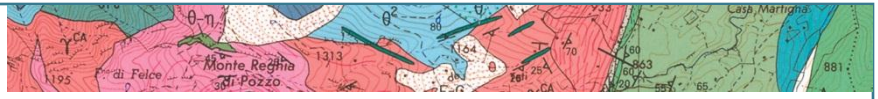


Z-Earth : *Mesurer l'évolution topographique des terres émergées par méthode stéréo-lidar depuis l'espace*

Thomas Dewez

scientific PI of Z-Earth

Avec les contributions de Nicolas Desramaut et Daniel Raucoules (BRGM)
Alexandra Eeckhout et Gilles Doyon (Magellium)
Etienne Berthier (LEGOS), Andy Kääb, Chris Nuth et Maxim Lamarre (UiO)

et le soutien technique et financier du CNES

Benchmark d'extraction de MNS Pleiaides

IPGP 14 novembre 2014

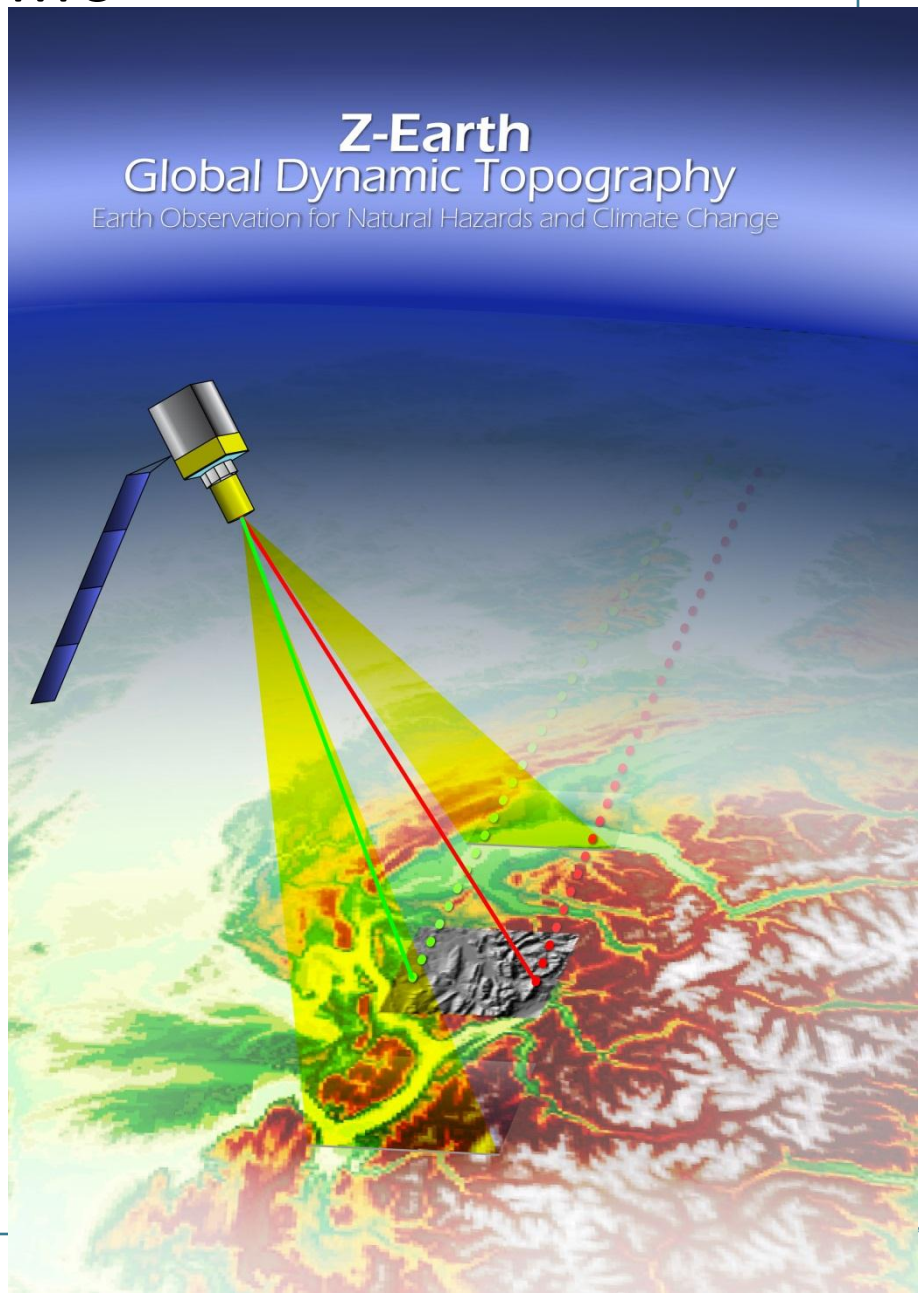
Qu'est-ce que Z-Earth?

- Mission satellitaire instruite en phase 0 de 2009 à 2013
  - Issue du séminaire de prospective CNES de 2007
  - Recommandation TOSCA : explorer un LIDAR topographique spatial
  - Besoin exprimé: mesurer le relief n'importe où dans le monde et mettre à jour les zones de changement.
  - Courte durée de mission : résolution spatiale et précision indispensable
- Proposition Earth Explorer 8 de l'ESA en Juin 2010
  - Un budget « restreint » à 100M€ a imposé des choix technologiques forts
  - Proposition industrielle : Astrium (maintenant Airbus Defense & Space)
  - Imageur stéréo pour couvrir un champ altimétrique large et résolu (stéréo héritée de SPOT à résolution spatiale de Pléiades)
  - Lidar pour
    - Coller à la commande TOSCA !
    - Produire des points de calage altimétriques très exacts (i.e. précision « absolue »)
    - Justification: glaciologie sur calotte

Z-EARTH: CONCEPTS DE L’ INSTRUMENT

Une solution technique à 100M€

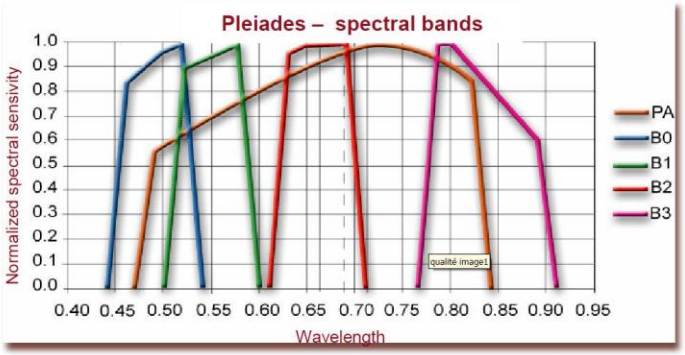
- Sur proposition d'Astrium
- Imager stéréo natif continu
  - **Un télescope**, 2 imageurs dans le plan focal + 1 lidar
  - **B/H ratio = 0.12** pour corrélation optimale (fore/aft pointing) en acquisition continue
  - **Fauchée 12 km**
- 2 profileurs lidar ROC
  - Pour échelle et altitude du modèle
  - Mesurer le sursol végétaliser
  - Profileurs pointés au nadir le long des bords de fauchée (angle 0.5°)
  - Frequence tirs: 70Hz (1pt/100m)
  - Taille des empreintes: 5m@1.57µm + 12m@1.06µm



Contact: Thomas Dewez – t.dewez@brgm.fr

Produits Z-Earth

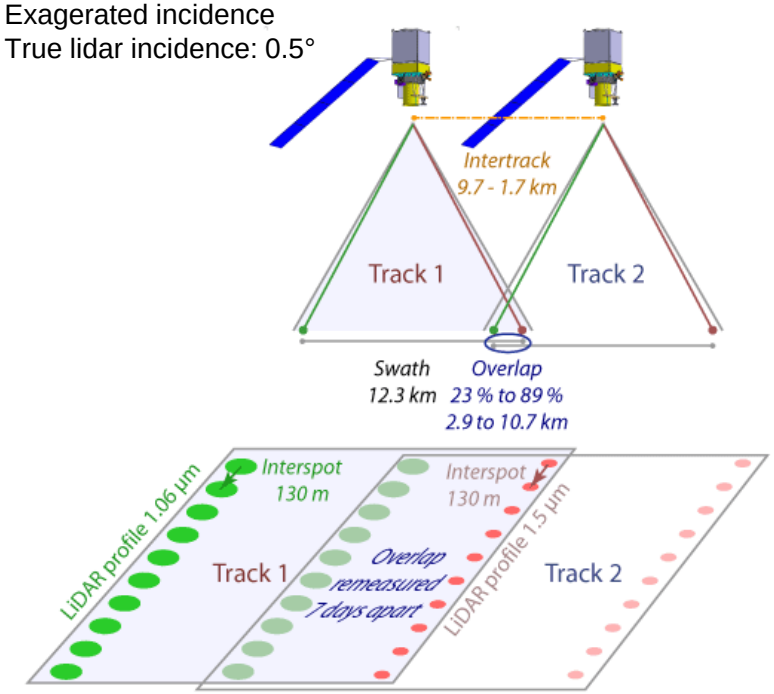
- Fauchée : 12km de largeur
- Champ d'altitude :
  - MNS stéréo : pixels 2m exactitude visée : 50cm (ZRMS)
- Imagerie brute
  - Imageur panchro 50 cm panchromatic (Extended panchromatic)
  - Imageur multispectral 2 m multispectral (type Pleiades)
- Données traitées
  - Ortho pan-sharpened meter-scale couleur
  - Points de contrôle lidar
  - Sondages lidar (@ 1.06 and 1.5 µm)
- Produits dérivés
  - 3D deformations fields (detection target : planimetry ~ 3cm; alti ~70cm)

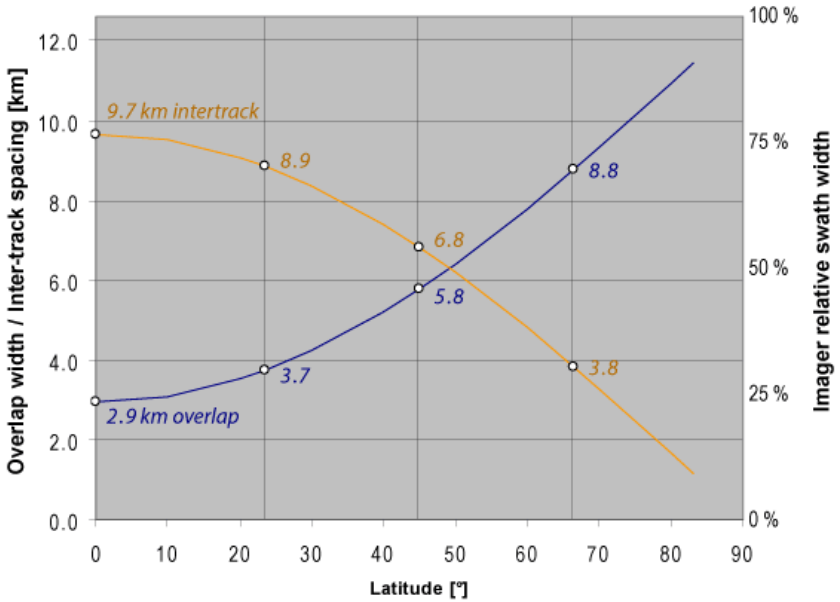


Contact: Thomas Dewez – t.dewez@brgm.fr

Cycles temporels

- **Durée de vie : 5 ans** (6-7 cycles)
  - Compromis entre vie du lidar (~80 Gpts) et fréquence de tirs (70Hz)
- **Cycle de revisite : 9 mois**
  - Compromis entre résolution d'image et saisonnalité
- **Visite d'orbites adjacentes avec recouvrement : 7 jours**
  - Compromis entre durée d'un cycle et nébulosité journalière

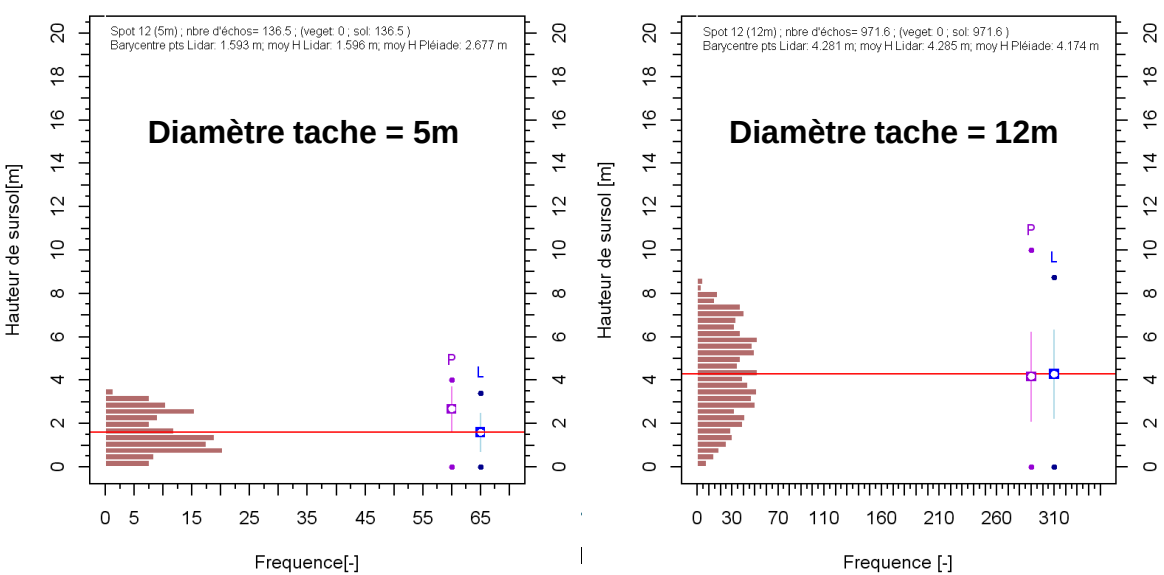


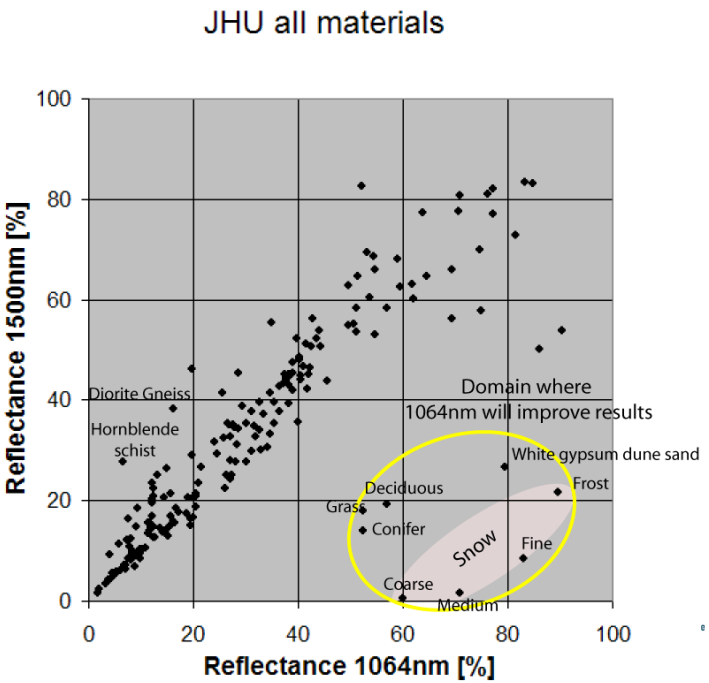


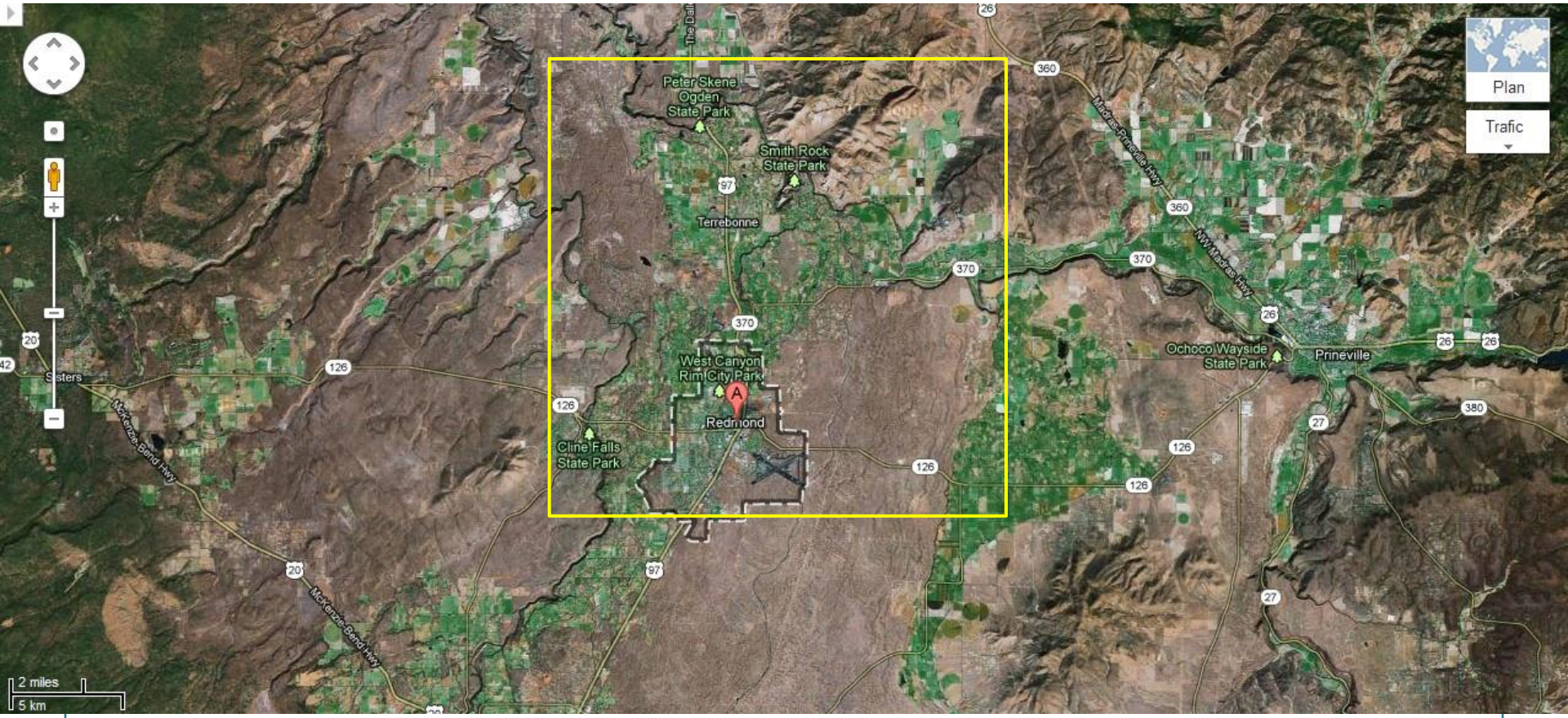
Pourquoi deux têtes lidar?

- Une empreinte lidar étroite est moins dispersée verticalement si le sol est pentu
- Une empreinte étroite focalise l'énergie lumineuse
- Un lidar NdYAG (1064nm) focalisé est dangereux pour les yeux
  - Mais bonne réflectance sur terrains d'intérêt
- Un lidar NdYAG converti à 1500nm n'est pas dangereux pour les yeux
  - Mais faible réflectance sur glace/neige
- Donc installer deux lidars à bord

Dispersion verticale d'un écho (pente ~46°)





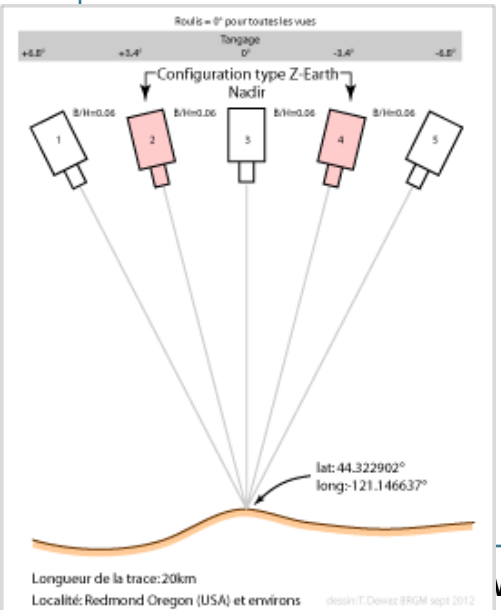


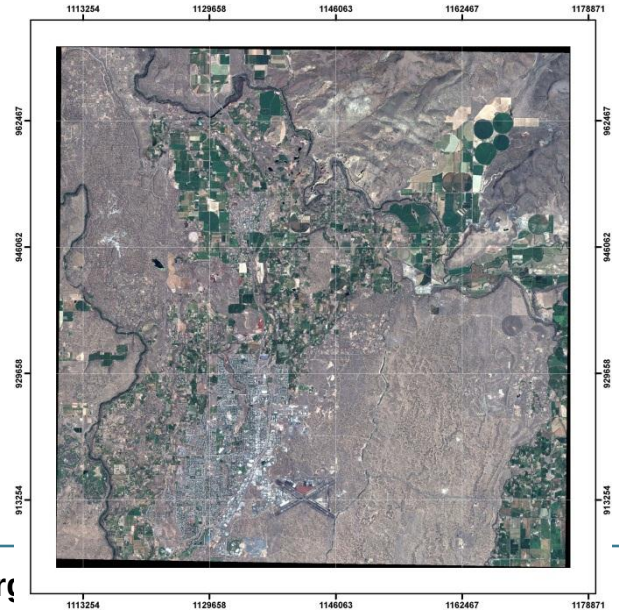
VALIDATION SUR REDMOND (OREGON)

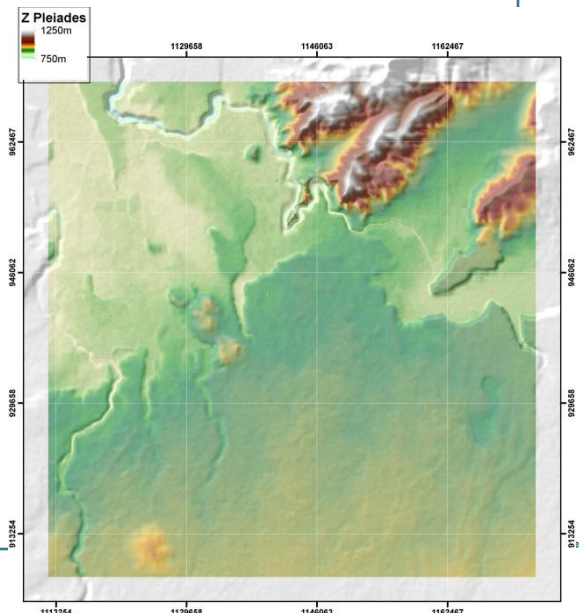
Contact: Thomas Dewez – t.dewez@brgm.fr

Pourquoi Redmond ?

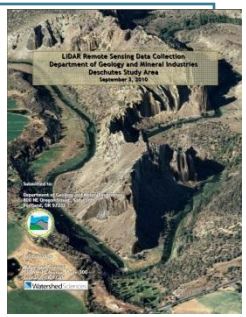
- Besoin: Zone avec des données lidar de référence
  - Disponibles et accessibles par un quidam quelconque (dès fin 2012)
  - Données qualifiées et validées indépendamment
  - D'une densité suffisante pour valider un champ d'altitude à 2m sur ~400km²
- Solution : données du DOGAMI diffusées par Opentopography.org
- Objectifs recherchés:
  - Vérifier si une précision de 50cm de MNS est atteignable depuis l'espace
  - Tester B/H et configuration bi/tri-stereo
  - Tester un contenu d'image à textures différentes et relief doux

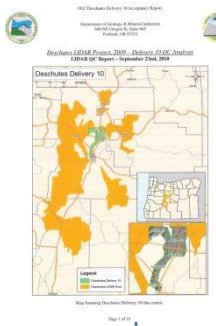




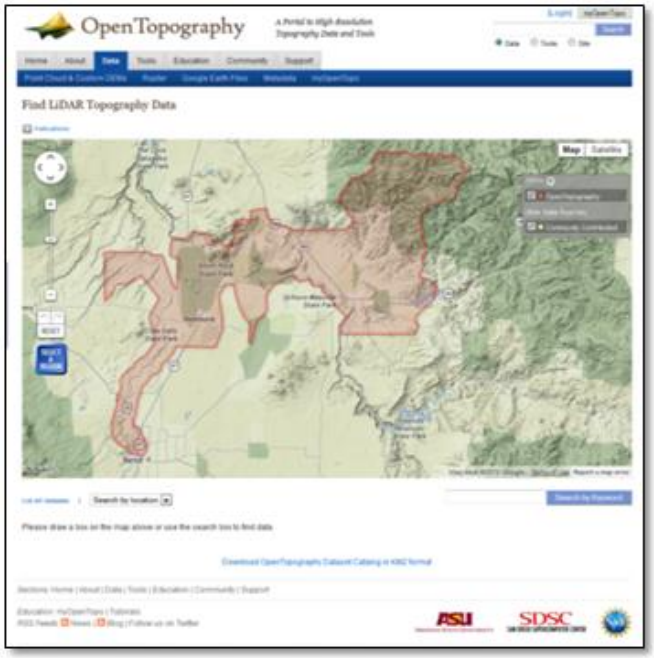


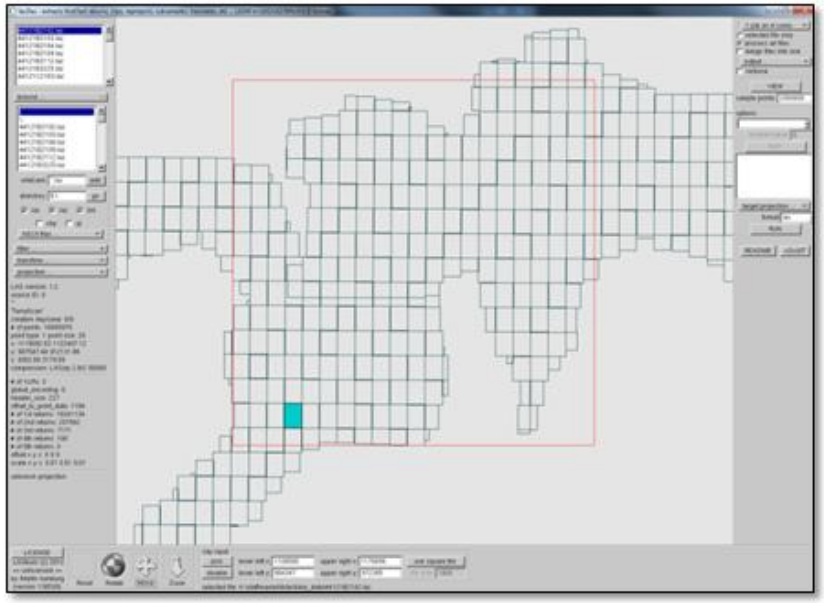
Données lidar du DOGAMI





- Diffusées en 1 click sur opentopography.org
  - données brutes (points lidar classés) et maillées à la demande (extension/résolution/classe de point):
  - Rapport de livraison et de validation diffusés (avec données DGPS de validation accessibles sur simple demande par mail)
  - Projection Oregon State Plane (unités International feet…)
- Plus de 2Gpts sur la zone d'intérêt
  - Impossible de projeter les points en UTM (codes de projection inadaptés)
  - Eviter une projection de grille pour limiter les artefacts de maillage





MNS LIDAR DOGAMI

MNT LIDAR DOGAMI

Utilisation du MNT/MNS lidar

- Génération de deux surfaces de référence à 2m de résolution (6.56ft)
  - Production des grilles sur le serveur OT par emprises <= 150Mpts (*statut power user*)
  - Assemblage des dalles (jusqu'à 22 dalles avec recouvrement)
- Grilles de référence
  - MNT = altitude moyenne des points étiquetés « sol »
  - *MNS = altitude max de tous (all) les points par maille*
  - Hauteur de sursol : MNS – MNT (si < 0.5m à comparer à Pleiades)
- Conversion des altitudes en mètres
  - Altitude produite en Feet par OT (multiplication par 0.3045m)

Imagerie Pléiades

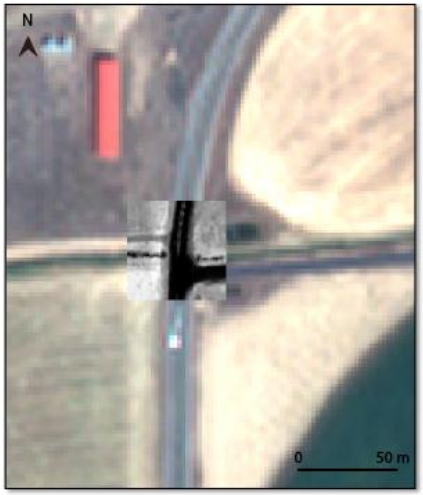
- Acquisitions : triplet 20 janvier 2013 et couplet juillet 2013
  - 6 mois d'écart car mécompréhension de la commande par Airbus D&S
  - Impossible d'hybrider pour fabriquer un triplet de B/Hmax=0.12
  - Résistance à acquérir B/H~0.12 (valeur refusée par logiciel de planification)
- Production des MNS confiées à Magellium sur conseil du CNES
  - Usage de logiciels propriétaires
    - Euclidium (orientation)
    - SandieOrtho (corrélation+ortho)
  - SandieOrtho contient une version de customisée de MicMac
- Validation réalisée par Magellium sous le pilotage du BRGM

Validation : écarts de grilles

- Mise en cohérence planimétrique : corregistration
- Correction des biais altimétriques
- Examiner les points où Pleiades est censé être performant

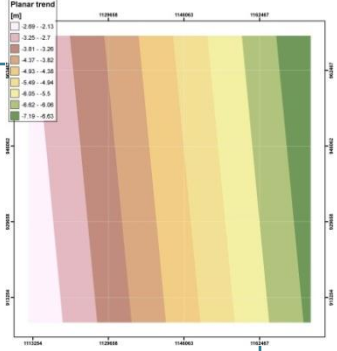
Corregistration: 2 phases

- Corregistration des champs d'altitude
  - Planimétrie initiale = solution de navigation Pleiades
- Mise en cohérence en 2 étapes
  - 9 imagettes d'intensité lidar pour coregistration manuelle (M. Lamarre – UiO)
  - Mesure des écarts entre imagettes et ortho, altération de l'entête TFW



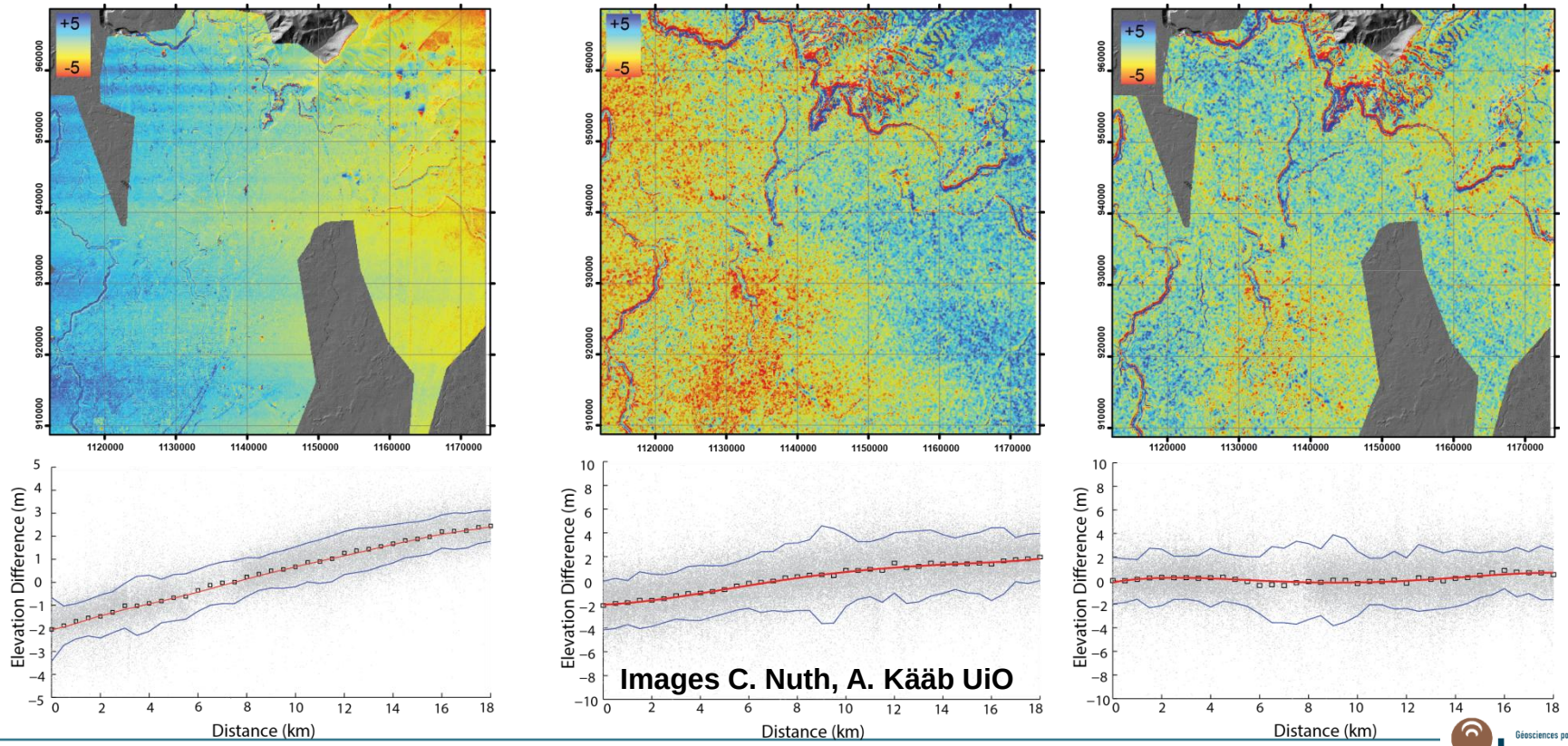
- Complément : COSI-COR appliqué sur cartes des pentes (lidar: MeanGround points vs DSM Pleiades) lissées à 10m
  - Offsets : dX = X – 3.948ft; dY = 12.173ft (dx: 1.20m; dy: 3.71m)

Correction des biais



- Présence d'un plan incliné sur MNS Pleiades Magelium
- Correction par plan de tendance callé sur les différences
- Provient sans doute d'un résidu d'orientation relative manuelle
- Uniquement possible si mesure lidar dispo

Pleiades vs Lidar | **Pleiades vs SRTM** | **SRTM vs Lidar**

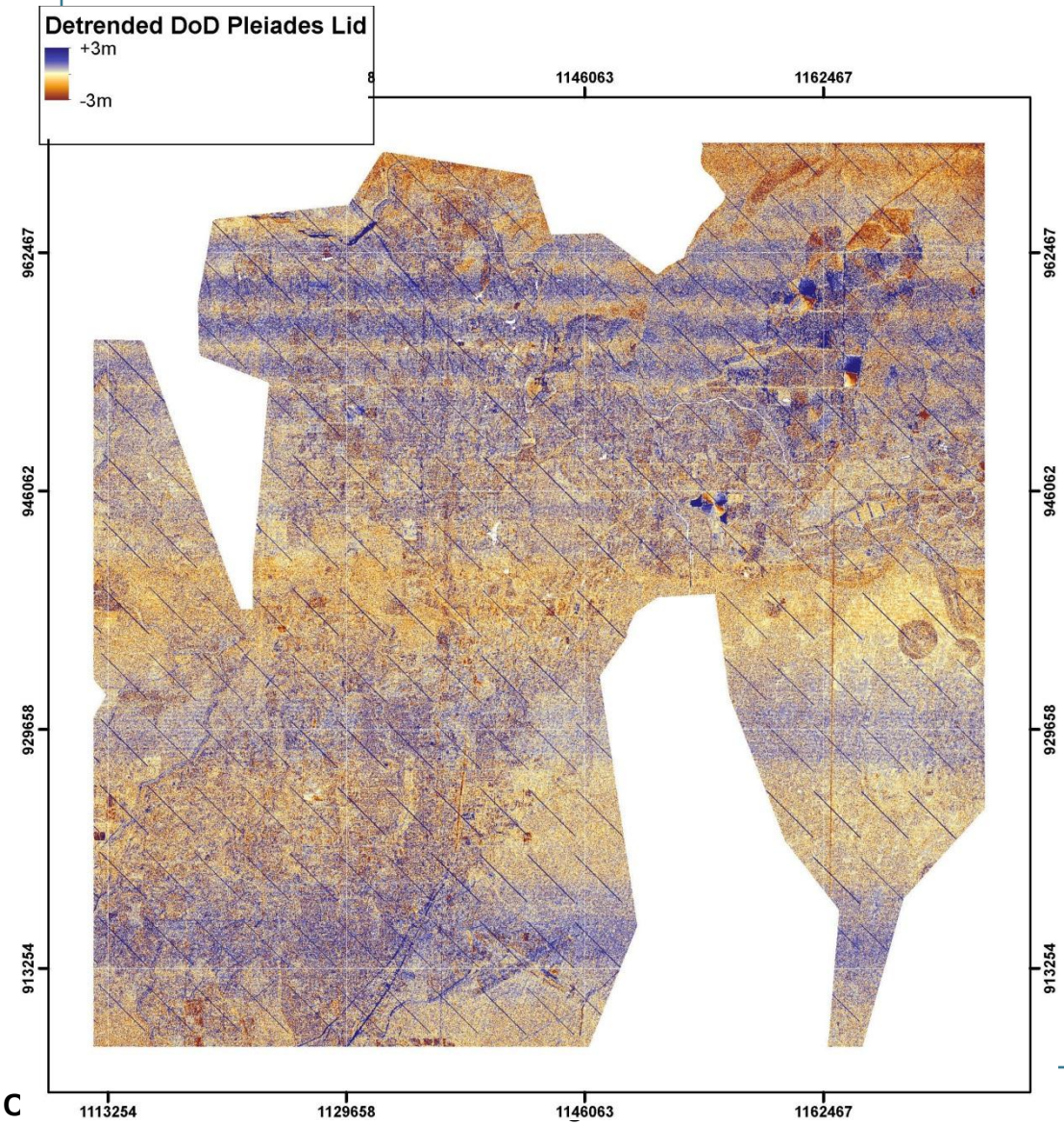


Images C. Nuth, A. Kääb UiO

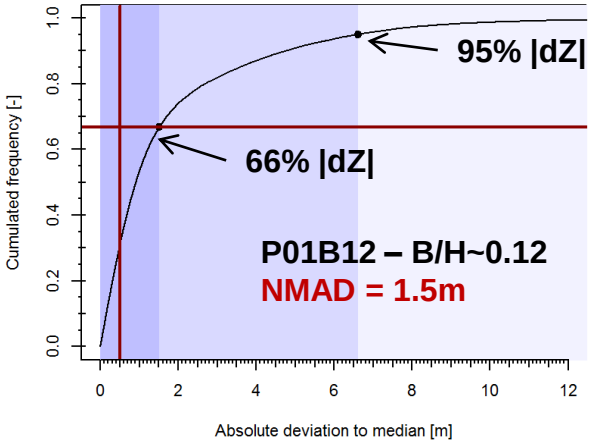
Contact: Thomas Dewez – t.dewez@brgm.fr

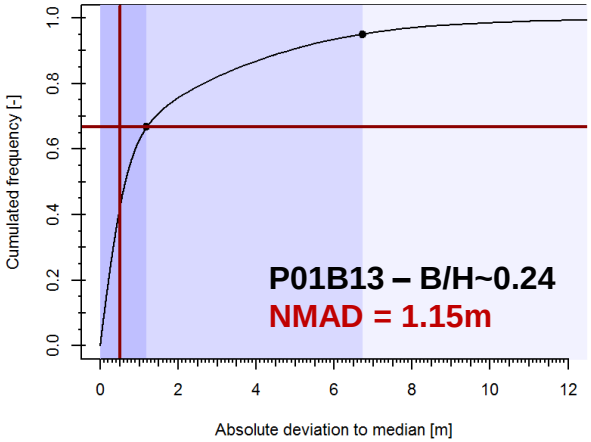
Ecarts d'altitude bruts (pour 20kpts)

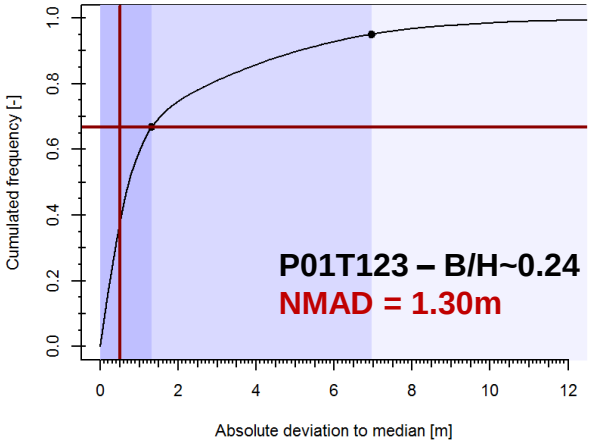
> Objectif de 50cm pas atteint



Objectif 0.50m

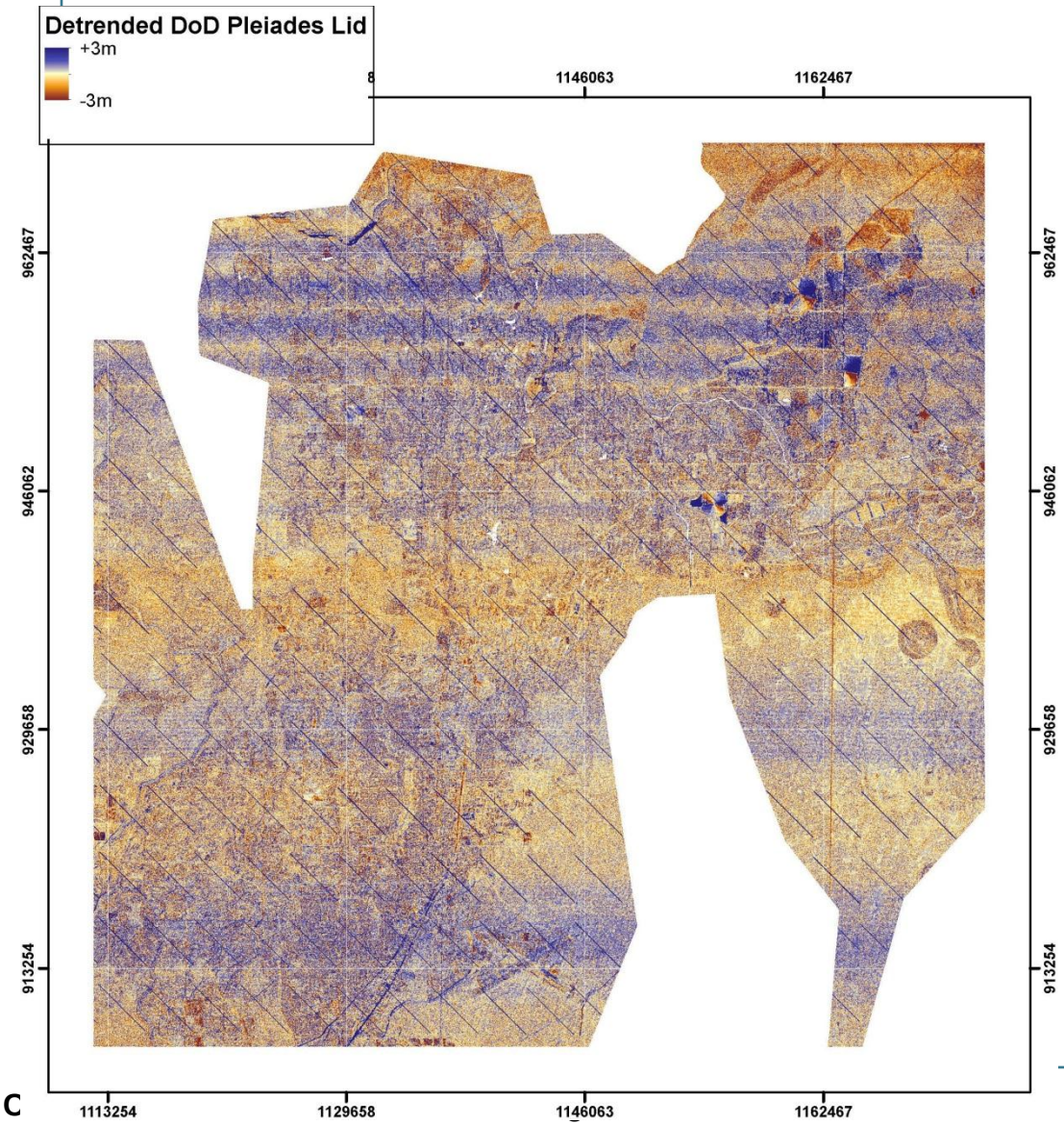




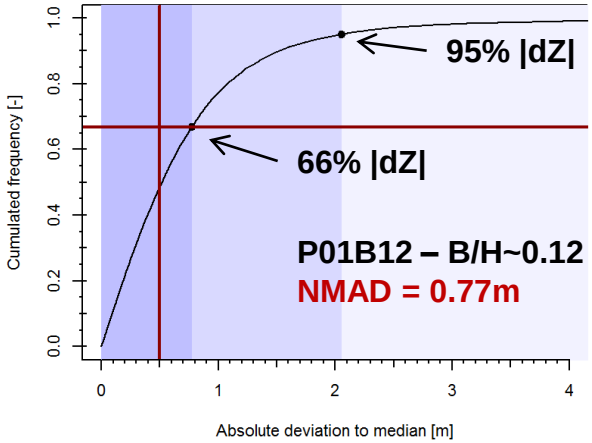


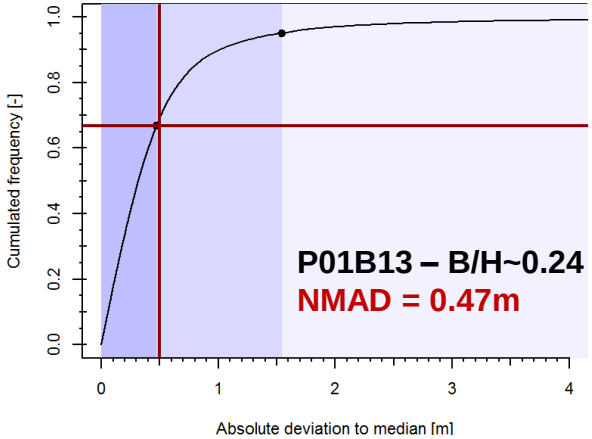
Ecarts d'altitude à l'optimum Pleiades

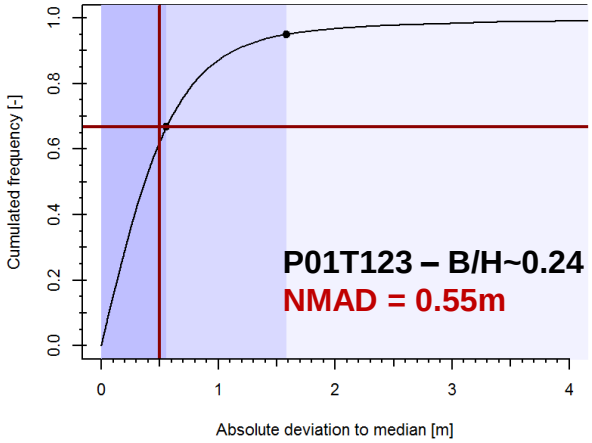
Objectif de 0.50m accessible



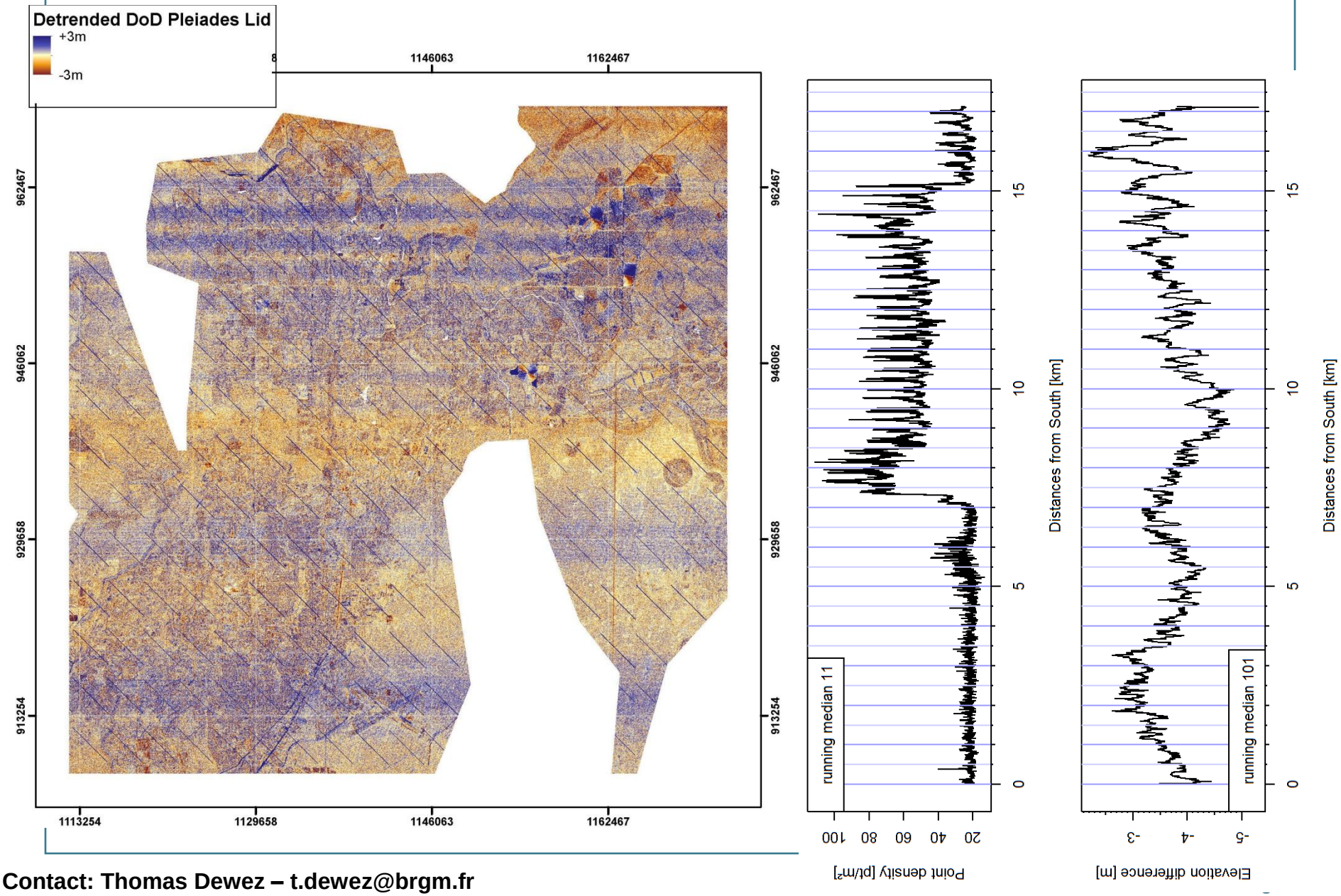
Objectif 0.50m





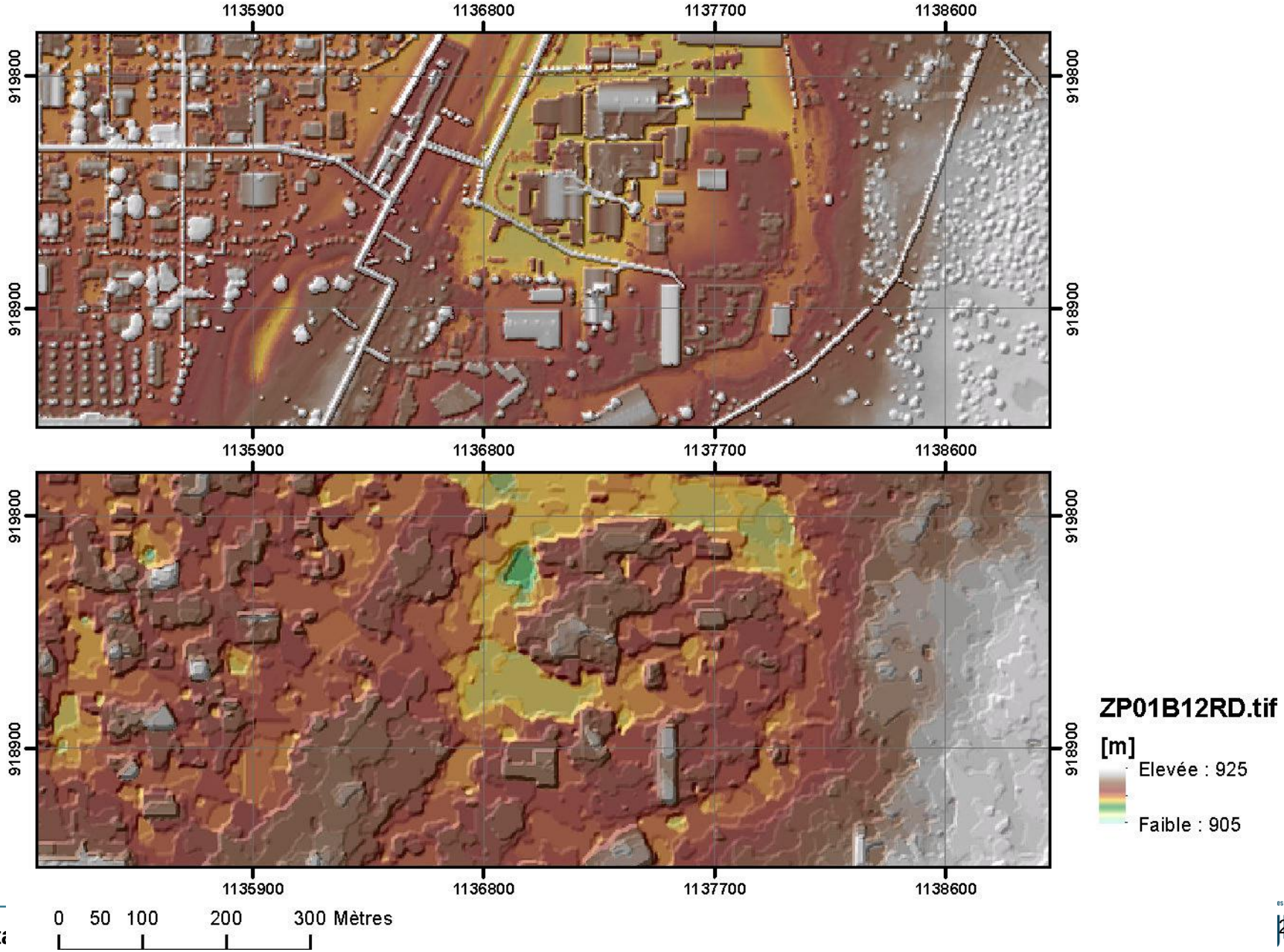


Améliorer les écarts : reformer les images



Contact: Thomas Dewez – t.dewez@brgm.fr

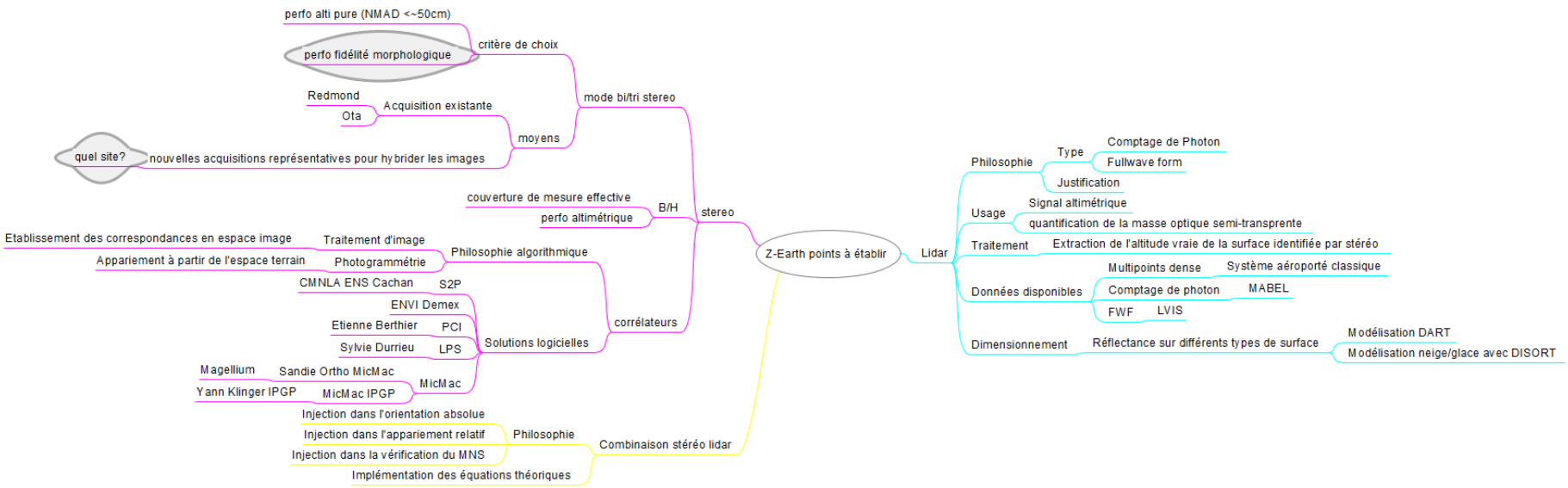
Contenu géomorphologique des MNS



Est-ce que le concept de Z-Earth est pertinent? oui

- D'où viennent les biais altimétriques en stéréo seule? (théorie Magellium)
  - D'un résidu d'accélération en tangage (<10^{-6} rad/s)
  - Induit un biais vertical constant : dZ = 38m si 10^{-6} rad/s
  - En théorie, une orientation relative aux petits oignons pourrait corriger
  - L'orientation relative avec 30 points manuel a réduit le biais mais introduit un basculement
  - Besoin d'une altimétrie lidar pour contraindre l'altitude vraie
- Quelle précision est atteignable en config B/H~0.12? ~0.5 à 0.75m
  - Test avec plusieurs config bi-Stéréo sur Redmond
  - Résultat incomplet car biais de formation d'image
  - B/H~0.24 n'est que 30% plus précise que B/H~0.12
- Est-de que la tri-stéréo est plus performante que la bi-stéréo?
  - La tri-stéréo augmenterait la complétude de points mesurés
  - Le suite SandieOrtho pas développée pour prouver ce point
  - Apport pas clair à cause des erreurs de formation d'image en capteur parfait (pb résolu chez Airbus D&S depuis livraison des images – mais pas de re-livraison).

Chemin à parcourir pour accrocher un concept viable



Contact: Thomas Dewez – t.dewez@brgm.fr

> .