

# Positionnement & Télédétection

## LiDAR/Scan/ogram

Matthieu Ferry, [matthieu.ferry@umontpellier.fr](mailto:matthieu.ferry@umontpellier.fr)

# Plan du cours

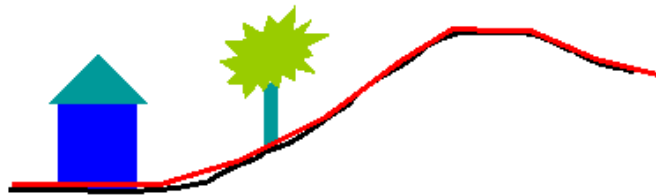
- Principes de topographie
  - MNE/MNT/MNS
  - Applications
- Mesure directe (télémétrie laser)
  - par temps de vol (LiDAR)
  - par déphasage (Scan)
- Mesure indirecte (photogrammétrie)
  - principes
  - capteur camera obscura (champ proche, aérien)
  - capteur pushbroom (satellite)
- Visualisation

# 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:  $\max(\text{MNE})$

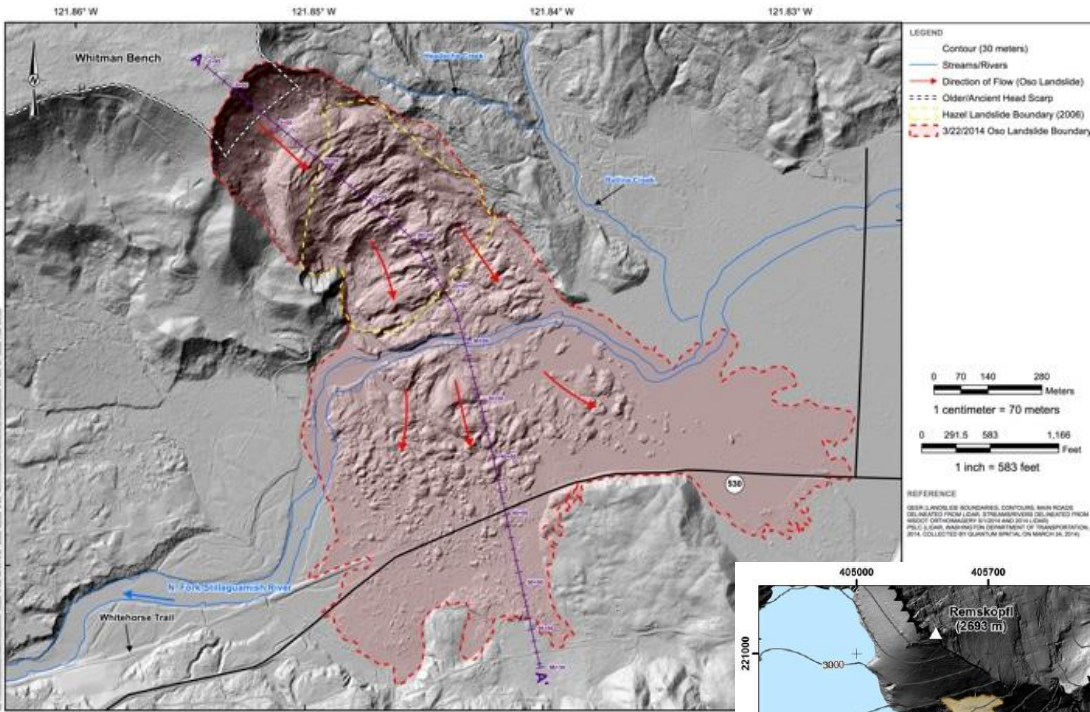


MNT

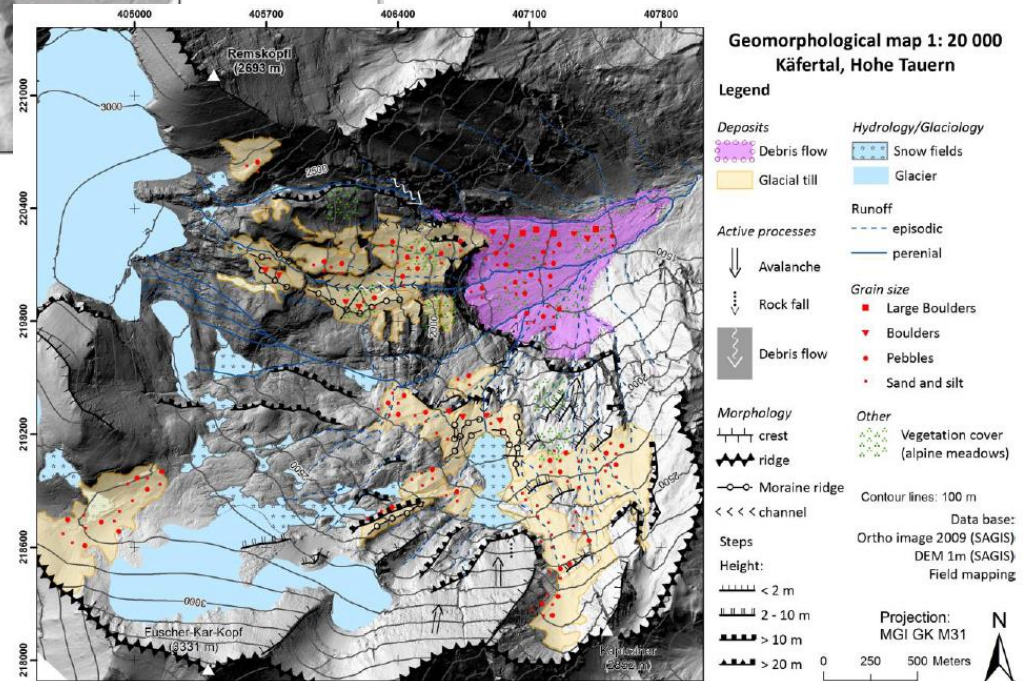


MNS

# Applications - Cartographie



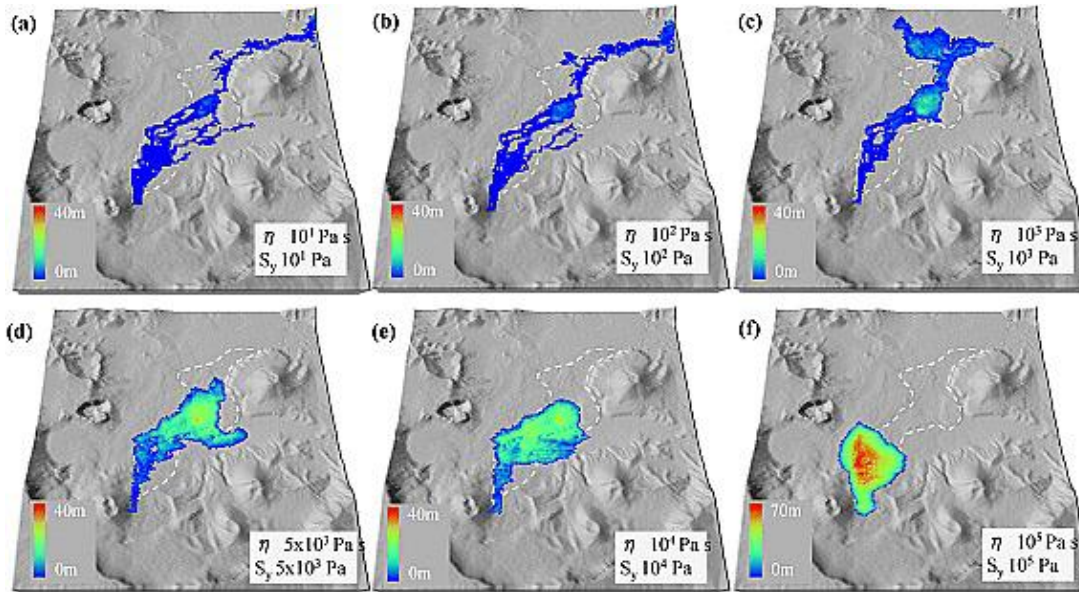
Glissement de terrain d'Oso (2014)



Vallée glaciaire du Käfertal

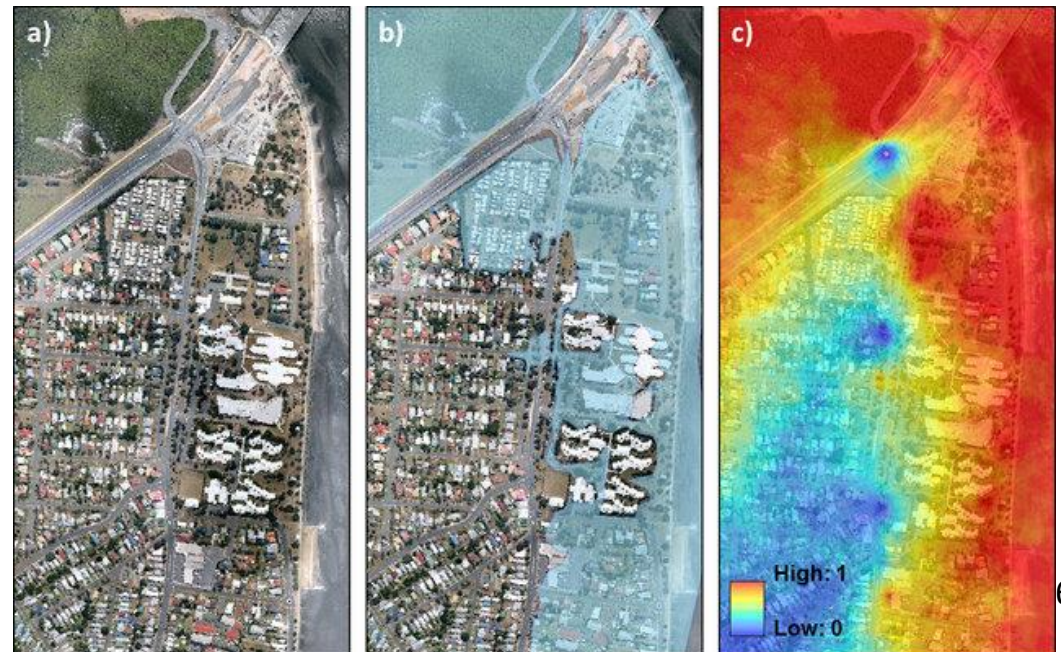


# Applications - Modélisation



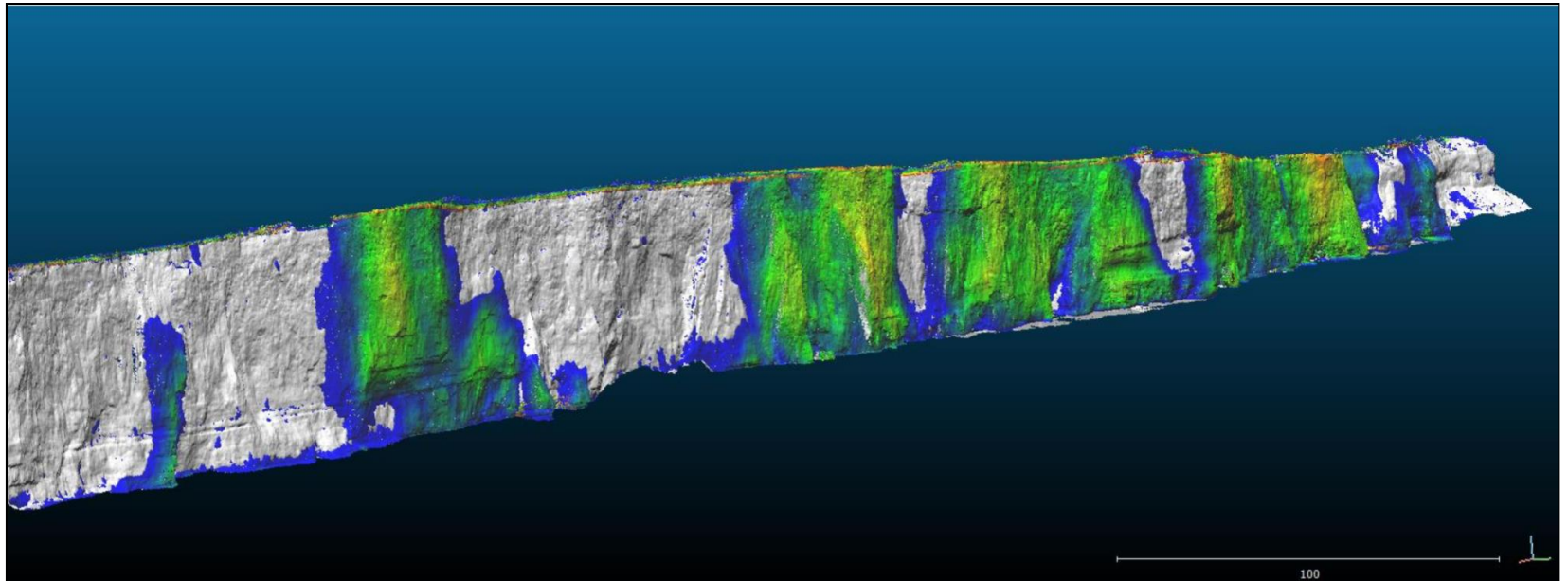
Modélisation d'écoulement de lave par le volcan Okmok

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



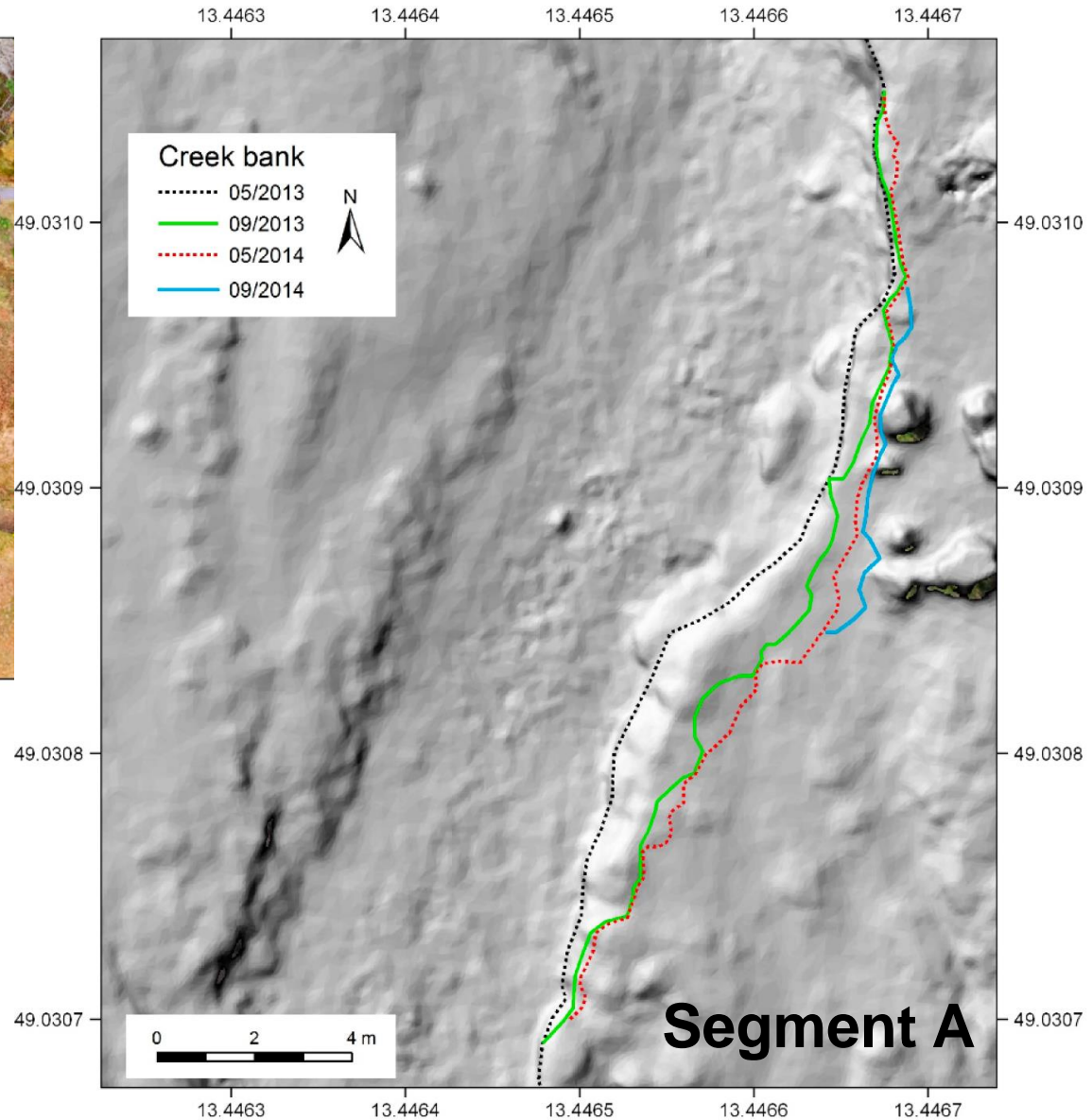
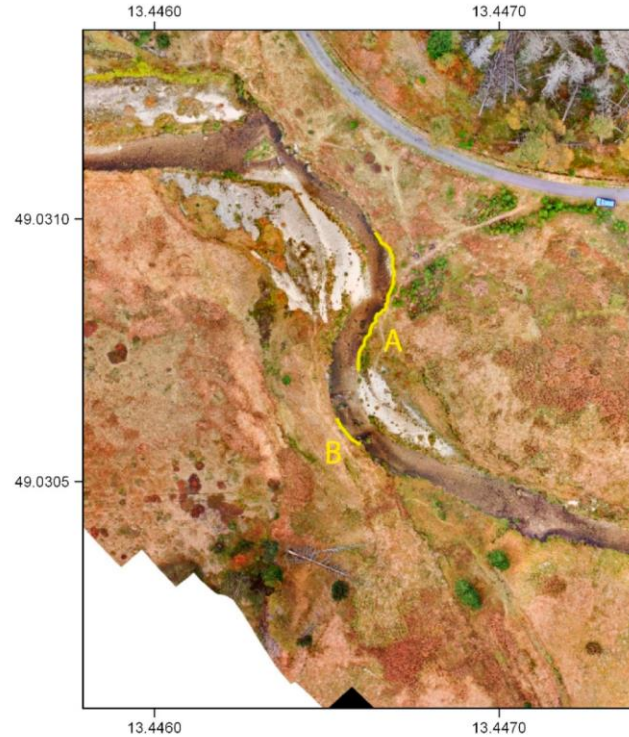
# Application - Retrait de la côte

- 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

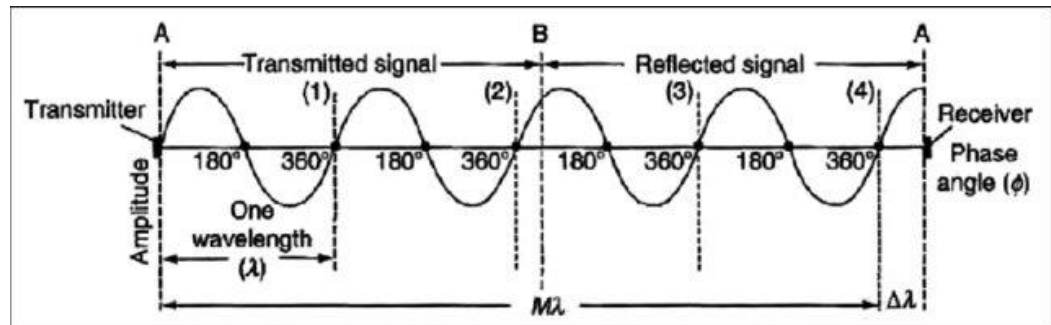
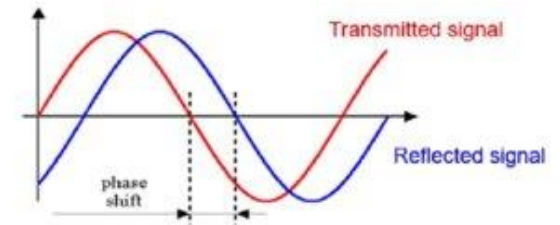
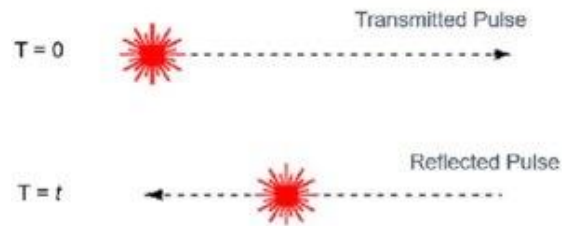


# Télémétrie laser

- 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

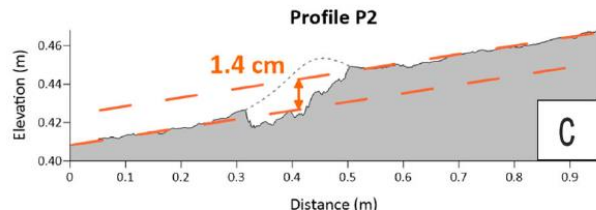
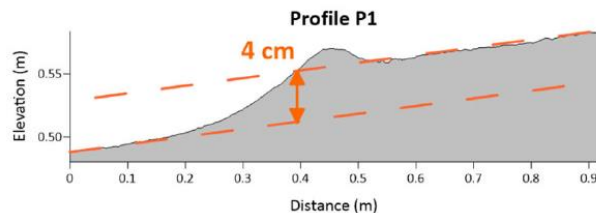
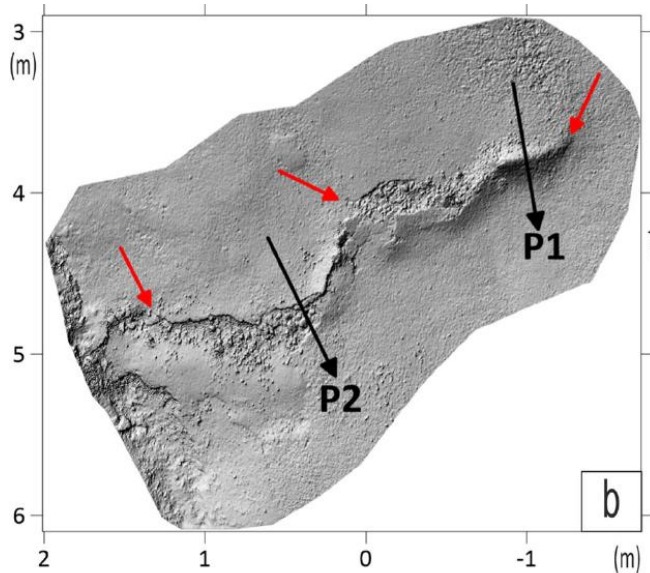
# LiDAR vs. Scan

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



# LiDAR/Scan terrestre

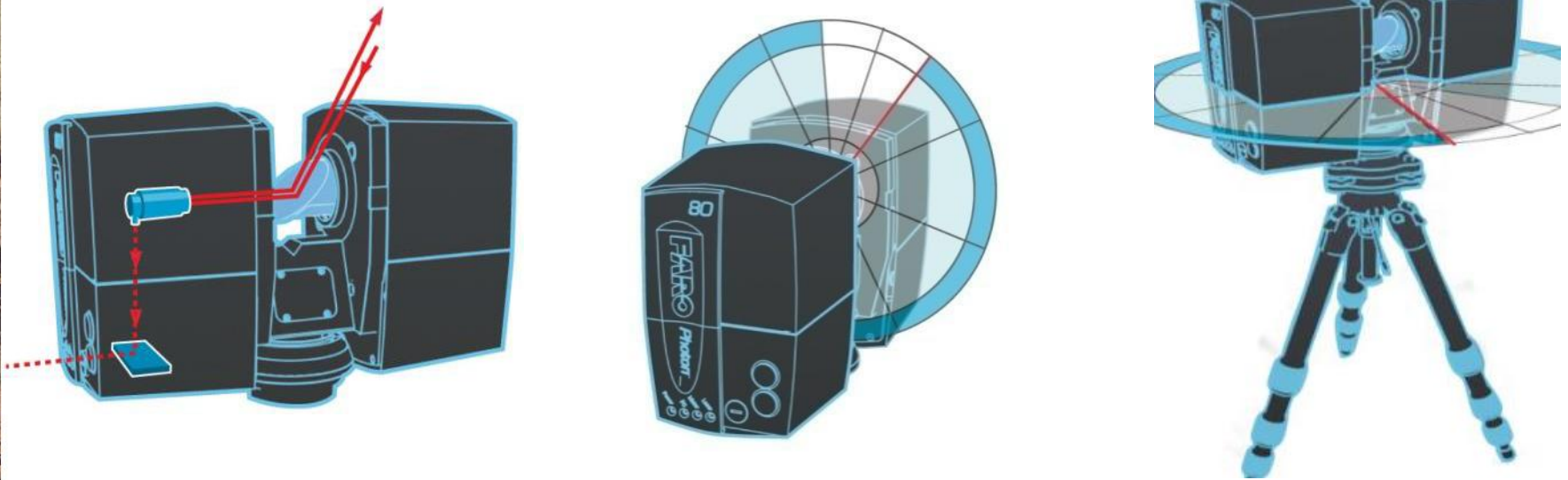
- Implantation sur trépied (ev. topo)
- Occlusions par relief et végétation
- Mesure de très petits objets
- Très haute résolution
- Travail sous canopée
- Un opérateur suffit
- Mesure à distance



Séisme du Teil (Ardèche), 11/2019



# Scanner 3D Faro X330



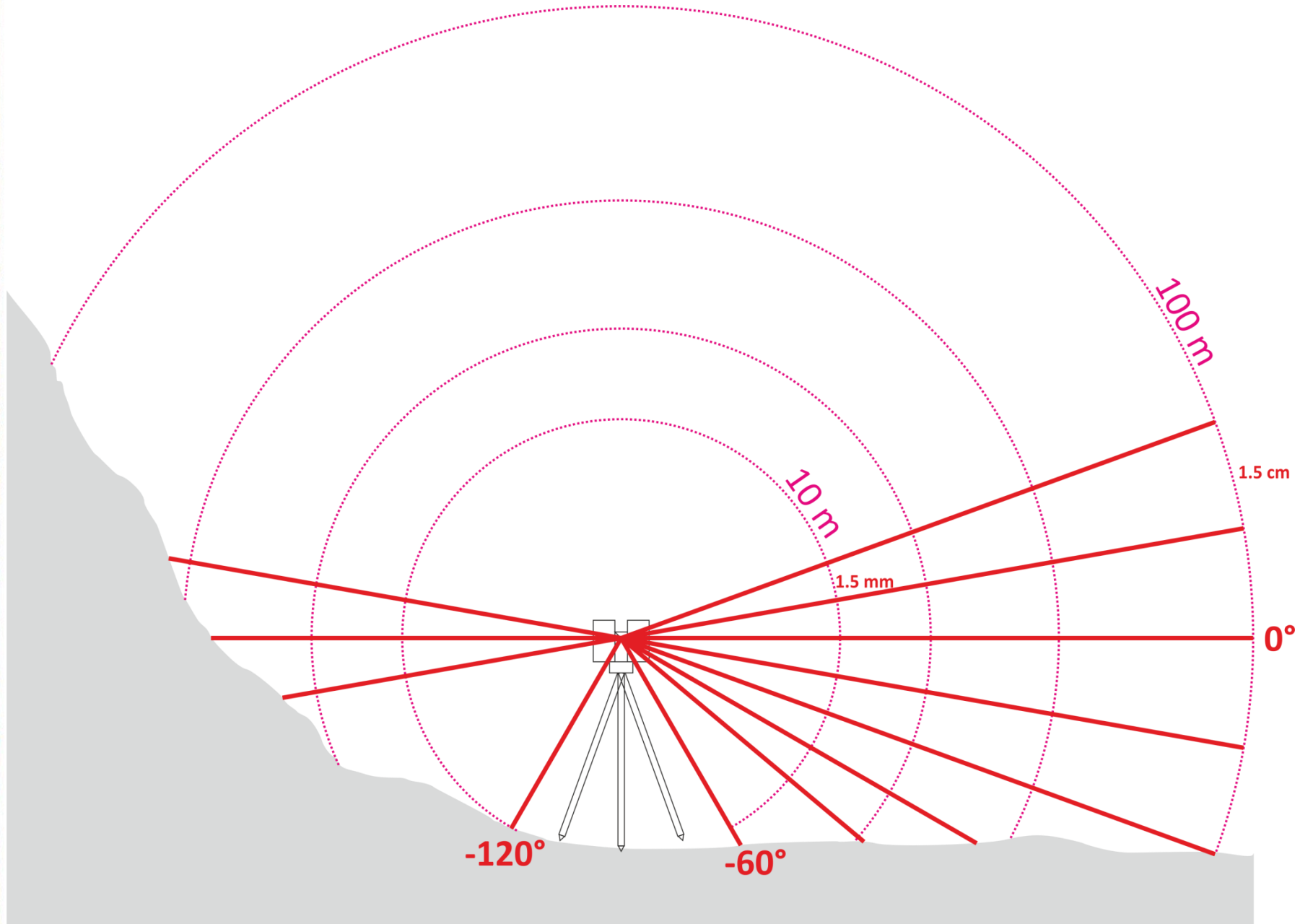
- Emission d'un faisceau laser
- Distribution verticale par miroir rotatif ( $300^{\circ}$  )
- Distribution horizontale par rotation du scanner ( $360^{\circ}$  )
- Portée 330 m
- Résolution 1.5 mm à 10 m

# Orientations

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

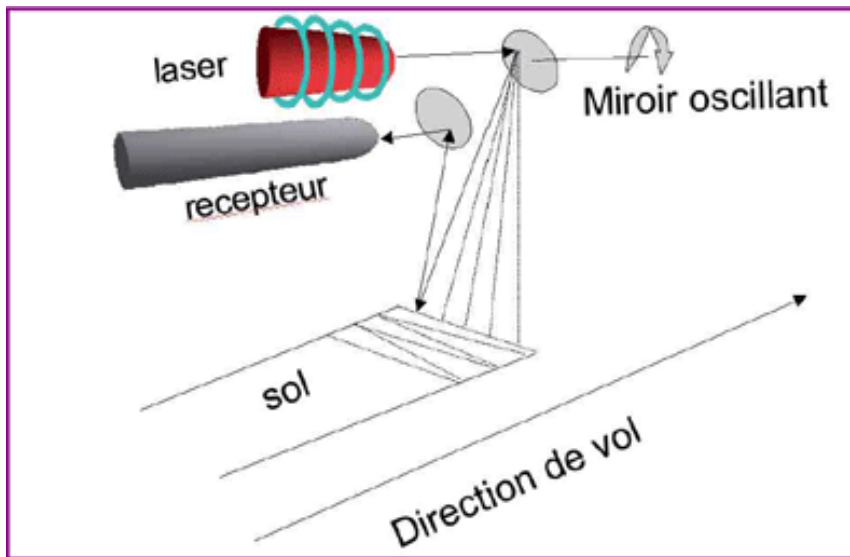


# Résolution



# 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€

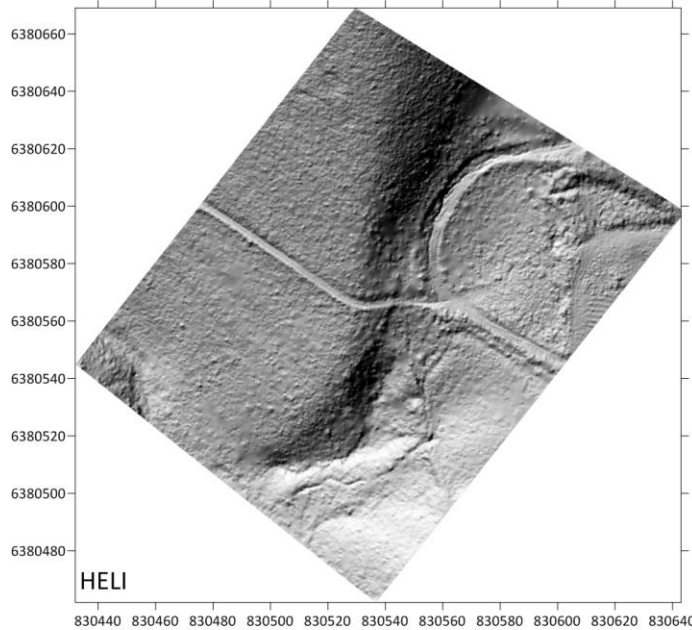


YellowScan

New size = 2462 \* 1534 (px)

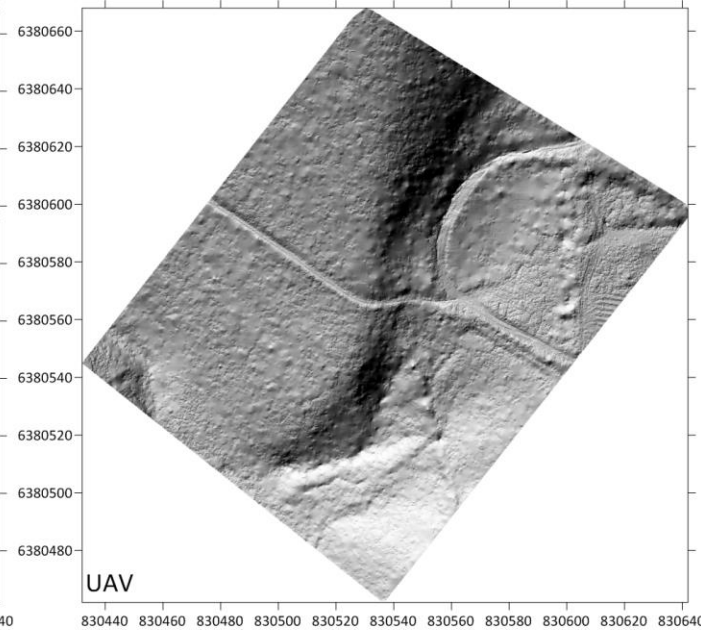
20

# Hélicoptère vs. UAV



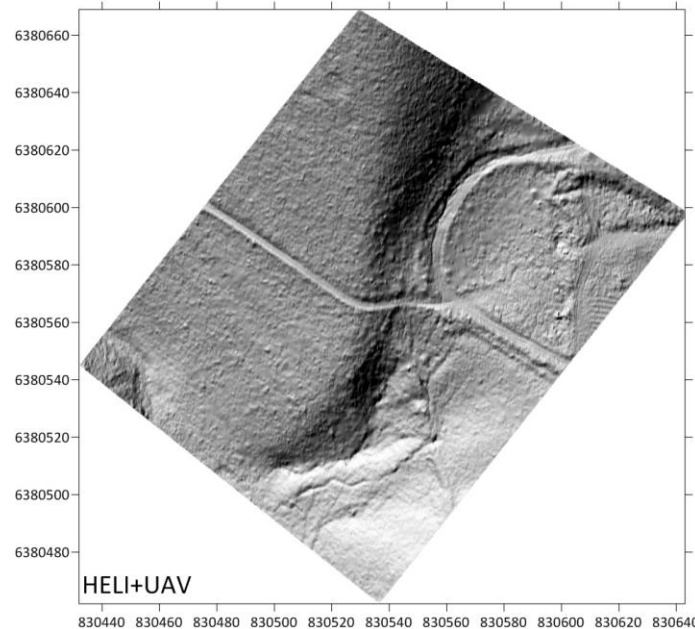
HELI

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

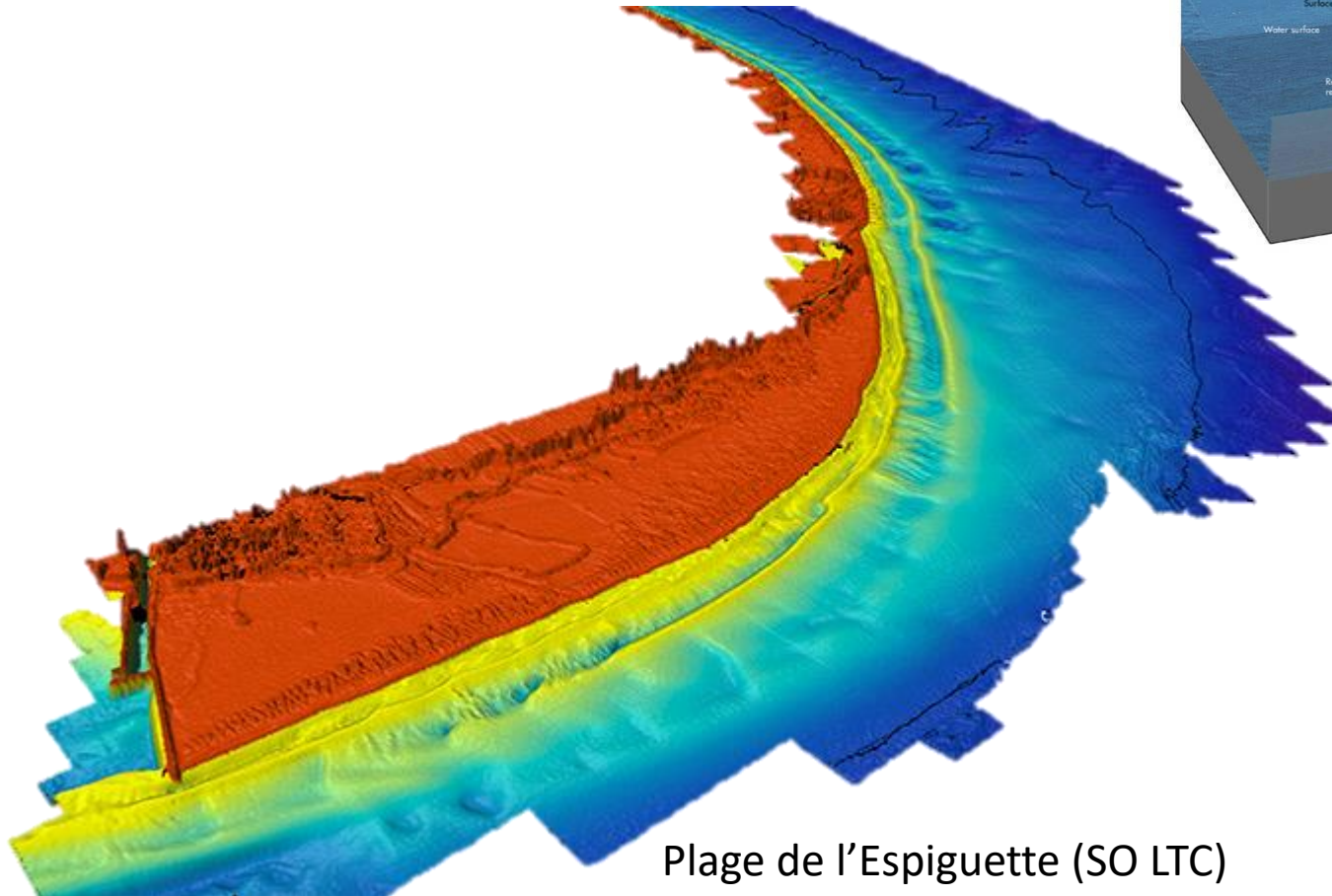
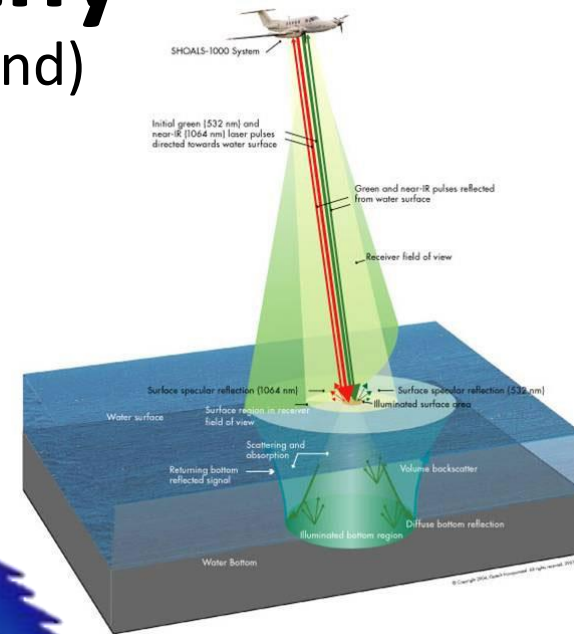


HELI+UAV



# LiDAR topo-bathy

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



Plage de l'Espiguette (SO LTC)

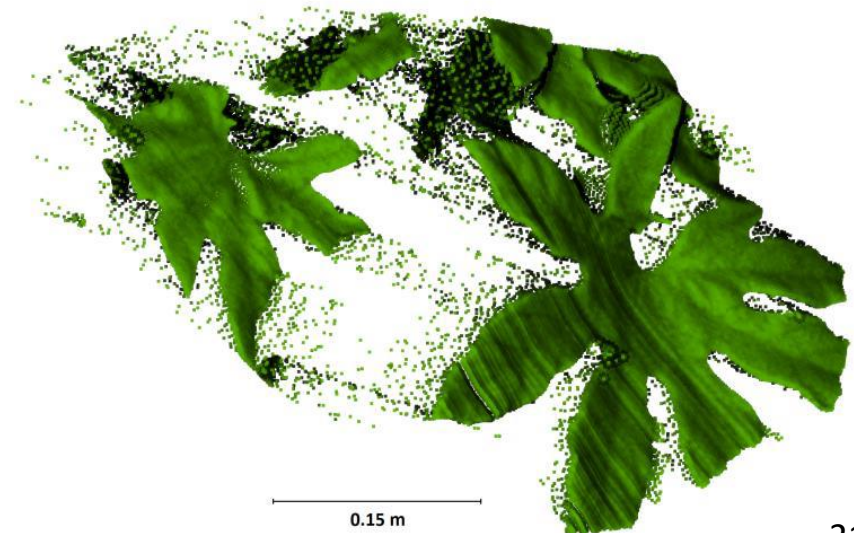
# Pré-traitement LiDAR/Scan

- 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



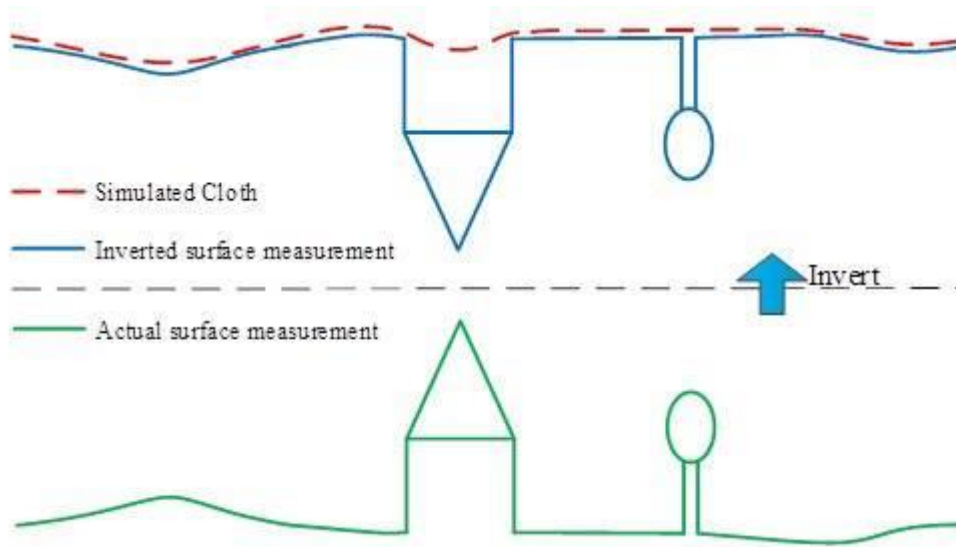
# Identification des points aberrants

- 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

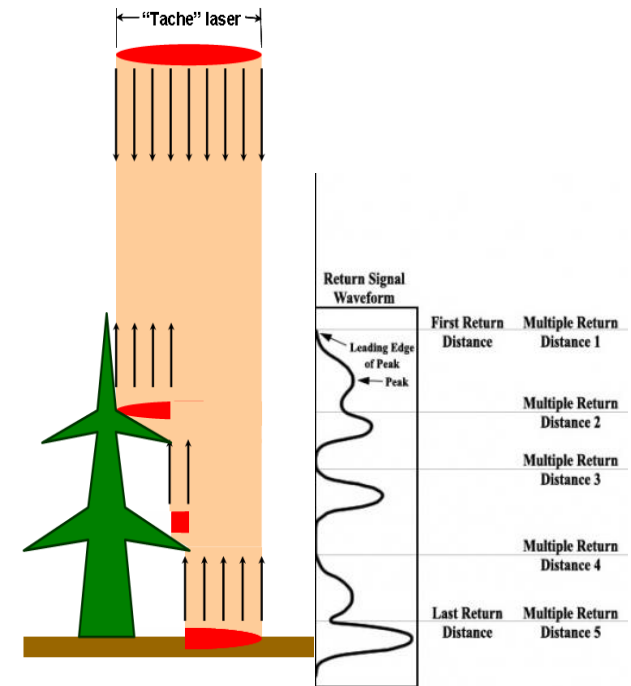


# Séparation sol/sur-sol

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

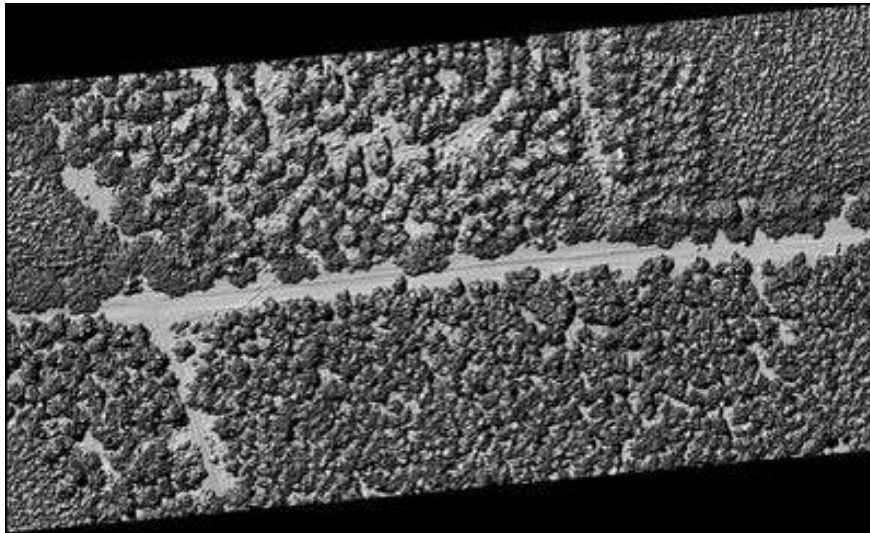
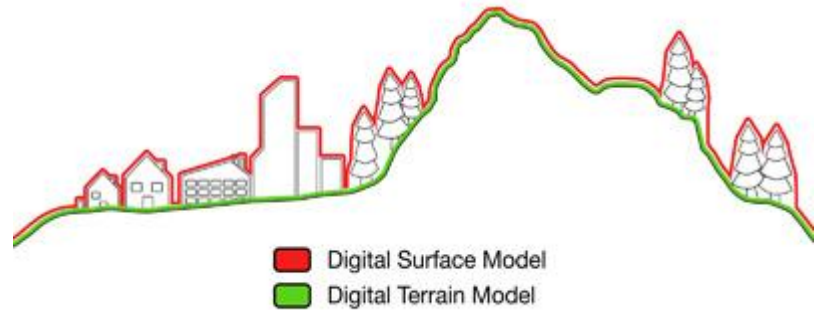


Filtre CSF

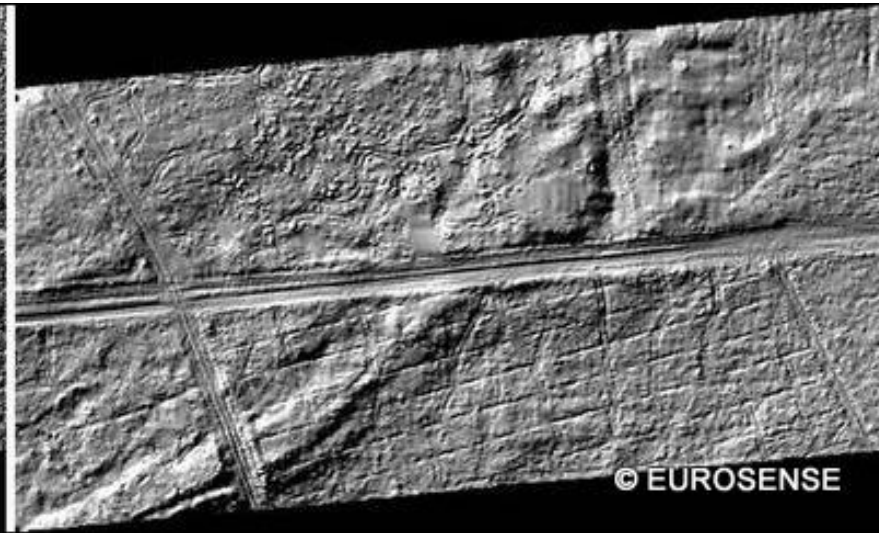


# Séparation sol/sur-sol

- 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*

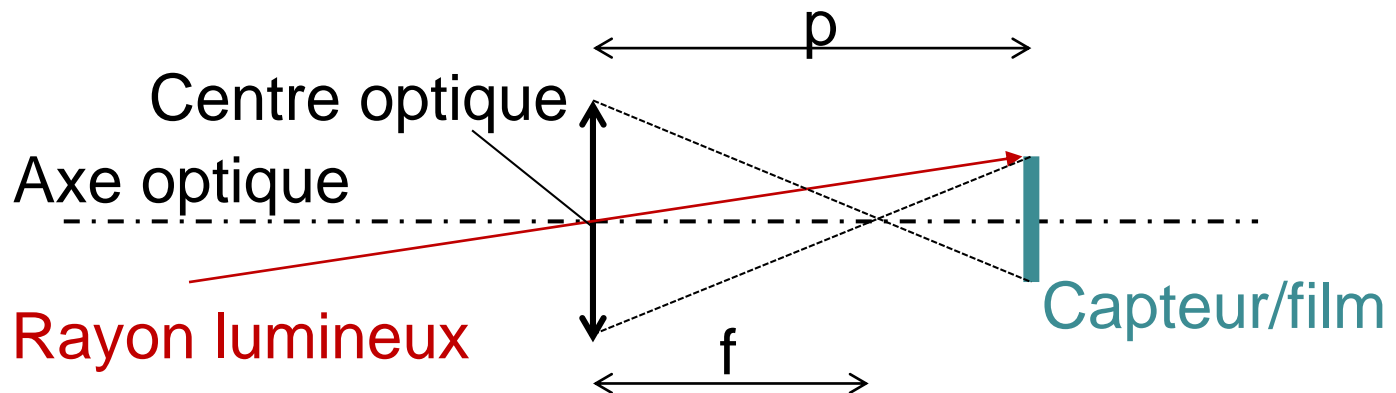


Wild C2 (1925)



# 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

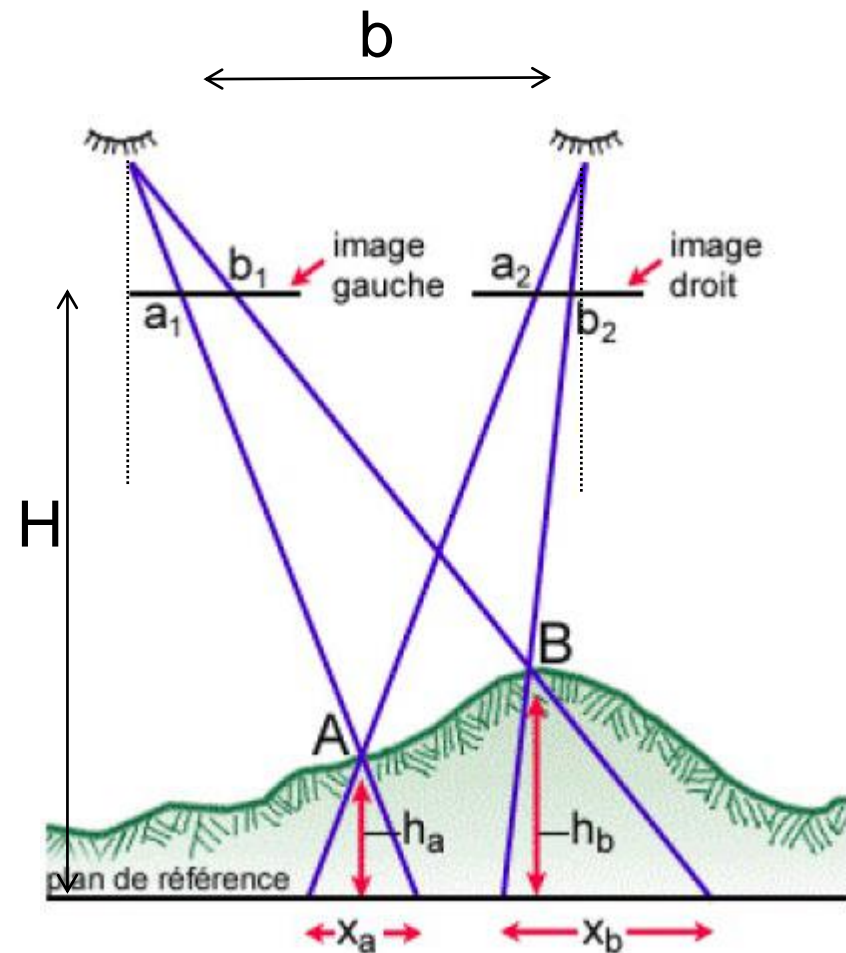
Hauteur d'un objet  
 $h_a = H - b \cdot f / Pa$

H: altitude / plan de réf.

b: base

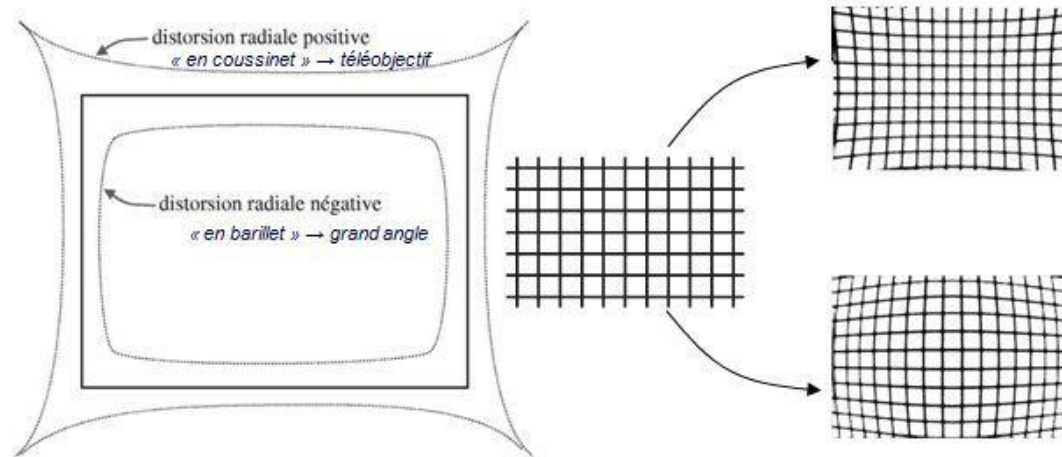
f: distance focale

Pa: parallaxe ( $a_1 - a_2$ )



# Orientation interne

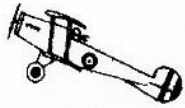
- Distorsion géométrique (optique)



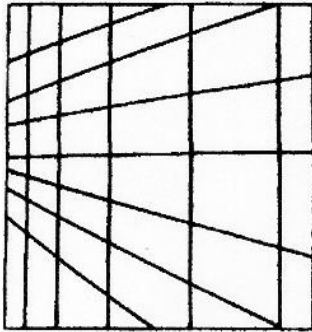
- Distorsion du capteur (CCD/film)
- Etalonnage régulier de la caméra

# Orientation externe

Tangage



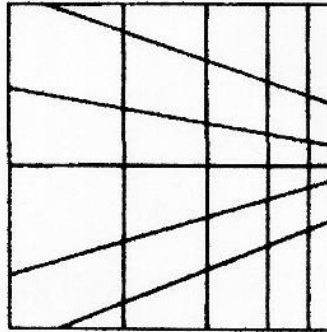
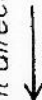
flight direction



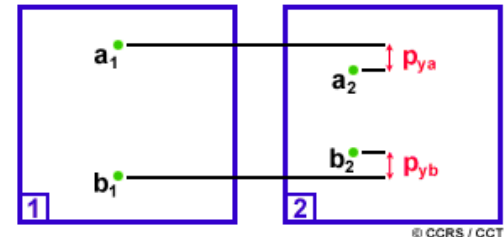
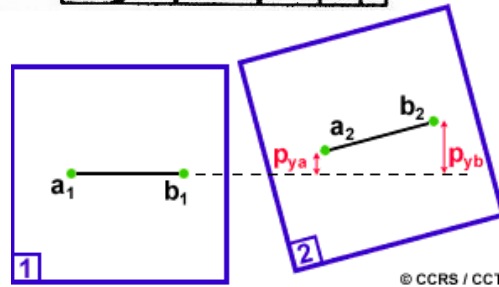
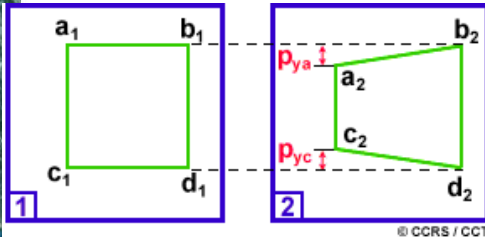
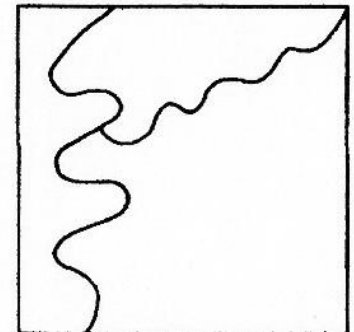
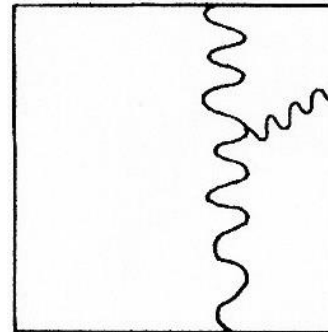
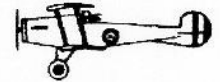
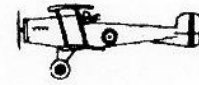
Roulis



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



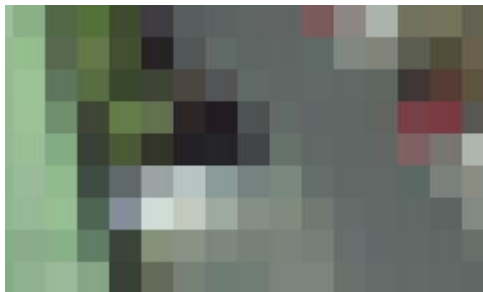
- Points d'initiation précis



- 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  $20xR$



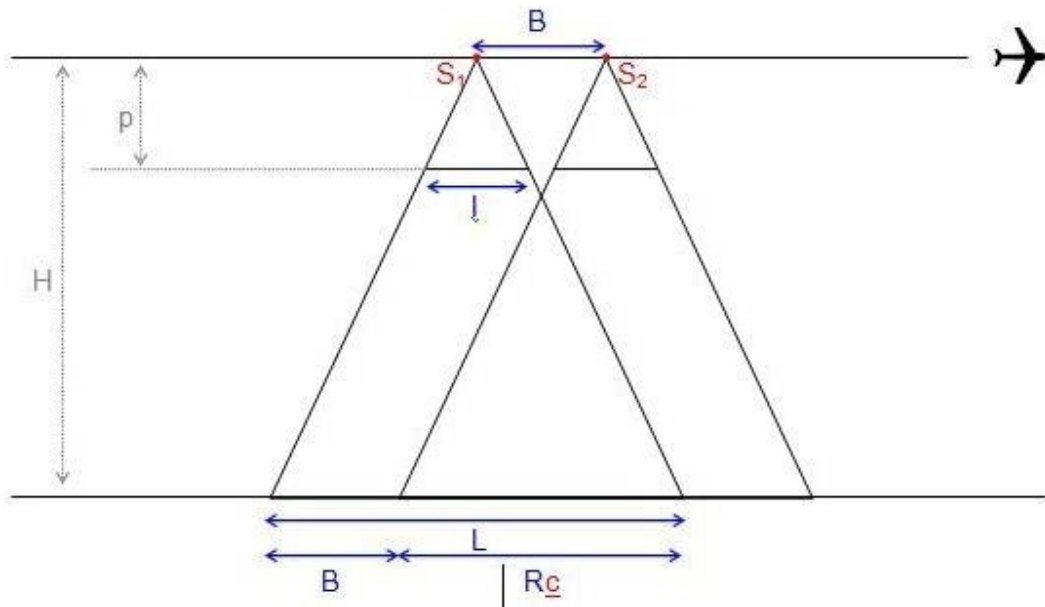
GSD 1.6 m



GSD 0.2 m



# Géométrie d'acquisition



$B$ : base (distance entre deux photos)

$L$ : longueur de la photo

$R_c$ : recouvrement

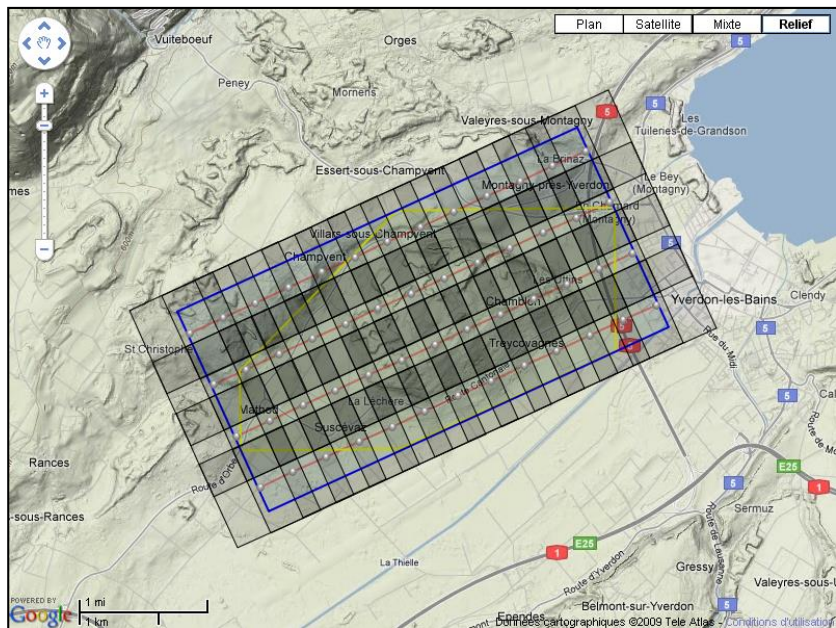
$H$ : altitude de vol (/sol)

$B/H$  influence la précision altimétrique

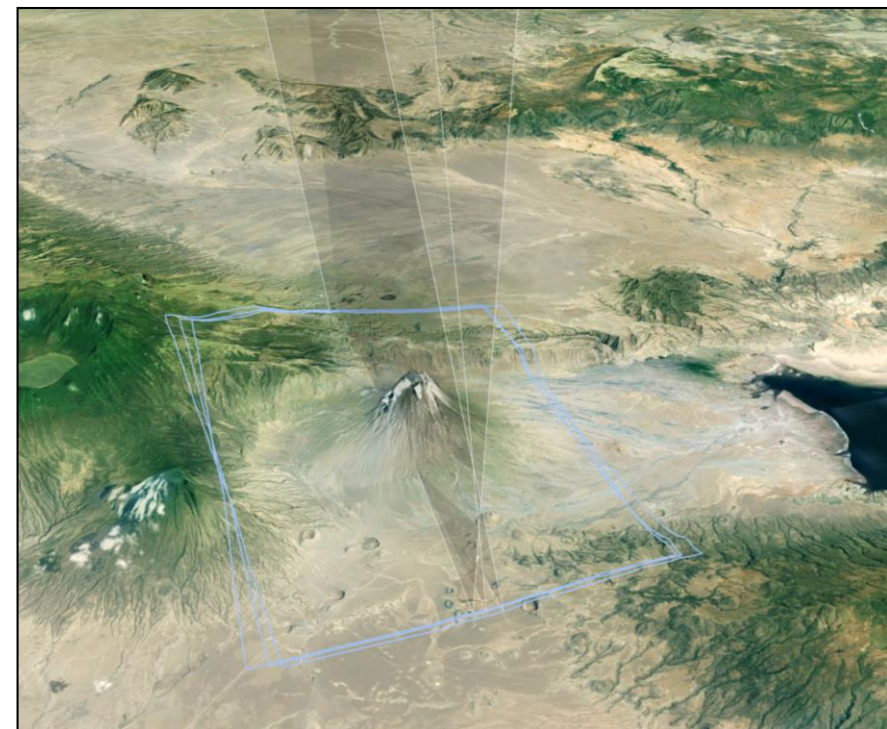
$H/p$ : échelle

# 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

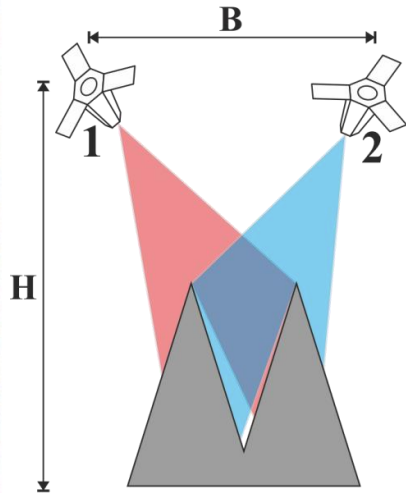
- Corrections des paramètres d'orientation
  - CN: import de la calibration, identification des GCPs
  - PB: import des RPCs, identification des GCPs
  - Génération des images épipolaires
- Recherche des points analogues
  - Identification des points particuliers (contraste, SIFT)
  - Modélisation par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

# Post-traitement

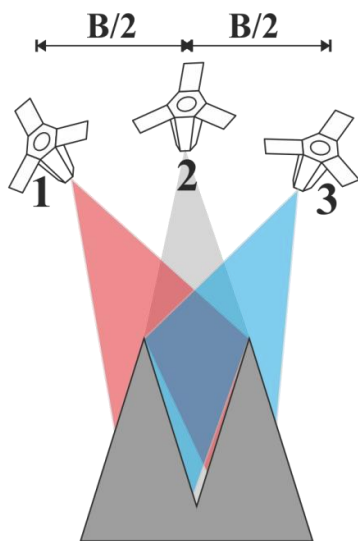
- Multi-vues Structure-From-Motion → nuage de points
- Multi-vues SFM + vues obliques → 3D
- Séparation sol/sur-sol par filtre topologique (LiDAR) et classification colorimétrique en espace HSV
- Couple stéréo → raster
  
- Nuage de points → rastérisation (z unique) avec interpolation



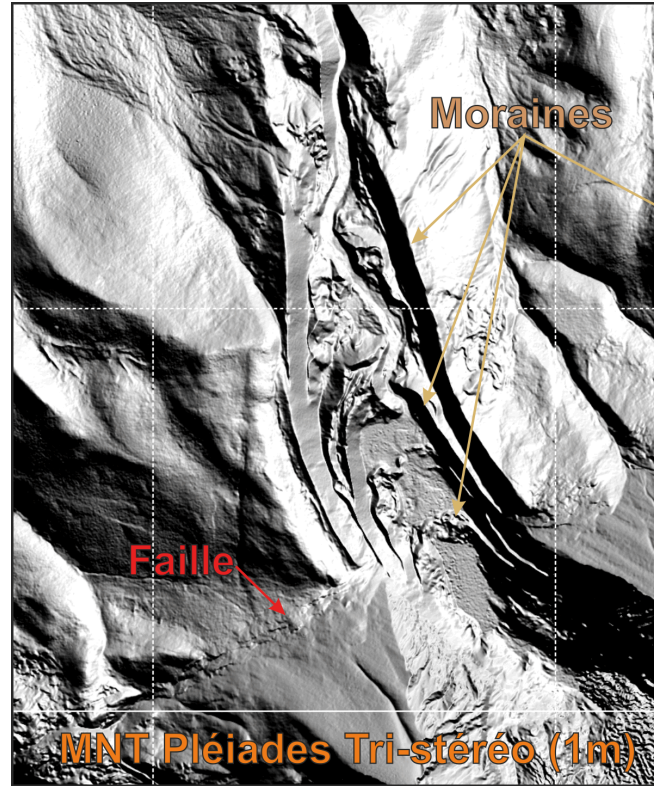
# Photogrammétrie satellitaire



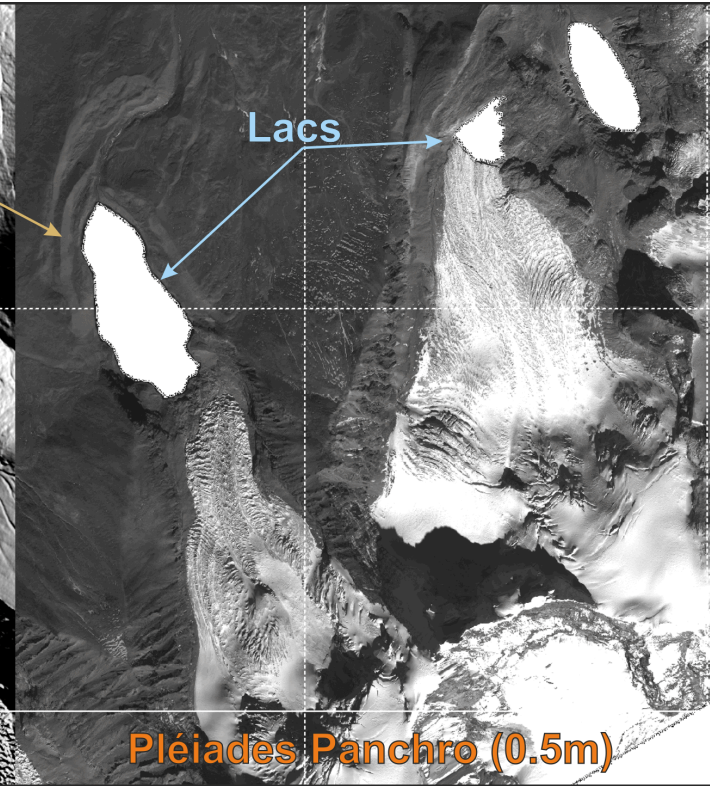
stereo



tri-stereo



MNT Pléiades Tri-stéréo (1m)

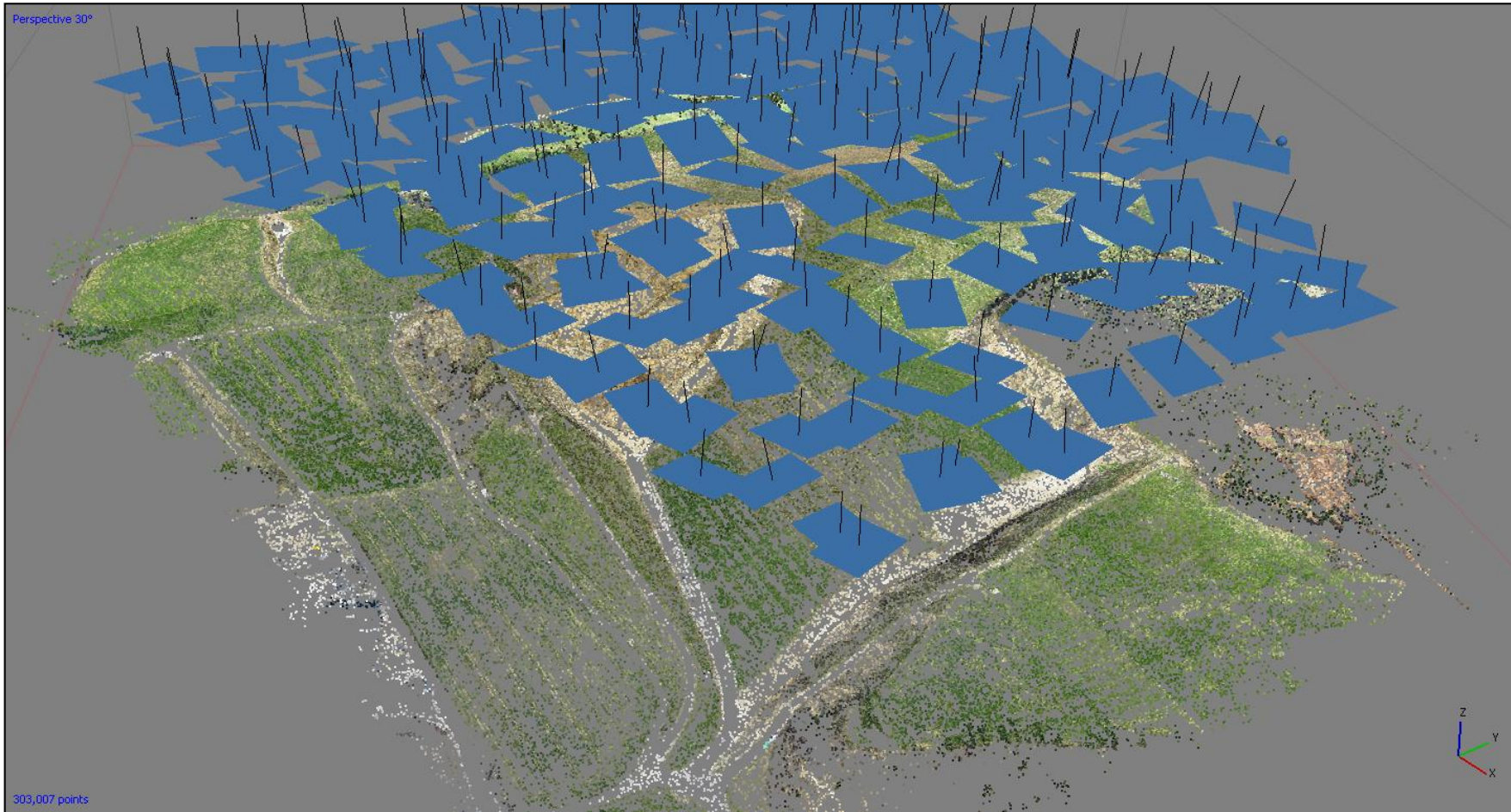


Pléiades Panchro (0.5m)

Yadong (Himalaya)



# Photogrammétrie SFM

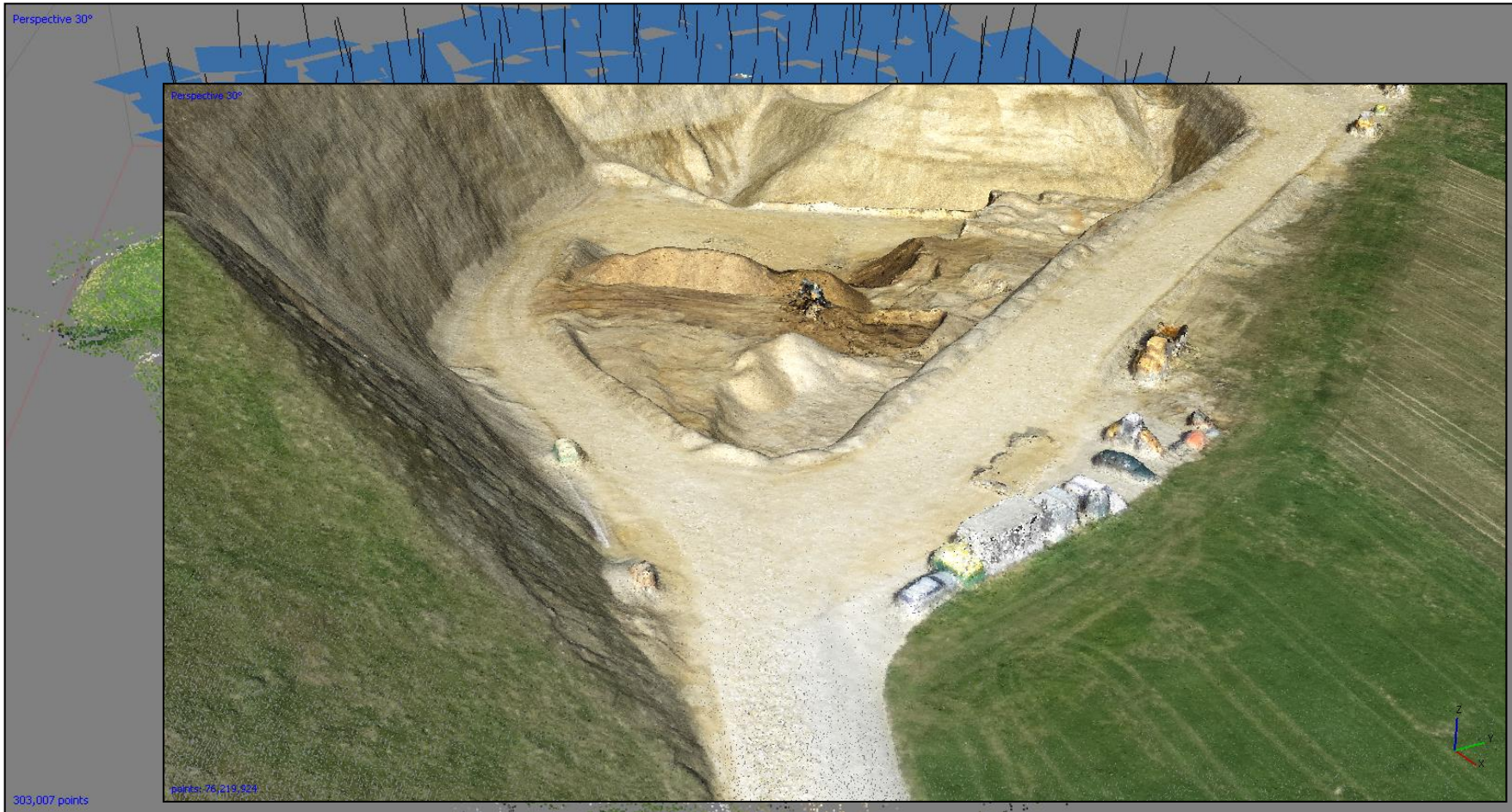


- 211 photos géoréférencées
- Orthophoto à 5 cm
- DEM à 9 cm
- Moyens de calcul et d'affichage

Images d'origine Sensefly



# Photogrammétrie SFM



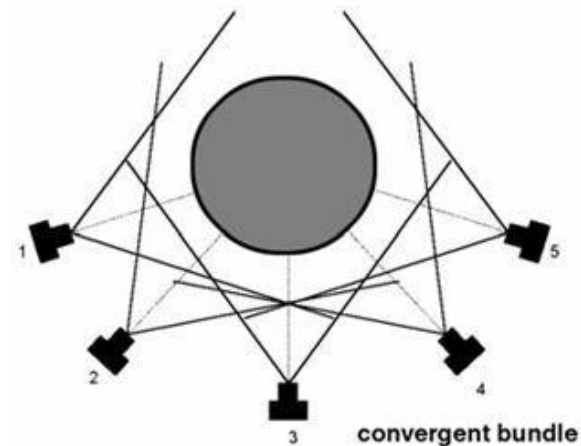
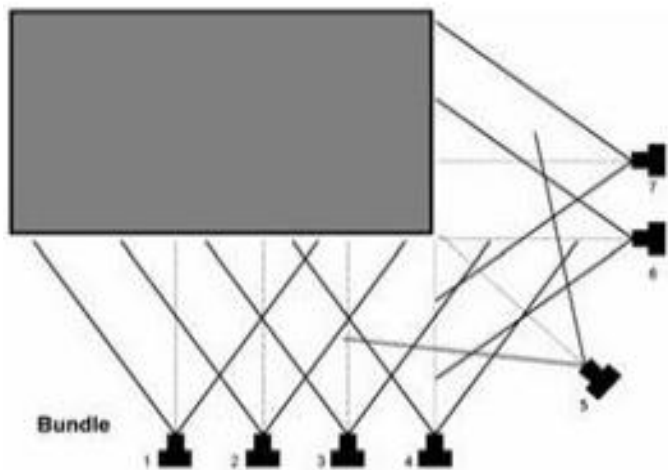
- 211 photos géoréférencées
- Orthophoto à 5 cm
- DEM à 9 cm
- Moyens de calcul et d'affichage

Images d'origine Sensefly



# Photogrammétrie terrestre

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



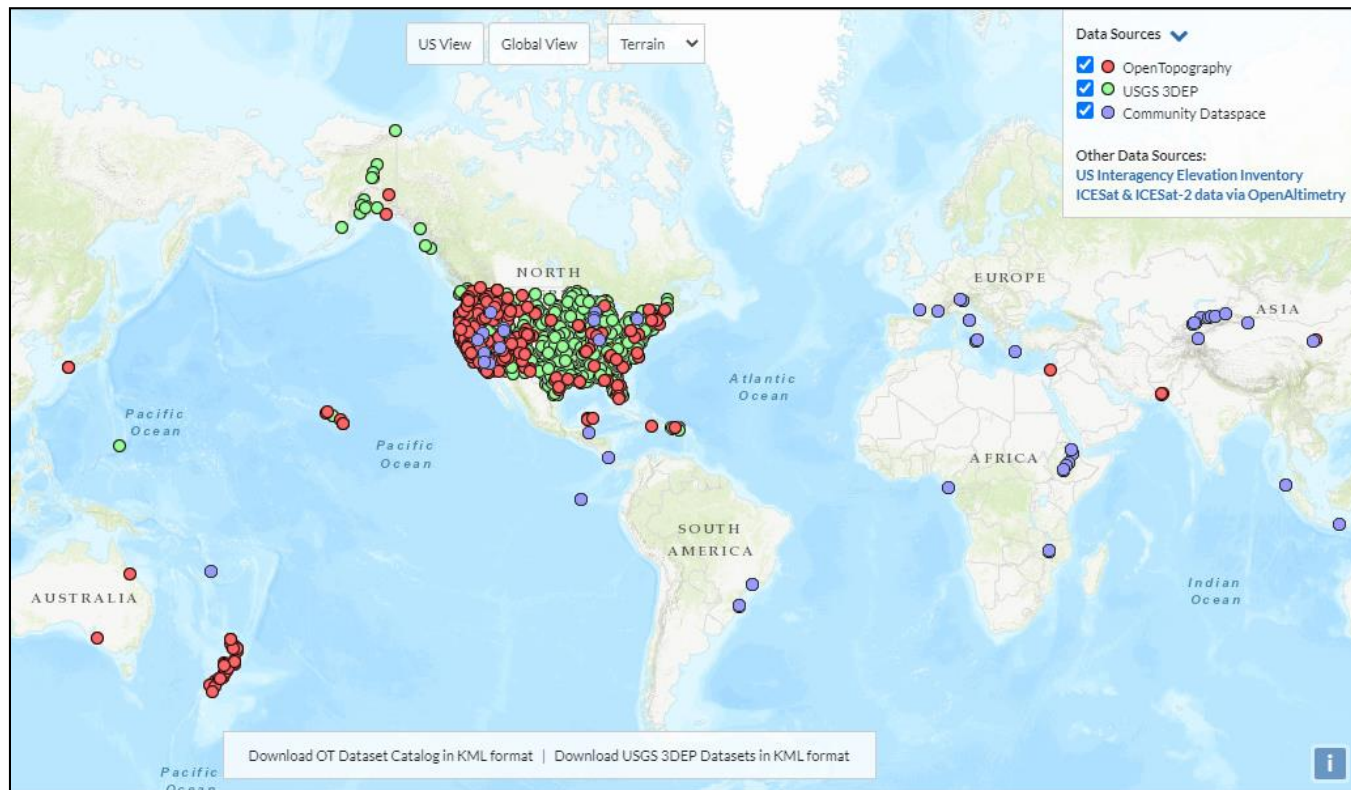


# LiDAR vs. Photogrammétrie

	LiDAR/Scan	Photogrammétrie
Résolution	mm - m	cm - m
Précision	mm	cm
Emprise	m <sup>2</sup> - km <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> - >1000 km <sup>2</sup>
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)

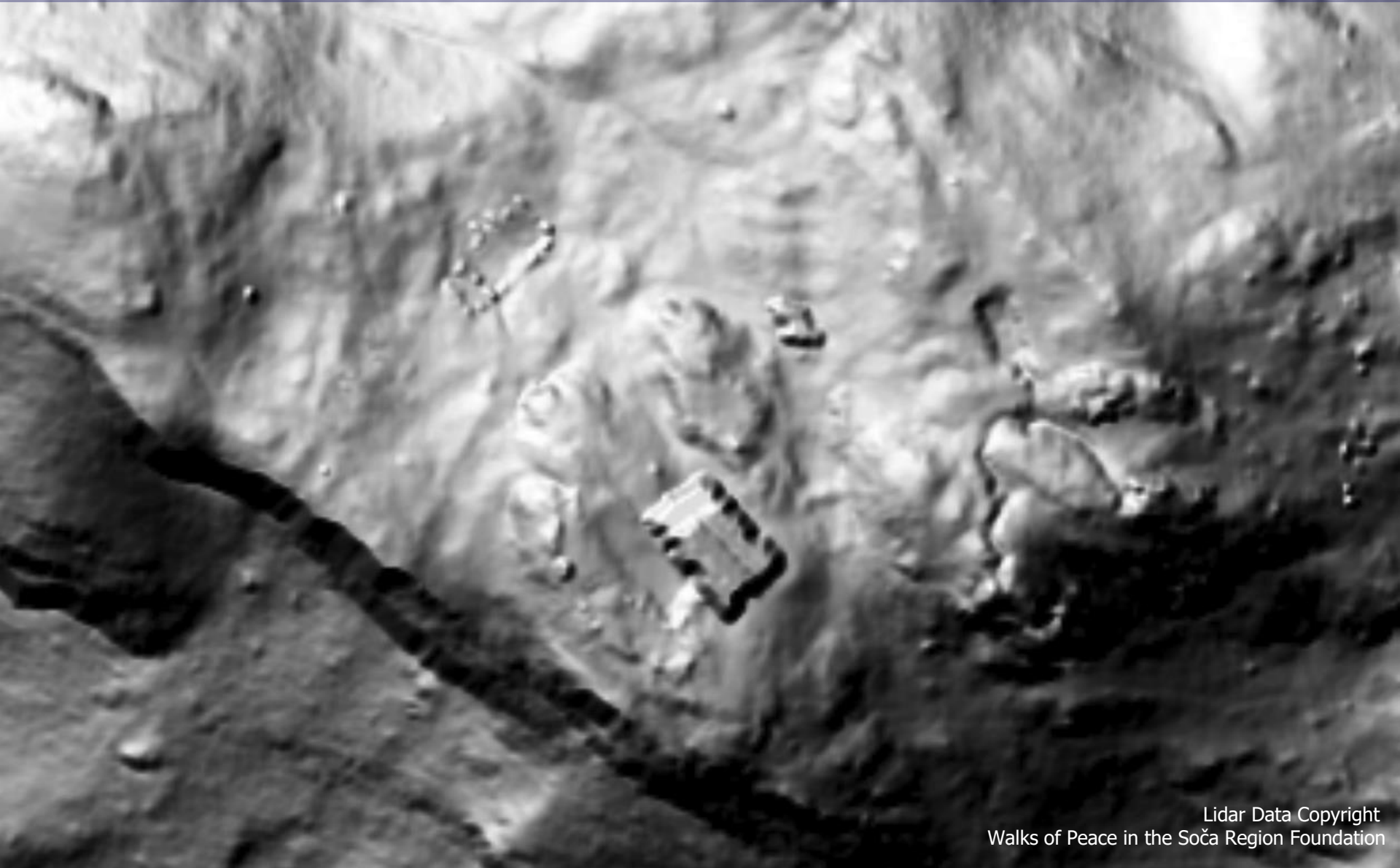


# Visualisation

- 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

++

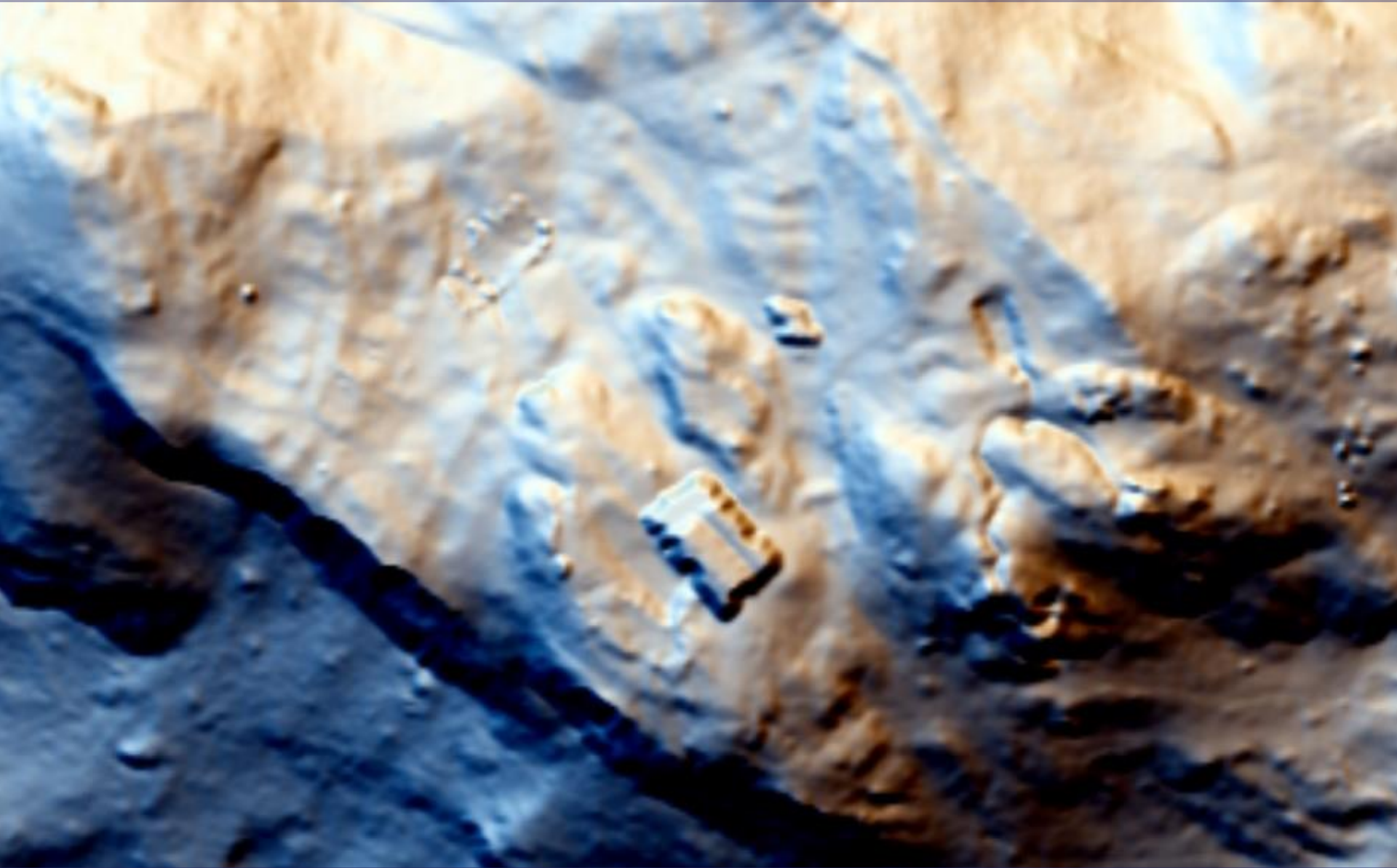
- Facile à calculer et naturel à interpréter
- Disponible dans les logiciels de SIG
- Révèle de faibles reliefs en lumière rasante

--

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



# Ombrage composite en RVB

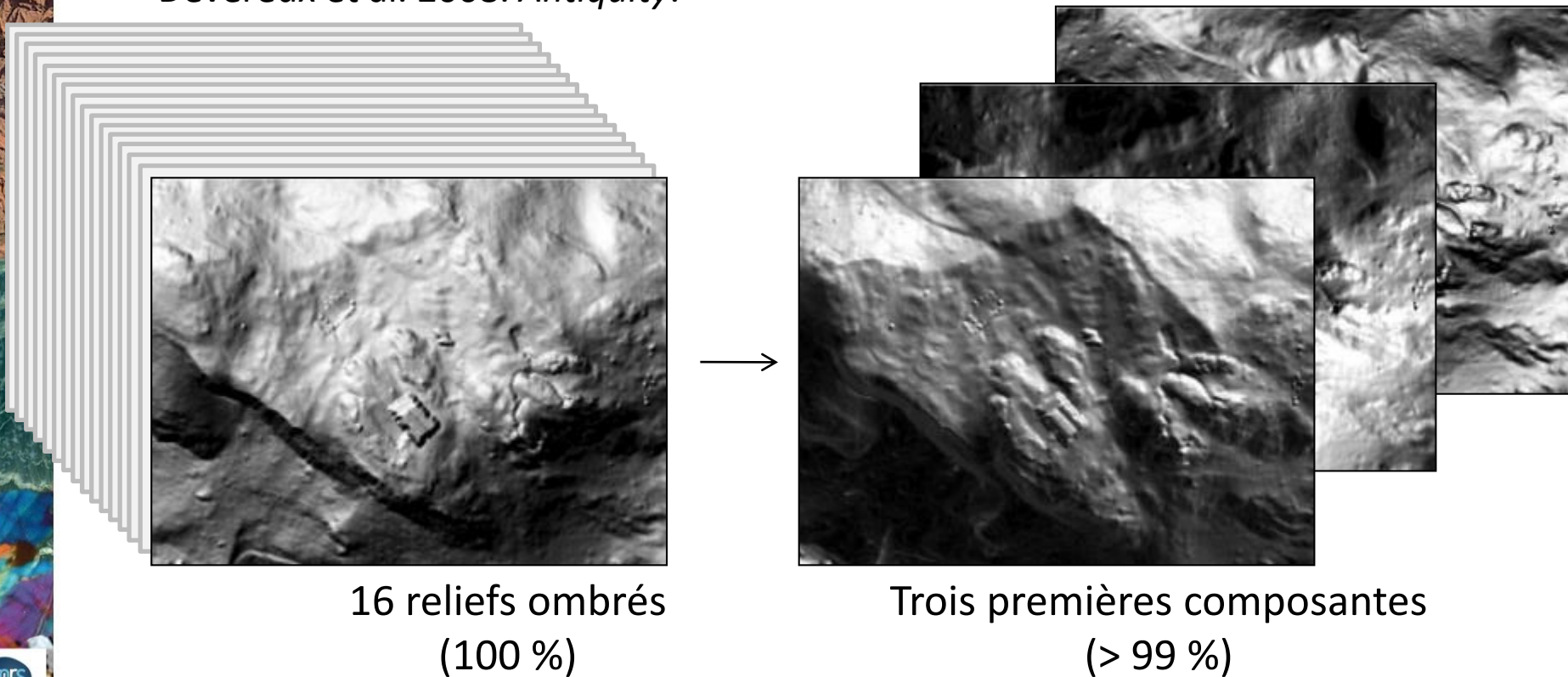


RGB 0°☉, 337,5°☉, 315°☉ ∠45°

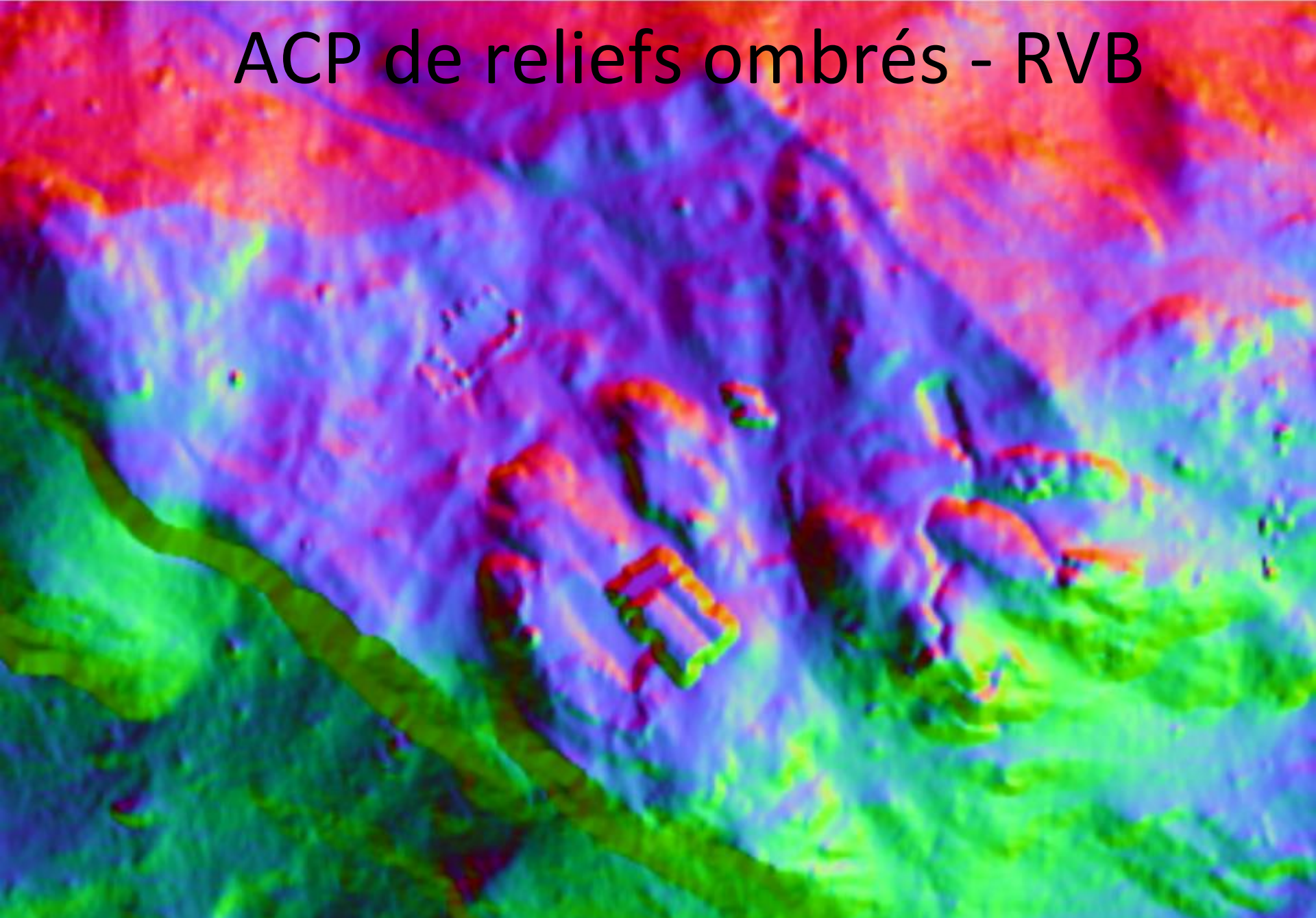
0 50 m

# 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*.



# ACP de reliefs ombrés - RVB



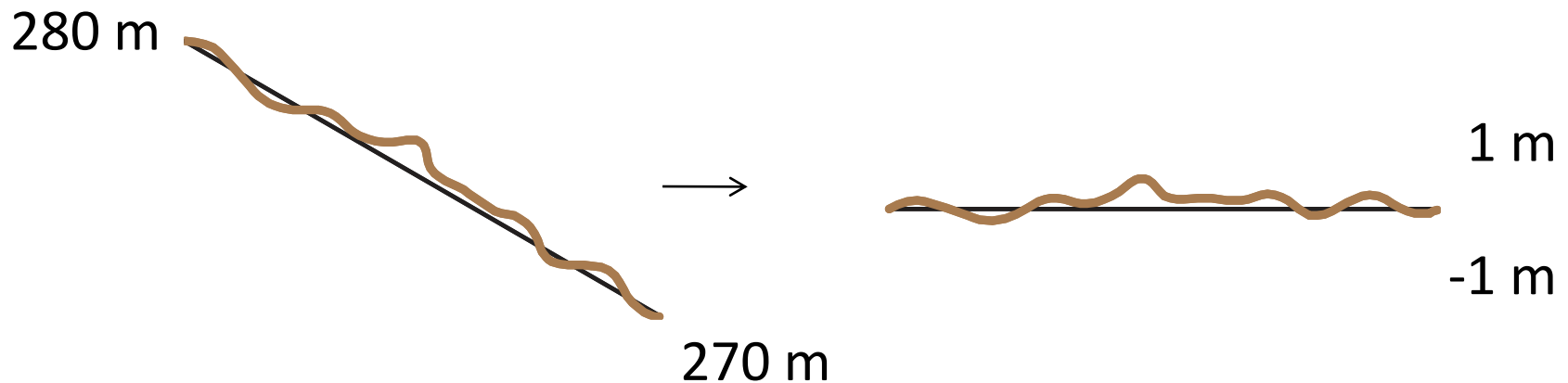
16 ⊗ 45° ∠

0 50 m



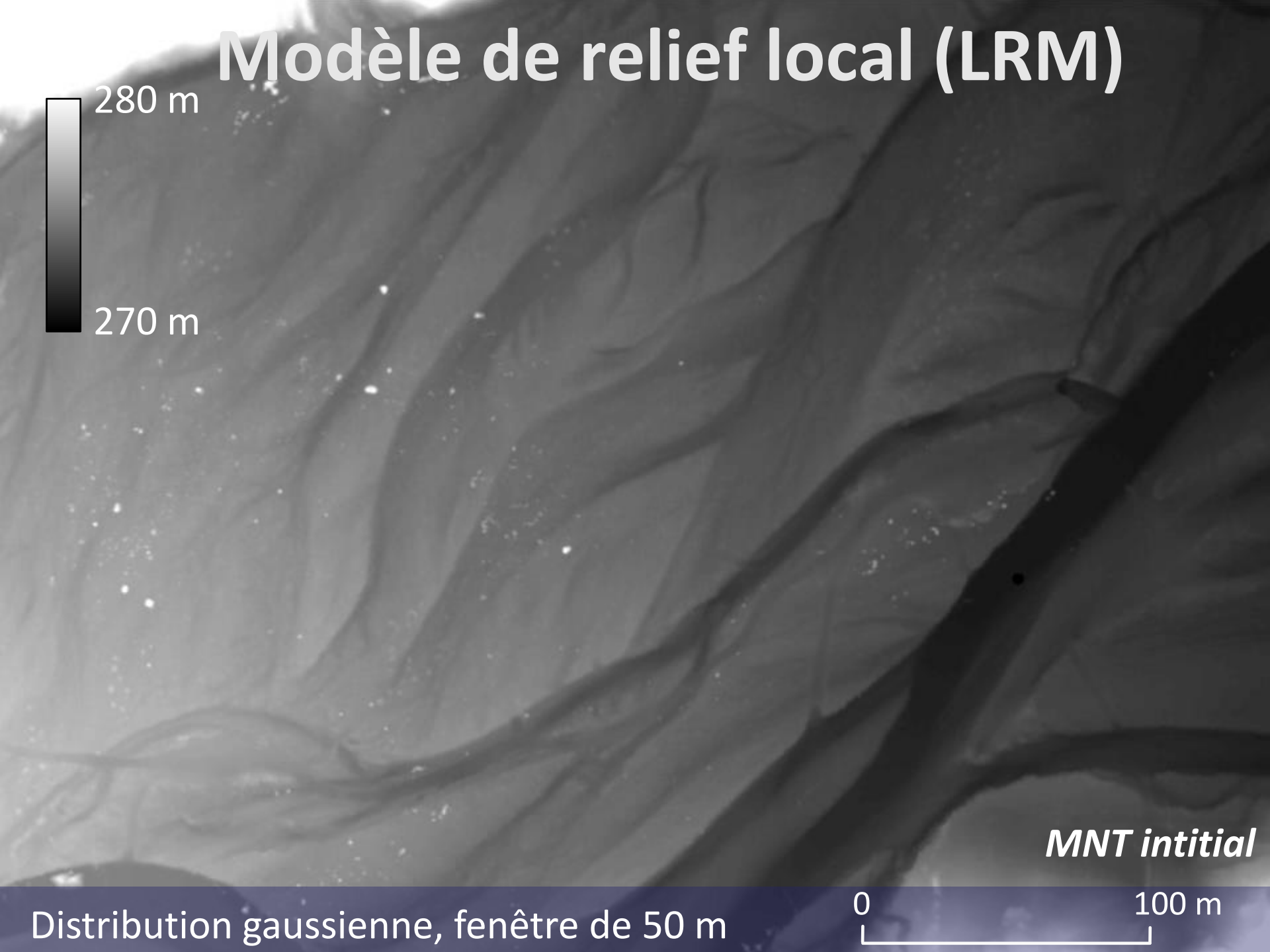
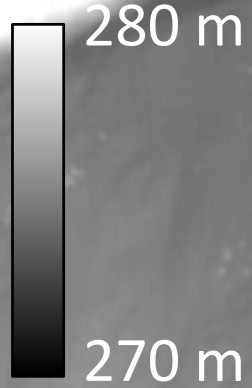
# Modèle de relief local (LRM)

- 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)

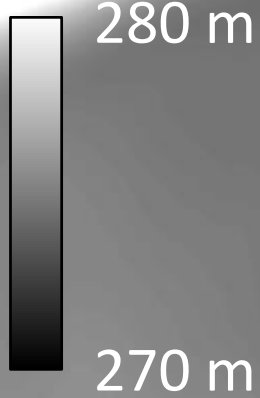


*MNT intitial*

Distribution gaussienne, fenêtre de 50 m

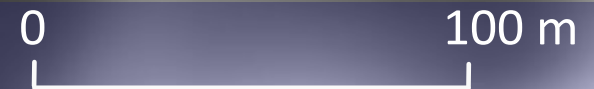


# Modèle de relief local (LRM)

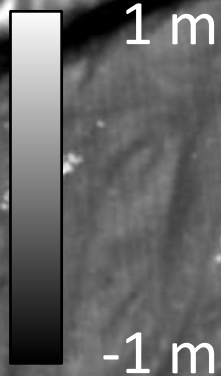


*Tendance régionale*

Distribution gaussienne, fenêtre de 50 m



# Modèle de relief local (LRM)



*MNT final = initial - tendance*

Distribution gaussienne, fenêtre de 50 m



# Etudes de cas



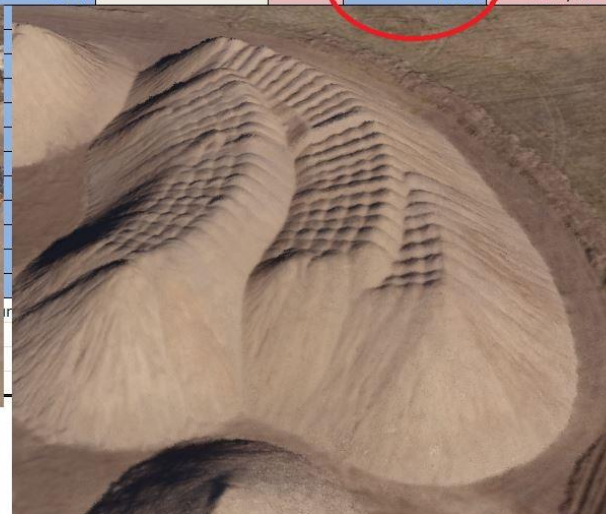
# Exploitation minière

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

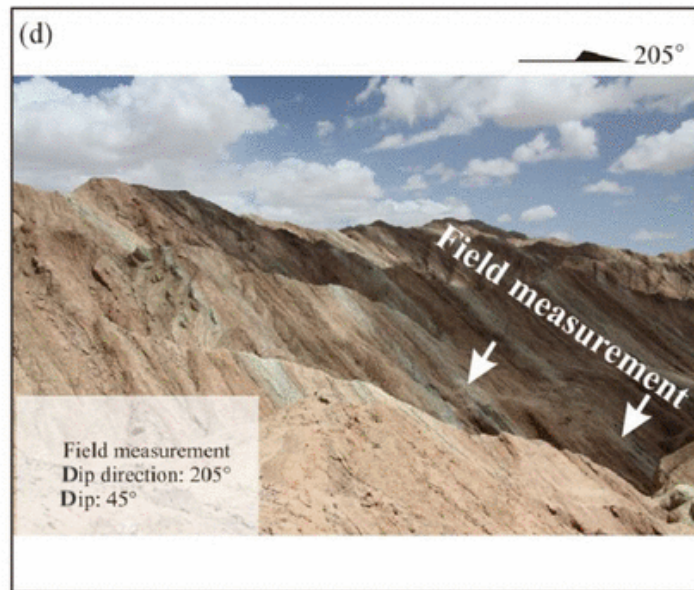
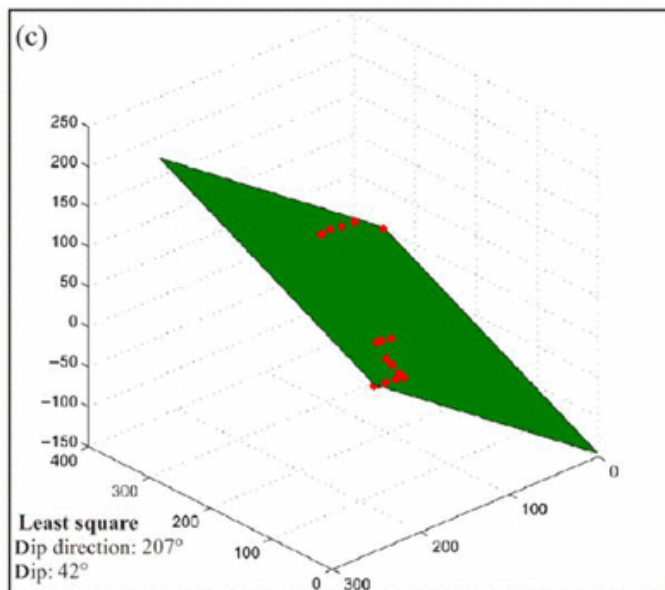
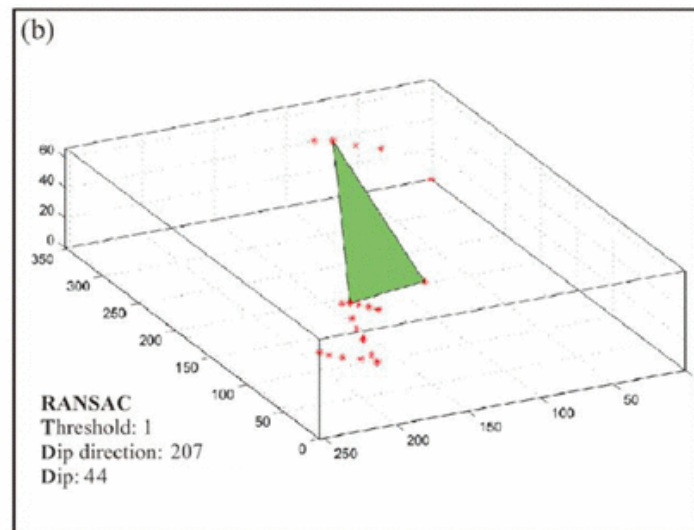
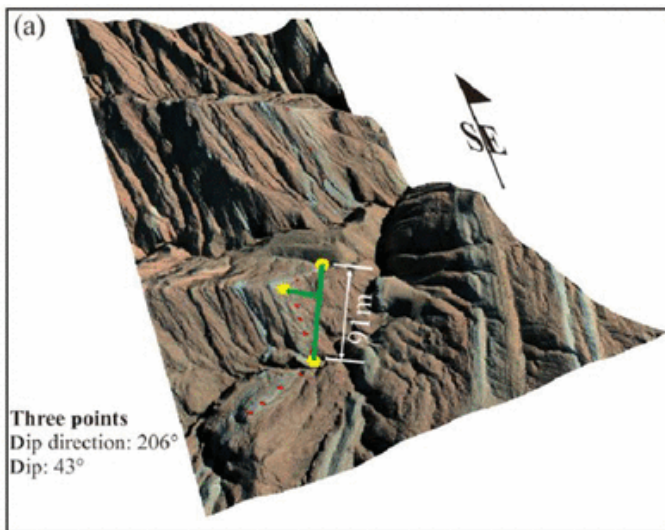


Barrick Gold

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!	

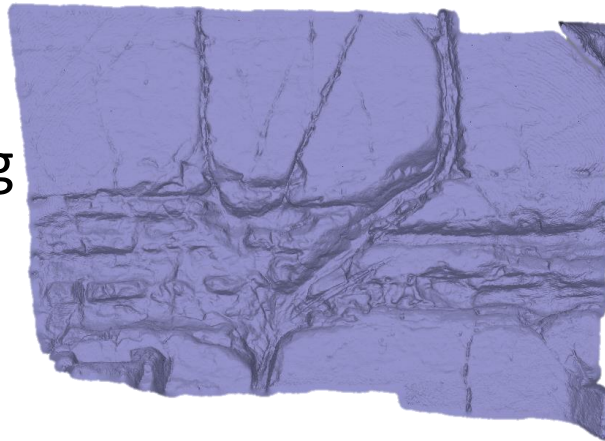
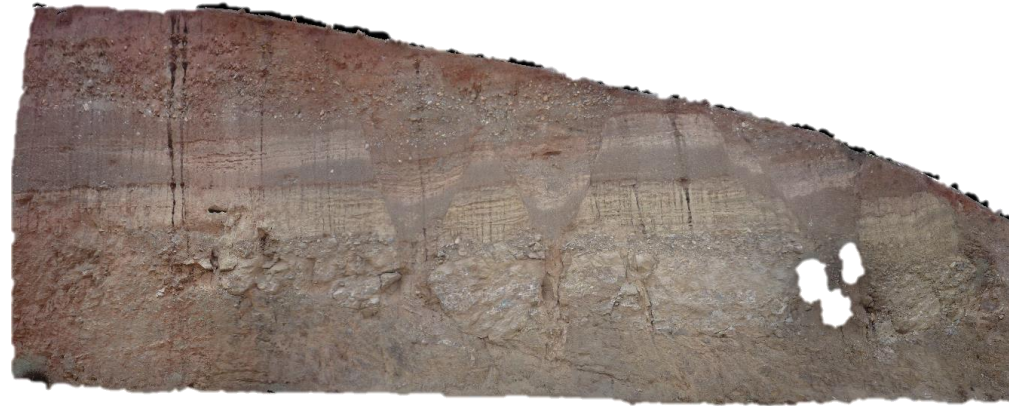


# Cartographie Géologique



# 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

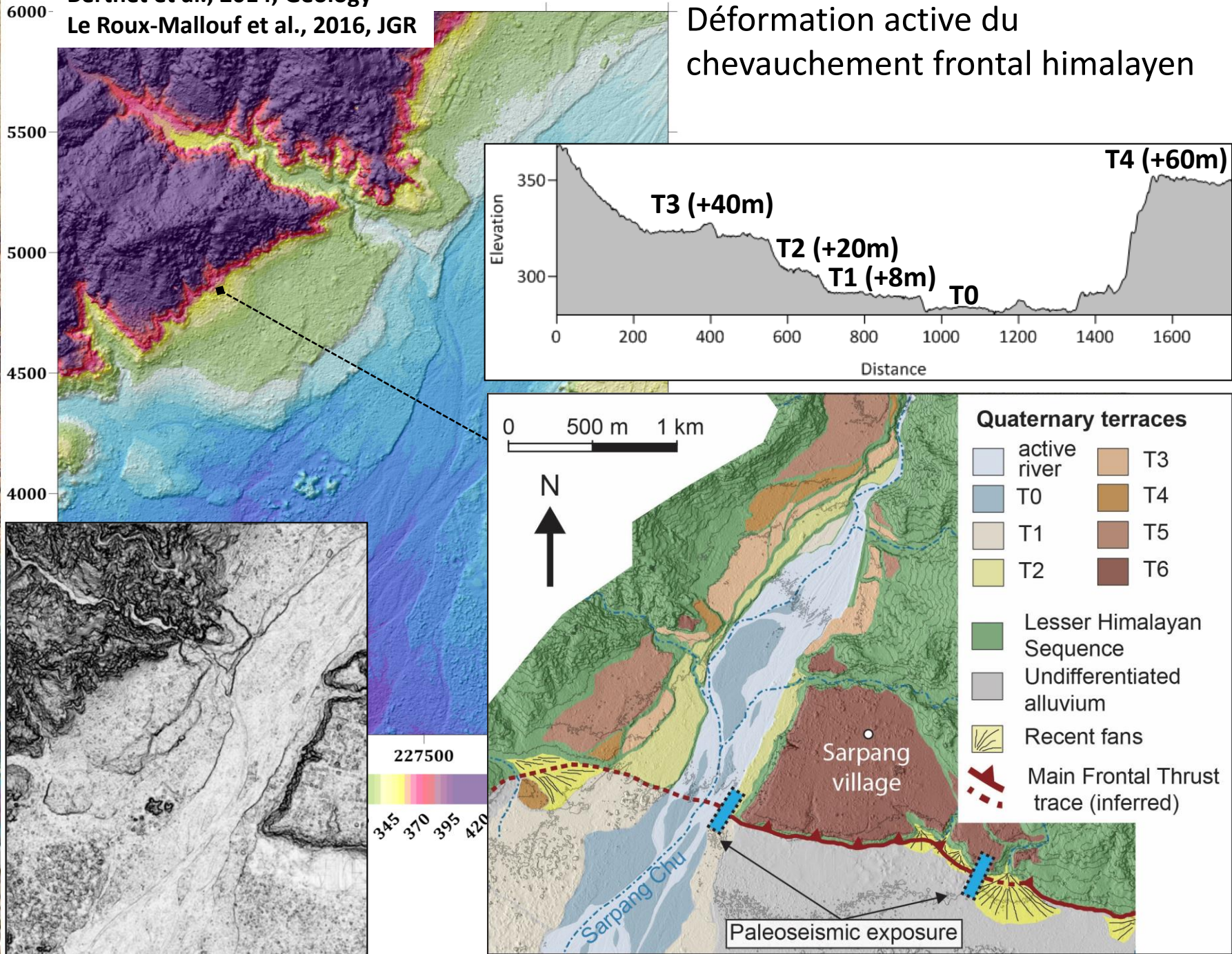




Berthet et al., 2014, *Geology*

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

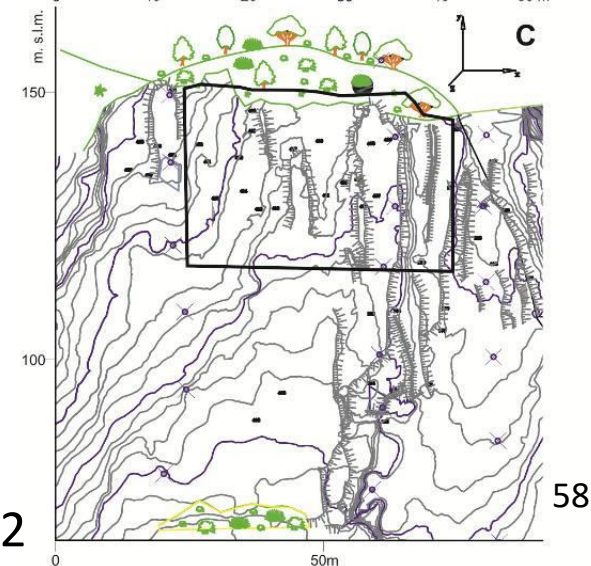
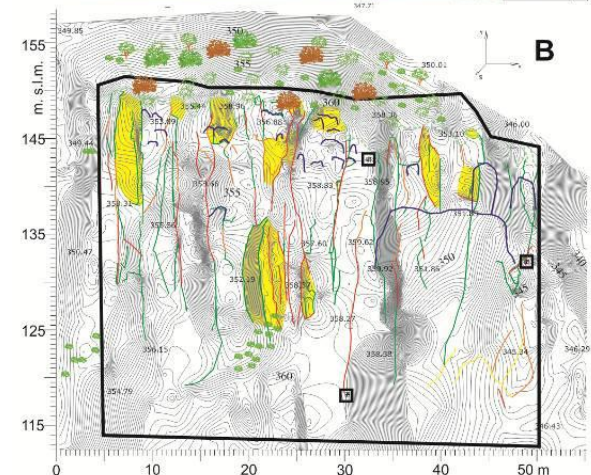
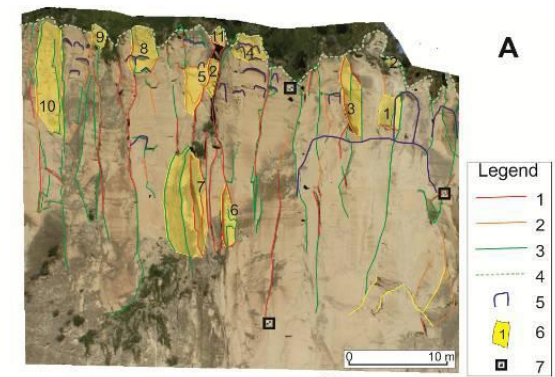
# Déformation active du chevauchement frontal himalayen



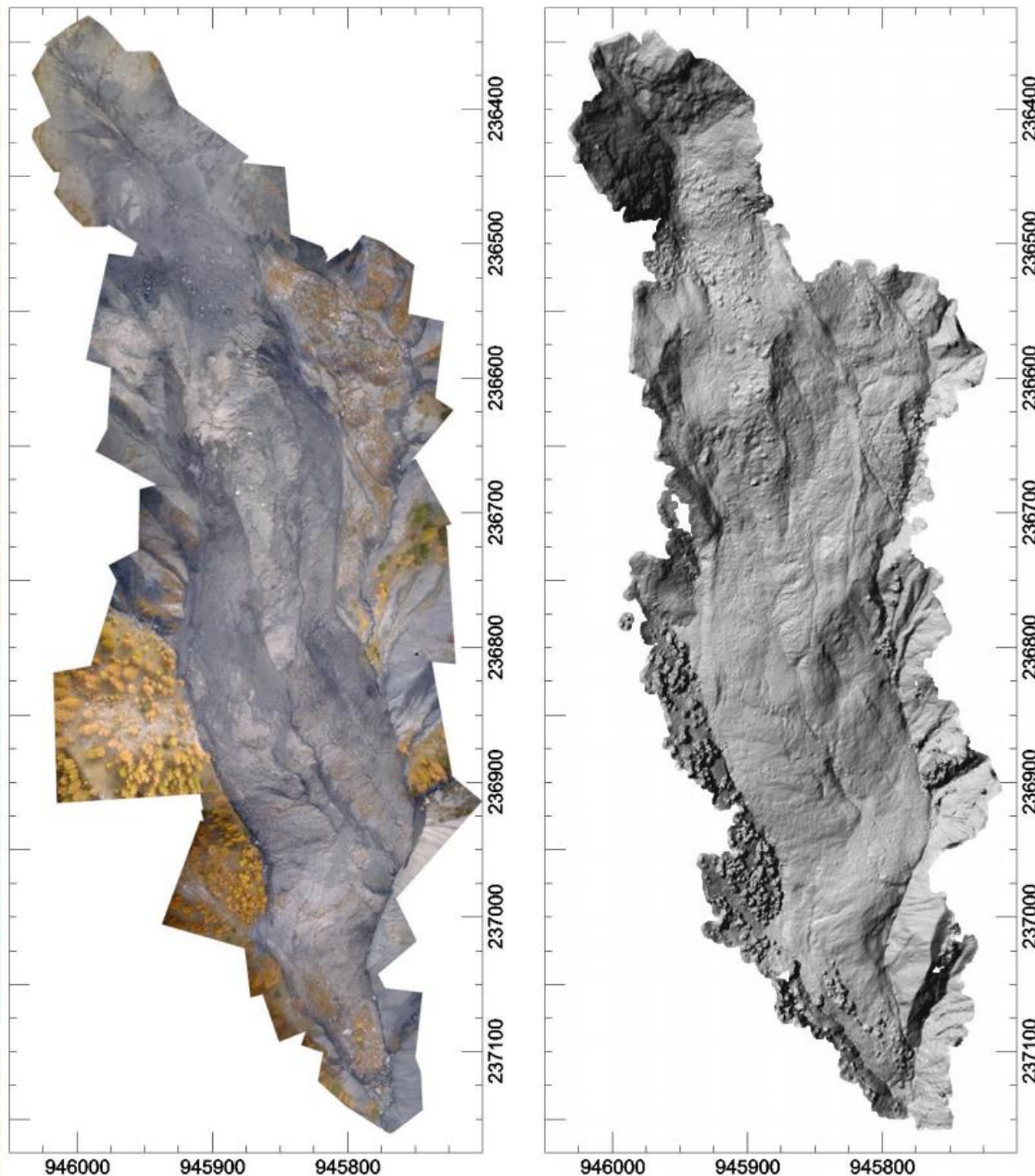
# Suivi d'instabilités



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

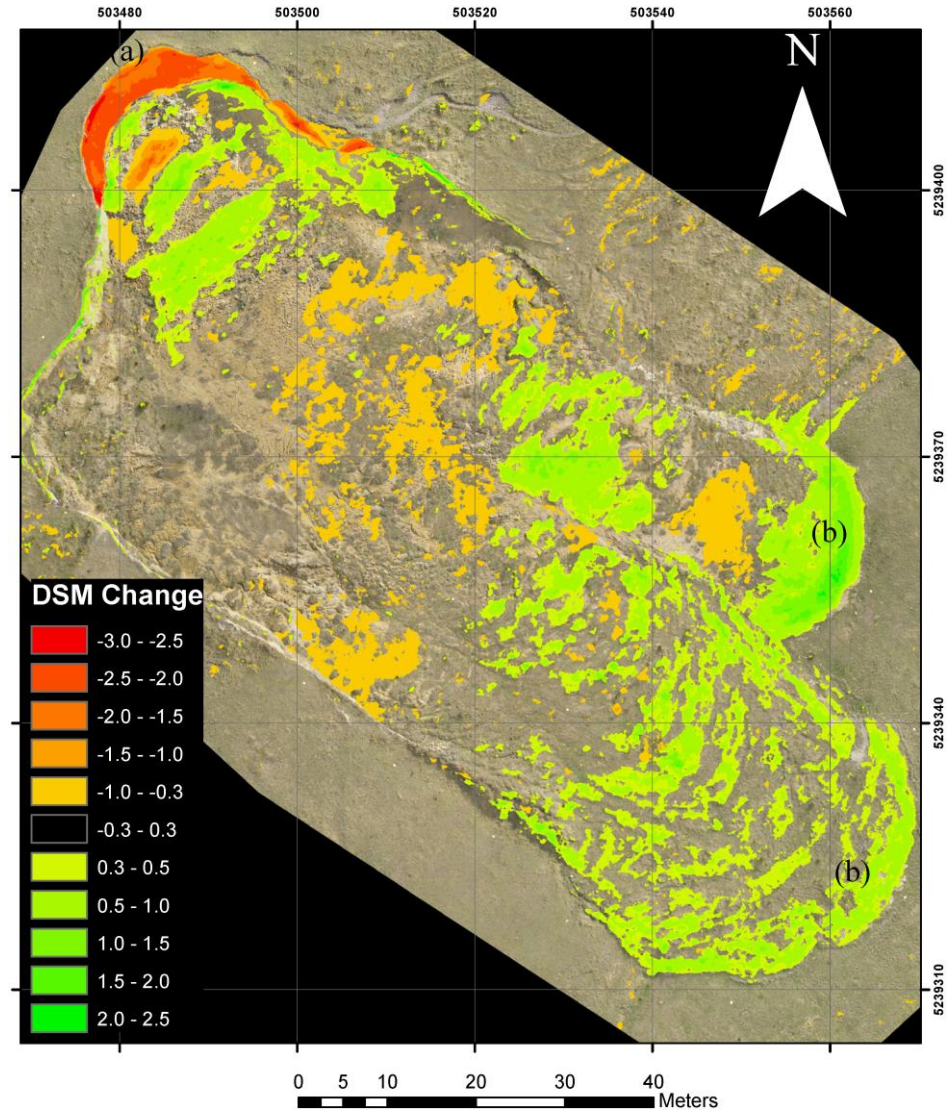
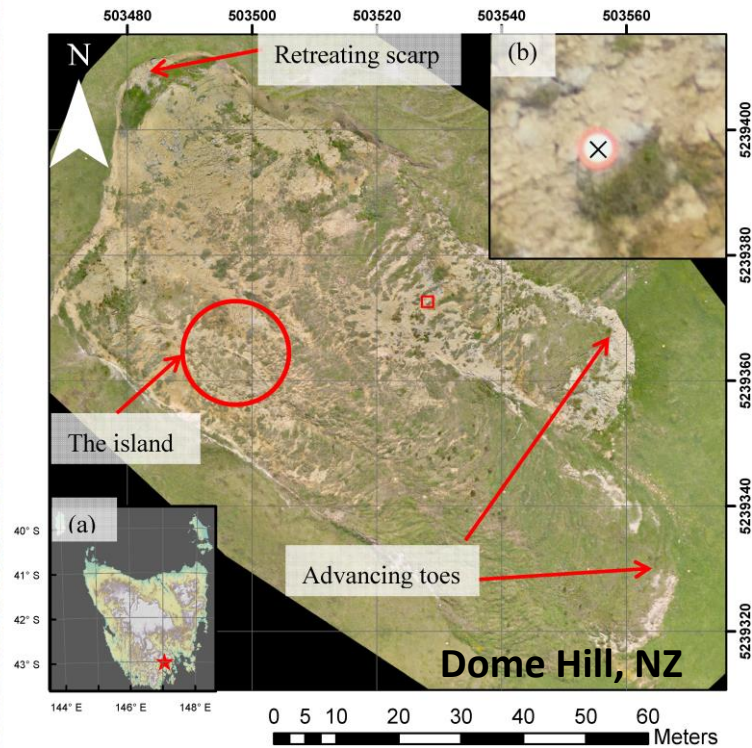


# Carto. glissements de terrain



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

# Glissements de terrain

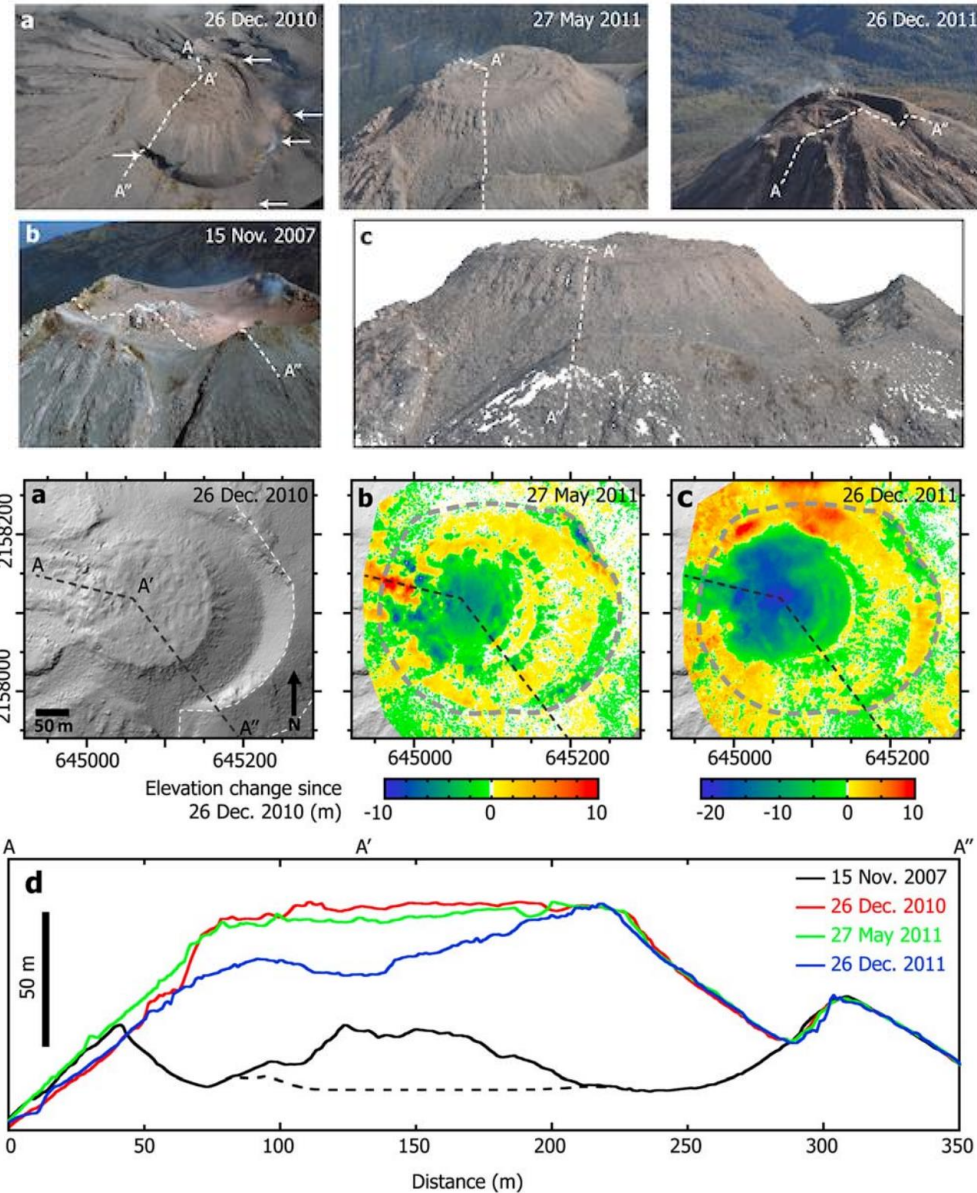


- Photogrammétrie UAV
- Suivi des déplacements par différence topo (V) et corrélation d'image (H)
- Déplacements de  $\sim 3$  m sur une année

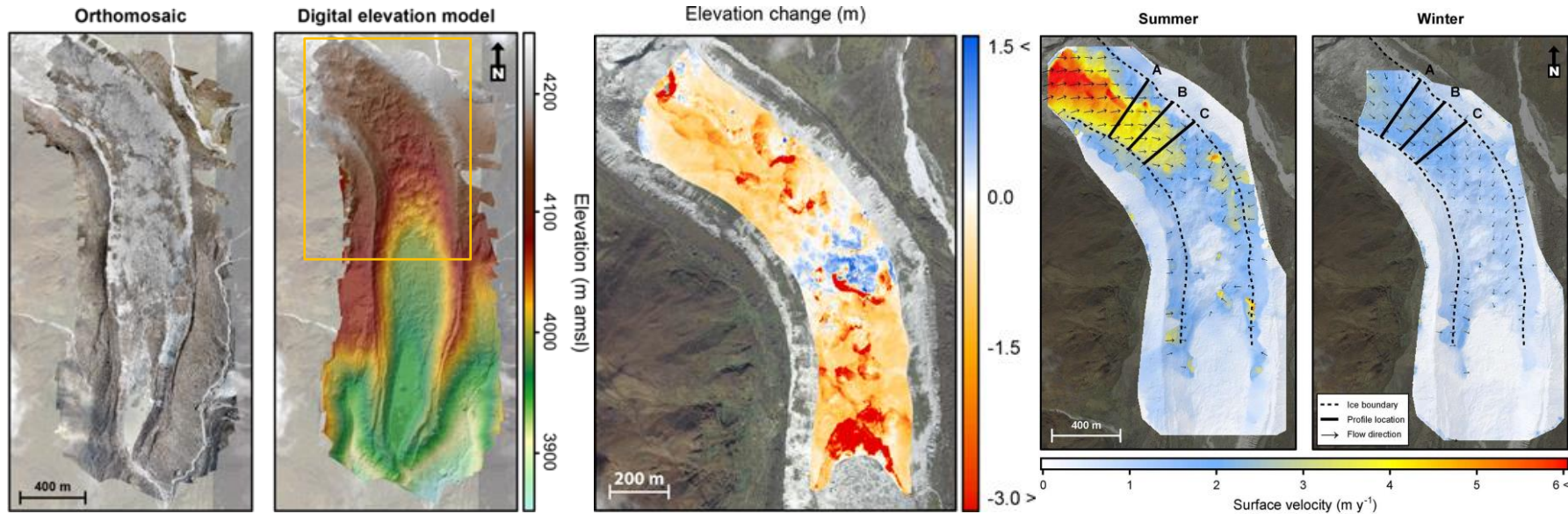
# Surveillance de volcans

- Volcan de Colima (MX)
- 4 survols 2007-2011
- Densité 4-45 pts/m<sup>2</sup>

- 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

