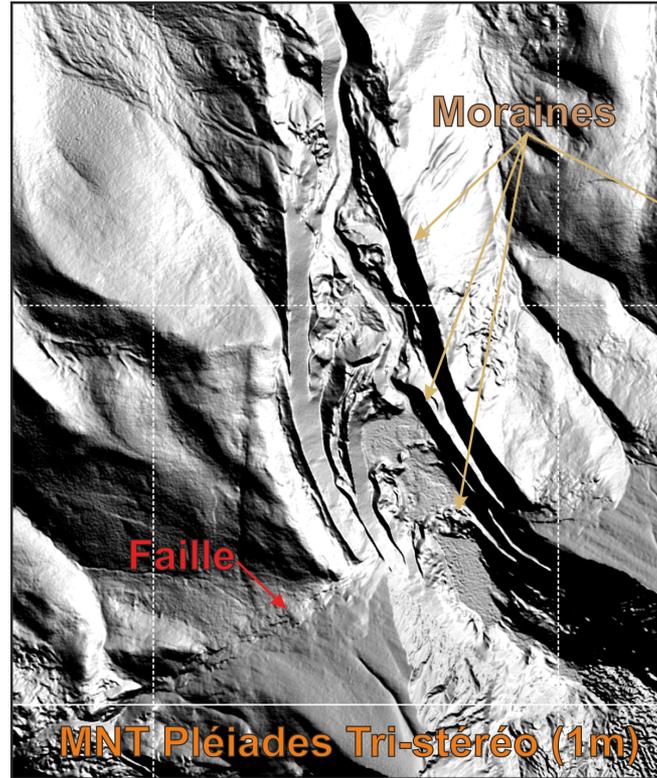
Photogrammétrie satellitaire



stereo



tri-stereo



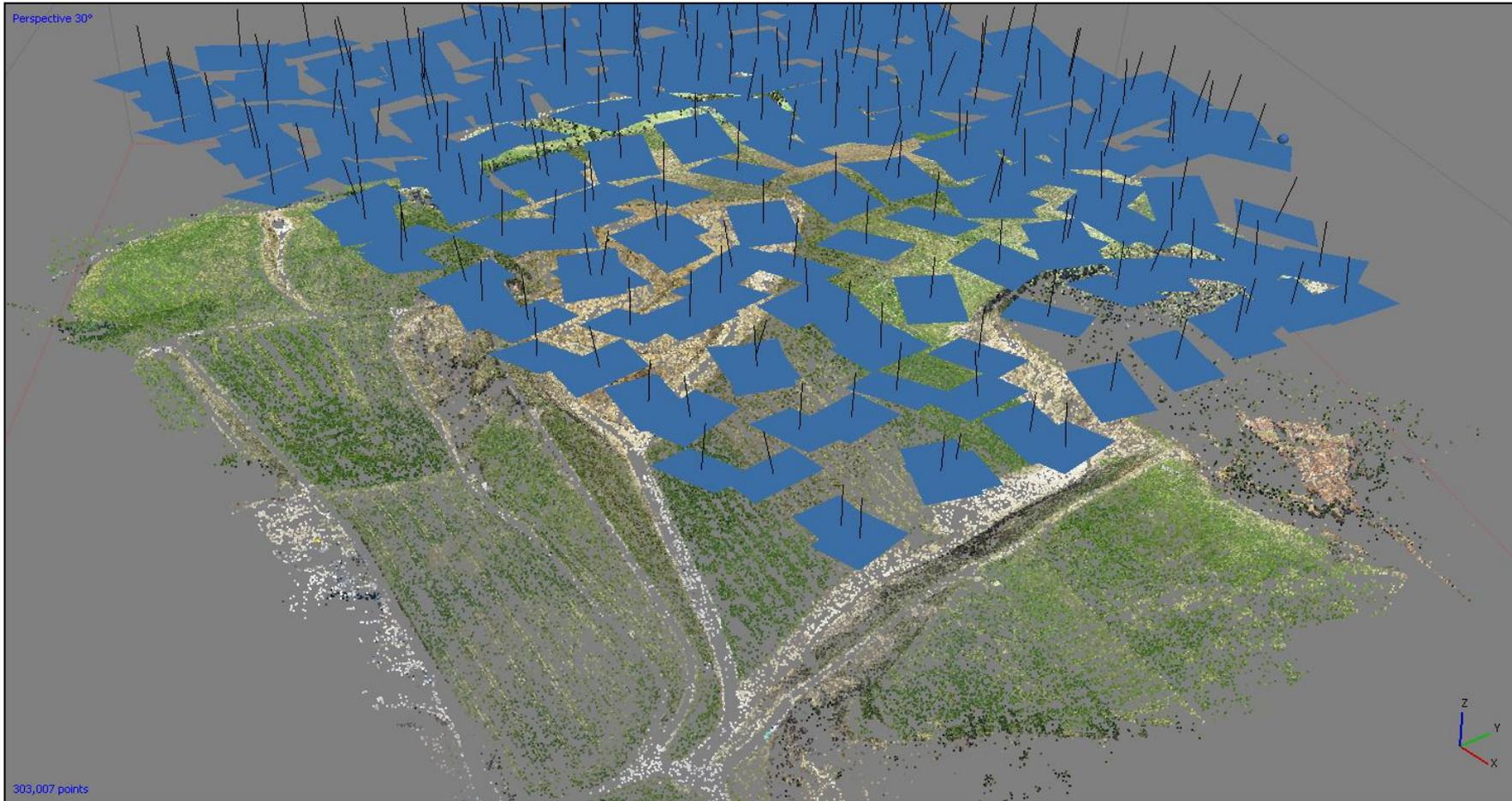
MNT Pléiades Tri-stéréo (1m)

Pléiades Panchro (0.5m)

Yadong (Himalaya)



Photogrammétrie SFM

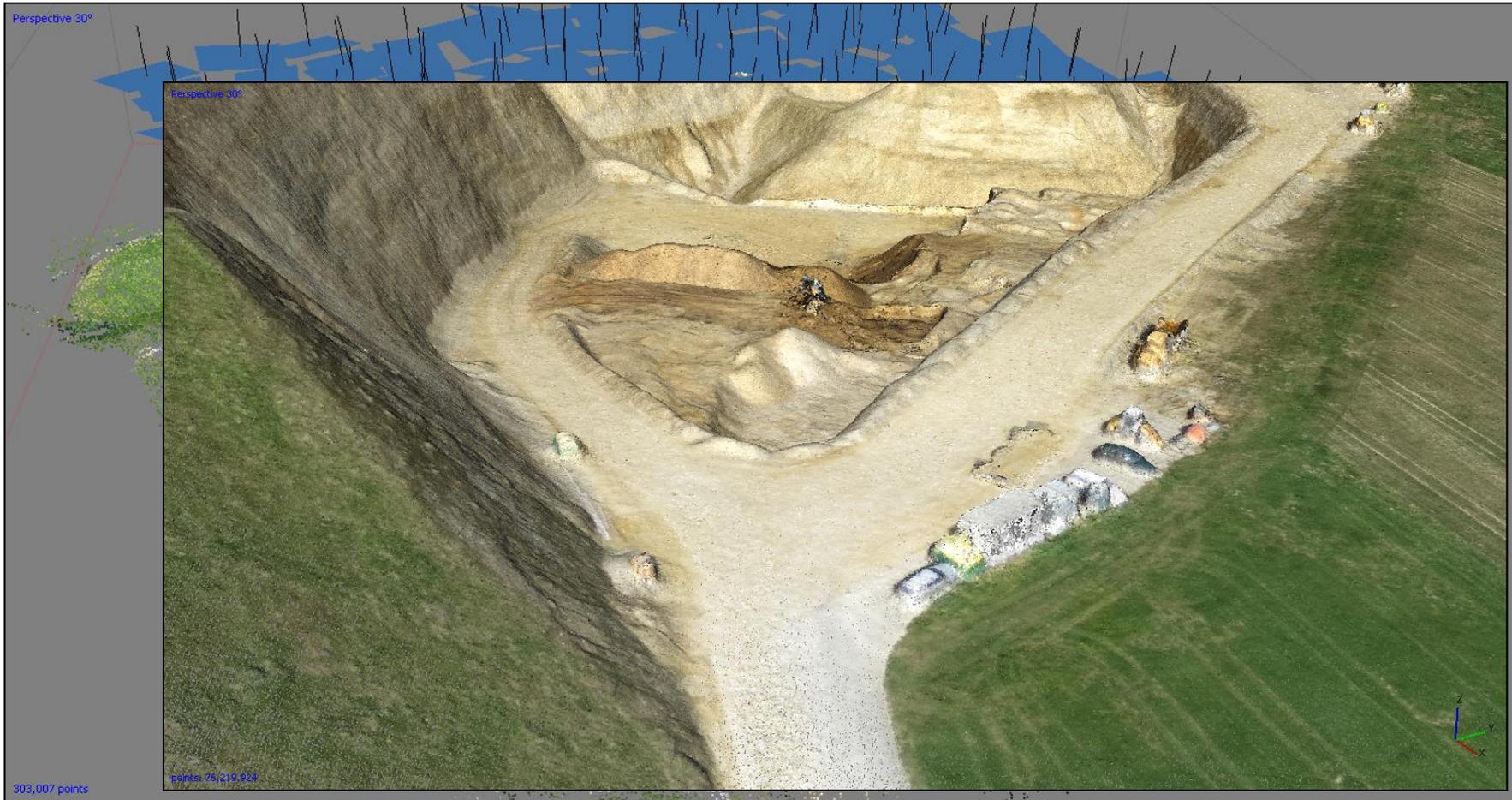


- 211 photos géoréférencées
- Orthophoto à 5 cm
- DEM à 9 cm
- Moyens de calcul et d'affichage

Images d'origine Sensefly



Photogrammétrie SFM



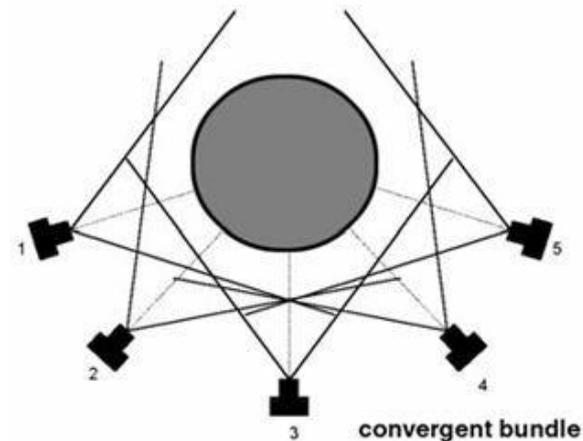
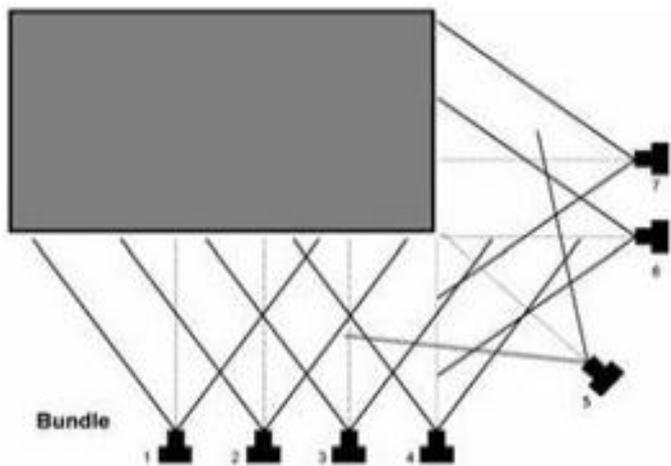
- 211 photos géoréférencées
- Orthophoto à 5 cm
- DEM à 9 cm
- Moyens de calcul et d'affichage

Images d'origine Sensefly



Photogrammétrie terrestre

- MNS à très petite échelle
- Reconstruction d'objet 3D
- Réalisable sur un smartphone

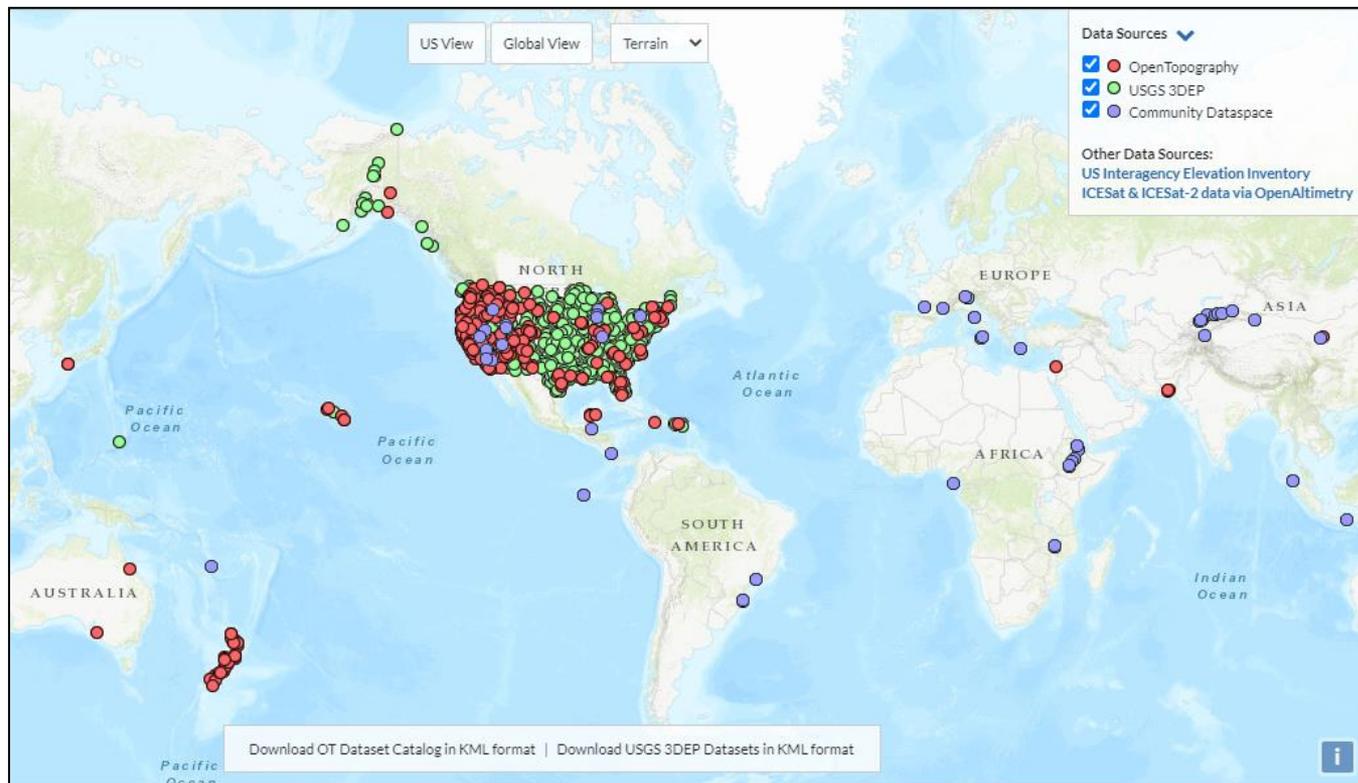


LiDAR vs. Photogrammétrie

	LiDAR/Scan	Photogrammétrie
Résolution	mm - m	cm - m
Précision	mm	cm
Emprise	m ² - km ²	m ² - >1000 km ²
Tps déploiement	Aérien: variable Terrestre: immédiat	Aéroporté: qqs j Terrestre: immédiat
Tps traitement	h à j	h à j
Coût équipement	Aérien: 300 - 700 k€ Terrestre: 30 - 100 k€	Aérien: 50 - 100 k€ UAV: 2 - 20 k€ Terrestre: 1 k€
Coût déploiement	Aérien: qqs k€ / j Terrestre: 0.1 k / j	Aérien: qqs k€ / j Terrestre: 0.1 k / j

Sources de données

- Vous
- IGN: RGEALTI 1 m, MNT+MNT sur zones inondables
- Observatoires: littoral, glissements de terrain, failles
- OpenTopography: entrepôt de données (ndp)

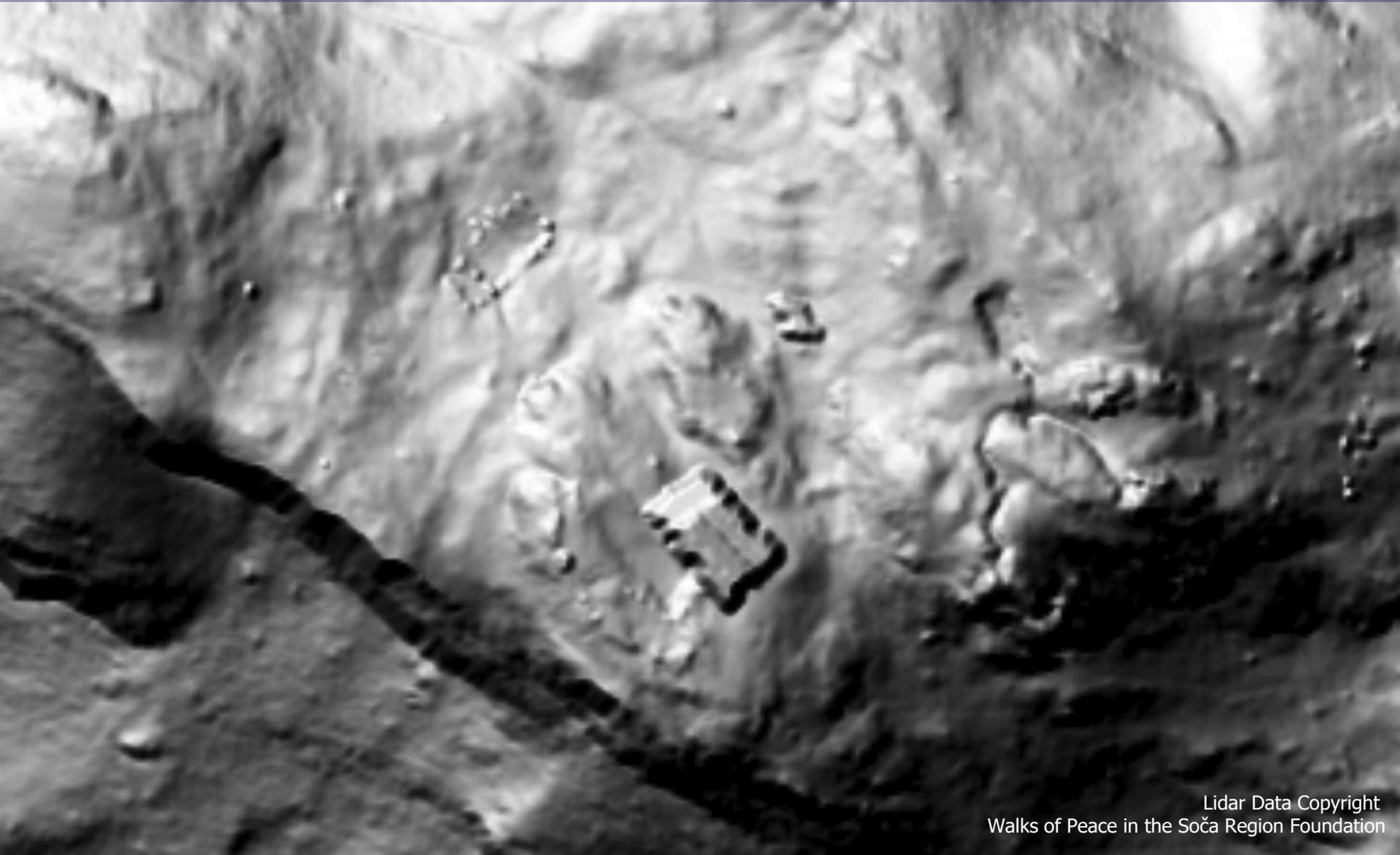


Visualisation

- Représentation en plan de la topographie
- Représentation de la forme par les altitudes, les pentes, les courbures et leurs dérivés
- Représentation interprétable par le cerveau humain

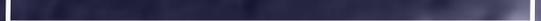


Relief ombré



Lidar Data Copyright
Walks of Peace in the Soča Region Foundation

315°  45° 

0  50 m

Relief ombré

++

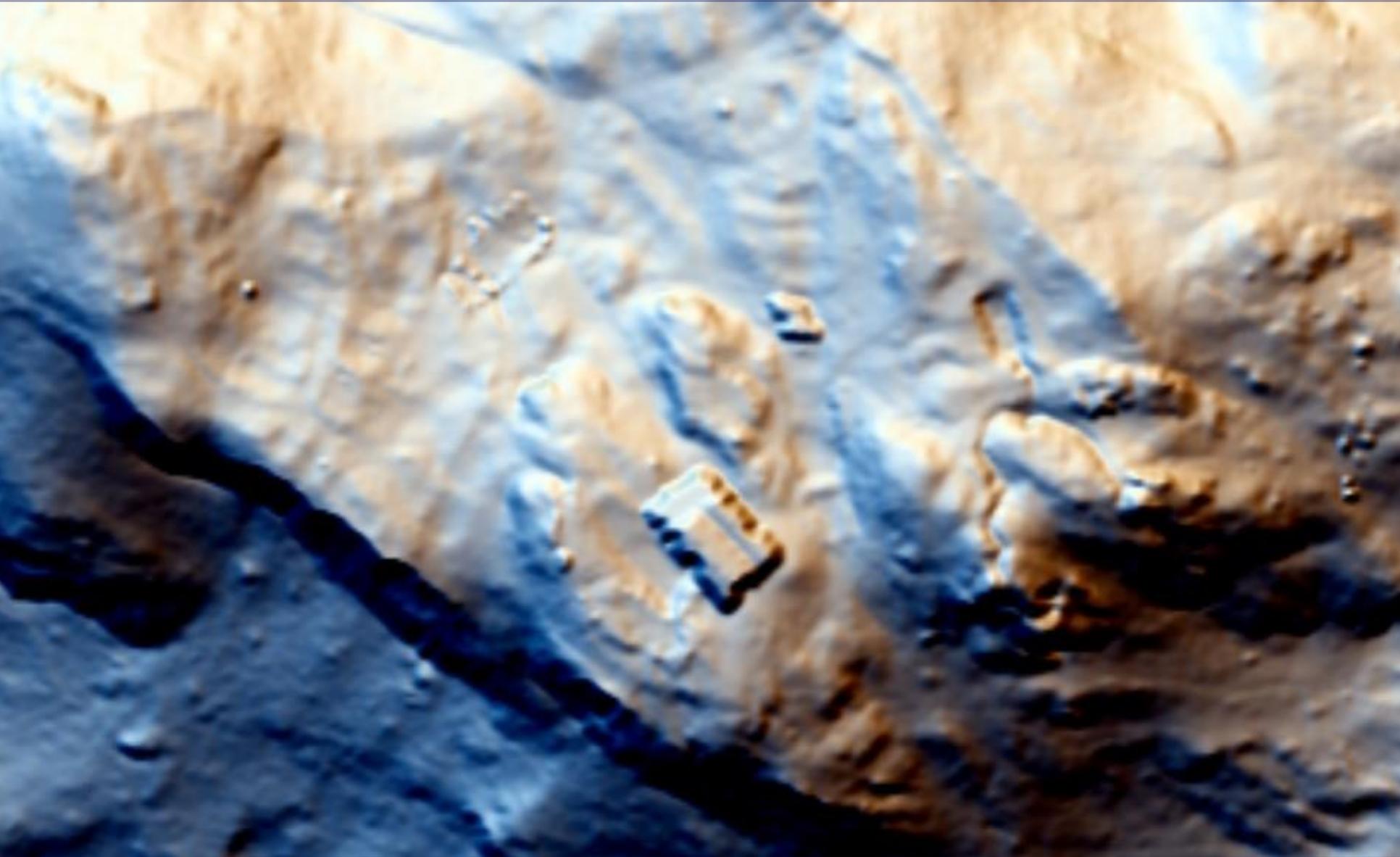
- Facile à calculer et naturel à interpréter
- Disponible dans les logiciels de SIG
- Révèle de faibles reliefs en lumière rasante

--

- Saturation dans les zones d'éclairage/ombre forts
- Les structures linéaires parallèles à l'éclairage sont estompées



Ombrage composite en RVB

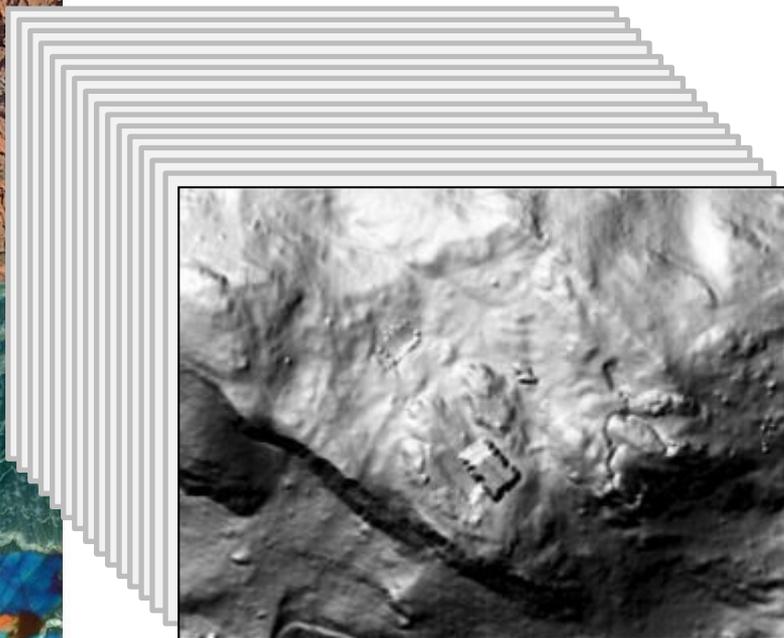


RGB 0°☉, 337,5°☉, 315°☉ ∠45°

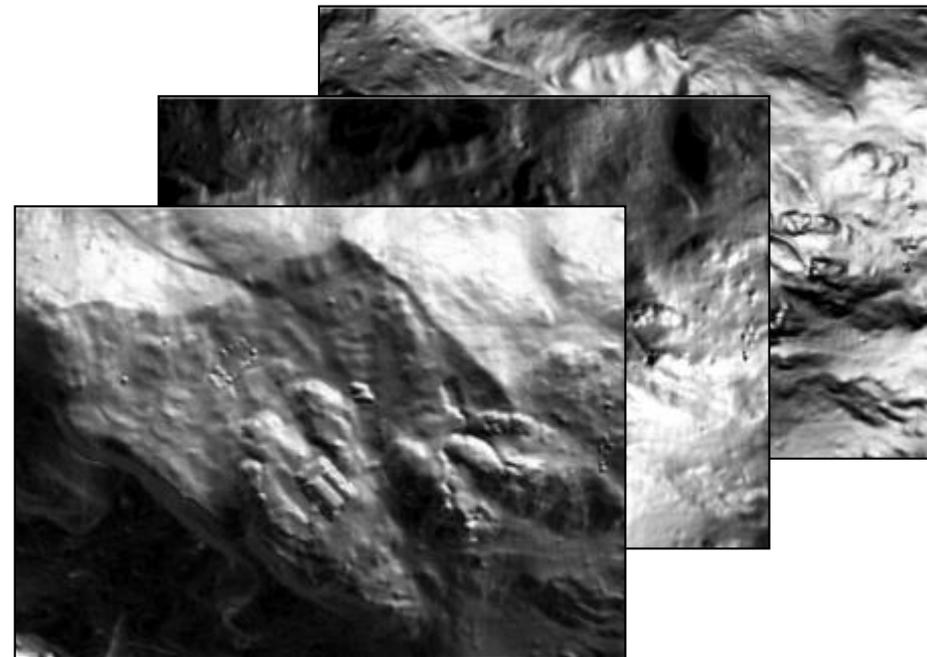
0 50 m

ACP de reliefs ombrés

- Réduction de l'information (analyse en composantes principales)
 - généralement, les 3 premières composantes contiennent plus de 99% de l'information
- Devereux et al. 2008. *Antiquity*.

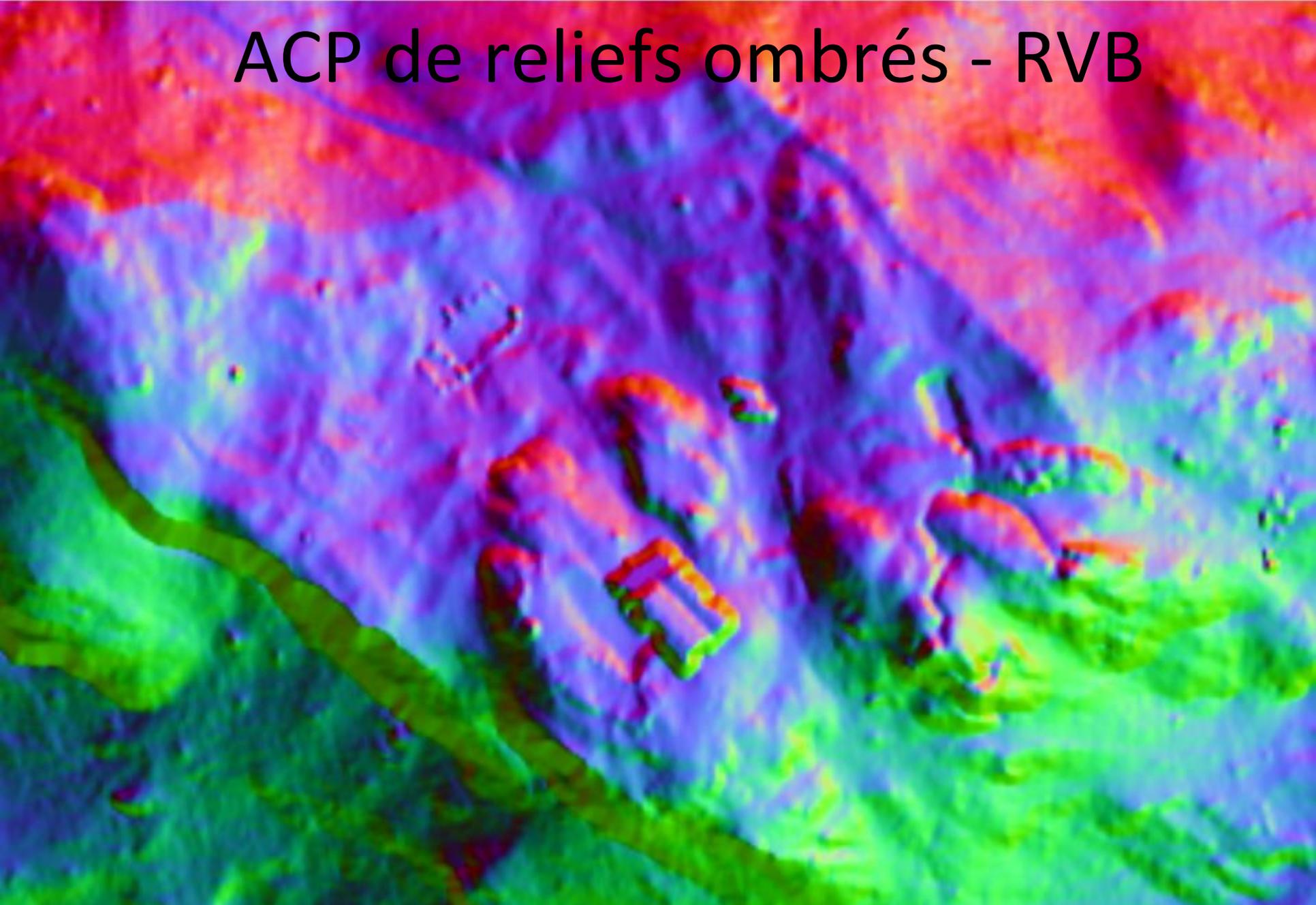


16 reliefs ombrés
(100 %)



Trois premières composantes
(> 99 %)

ACP de reliefs ombrés - RVB

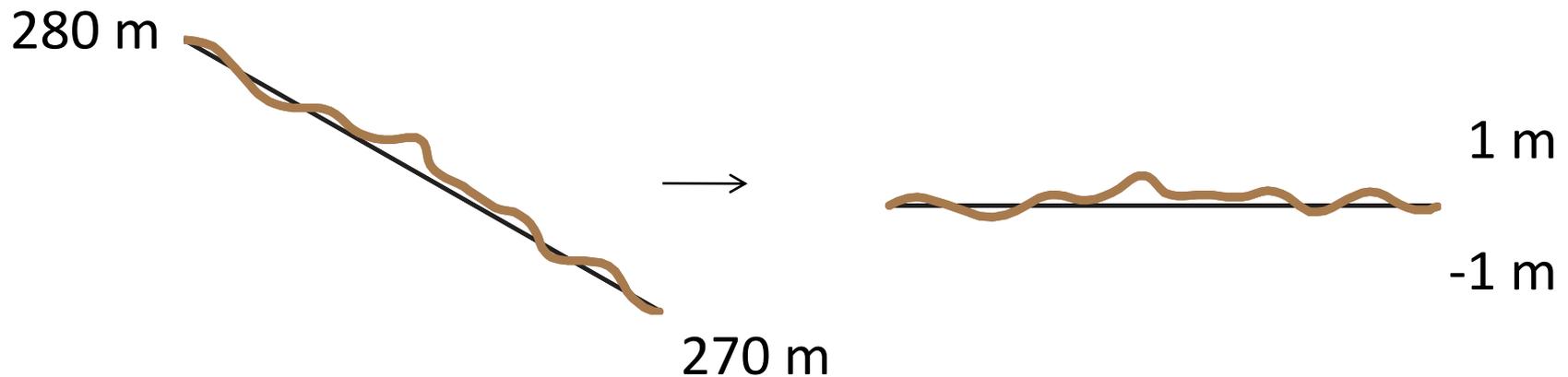


16 ⊗ 45° ↙

0 50 m

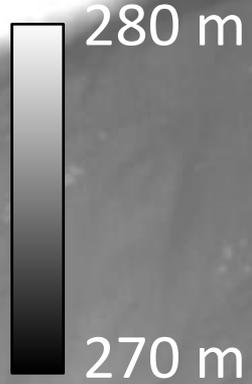
Modèle de relief local (LRM)

- Suppression du relief associé aux objets “régionaux”
 - Amplification des petits objets



- Soustraction de la valeur moyenne (médiane, gaussienne, etc...) sur une fenêtre glissante

Modèle de relief local (LRM)

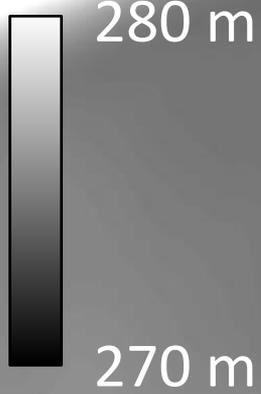


MNT intitial

Distribution gaussienne, fenêtre de 50 m

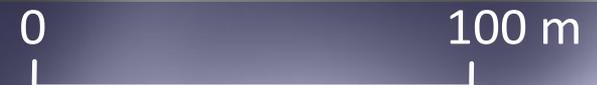


Modèle de relief local (LRM)

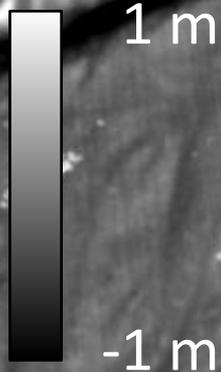


Tendance régionale

Distribution gaussienne, fenêtre de 50 m



Modèle de relief local (LRM)



MNT final = initial - tendance

Distribution gaussienne, fenêtre de 50 m



Etudes de cas



Exploitation minière

- Suivi des volumes excavés par photogrammétrie (UAV)
- Suivi des filons (mines à ciel ouvert)
- Gestion du stockage des granulats

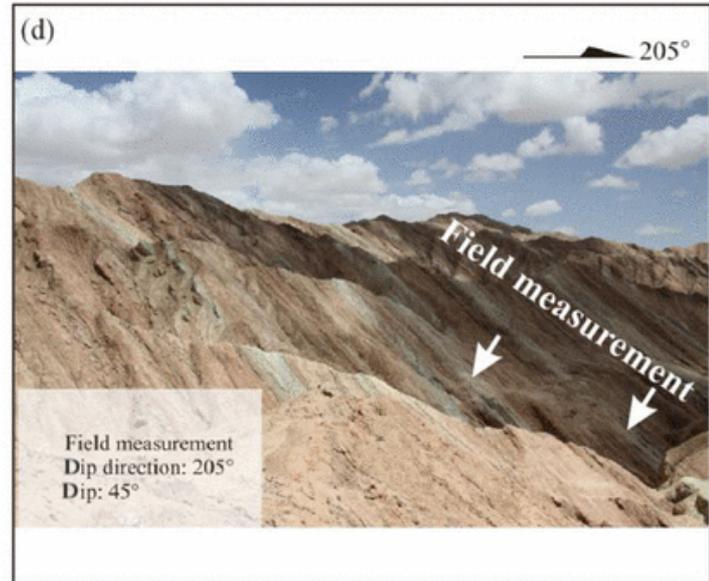
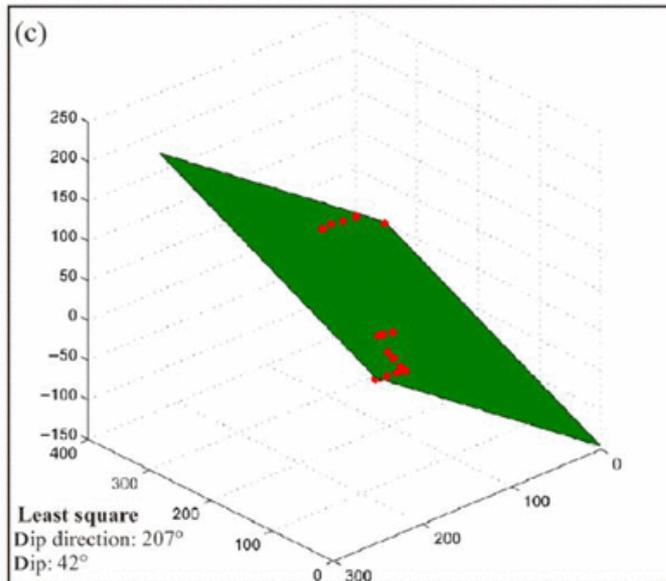
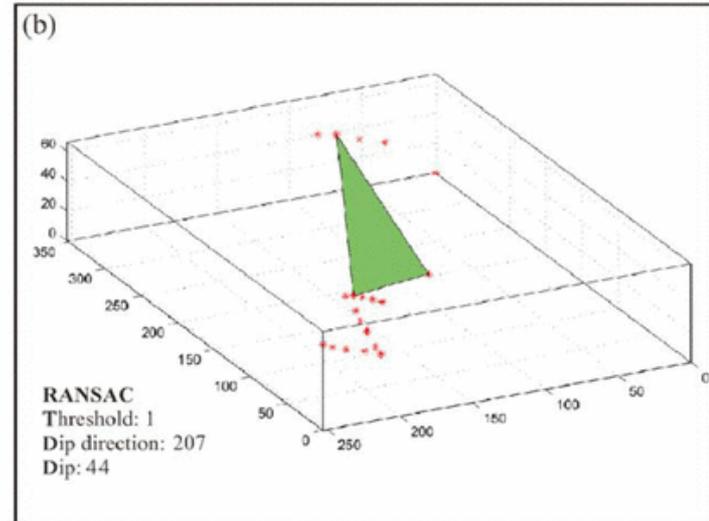
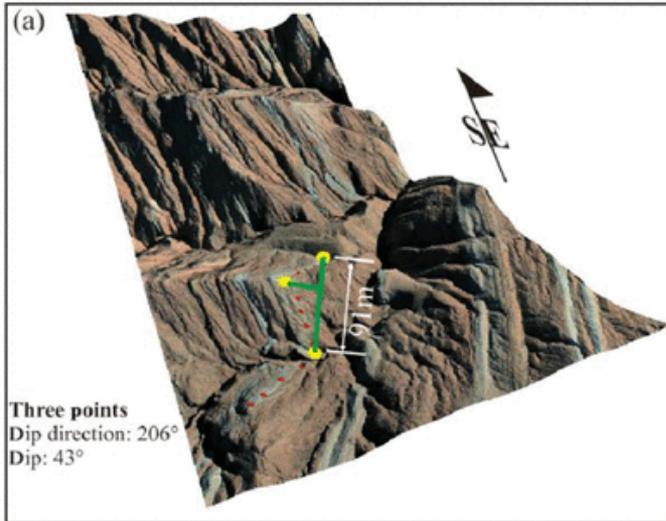


Barrick Gold

Pit Name	Pile Name	RDO-eBee Data				Ward County RTK Data				% Difference YD3	% Difference Tons
		Cubic Meters	Cubic Yards	Tonnage Conversion	Tons	Cubic Yards	Tonnage Conversion	Tons			
Effertz	Class 13	49685.75	64986.526		0	64996		0	0.01%	#DIV/0!	
Arnold	Class13	18956.05	24793.585		0	25094		0	1.20%	#DIV/0!	

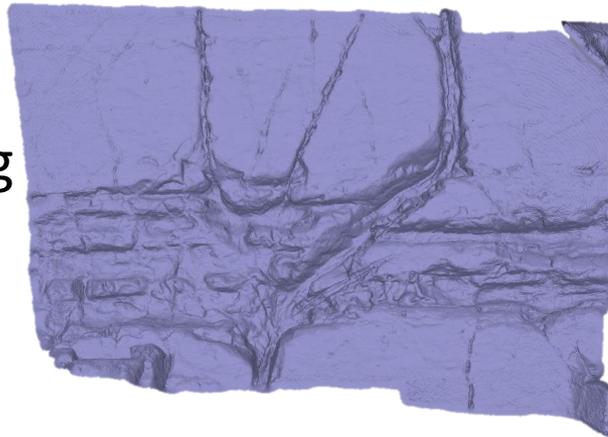


Cartographie Géologique



Géologie en hauteur

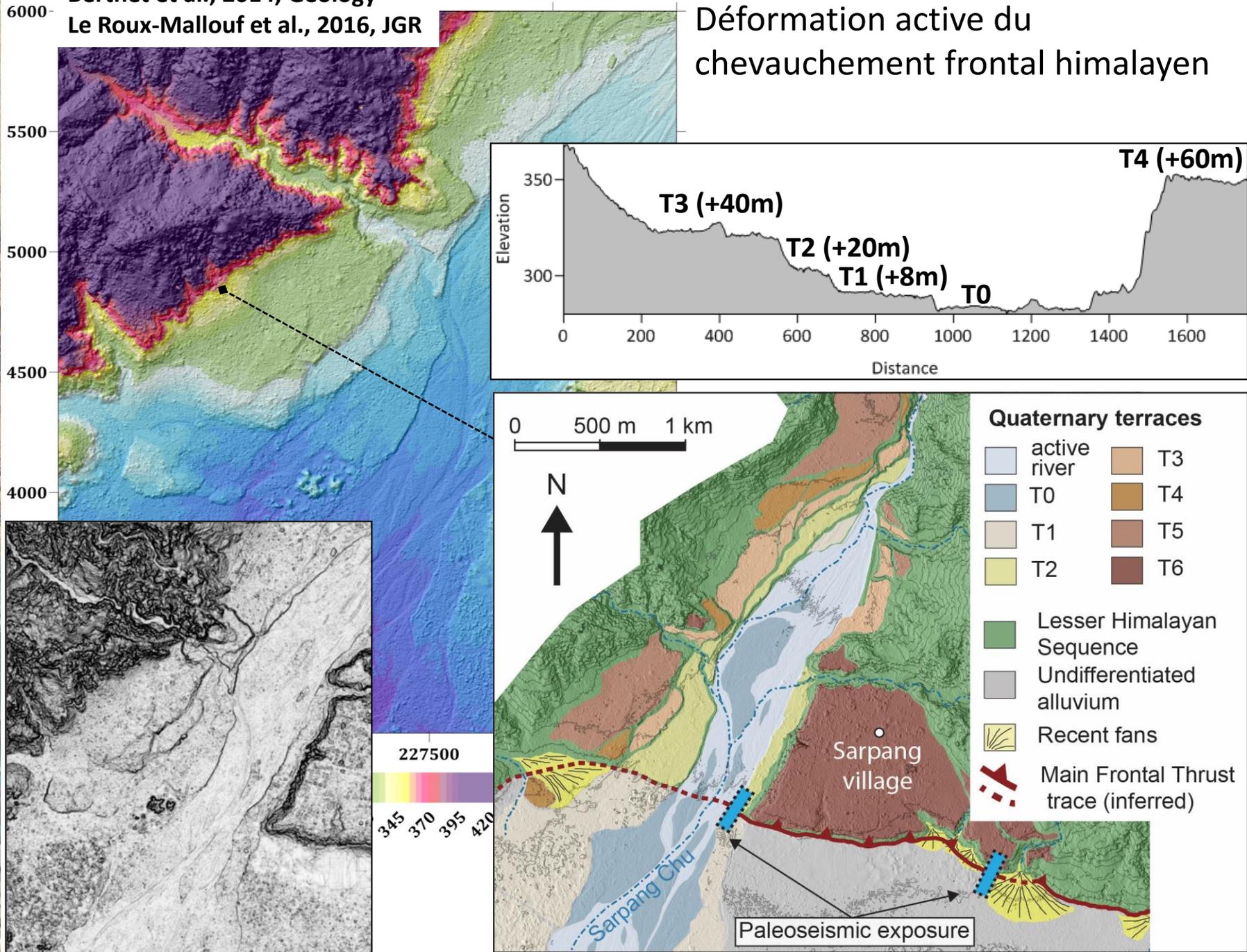
- Construction de modèle 3D précis et orienté
- Identification semi-automatique strati/failles
- Mesures structurales statistiques
- Mesures de points inaccessibles
- Construction de log continu



Berthet et al., 2014, *Geology*

Le Roux-Mallouf et al., 2016, *JGR*

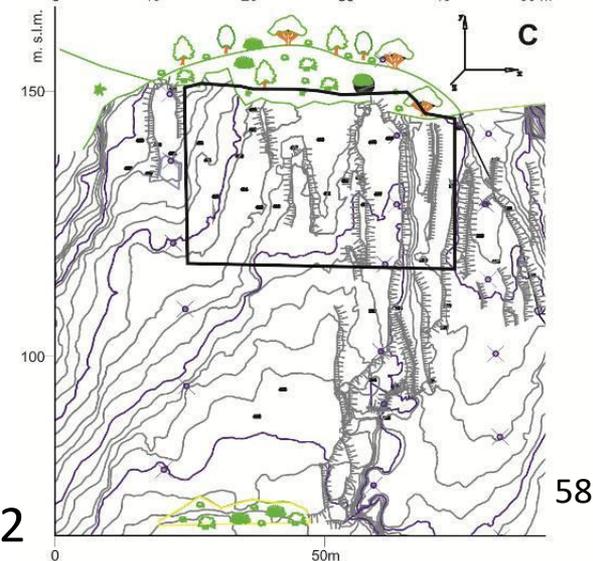
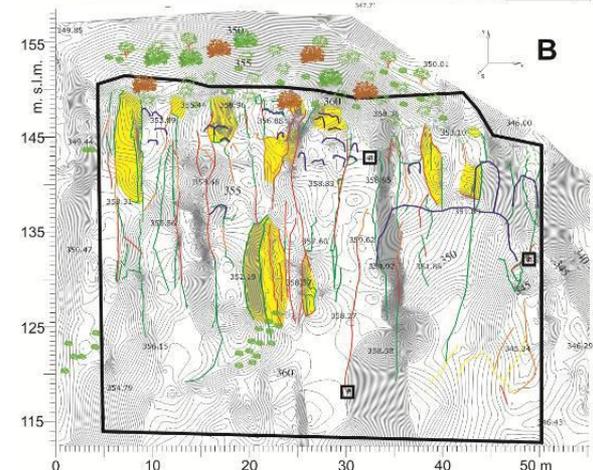
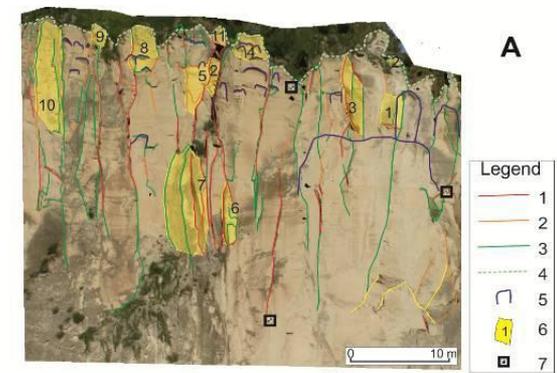
Déformation active du chevauchement frontal himalayen



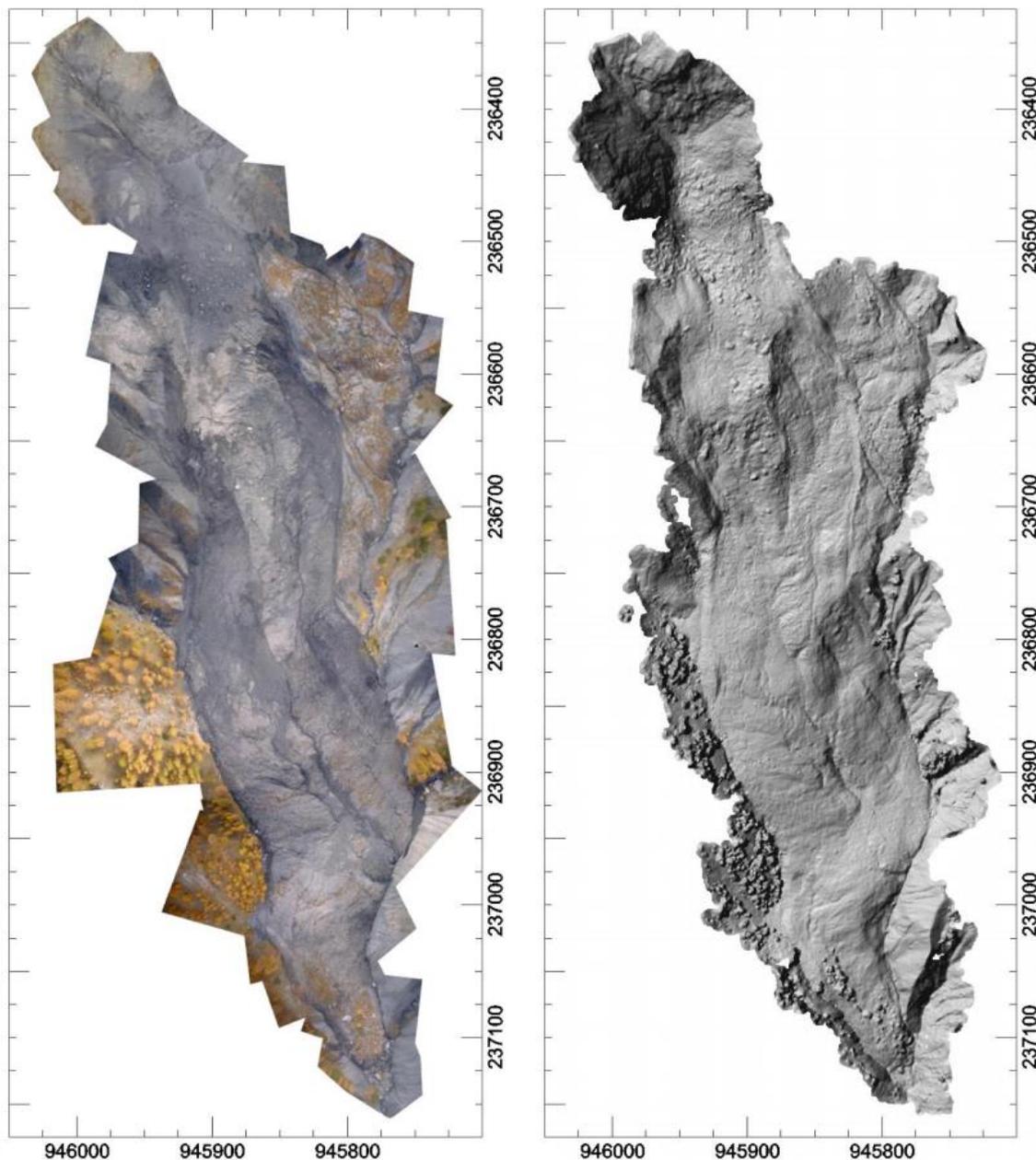
Suivi d'instabilités



- Cartographie de familles de joints
- Identification des fissures ouvertes/fermées

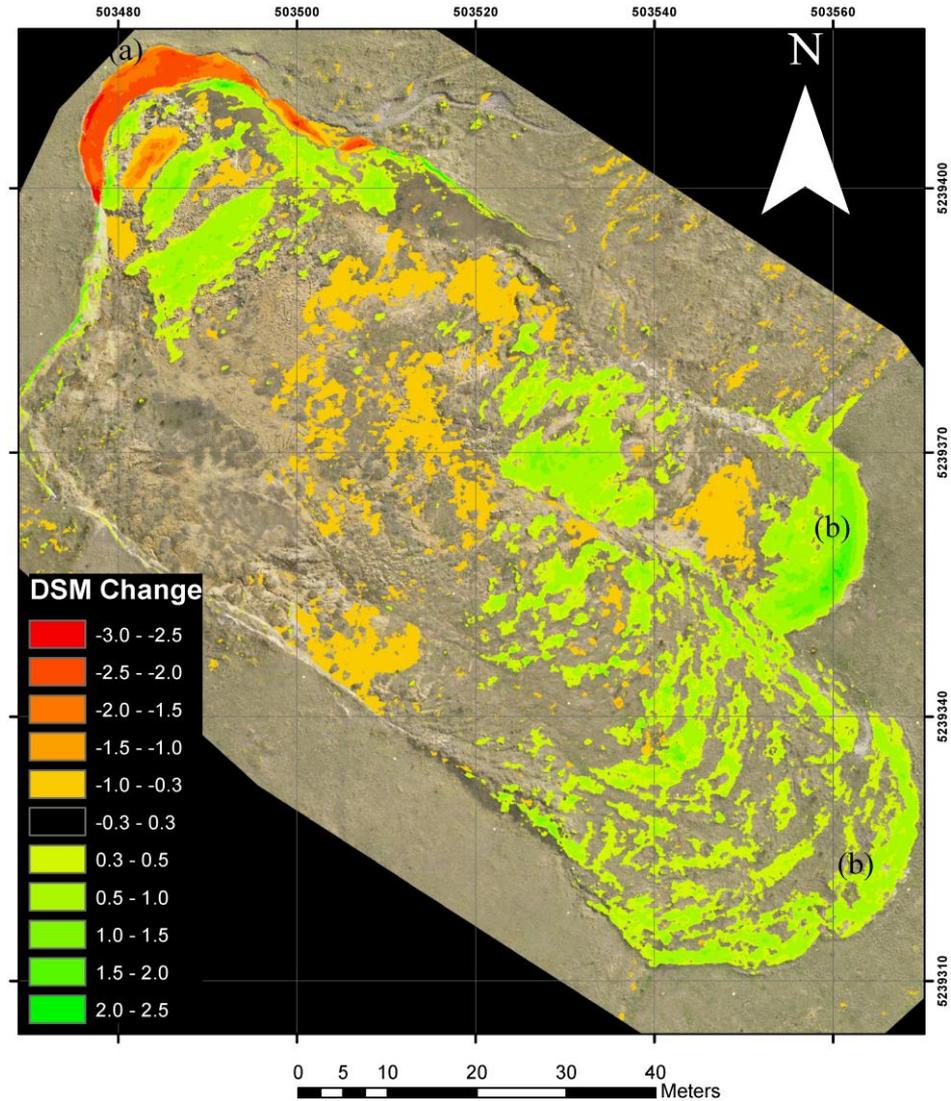
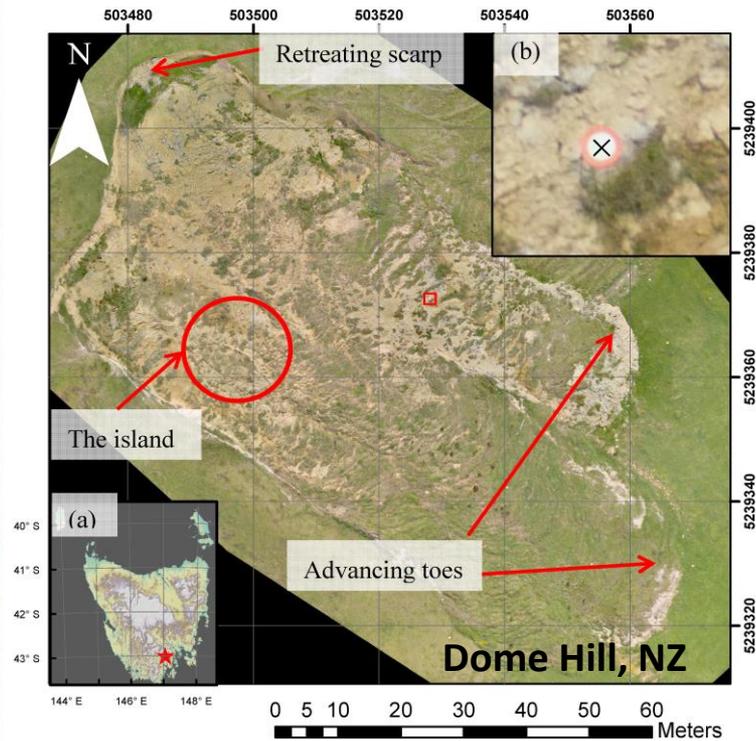


Carto. glissements de terrain



- Glissement de Super-Sauze
- Photogrammétrie UAV
- Cartographie de détail des zones de déformation
- Etat initial pour suivi

Glissements de terrain

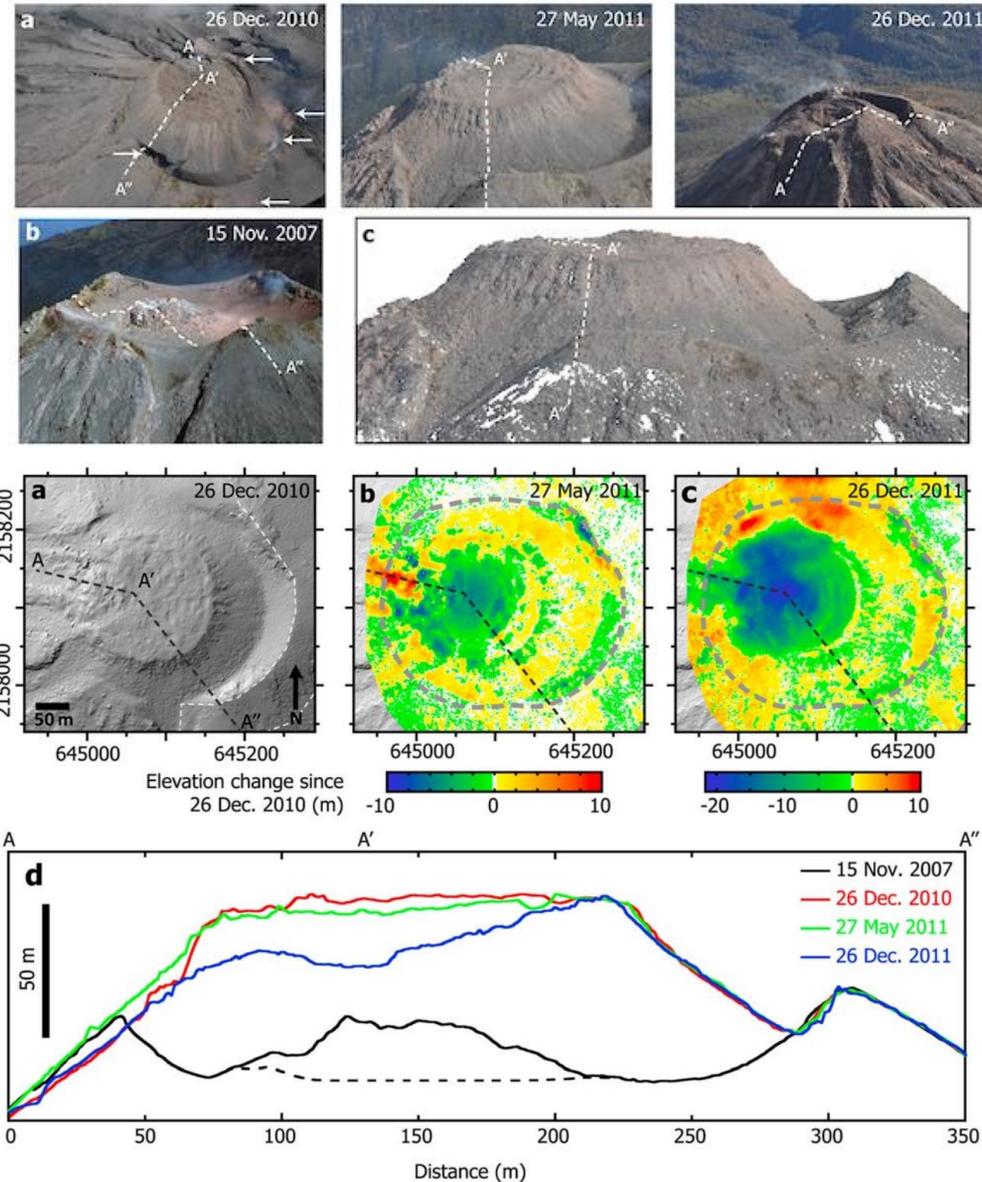


- Photogrammétrie UAV
- Suivi des déplacements par différence topo (V) et corrélation d'image (H)
- Déplacements de ~ 3 m sur une année

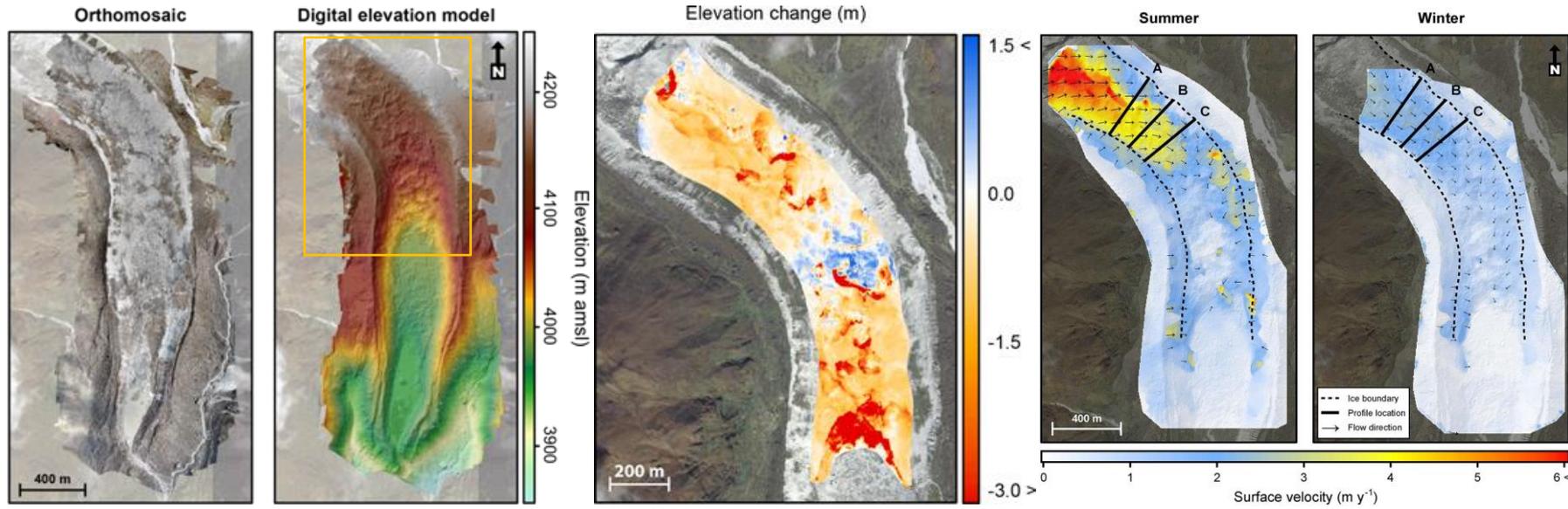
Surveillance de volcans

- Volcan de Colima (MX)
- 4 survols 2007-2011
- Densité 4-45 pts/m²

- Dôme excentré de 30m
- Perte de volume entre 2010 et 2011
- Formation de failles lors de l'évènement de juin 2011



Surveillance des glaciers



Immerzeel et al., 2014

Kraaijenbrink et al., 2015

- Suivi de la fonte (réponse climatique)
- Variations saisonnières de la dynamique d'écoulement
- Alimentation des lacs de fonte et gestion de l'aléa GLOFs

