

CNIG 06/10/2016

# Observer la terre en 3D avec Pleiades-HR

[jean-marc.delvit@cnes.fr](mailto:jean-marc.delvit@cnes.fr), [julien.michel@cnes.fr](mailto:julien.michel@cnes.fr), [christophe.palmann@c-s.fr](mailto:christophe.palmann@c-s.fr),  
[david.youssefi@c-s.fr](mailto:david.youssefi@c-s.fr), [myriam.cournet@cnes.fr](mailto:myriam.cournet@cnes.fr)\*

# SOMMAIRE

**Brève présentation de Pléiades**

**Rappels sur le principe de la stéréoscopie**

**Filières historiques de restitution 3D au CNES**

**Atelier 3D depuis 2015**

**Résultats obtenus**

# SOMMAIRE

**Brève présentation de Pléiades**

Rappels sur le principe de la stéréoscopie

Filières historiques de restitution 3D au CNES

Atelier 3D depuis 2015

Résultats obtenus

# Programme Pléiades HR

Système dual : civil et militaire

Système d'observation submétrique de la terre, développé par le CNES en coopération avec

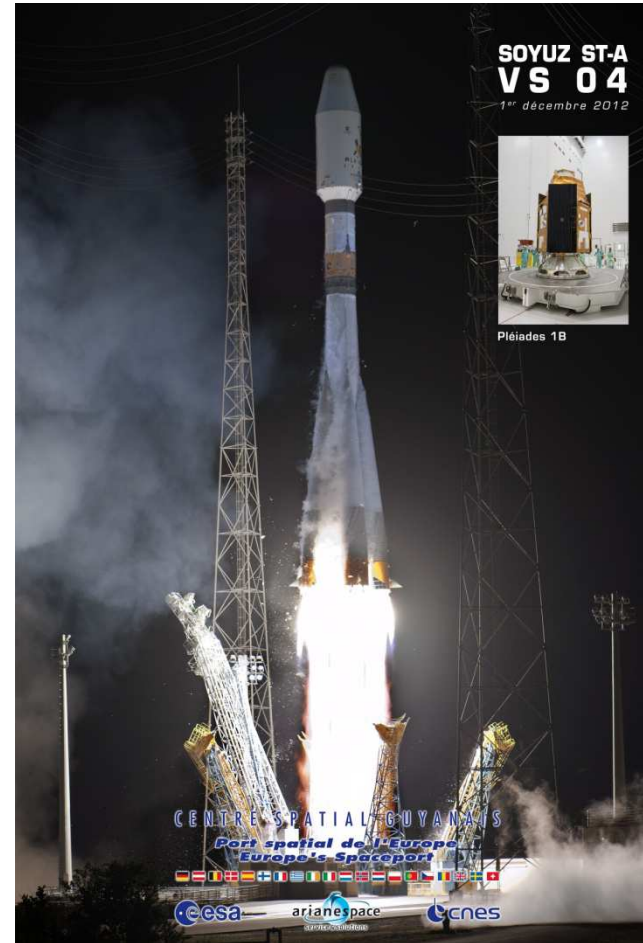
Suède	Swedish National Space Board
Belgique	Federal Office for Space Policy
Espagne	Instituto nacional de Tecnica Aeroespacial
Autriche	Osterreichische Forschungsforderungesellschaft



## Deux satellites en orbite en 11.5mois



Lancement : PHR1A 17 Décembre 2011  
In flight acceptance : Mars 2012



PHR1B: 2 Décembre 2012  
Février 2013

# Pléiades : principales exigences mission

## Caractéristiques Image

- PAN : 0.7 m de résolution au nadir
- 4 bandes XS (bleu, vert, rouge, proche IR) avec 2.8 m de résolution au nadir
- 20 km de fauchée au nadir
- donnée codée sur 12 bits

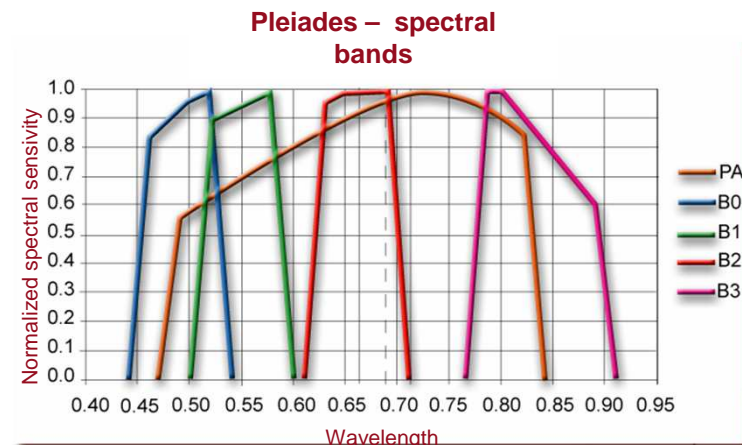


## Capacité de revisite

Journalière sur chaque point du globe avec les 2 satellites

## Large capacité de couverture

En moyenne : 600 images par satellite par jour



# Satellite Pléiades

Un nouveau concept par rapport à Spot

Pléiades est un petit satellite, très agile

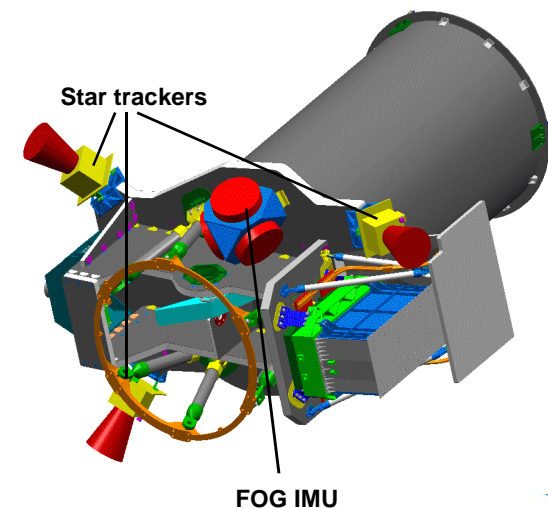
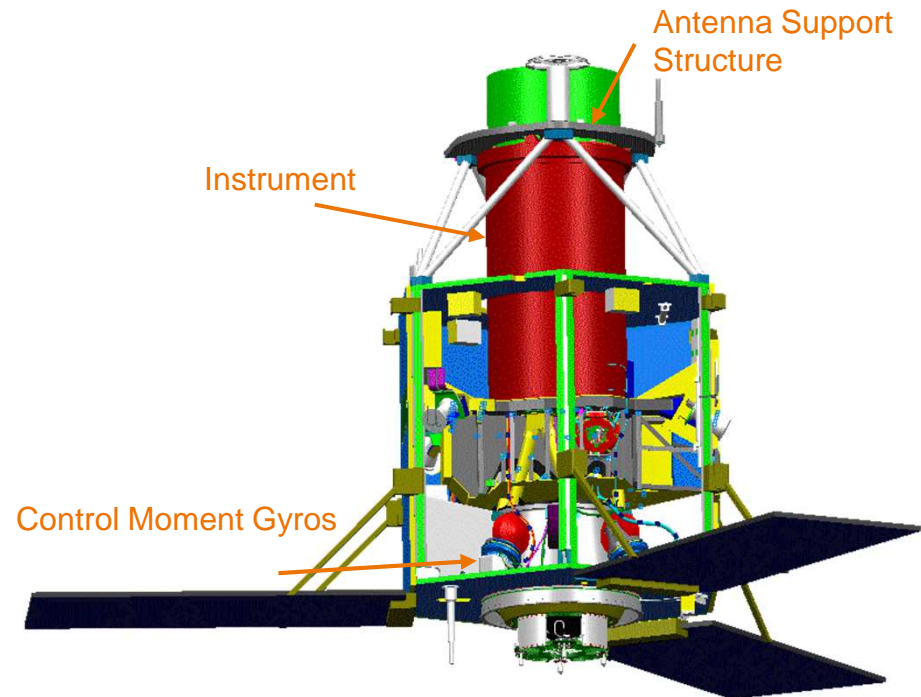
Conçu pour une grande agilité

Compact : masse < 1000kg

Système de contrôle d'attitude avec  
actuateurs gyroscopiques

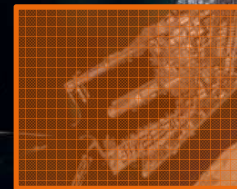
Conçu pour une bonne qualité image

Instrument très stable, têtes des capteurs  
montées sur le banc optique pour améliorer la  
précision géométrique des images



# Suez Harbor – Daily Monitoring

Egypt, 2013





# Suez Harbor – Daily Monitoring

Egypt, 2013, February 15



© CNES – Distribution Spot Image / Astrium Services

# Suez Harbor – Daily Monitoring

Egypt, 2013, February 16



© CNES – Distribution Spot Image / Astrium Services

# Suez Harbor – Daily Monitoring

Egypt, 2013, February 17



© CNES – Distribution Spot-Image / Astrum Services

# Suez Harbor – Daily Monitoring

Egypt, 2013, February 18



© CNES – Distribution Spot Image / Astrum Services

# Suez Harbor – Daily Monitoring

Egypt, 2013, February 19



© CNES – Distribution Spot Image / Astrium Services

# Suez Harbor – Daily Monitoring

Egypt, 2013, February 20



© CNES – Distribution Spot Image / Astrum Services

# Suez Harbor – Daily Monitoring

Egypt, 2013, February 21



© CNES – Distribution Spot Image / Astrium Services

# SOMMAIRE

Brève présentation de Pléiades

**Rappels sur le principe de la stéréoscopie**

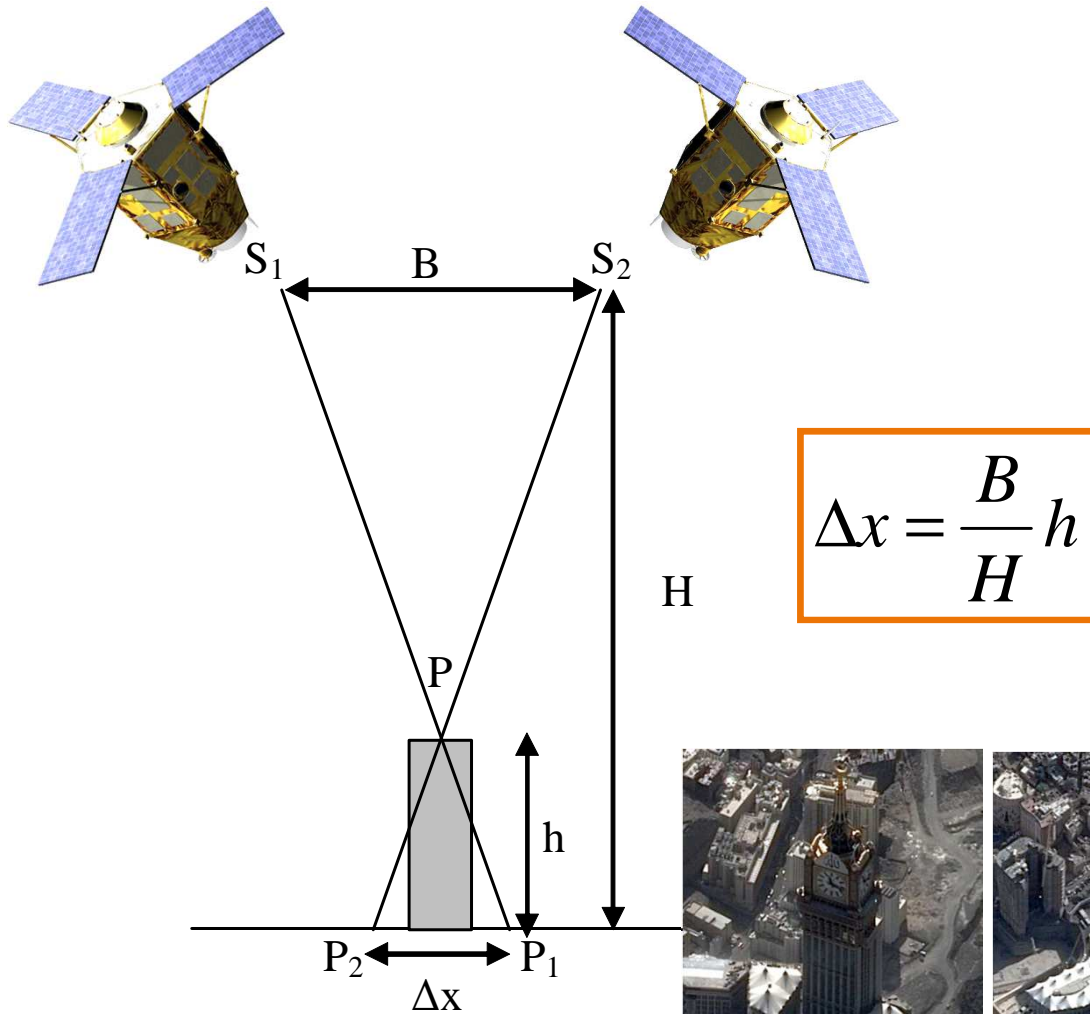
Filières historiques de restitution 3D au CNES

Atelier 3D depuis 2015

Résultats obtenus



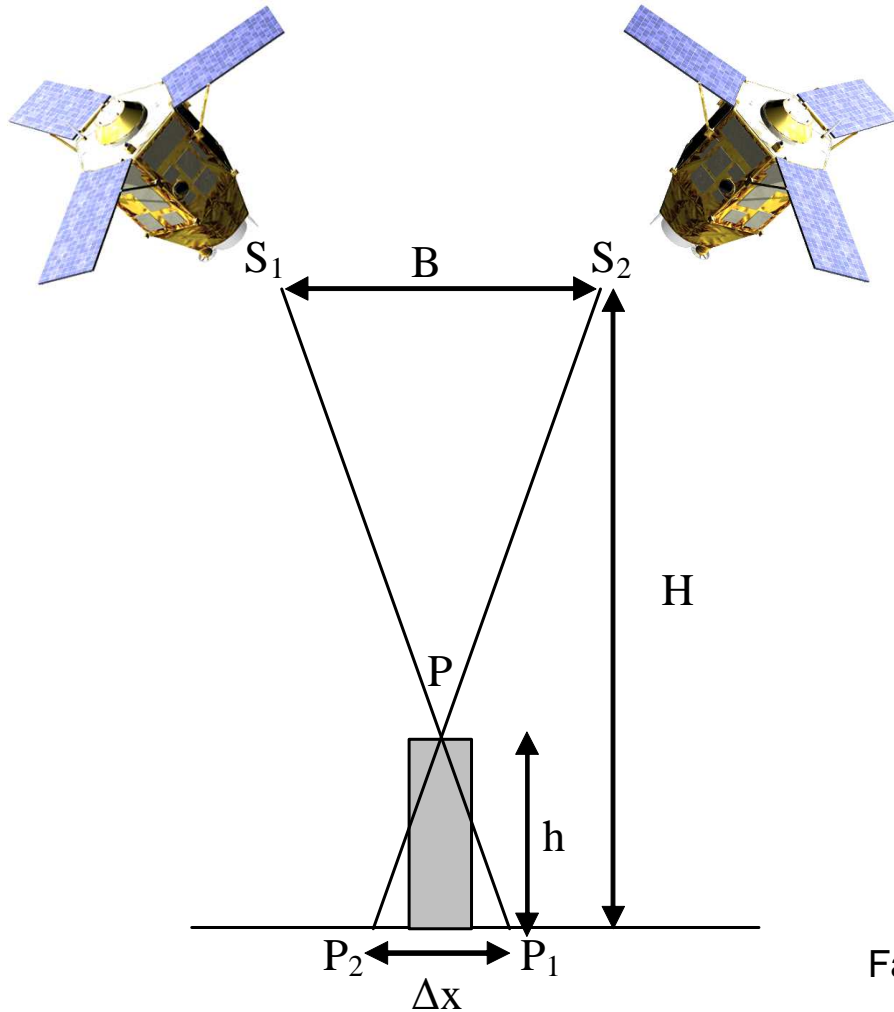
# Stéréoscopie : principe



$$\Delta x = \frac{B}{H} h$$



# Stéréoscopie : contributeurs



$$\Delta x = \frac{B}{H} h$$

## Contributeurs à la performance

- Géométrie relative et absolue (B/H et  $\Delta x$ )
  - Statique : cartographie du plan focal
  - Dynamique : vibrations
  - Affinage
- Mise en correspondance ( $\Delta x$ )
  - Opérateur (visuel)
  - Corrélation
  - Autres méthodes

## Compromis à trouver sur le B/H

Fort B/H : images moins ressemblantes, occlusions  
Faible B/H : images ressemblantes, mais exigence sur précision du dx

**0,12 < B/H < 0,15 sur Pléiades**

# SOMMAIRE

Brève présentation de Pléiades

Rappels sur le principe de la stéréoscopie

**Filières historiques de restitution 3D au CNES**

Atelier 3D depuis 2015

Résultats obtenus

## Filières historiques de restitution 3D au CNES

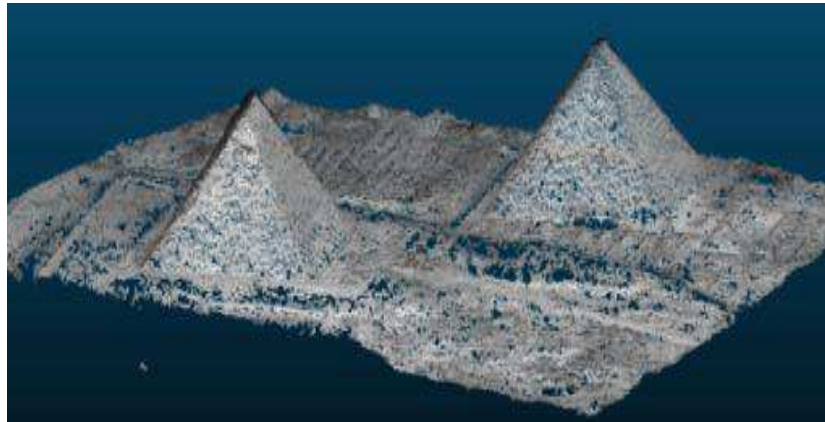
Satellites Spot :

- Spot 1, 2, 3 :  $B/H = 0.018$  entre PAN et XS
- Spot 5 HRS :  $B/H = 0.8$
- Spot 5 HRG :  $B/H = 0.02$  entre PAN et XS

Depuis 1997, travail du **CNES** autour de la **restitution 3D** : [7], [8], [3], [4].

Sur ces filières historiques :

> **Corrélation 2D** basée sur **QPEC / Medicis** [1]



Nuage de points généré avec tri-stéréo PHR 1A sur Grande Pyramide de Gizeh [4].

## Outils de restitution 3D disponibles au CNES fin 2014

	<b>CARS</b> <b>CNES</b> <b>(Delvit et al., 2015)</b>	<b>S2P</b> <b>CMLA / CNES</b> <b>(de Franchis et al., 2014)</b>
<b>Diffusion</b>	Solution interne CNES, basée sur outils CNES	Solution open-source : <a href="https://github.com/carlodef/s2p">https://github.com/carlodef/s2p</a>
<b>Méthode</b>	N-uplets	2 paires d'images
	Images secondaires ramenées dans géo image réf	Tuilage et stéréo-rectification locale de chaque paire de tuile
	Disparités 2D	Disparités 1D
	Intersection des lignes de visée	Fusion cartes d'altitude de chaque paire

# SOMMAIRE

Brève présentation de Pléiades

Rappels sur le principe de la stéréoscopie

Filières historiques de restitution 3D au CNES

**Atelier 3D depuis 2015**

Résultats obtenus

## Atelier 3D depuis 2015

**Orientations CNES décidées en 2015** pour la restitution 3D :

- Une **seule chaîne basée sur S2P**
- Intégration de **certains aspects** de la **méthodologie CARS**
- **Contribuer à S2P** et éviter de partir en branche

## Atelier 3D : améliorations apportées à S2P

### Principales contributions du CNES à S2P depuis 2015 :

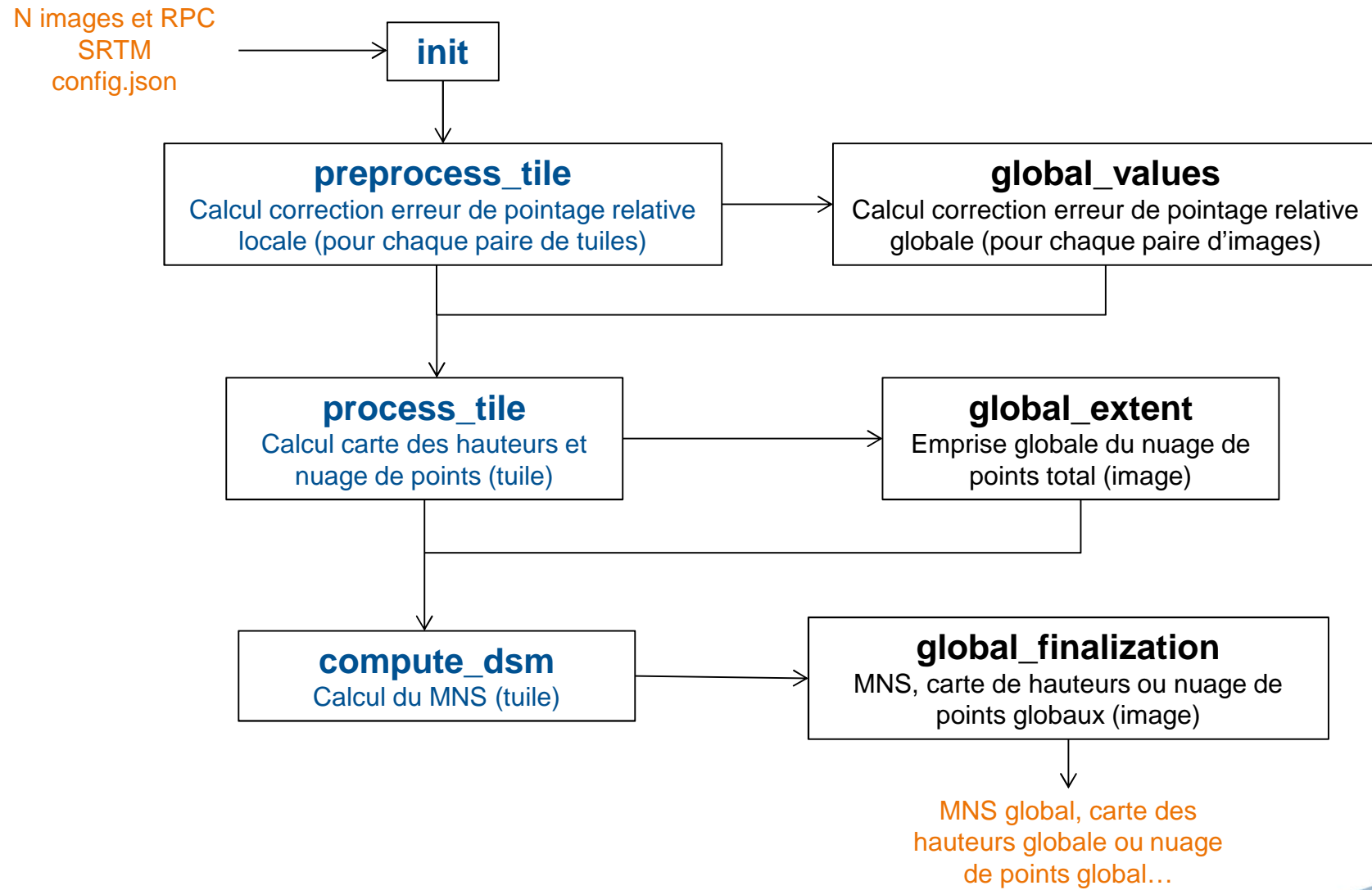
- Orientation **calcul massif**  
MNE Pléiades produit en 2h sur le cluster du CNES
- Gestion de **N-uplets** par S2P
- Fusion des cartes d'altitude remplacée par **intersection des lignes de visée** selon méthodologie CARS
- Ajout d'une **filière 2D** (héritage CARS)

Modifications CNES bientôt intégrées dans le github de S2P :

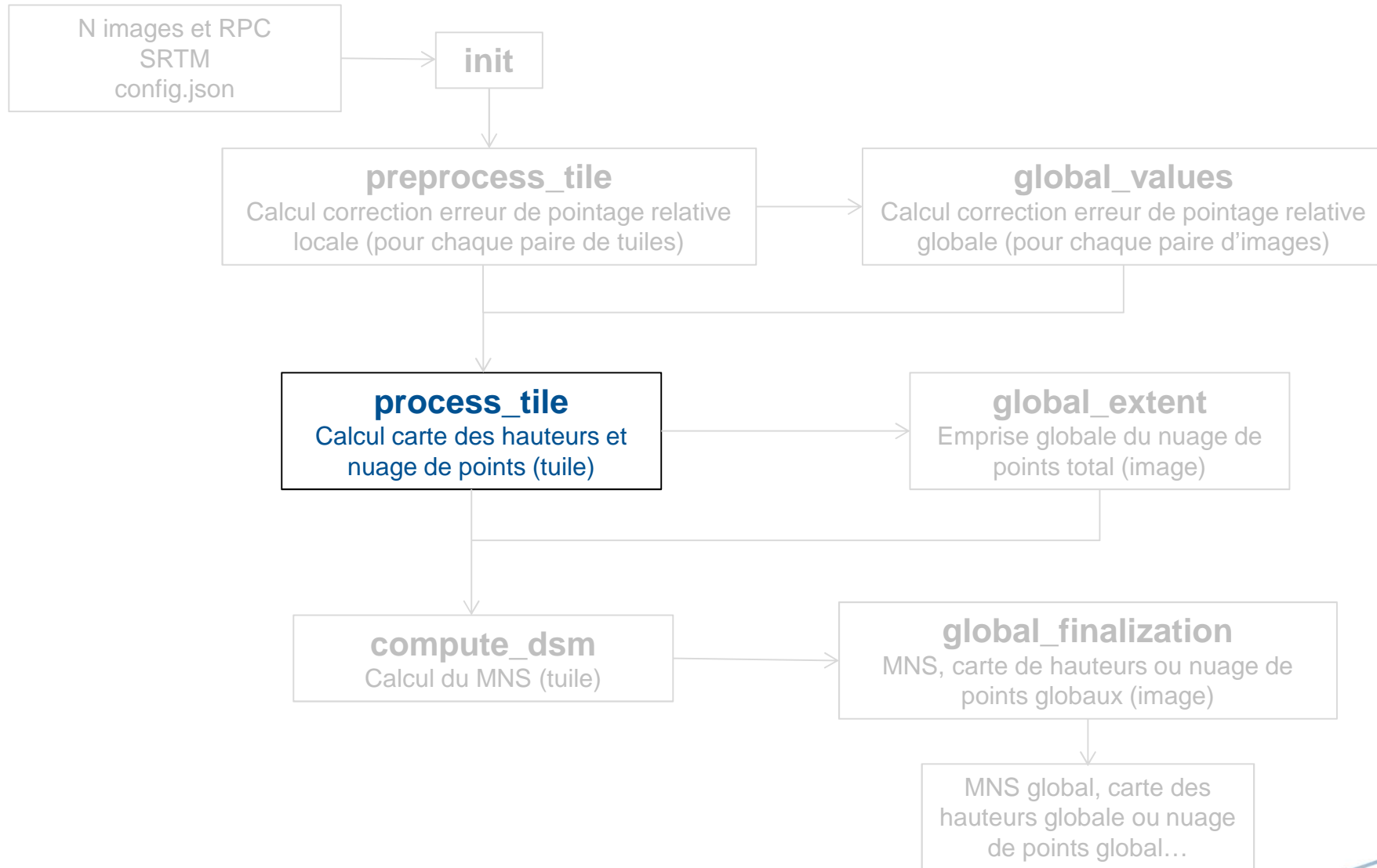
<https://github.com/carlodef/s2p>



# Pipeline S2P au 06/10/2016

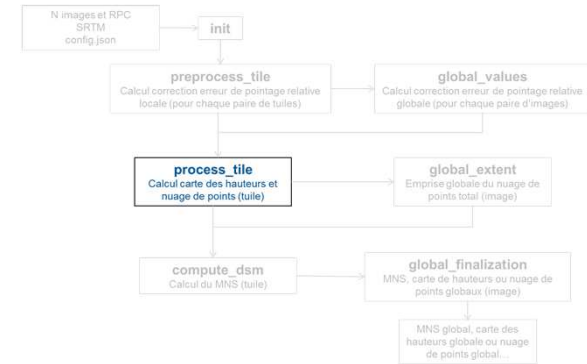


# Pipeline S2P au 06/10/2016



# Pipeline S2P au 06/10/2016

Détail du cœur de calcul de S2P pour une tuile donnée :



**process\_tile**  
Calcul carte des hauteurs et nuage de points (pour une tuile donnée)

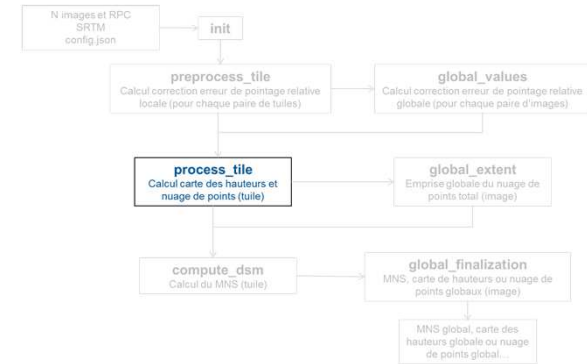
**Calcul des cartes de disparités**  
(pour chaque paire de la tuile)

**Triangulation**  
Intersection des lignes de visée donnant carte de hauteurs (tuile)

**Finalisation**  
Nuage de points 3D (tuile)

# Pipeline S2P au 06/10/2016

Détail du cœur de calcul de S2P pour une tuile donnée :



**Calcul des cartes de disparités**  
(pour chaque paire de la tuile)

**process\_tile**

Calcul carte des hauteurs et nuage de points (pour une tuile donnée)

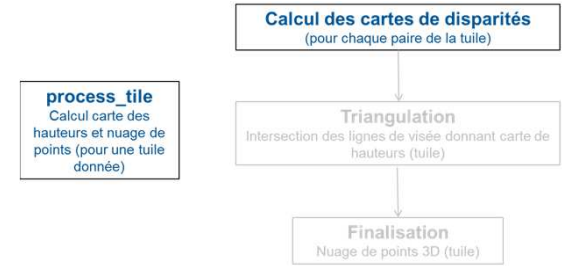
**Triangulation**

Intersection des lignes de visée donnant carte de hauteurs (tuile)

**Finalisation**

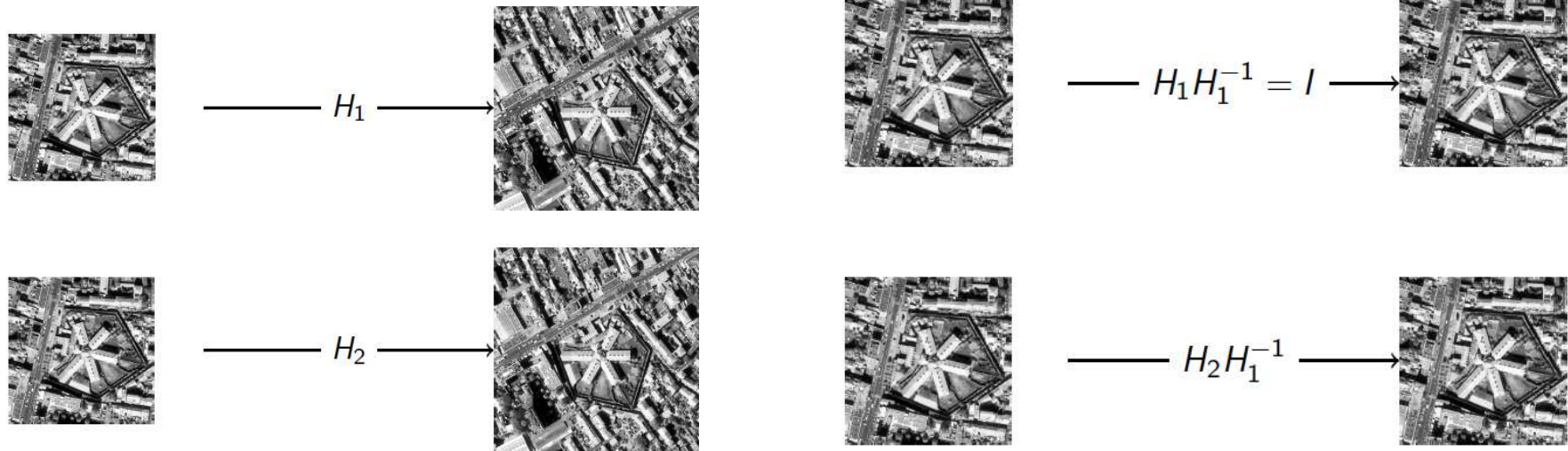
Nuage de points 3D (tuile)

# Pipeline S2P au 06/10/2016



Détail du cœur de calcul de S2P pour une tuile donnée :

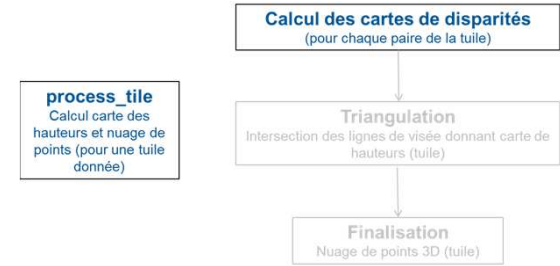
Calcul et application des **homographies**  
(sur chaque paire de la tuile)



**Filière 1D**  
Stéréo-rectification des 2 tuiles

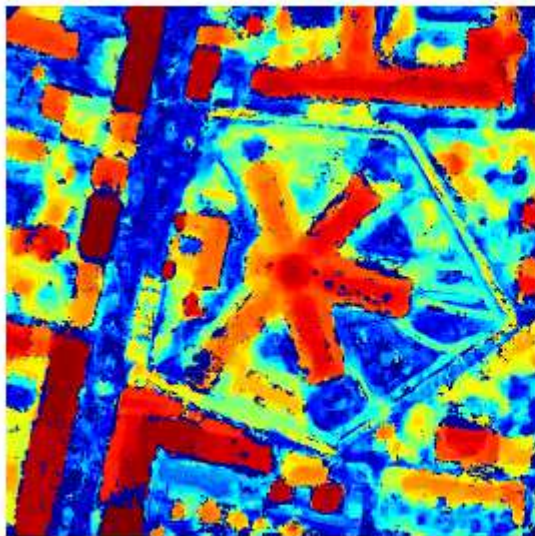
**Filière 2D**  
Rééch tuile secondaire dans géo de la tuile de référence (filière 2D, héritage CARS implémenté via H1 et H2 de S2P)

# Pipeline S2P au 06/10/2016

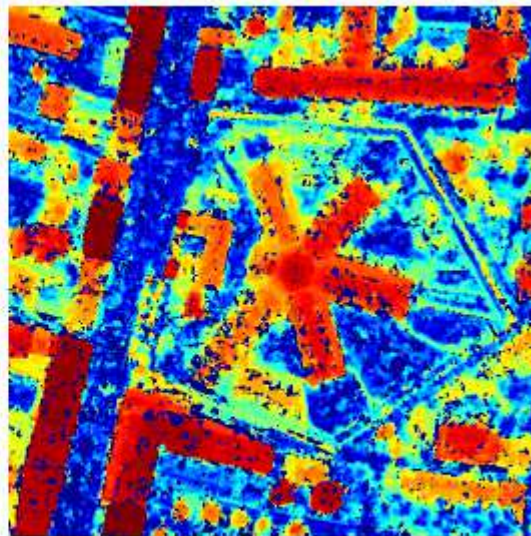


Détail du cœur de calcul de S2P pour une tuile donnée :

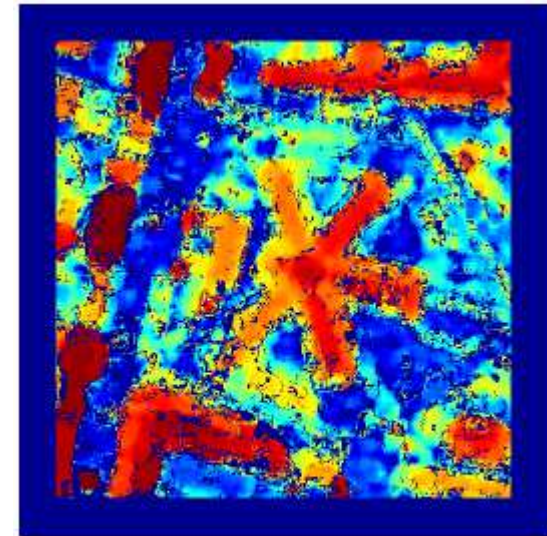
**Calcul des cartes de disparités** dans géométrie de la tuile de référence (stéréo-rectifiée dans le cas 1D).  
Algorithmes disponibles : SGBM, MGM, MSMW, ASP



(a) msmw (1D)



(b) sgbm (1D)



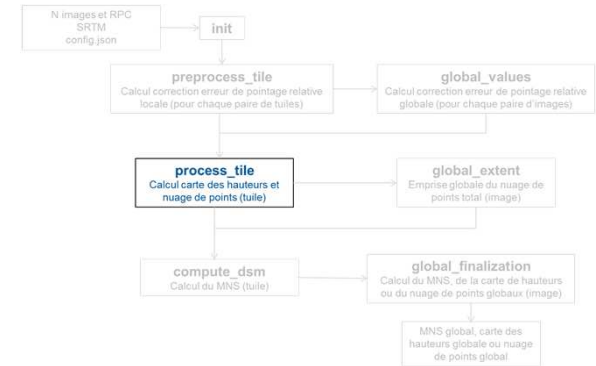
(b) ASP (2D)

Filière 1D

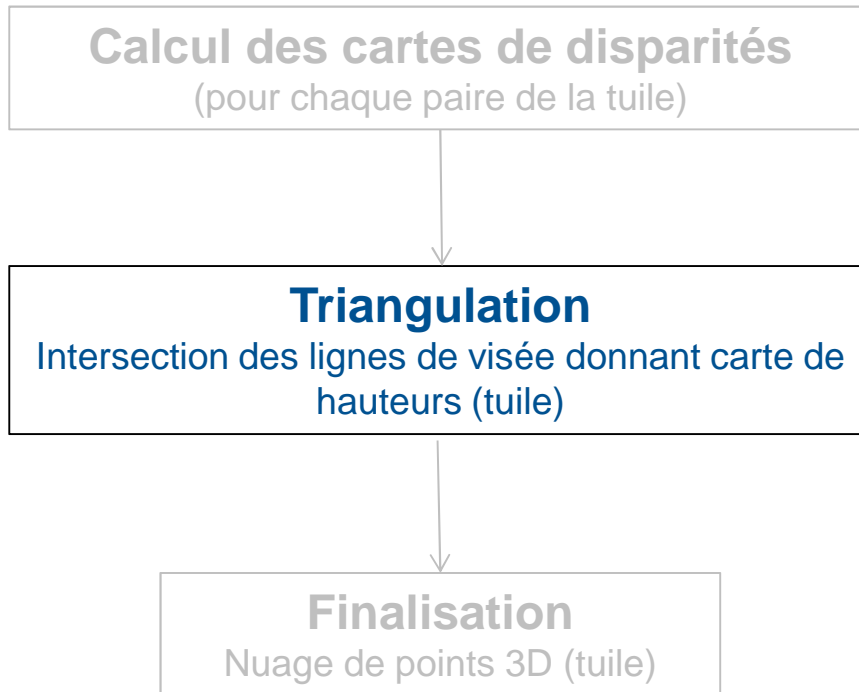
Filière 2D

# Pipeline S2P au 06/10/2016

Détail du cœur de calcul de S2P pour une tuile donnée :

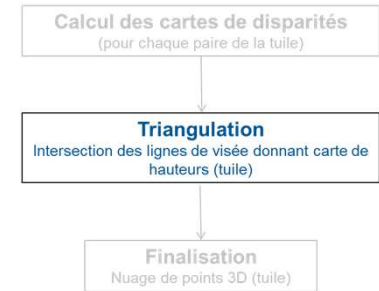


**process\_tile**  
Calcul carte des hauteurs et nuage de points (pour une tuile donnée)



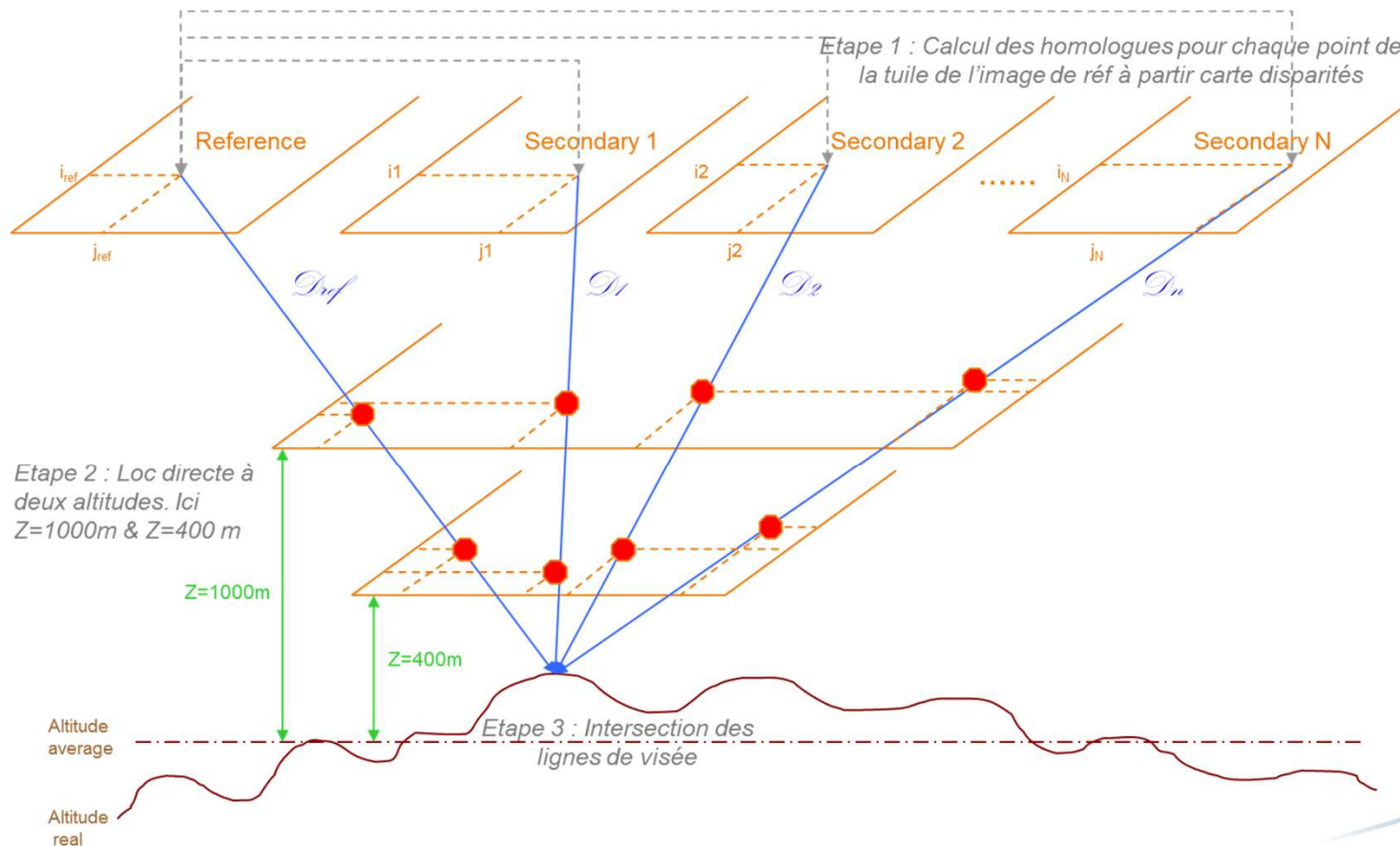
# Pipeline S2P au 06/10/2016

**process\_tile**  
Calcul carte des hauteurs et nuage de points (pour une tuile donnée)



Détail du cœur de calcul de S2P pour une tuile donnée :

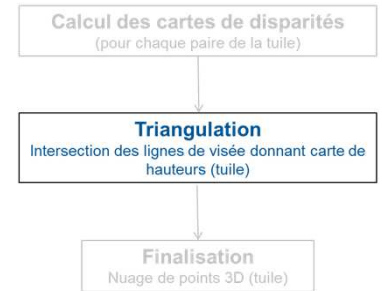
## Triangulation : Héritage CARS [5] implémenté dans S2P





# Pipeline S2P au 06/10/2016

**process\_tile**  
Calcul carte des hauteurs et nuage de points (pour une tuile donnée)



Détail du cœur de calcul de S2P pour une tuile donnée :

Triangulation : Héritage CARS [5] implémenté dans S2P

Calcul de M (et donc de l'altitude) :

$$M = \left[ \sum_i (Id - V_i V_i^t) \right]^{-1} \sum_i [(Id - V_i V_i^t) S_i]$$

M : résultat minimisation moindres carrés  
Vi : vecteur directeur de la ligne de visée i  
Si : point par lequel passe la visée i

# SOMMAIRE

Brève présentation de Pléiades

Rappels sur le principe de la stéréoscopie

Filières historiques de restitution 3D au CNES

Atelier 3D depuis 2015

**Résultats obtenus**

## Résultats obtenus avec S2P

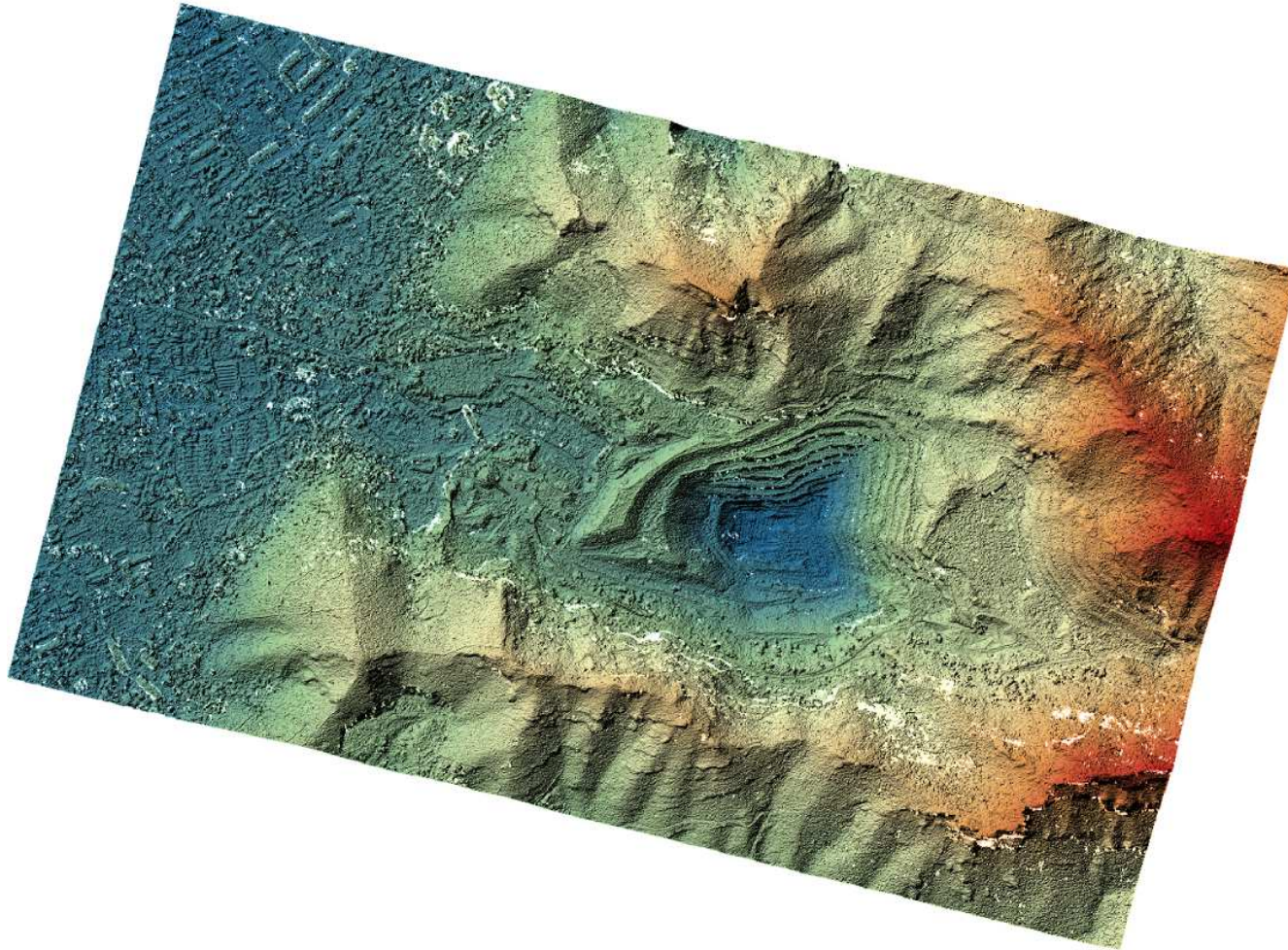


Triplet Pléiades sur une carrière proche de Marseille

© CNES (2013), distribution Airbus DS/ Spot Image

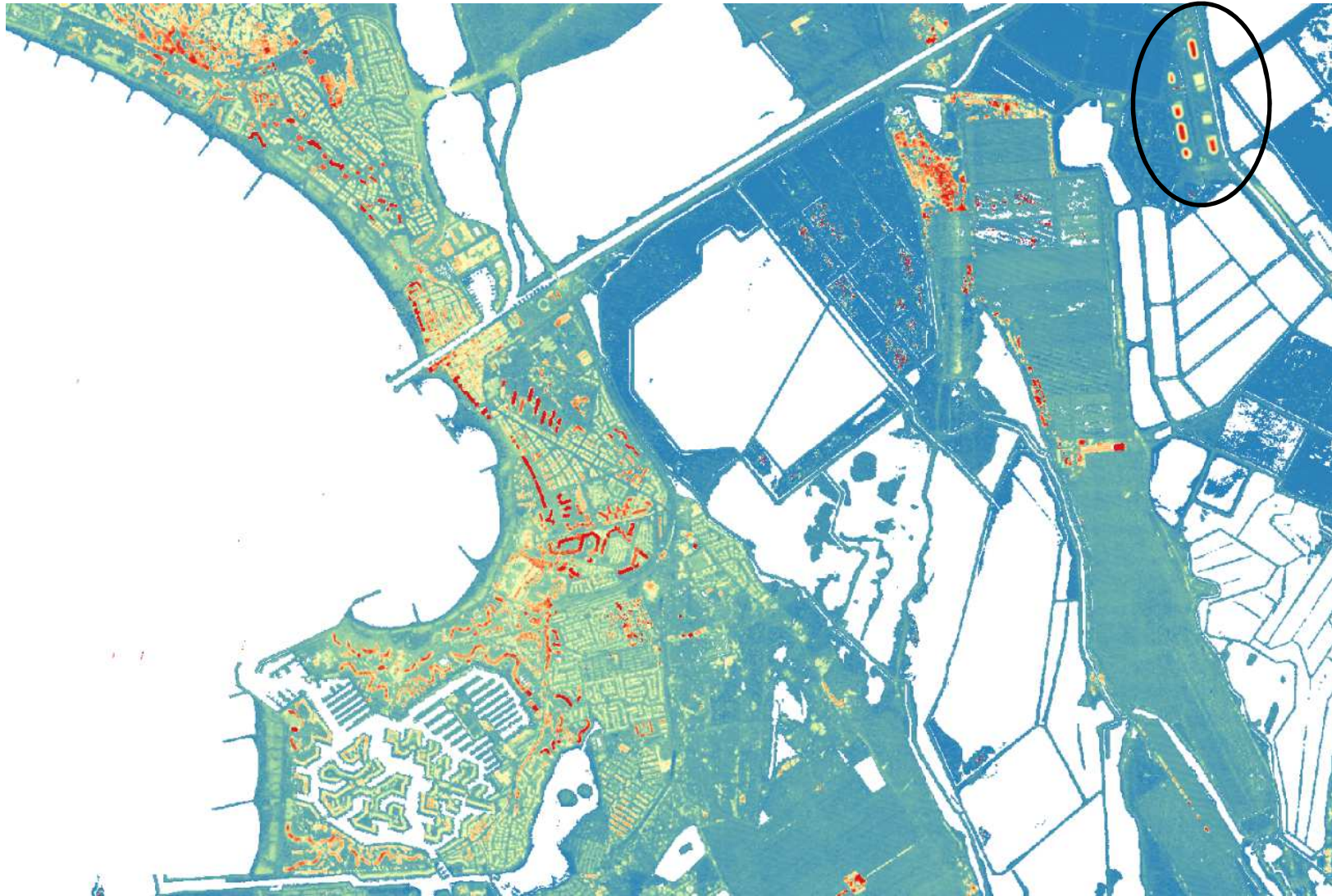
Nuage de points 3D généré via S2P et affiché dans CloudCompare [9]

## Résultats obtenus avec S2P



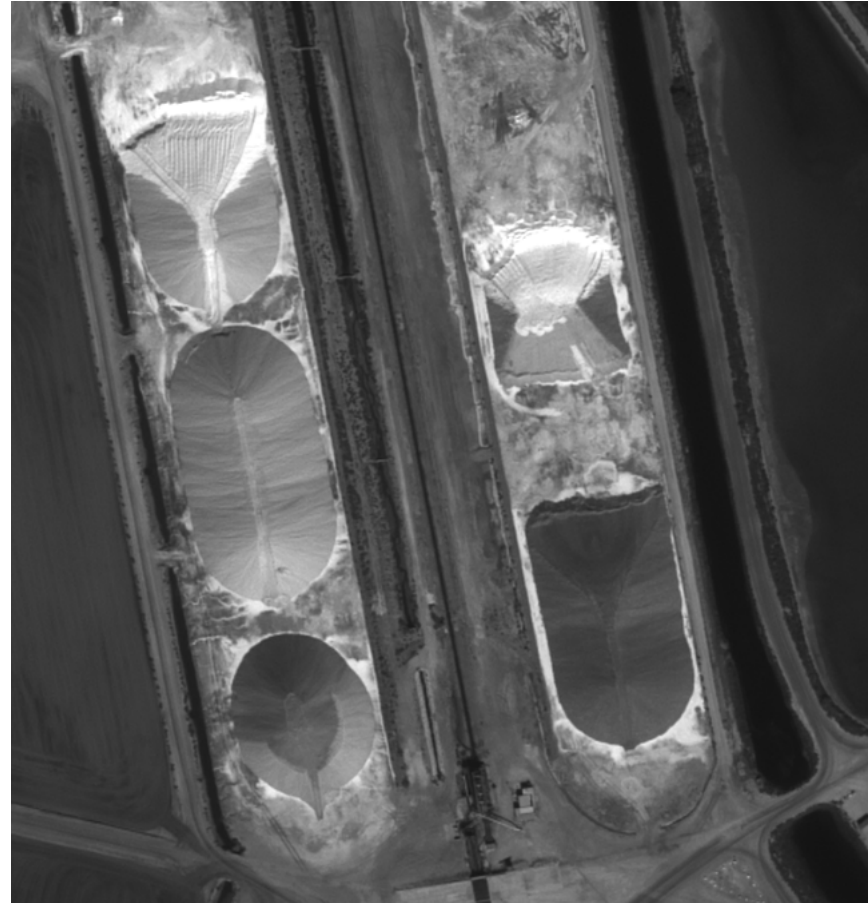
MNS raster produit par S2P à partir de ce triplet Pléiades [9]

## Résultats récents obtenus avec S2P



MNS produit sur la Camargue

## Résultats récents obtenus avec S2P

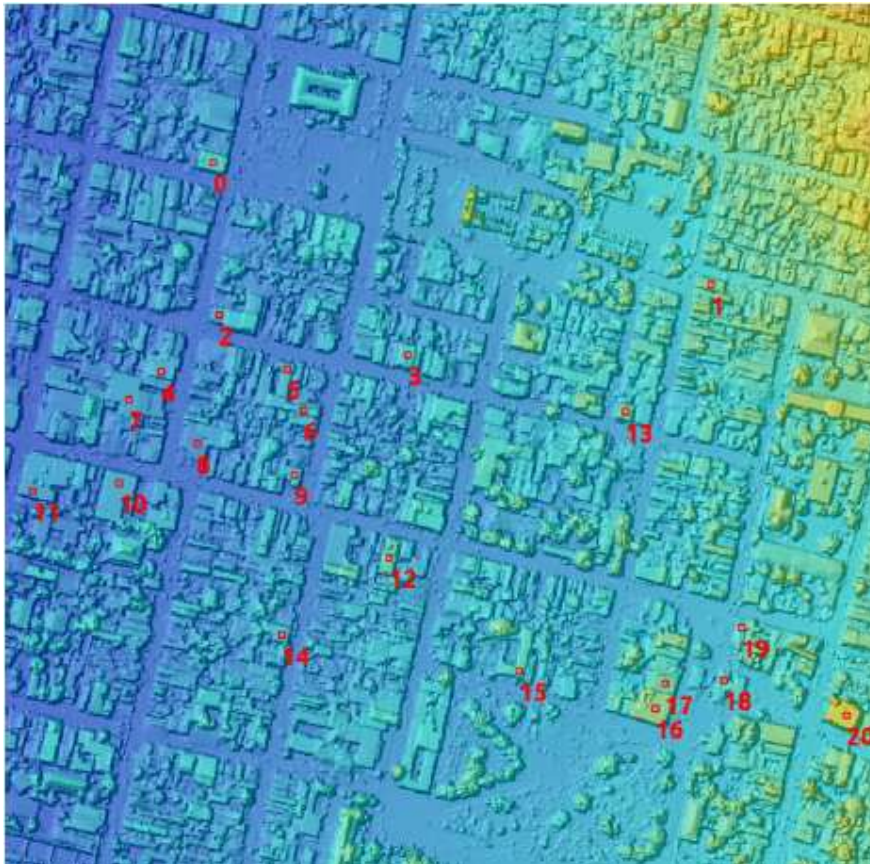


MNS produit sur la Camargue

## Evaluation des résultats de S2P

**Evaluation 2013** - travaux de Durand et al. [6] sur tri-stéréo Pléiades sur Haïti

Comparaison de l'altitude obtenue par 4 chaînes de génération de MNS par rapport à référence LIDAR

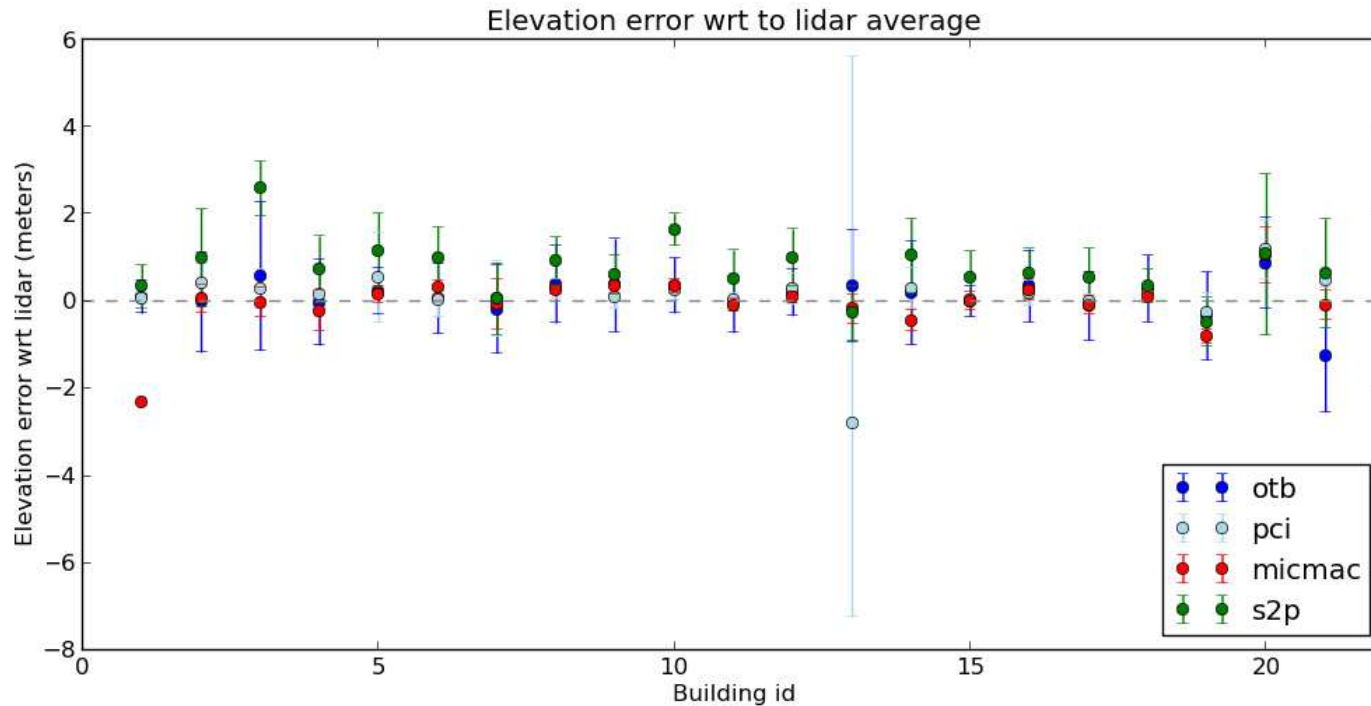


21 zones de 5\*5m<sup>2</sup>  
détourées sur référence  
LIDAR sur zones de toits  
plats

# Evaluation des résultats de S2P

## Evaluation 2013 - travaux de Durand et al. [6] sur tri-stéréo Pléiades sur Haïti

Comparaison de l'altitude obtenue par 4 chaînes de génération de MNS par rapport à référence LIDAR



~ 2m  
(3 pixels PHR)  
de précision  
altimétrique sur  
les MNS  
générés par ces  
4 méthodes ;  
écart-type de  
~1m  
(1.5 pixel PHR).

Différence entre moyenne des élévations de chaque méthode et moyenne LIDAR





## Evaluation des résultats de S2P

**Dernière évaluation disponible de S2P** date de **2013** :

Travaux de Durand et al. [6], comparant 4 méthodes de génération de MNS sur tri-stéréo Pléiades.

Absence d'évaluation relative ou absolue des dernières évolutions de S2P

⇒ **Un des axes de travail 2017 : évaluation relative et absolue du dernier S2P**

# Références

- [1] Cournet, M., Giros, A., Dumas, L., Delvit, J. M., Greslou, D., Languille, F., Blanchet, G., May, S., and Michel, J.: 2D Sub-Pixel Disparity Measurement Using QPEC / Medicis, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B1, 291-298, <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B1-291-2016>
- [2] de Franchis C., Meinhardt-Llopis E., Michel J., Morel J.-M., Facciolo G., 2014a. An automatic and modular stereo pipeline for pushbroom images. In ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-49-2014>
- [3] Delvit J.-M., Artigues S., 2010. Automatic DEM generation from low B/H stereoscopic acquisition. SPIE 7831, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications, 78310J. <http://dx.doi.org/10.1117/12.864541>
- [4] Delvit J.-M., L'Helguen C., 2015. Observer la Terre en 3D avec Pléiades-HR. Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection No. 209
- [5] Delvit J.M., P. Fave, R. Gachet, "The geometric supersite of Salon de Provence", ISPRS Congress Paris, 2006.
- [6] Durand A., Michel J., de Franchis C., Allenbach B., Giros A., 2013. Qualitative assessment of four DSM generation approaches using Pleiades - HR data. EARSeL Symposium, pp. 499-510.
- [7] Massonnet D., Giros A., Breton E., 1997. Forming digital elevation models from single pass SPOT data: results on a test site in the Indian Ocean. Geoscience and Remote Sensing. IGARSS '97. Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development., 1997 IEEE International (Volume:2) <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.1997.615213>
- [8] May S., Latry C., 2009. Digital Elevation Model Computation with SPOT 5 Panchromatic and Multispectral Images using Low Stereoscopic Angle and Geometric Model Refinement. IGARSS (4): 442-445. <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2009.5417408>
- [9] Michel J., de Franchis C., Meinhardt-Llopis E., Morel J.M., Facciolo G., S2P: a new open-source stereo pipeline for satellite images. Geomatics Workbooks n° 12 – "FOSS4G Europe Como 2015".