

# Affinement des orientations satellites avec l'outil libre MicMac et précision de la localisation de Pléiades avec ou sans points d'appui

31<sup>ieme</sup> réunion de la Commission Geo-Pos

E. Rupnik<sup>a,b</sup> , M. Pierrot - Deseilligny<sup>a</sup>,  
A. Delorme<sup>b</sup>, Y. Klinger<sup>b</sup>

<sup>a</sup> ENSG – École Nationale des Sciences Géographiques, Marne la Vallée, France

<sup>b</sup> IPGP – Institut de Physique du Globe de Paris, Sorbonne Paris Cité,  
Univ Paris Diderot, CNRS, Paris, France

6. octobre 2016

Motivation & exposé du problème

Orientation des capteurs Pushbroom dans MicMac

MicMac

Objectifs

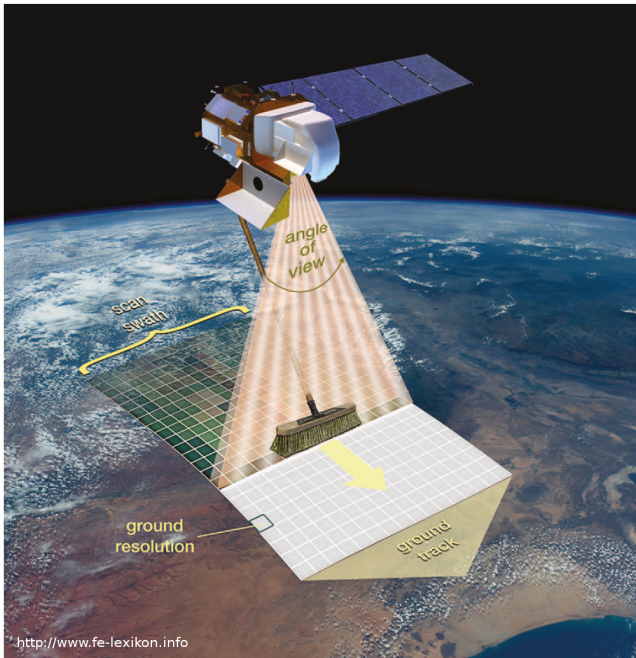
Méthologie

Experimentations sur Pleiades

Limoge

Oregon

Conclusions



# exposé du problème

## Orientation des capteurs pushbroom (à barettes)

- ▶ rigoureuse (physique)
- ▶ empirique (modèles paramétriques tels que RPC, 3D affine, grilles)

# exposé du problème

## Orientation des capteurs pushbroom (à barettes)

- ▶ rigoureuse (physique)
- ▶ empirique (modèles paramétriques tels que RPC, 3D affine, grilles)

## Les RPCs

- ▶ 4 ensembles de 20 coefficients polynomiaux + translation et facteurs d'échelle
- ▶ devenu un standard de fait (depuis la fin des années 80);
- ▶ recommandé par l' Open Geospatial Consortium

# exposé du problème

## Orientation des capteurs pushbroom (à barettes)

- ▶ rigoureuse (physique)
- ▶ empirique (modèles paramétriques tels que RPC, 3D affine, grilles)

## Les RPCs

- ▶ 4 ensembles de 20 coefficients polynomiaux + translation et facteurs d'échelle
- ▶ devenu un standard de fait (depuis la fin des années 80);
- ▶ recommandé par l' Open Geospatial Consortium

## Indépendamment du modèle mathématique

- ▶ précision absolue jusqu'à 10 pixels (CE90), correspondant à
- ▶  $\approx 10\text{m}$  terrain (dépendant du satellite)
- ▶ à cause des défauts du géoréférencement direct [1]

Motivation & exposé du problème

Orientation des capteurs Pushbroom dans MicMac

MicMac

Objectifs

Méthologie

Experimentations sur Pleiades

Limoge

Oregon

Conclusions

## Développements

- ▶ initié à l'IGN par Marc Pierrot Deseilligny
- ▶ depuis 2003 , libre open-source depuis 2007
- ▶ depuis 2010 outils "simplifiés" ; binaires Windows (projet FUI culture3d)  
& session de formations régulières;



## Développements

- ▶ initié à l'IGN par Marc Pierrot Deseilligny
- ▶ depuis 2003 , libre open-source depuis 2007
- ▶ depuis 2010 outils "simplifiés" ; binaires Windows (projet FUI culture3d)

## Traitement des caméras matricielles [2]

- ▶ Pipeline de photogrammétrie automatique
- ▶ Grande variété de modèles de calibration
- ▶ Inclusion possible de donnée hétérogènes (données images , points de contrôle, GNSS embarqué)
- ▶ gère de grand jeux de données

## Evolution pour le traitement des capteurs pushbroom [3, 5, 4]

- ▶ depuis 2007 , calcul de MNT et orthophoto à partir de grille (non affuable)
- ▶ depuis 2014, calcul déplacement fin à partir corrélation (sciences de la terre, TOSCA)
- ▶ depuis 2016, flux de traitement photogrammétrique complet à partir des RPC "brut" (TOSCA)

Motivation & exposé du problème

Orientation des capteurs Pushbroom dans MicMac

MicMac

**Objectifs**

Méthologie

Experimentations sur Pleiades

Limoge

Oregon

Conclusions

# Raffinement des orientation dans MicMac

## Objectifs

- ▶ Gestion des satellites haute résolution existant dans un **logiciel libre open source**  
(Pleiades, SPOT, Wordlview, Quickbird, Ikonos, Aster, ...)
- ▶ Raffinement des orientations dans le même noyau que celui gérant déjà les caméras matricielles (Apero)  
(pour pouvoir ultérieurement effectuer des traitements combinés)
- ▶ Fonctionnel avec ou sans point terrain .

# Raffinement des orientations dans MicMac

## Hypothèses

- ▶ La trajectoire est connue précisément.
- ▶ Les erreurs éventuelles viennent de la calibration et (surtout) de l'attitude.

en conséquence

- ▶ les erreurs peuvent être modélisées et corrigées par une déformation 2D régulière
- ▶ **utilisation de polynomes** sur les lignes et les colonnes
- ▶ il faut gérer le risque de sur-paramétrisation avec des degrés de polynomes élevés.

Motivation & exposé du problème

Orientation des capteurs Pushbroom dans MicMac

MicMac

Objectifs

**Méthologie**

Experimentations sur Pleiades

Limoge

Oregon

Conclusions

# Raffinement des orientations dans MicMac

## Compensation polynomial avec contraintes physiques

- ▶ Entrée : points de liaisons + RPC + points de contrôle (optionel)
- ▶ Conditions (observations)  
un polynome de *déformation* défini en espace image

$$x = x(\phi, \lambda, h) + D_x(x, y) \quad y = y(\phi, \lambda, h) + D_y(x, y) \quad (1)$$

$$D_x(x, y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot x^i y^j \quad D_y(x, y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n b_{ij} \cdot x^i y^j \quad (2)$$

# Raffinement des orientations dans MicMac

## Compensation polynomial avec contraintes physiques

- ▶ Entrée : points de liaisons + RPC + points de contrôle (optionel)
- ▶ Conditions (observations)  
un polynome de *déformation* défini en espace image

$$x = x(\phi, \lambda, h) + D_x(x, y) \quad y = y(\phi, \lambda, h) + D_y(x, y) \quad (1)$$

$$D_x(x, y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot x^i y^j \quad D_y(x, y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n b_{ij} \cdot x^i y^j \quad (2)$$

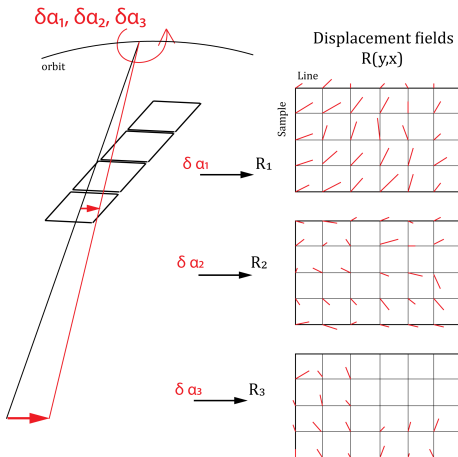
- ▶ Contraintes  
à être proche d'une rotation 3D globale qui modélise les déformations image

$$\sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^n \left( \sum_k^{\{x,y\}} D_k(x, y) - \sum_{l=0}^2 \delta\alpha_l R_{x,y,l} \right)^2 \cdot pds_{rot} \cdot pds_{Nb} = 0 \quad (3)$$



# Raffinement des orientations dans MicMac

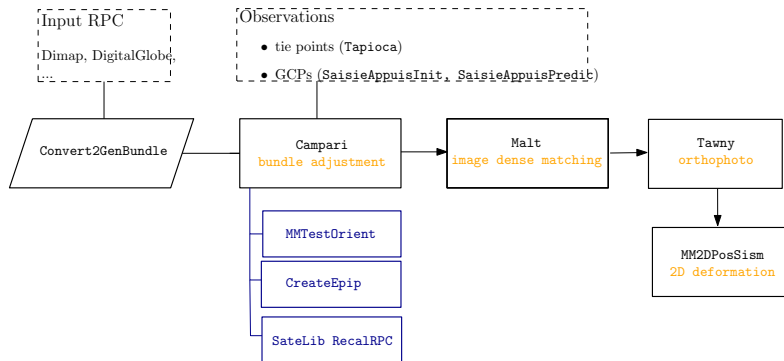
Contraintes a une rotation 3D globale qui modélise les déformations image



$$\sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^n \left( \sum_k D_k(x,y) - \sum_{l=0}^2 \delta\alpha_l R_{x,y,l} \right)^2 \cdot pds_{rot} \cdot pds_{Nb} = 0 \quad (4)$$

# Raffinement des orientations dans MicMac

## Pipeline général



**Figure :** Flot de traitement pour la génération de MNT à partir d'images satellite. L'outil MMTestOrient est une opération additionnelle permettant d'évaluer la qualité des orientations (relatives). L'outil CreateEpip n'est obligatoire que si l'on souhaite effectuer un appariement dense en géométrie épipolaire. SateLib RecalRPC refait un export au format RPC standard en y incluant les ajustements correctifs.

Motivation & exposé du problème

Orientation des capteurs Pushbroom dans MicMac

MicMac

Objectifs

Méthologie

Experimentations sur Pleiades

Limoge

Oregon

Conclusions



# Experimentationss

## Evaluations

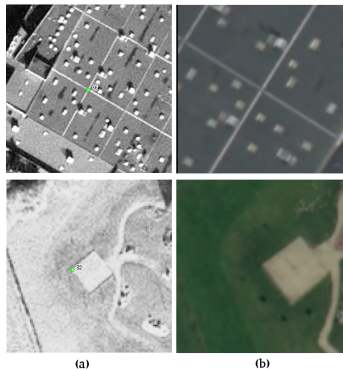
- ▶ Ecart sur les points de contrôles
- ▶  $\sigma_0$  sur l'ajustement de faisceaux
- ▶ Residus sur la parallaxe transverse (après un calcul d'appariement dense bi-dimensionnel, dans la direction épipolaire et la direction transverse)

# Experimentations

## Evaluation écarts sur les points d'appui

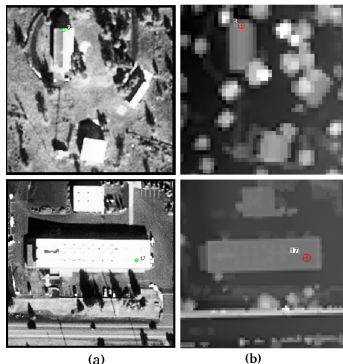
### Limoge

- ▶ 36 points de contrôle, venant de blocs aériens
- ▶  $\sigma_{x,y} = 0.3, \sigma_z = 0.5$



### Oregon

- ▶ 19 points de controle sur la coordonné
- ▶ LiDAR<sup>a</sup>, rééchantillonnés sur une grille



# Experimentations

## Limoge : résultats de l'ajustement de faisceaux

- ▶  $A_0, \dots, E_0$ : polynome de degré 0; absorbs in- & across-track errors
- ▶  $A_1, \dots, E_1$ : polynome de degré 1; absorbs also radial ephemeris, internal calib errors etc

	#GCP/CP	$\sigma_0$ [pix]	$\mu_{\Delta X}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta Y}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta Z}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta X}^{cp}$ [m]	$\mu_{\Delta Y}^{cp}$ [m]	$\sigma_{\Delta Z}^{cp}$ [m]
-	0/36	3.0	-	-	-	2.3	3.2	12.4
$X_0$	0/36	0.83	-	-	-	$\approx 2.3$	$\approx 3.2$	$\approx 12.4$
$A_0$	1/35	0.84	<0.01	<0.01	<0.01	0.46	0.33	1.12
$B_0$	2/34		0.04	0.04	0.01	0.36	0.35	1.05
$C_0$	3/33		0.03	0.03		0.39	0.36	0.61
$D_0$	4/32		0.07	0.04	0.02	0.30	0.33	0.63
$E_0$	6/31		0.06	0.06		0.30	0.35	0.61
$A_1$	1/35	0.82	<0.01	<0.01		4.31	10.90	21.90
$B_1$	2/34		<0.01	<0.01		3.94	3.11	1.04
$C_1$	3/33		<0.01			0.33	0.38	0.58
$D_1$	4/32		0.02	0.04		0.27	0.34	0.41
$E_1$	6/31		0.03	0.06		0.25	0.35	0.36

**Table** : Jeu de données de Limoge .  $\sigma_0$  – écart type sur l'ajustement de faisceaux  
 $\mu_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}^{gt}$  – écart entre les position estimées par intersection de faisceaux et la  
valeur "vraie" des points terrain ,  $\mu_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}^{cp}$  – sur les points de contrôle . La

# Experimentations

## Limoge : résultats de l'ajustement de faisceaux

- ▶  $A_0, \dots, E_0$ : polynome de degré 0; absorbs in- & across-track errors
- ▶  $A_1, \dots, E_1$ : polynome de degré 1; absorbs also radial ephemeris, internal calib errors etc

	#GCP/CP	$\sigma_0$ [pix]	$\mu_{\Delta X}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta Y}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta Z}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta X}^{cp}$ [m]	$\mu_{\Delta Y}^{cp}$ [m]	$\sigma_{\Delta Z}^{cp}$ [m]
-	0/36	3.0	-	-	-	2.3	3.2	12.4
$X_0$	0/36	0.83	-	-	-	$\approx 2.3$	$\approx 3.2$	$\approx 12.4$
$A_0$	1/35	0.84	<0.01	<0.01	<0.01	0.46	0.33	1.12
$B_0$	2/34		0.04	0.04	0.01	0.36	0.35	1.05
$C_0$	3/33		0.03	0.03		0.39	0.36	0.61
$D_0$	4/32		0.07	0.04	0.02	0.30	0.33	0.63
$E_0$	6/31		0.06	0.06		0.30	0.35	0.61
$A_1$	1/35	0.82	<0.01	<0.01		4.31	10.90	21.90
$B_1$	2/34		<0.01	<0.01		3.94	3.11	1.04
$C_1$	3/33		<0.01			0.33	0.38	0.58
$D_1$	4/32		0.02	0.04		0.27	0.34	0.41
$E_1$	6/31		0.03	0.06		0.25	0.35	0.36

**Table :** Jeu de données de Limoge .  $\sigma_0$  – écart type sur l'ajustement de faisceaux  
 $\mu_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}^{gt}$  – écart entre les position estimées par intersection de faisceaux et la  
 valeur "vraie" des points terrain ,  $\mu_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}^{cp}$  – sur les points de contrôle . La



# Experiments

## Limoge : résultats de l'ajustement de faisceaux

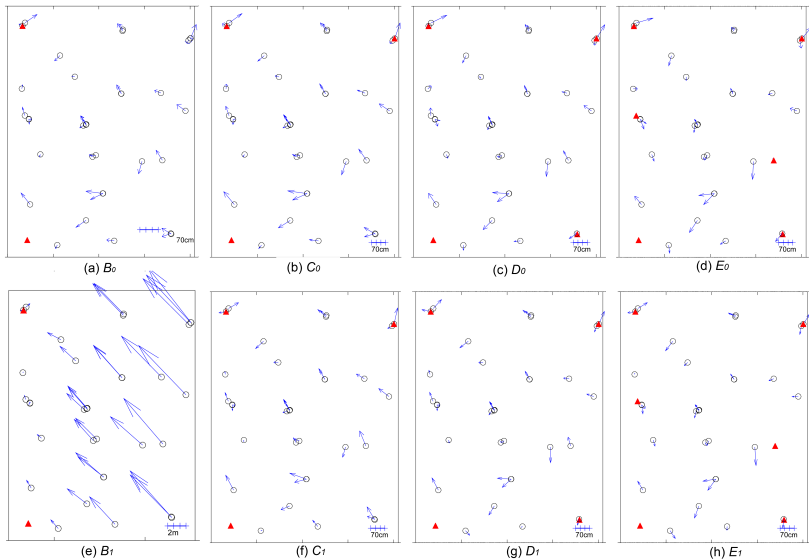
- ▶  $A_0, \dots, E_0$ : polynome de degré 0; absorbs in- & across-track errors
- ▶  $A_1, \dots, E_1$ : polynome de degré 1; absorbs also radial ephemeris, internal calib errors etc

	#GCP/CP	$\sigma_0$ [pix]	$\mu_{\Delta X}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta Y}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta Z}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta X}^{cp}$ [m]	$\mu_{\Delta Y}^{cp}$ [m]	$\sigma_{\Delta Z}^{cp}$ [m]
-	0/36	3.0	-	-	-	2.3	3.2	12.4
$X_0$	0/36	0.83	-	-	-	$\approx 2.3$	$\approx 3.2$	$\approx 12.4$
$A_0$	1/35	0.84	<0.01	<0.01	<0.01	0.46	0.33	1.12
$B_0$	2/34		0.04	0.04	0.01	0.36	0.35	1.05
$C_0$	3/33		0.03	0.03		0.39	0.36	0.61
$D_0$	4/32		0.07	0.04	0.02	0.30	0.33	0.63
$E_0$	6/31		0.06	0.06		0.30	0.35	0.61
$A_1$	1/35	0.82	<0.01	<0.01		4.31	10.90	21.90
$B_1$	2/34		<0.01	<0.01		3.94	3.11	1.04
$C_1$	3/33		<0.01			0.33	0.38	0.58
$D_1$	4/32		0.02	0.04		0.27	0.34	0.41
$E_1$	6/31		0.03	0.06		0.25	0.35	0.36

**Table :** Jeu de données de Limoge .  $\sigma_0$  – écart type sur l'ajustement de faisceaux  
 $\mu_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}^{gt}$  – écart entre les position estimées par intersection de faisceaux et la  
valeur "vraie" des points terrain ,  $\mu_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}^{cp}$  – sur les points de contrôle . La

# Experiments

## Limoge : suite des résultats de l'ajustement de faisceaux





# Experimentations

## Oregon : résultats de l'ajustement de faisceaux

- ▶  $A_0, \dots, E_0$ : polynome de degré 0; absorbs in- & across-track errors
- ▶  $A_1, \dots, E_1$ : polynome de degré 1; absorbs also radial ephemeris, internal calib errors etc

	#GCP/CP	$\sigma_0$ [pix]	$\mu_{\Delta Z}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta Z}^{cp}$ [m]
-	0/19	0.50	-	11.58
$A_0$	1/18	0.57	<0.01	0.65
$B_0$	2/17		<0.01	0.47
$C_0$	3/16		0.01	0.40
$D_0$	4/15		<0.01	0.41
$E_0$	6/14		<0.01	0.46
$A_1$	1/18	0.57	<0.01	56.05
$B_1$	2/17			14.63
$C_1$	3/16			0.47
$D_1$	4/15			0.48
$E_1$	6/14			0.50

**Table** : Jeux de donnée Oregon .  $\sigma_0$  – écart type de l'ajustement de faisceaux ,  $\mu_{\Delta Z}^{gt}$  – écart moyen entre les points calculé par intersection et la "vraie" valeurs Z sur les points de controle ,  $\mu_{\Delta Z}^{cp}$  – sur les points de contrôle ; tous les deux à partir du nuage LIDAR .

# Experimentations

## Oregon : résultats de l'ajustement de faisceaux

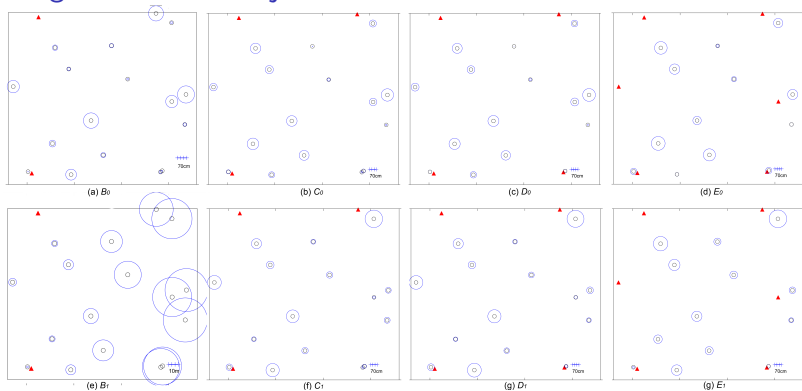
- ▶  $A_0, \dots, E_0$ : polynome de degré 0; absorbs in- & across-track errors
- ▶  $A_1, \dots, E_1$ : polynome de degré 1; absorbs also radial ephemeris, internal calib errors etc

	#GCP/CP	$\sigma_0$ [pix]	$\mu_{\Delta Z}^{gt}$ [m]	$\mu_{\Delta Z}^{cp}$ [m]
-	0/19	0.50	-	11.58
$A_0$	1/18		<0.01	0.65
$B_0$	2/17		<0.01	0.47
$C_0$	3/16	0.57	0.01	0.40
$D_0$	4/15		<0.01	0.41
$E_0$	6/14		<0.01	0.46
$A_1$	1/18			56.05
$B_1$	2/17			14.63
$C_1$	3/16	0.57	<0.01	0.47
$D_1$	4/15			0.48
$E_1$	6/14			0.50

**Table** : Jeux de donnée Oregon .  $\sigma_0$  – écart type de l'ajustement de faisceaux ,  $\mu_{\Delta Z}^{gt}$  – écart moyen entre les points calculé par intersection et la "vraie" valeurs Z sur les points de controle ,  $\mu_{\Delta Z}^{cp}$  – sur les points de contrôle ; tous les deux à partir du nuage LIDAR .

# Experimentations

## Oregon : suite de l'ajustement de faisceaux





Motivation & exposé du problème

Orientation des capteurs Pushbroom dans MicMac

MicMac

Objectifs

Méthologie

Experimentations sur Pleiades

Limoge

Oregon

Conclusions



## Conclusions 1/2

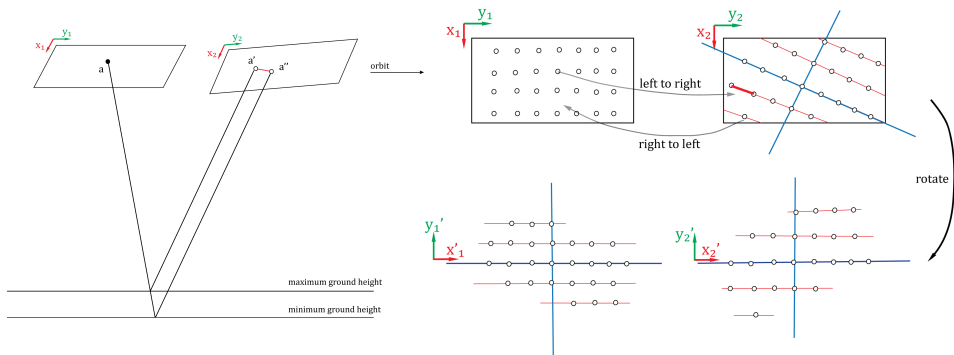
- ▶ Il est maintenant possible avec MicMac de raffiner les orientations satellite par ajustement de faisceaux dans Aperio, → ceci peut être combiné avec des caméras matricielles.
- ▶ le modèle estime les paramètres d'une base de fonction polynomiale et d'une contrainte de rotation globale du capteur

## Conclusions 2/2

- ▶ Les tests ont été faits sur Pléiades indiquent :
  - ▶ après ajustement, on peut atteindre une précision meilleure que la résolution (50 cm) ;
  - ▶ pour les acquisition exclusivement le long de la trace :
    - ▶ l'orientation relative des capteurs par RPC est déjà précise
    - ▶ l'ajustement avec des polynomes de degré 0 est suffisant pour améliorer le positionnement absolu
  - ▶ pour les acquisitions inter trace
    - ▶ la précision relative des orientations est moins bonne
    - ▶ l'ajustement avec des polynomes de degré 1 est plus adapté
  - ▶ comme on peut s'y attendre, en général, plus le degré du polynome est élevé, plus il est requis d'avoir un nombre élevé de points d'appui → avec moins de 3 points, il est impératif d'utiliser le degré 0 pour avoir des résultats fiables

# Géométrie épipolaire dans MicMac

## Adaptation à des capteurs push-broom (à barette)



$$[x'_1, y'_1] \rightarrow [x'_1, y'_1], \quad [x'_2, y'_2] \rightarrow [x'_2, y'_2] \quad (5)$$

$$y''_1 = E_1[x'_1, y'_1], \quad y''_2 = E_2[x'_2, y'_2] \quad (6)$$

$$E_1[x'_1, y'_1] = E_2[x'_2, y'_2], \quad E_1 = E_2[0, y] \quad (7)$$

- [1] J. Oh and Ch. Lee.  
Automated bias-compensation of rational polynomial coefficients of high resolution satellite imagery based on topographic maps.  
*ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 100:14–22, 2015.
- [2] M Pierrot-Deseilligny and I Clery.  
Apero, an open source bundle adjustment software for automatic calibration and orientation of set of images.  
38(5):269–276, 2011.
- [3] AM Rosu, M. Pierrot-Deseilligny, A. Delorme, R. Binet, and Y. Klinger.  
Measurement of ground displacement from optical satellite image correlation using the free open-source software micmac.  
*ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 100:48–59, 2015.
- [4] E. Rupnik, M. Pierrot-Deseilligny, A. Delorme, , and Klinger Y.  
Refined satellite image orientation in the free open-source photogrammetric tools apero/micma.  
*ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2016.  
accepted for XXIII ISPRS Congress in Prague.
- [5] A Vallage, Y Klinger, R Grandin, HS Bhat, and M Pierrot-Deseilligny.  
Inelastic surface deformation during the 2013 mw 7.7 balochistan, pakistan, earthquake.  
*Geology*, 43(12):1079–1082, 2015.