

## GPS Cinématique

Application Aérienne "Aérophotogrammétrie par GPS "  
H. ABDELLAOUI.

Test avec données réelles traitées à l'Université de l'Armée Fédérale Allemande FAF/Munich .

### Abstract:

Aerophotogrammetry is one of the various application of kinematic GPS. In bundle adjustment of an aerotriangulated photogrammetric block, the unknown parameters of external orientation contains the coordinates of the projection centres of the camera and to be determined. Even if these coordinates are normally of no interest in photogrammetry, they are inherent in the geometrical model. Conventionally, for the stabilisation and the orientation of a photogrammetric block , a certain amount of control points on the ground are required . Where the coordinates of the projection centres are determined by kinematic GPS , however, this information may be used in the bundle adjustment . In study with synthetic data , the accuracy potential of a combined GPS/bundle solution was demonstrated and the favourable structure of such a system with respect to the determinability of the additional parameter fort self-calibration was shown. The consequence is a significant reduction of the number of control points on the ground needed for orientation . The basic idea is to replace the control points on the ground by control points on the flight trajectory ( projection centres of the camera) which are determined by GPS . But the crucial question is whether it is possible to fix the ambiguities to integers . A more robust method for dealing with this problem was required . The results presented here in this paper are part of the first Test-Project of National Institute of Cartography in this field , and the data processing has done in the laboratory of Geodetic and Navigation /University of Federal Armed Forces /Munich , with two software TOPAS and PHARAO.

### **Introduction**

les données de cette application ont fait l'objet d'un premier test d'aérophotogrammétrie effectué sur le site de Ain Temouchent avec le nouveau matériel : avion Super King B 200 équipé d'une caméra Zeiss de type RMK TOP accouplé à un récepteur GPS Ashtech Super CVA; acquis récemment par l'Institut National de Cartographie (Alger) ).

les paramètres du test sont :

Site : Ain Temouchent

Dimension : 4km\*10km

Altitude moyenne du vol : 1683 m

Date de prise de vue : 8 juin 1996

Durée de prise de vue : 1h 11 mn  
15s ( temps total d'enregistrement )

Nombre de bande : 4

direction de vol : Nord-Sud

Récepteur : Ashtech Super C/A  
 Code mesure : C/A  
 Phase : L1  
 Caméra : Zeiss RMK TOP 15  
 Focale : 153 mm  
 La station de référence est située à Alger, ses coordonnées géocentriques sont :  
 5110020.5                      277590.49  
 3794154.39  
 Coordonnées géocentriques du site (Ain Temouchent):  
 5211500 -104000 3697730  
 Distance moyenne : Référence - Site = 400 km

Le traitement des données est exécuté par deux logiciels différents TOPAS et PHARAO, au laboratoire IFEN1 Uni FAF/Munich.

Nous présenterons plus loin une comparaison des résultats obtenus par les deux logiciels et une analyse relative à leur précision.

## 1. LOGICIELS

### 1.1 TOPAS Turbo 3.3

#### **A- Description du logiciel :**

C'est un logiciel de traitement des données GPS, en mode statique et cinématique. Il se compose des modules suivants :

- 1- Baseline processing module
- 2-Network adjustment module
- 3-Project planing module

L'utilisateur travaille en mode graphique et par affichage de masques.

TOPAS software :

- 1 disquette 3.5 " TOPAS TURBO "
- 2 clés Hardware
- 1 Manuel d'utilisation.

#### **B-Fichier position cinématique:**

Dans le cas du positionnement cinématique un fichier avec extension .pos est créé. Il a la structure suivante :

Time ! Latitude ! Longitude ! Height ! Sig\_n ! Sig\_e ! Sig\_h ! GDOP! # ! Site

552460	35.497852	359.188592	2515	0.01	0.005	0.015	2.6	5	ATEM
552461	35.4984395	359.189524	2514.9	0.01	0.005	0.015	2.6	5	ATEM
552462	35.4990267	359.190455	2514.7	0.01	0.005	0.015	2.6	5	ATEM
552463	35.4996136	359.191385	2514.6	0.01	0.005	0.015	2.6	5	ATEM
552464	35.5002002	359.192315	2514.5	0.01	0.005	0.015	2.6	5	ATEM
552465	35.5007865	359.193245	2514.6	0.01	0.005	0.015	2.6	5	ATEM
552466	35.5013723	359.194173	2514.6	0.01	0.005	0.015	2.6	5	ATEM

Time: c'est le temps dans la semaine GPS en secondes.

Latitude : la latitude géographique en degré décimal

Longitude : la longitude géographique en degré décimal

Height : La hauteur par rapport à l'ellipsoïde en mètre

Sig\_n : L'incertitude Nord en mètre

Sig\_e : L'incertitude Est en mètre

Sig\_h : l'incertitude de h en mètre

GDOP : valeur du GDOP

# : le nombre de satellites intervenant dans le calcul de la position

Site : l'identification du site (dans notre cas le site =ATEM : Ain Temouchent).

Dans le cas de l'aérophotogrammétrie, le temps de déclenchement du caméra est

enregistré avec une précision du milliseconde dans un fichier avec extension .evt (événement), et la position des ces événements est interpolée linéairement d'une façon automatique et stockée dans un fichier avec extension .epf (evenment position file). Il a la structure suivante :

Time	Latitude	Longitude	Height	Sig_n	Sig_e	Sig_h	GDOP	#	event	type	num
200744.174000	48 075399492	11 629326801	659.278	053	020	051	2.6	5	4		1
200783.453230	48.075359311	11.629373046	658.926	070	019	064	2.6	5	1		1
200794.234121	48 075238540	11.629517645	658.941	070	019	063	2.6	5	1		2
200801.122130	48 075157812	11.629559161	658.960	070	019	063	3.2	4	3		3

Event type varie de 0 à 6 :

0: External evenment,

1. Receiver time adjustment,

2: Manuel event,

3 External comment,

4 Rs232 event,

5. New station event,

6. Cycle slip.

Event number : c'est le nombre d'évènement .

## 1.2 Logiciel PHARAO (Phase Ambiguity Resolution Applications On-The-Fly)

C'est un logiciel de traitement des données GPS cinématique temps réel DGPS/DGLONASS.

Développé par des chercheurs de l'institut de Géodésie et de Navigation à l'Université FAF Munich. C'est un successeur de SESAME. Il peut être configuré pour plusieurs modes de

positionnement, différents modes de résolution de l'ambiguïté, différents récepteurs, etc...

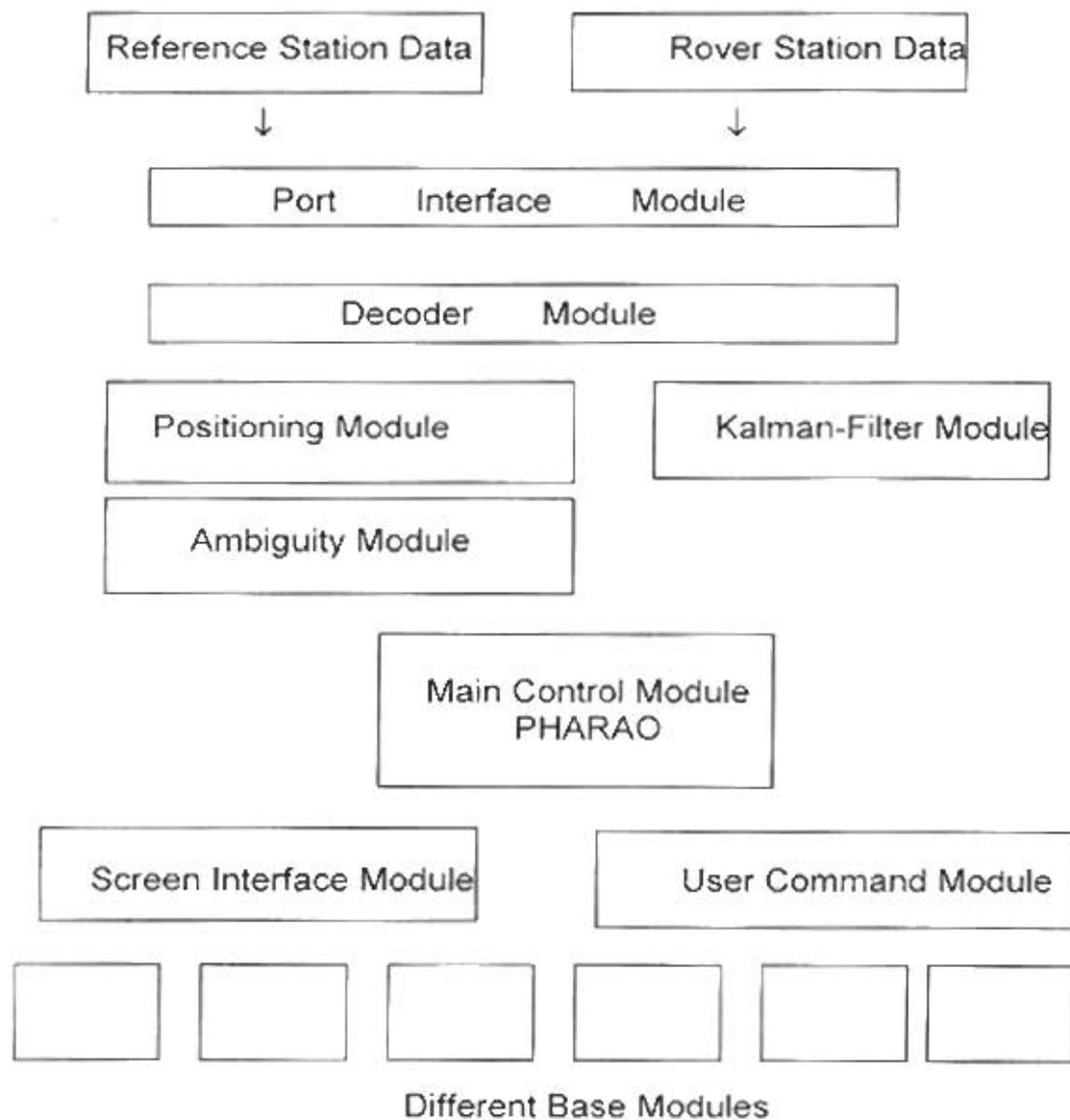
L'utilisateur peut travailler en mode affichage ou mode interactif.

la précision du logiciel dépend du mode de positionnement, qualité des données, distance du mobile par rapport à la station de référence. Généralement les valeurs suivantes sont adoptées:

A- Tableau 1:

Differential Positioning Model	Differential Accuracy	Position
Coderanges only	2-5 m	
Smoothed Coderanges	1-3 m	
Coderanges and Carrier Phases	0.5-2 m	
Coderanges and Phases with Ambiguity resolution	1-3 cm (after ambiguity fixing)	

## B- Les modules de base de PHARAO .



### C-Résolution de l'ambiguïté de la phase porteuse On-the-fly:

Plusieurs algorithmes sont utilisés par PHARAO pour résoudre le problème de l'ambiguïté de phase. A l'exception de la méthode de résolution d'ambiguïté par positions fixes, Toutes les autres méthodes ont un point commun : Calculer le vecteur des entiers solution du système suivant:

$$\min(\hat{a}-a)' Q_0^{-1}(\hat{a}-a)$$

Avec :

$\hat{a}$  vecteur solution d'ambiguïté

$a$  vecteur entier ( $a \in \mathbb{Z}^n$ )

$Q_0$  matrice covariance provenant du filtre de Kalman.

Ces différents algorithmes sont :

#### C1-Résolution de l'ambiguïté par positions fixes

Les doubles différences des ambiguïtés entières sont calculées à partir des mesures de phases et par les deux positions connues des deux récepteurs, en utilisant la formule suivante:

$$\nabla \Delta N_{ij}'' = [\nabla \Delta \phi_{ij}'' - \frac{1}{\lambda} \nabla \Delta \rho_{ij}'']$$

Avec :

$\nabla \Delta N_{ij}''$  double différence d'ambiguïté entre satellite  $i$  et satellite  $j$

$\nabla \Delta \phi_{ij}''$  double différence de la mesure de „ phase entière”

$\nabla \Delta \rho_{ij}'$  double différence calculée de la distance entre récepteur et satellites

$\lambda$  longueur d'onde.

Dans le cas d'une simple différence, l'erreur d'horloge doit être déterminée avant. Ainsi, la simple différence des ambiguïtés est calculée par la formule suivante:

$$\Delta N_n'' = [\Delta \phi_n' - (\frac{1}{\lambda}) \Delta \rho_n']$$

#### C2-Résolution de l'ambiguïté par la méthode de Euler/Landau:

Euler et Landau ont développé une recherche d'ambiguïté à temps optimum, en utilisant la symétrie de la matrice covariance du filtre de Kalman. ( H.Landau, U.Vollah 1994).

Commençons par la linéarisation des équations d'observations pour la simple ou la double différence, et formant le système d'équation linéaire suivant:

$$z + v = Hx$$

avec :

$z$  vecteur des observations

$v$  vecteur des bruits

$x$  vecteur d'état du système

$H$  matrice modèle

et  $E(v) = 0$  et  $cov(z) = \sigma^2 R$ .

Une solution pour l'inconnue  $x$  peut être calculée par :

$$\hat{x} = N^{-1}c = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} z$$

avec

$$N^{-1} = (H^T R^{-1} H)^{-1}$$

et  $c = H^T R^{-1} z$ .

La somme des résidus peut être calculée par :

$$\Omega = (z - H\hat{x})^T R^{-1} (z - H\hat{x}) = z^T R^{-1} z + z^T R^{-1} H\hat{x}$$

et la condition de l'entier de l'ambiguïté de la phase porteuse peut être additionné comme contrainte au système d'équation :

$$Kx = \kappa$$

La solution de cette contrainte est obtenue par :

$$\hat{x}_1 = \hat{x} + N^{-1} K^T S_2 (\kappa - K\hat{x}) \quad (1)$$

où  $S_2 = (KN^{-1}K^T)^{-1}$ . ( Pour plus de détails voir Hatch et Euler 1994).

**C3-Résolution de l'ambiguïté par la méthode Lambda de Teunissen.**

## E-Le fichier navigation de PHARAO

Il a la structure suivante :

Sa:09:22:39.0	35.6487445	-0.55167224	1650	2.74E-07	1.6E-07	0.0616	-42.5	-94.7	-0.01	245.9	1.91
Sa:09:22:40.0	35.6483621	-0.5527187	1650	2.74E-07	1.6E-07	0.0616	-42.5	-94.7	0.13	245.9	1.91
Sa:09:22:41.0	35.6479794	-0.55376518	1651	2.74E-07	1.6E-07	0.0616	-42.5	-94.7	0.22	245.9	1.91
Sa:09:22:42.0	35.6475967	-0.55481162	1651	2.74E-07	1.6E-07	0.0616	-42.5	-94.7	0.26	245.9	1.91
Sa:09:22:43.0	35.647214	-0.55585812	1651	2.74E-07	1.6E-07	0.0616	-42.5	-94.7	0.21	245.9	1.91
Sa:09:22:44.0	35.6468312	-0.55690462	1651	2.74E-07	1.6E-07	0.0616	-42.5	-94.7	0.16	245.9	1.91
Sa:09:22:45.0	35.6464484	-0.55795121	1651	2.74E-07	1.6E-07	0.0616	-42.6	-94.7	0.13	245.9	1.91
Sa:09:22:46.0	35.6460656	-0.55899794	1651	2.74E-07	1.6E-07	0.0616	-42.5	-94.7	0.12	245.9	1.91

1ère colonne : le temps GPS jj:hh:mn: ss.s

2ème colonne: ll.lllllll Latitude géographique WGS 84 (°)

Considérons l'équation (1), le problème est de résoudre

$$(\kappa - Kx)^T S_2 (\kappa - Kx) \rightarrow \min \quad (2)$$

et le résultat peut s'écrire de la manière suivante:

$$(\kappa - Kx)^T S_2 (\kappa - Kx) \leq \chi^2$$

Cette formule représente un hyper-ellipsoïde à n-dimensions de n ambiguïtés entières .

(Teunissen 1994a).

Le choix de la méthode est laissé à l'utilisateur.

**D-L'élimination des effets de l'atmosphère:**

**D1-Troposphère:** Pour la correction de l'effet de la troposphère, PHARAO utilise le modèle modifié de Hopfield ( Goad, Goodman).

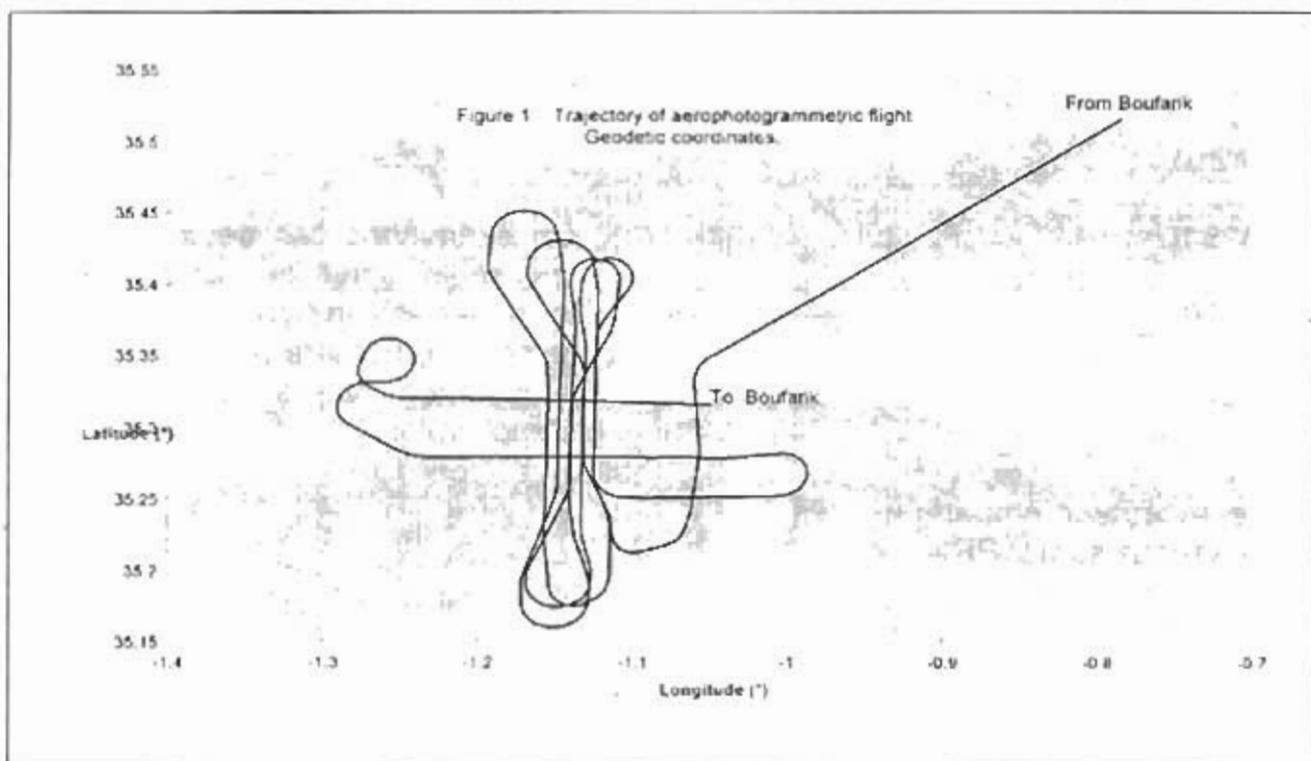
**D2-Inosphère:** le modèle de Klobuchar est utilisé ( H. Blomenhofer 1995b).

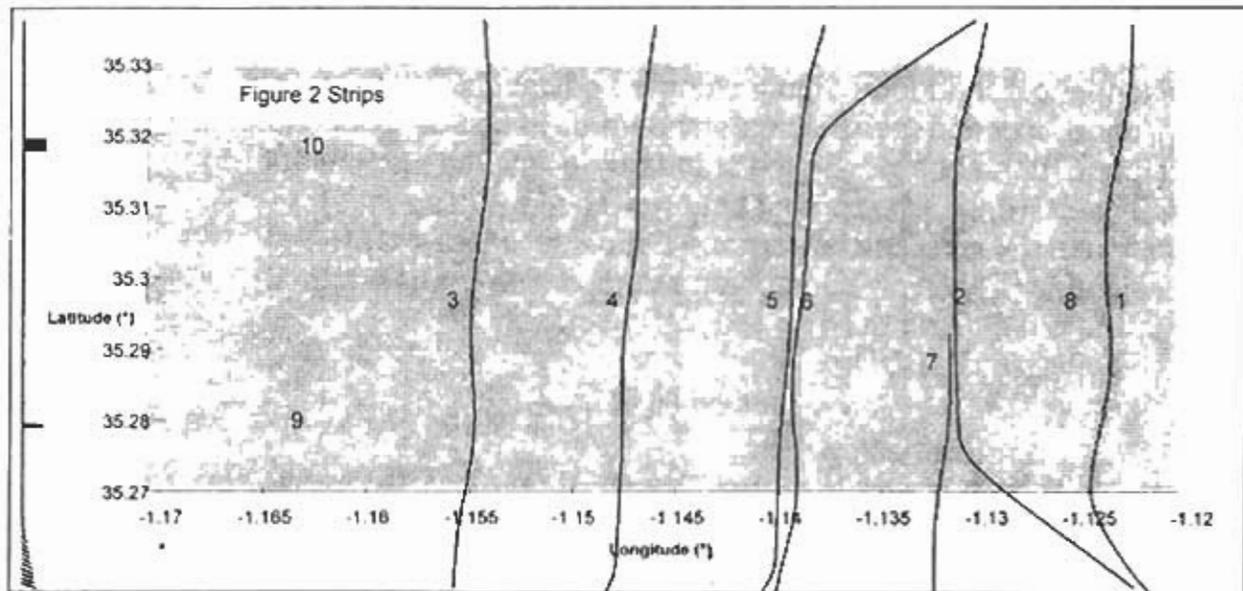
3ème colonne: ll.lllllll Longitude géographique WGS 84 (°)  
 4ème colonne: +(-) hhhhh.hh Hauteur au dessus de l'ellipsoïde WGS84 (m)  
 5ème colonne: d.ddddddd Sigma standard déviation de latitude géographique (°)  
 6ème colonne: e.eeeeeeeee Sigma standard déviation de la longitude géographique (°)  
 7ème colonne: hhhh.hhhh Sigma standard déviation de la hauteur (m)  
 8ème colonne: +(-)nnnn.nn composante Nord de la vitesse (m/s)  
 9ème colonne: +(-)eeee.ee composante Est de la vitesse (m/s)  
 10ème colonne: +(-)vvvv.vv composante Verticale de la vitesse (m/s)  
 11ème colonne: ttt.tt Azimut (°)  
 12ème colonne: d.ddd PDOP  
 13ème colonne: 0: valid flight, 1: Invalid flight

## 2-La restitution de la trajectoire de l'avion :

A partir du fichier PHARAO.nav ou TOPAS.pos on peut restituer la trajectoire du vol de l'avion depuis Boufarik - Ain Temouchent -Boufarik (figure 1). Comme la mission principale à un but photogrammétrique, on peut s'intéresser qu'à la partie Bandes ou Strips (figure 2).

N.B : Les numéros de 1 à 10 sur la figure 2 correspondent au passage chronologique de l'avion.





Le dépouillement du fichier File/point/information de TOPAS, permet de tirer les informations suivantes:

Pour le récepteur de référence : les satellites reçus sont : PRN #

5	515
6	4276
17	4276
22	3254
25	4276
28	4276

17	4269
22	4269
23	579
24	66
25	4269
28	4269

On examinons ces deux tableaux, les seuls satellites reçus durant toute la mission sont : 6,17,25,28. Ils sont au nombre de quatre : c'est le minimum requis pour ce genre d'application.

Pour le récepteur embarqué : les satellites reçus sont : PRN #

1	2026
3	2563
5	1961
6	4269

## Détermination des ambiguïtés

PRN	FRQ	AMBIGUITE	SIGMA
5	L1	-16842064.941	0.033
6	L1	1411392.362	0.011
17	L1	11363944.168	0.014
25	L1	11759242.029	0.009

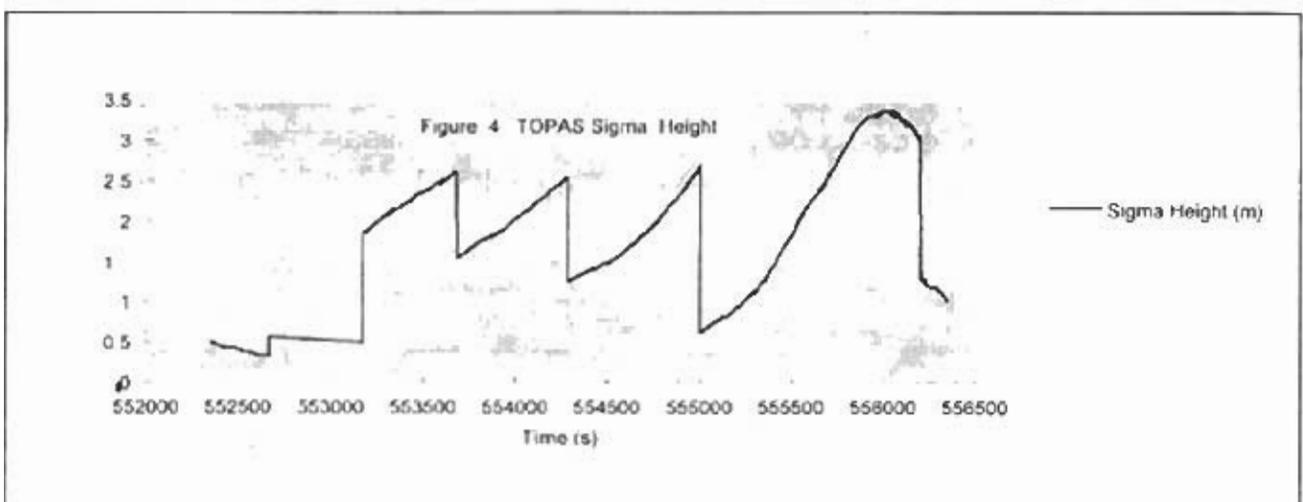
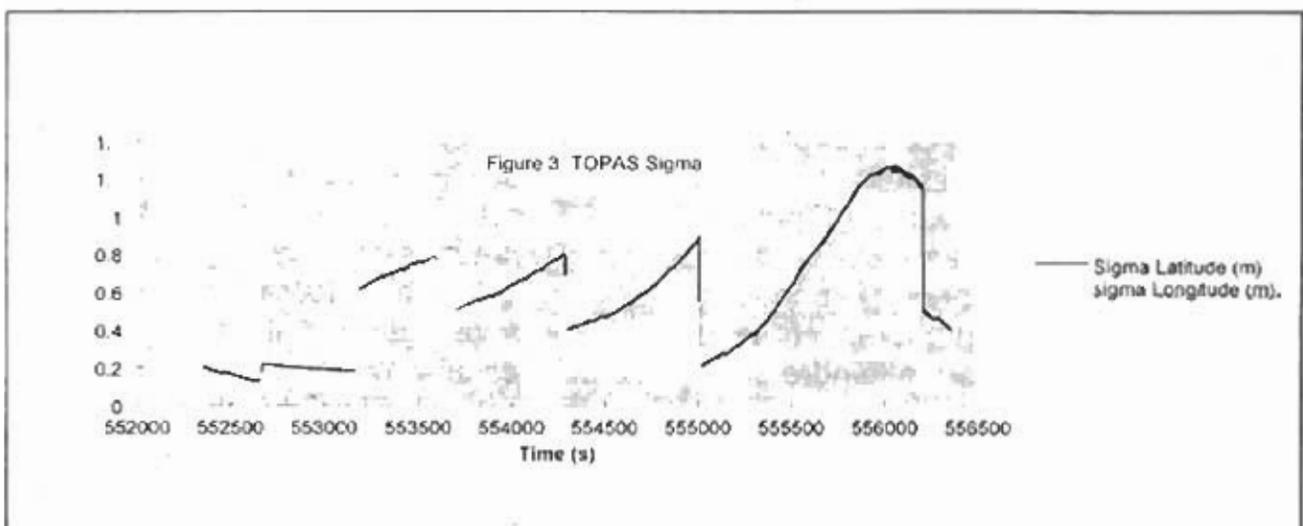
### 3-Analyse des résultats

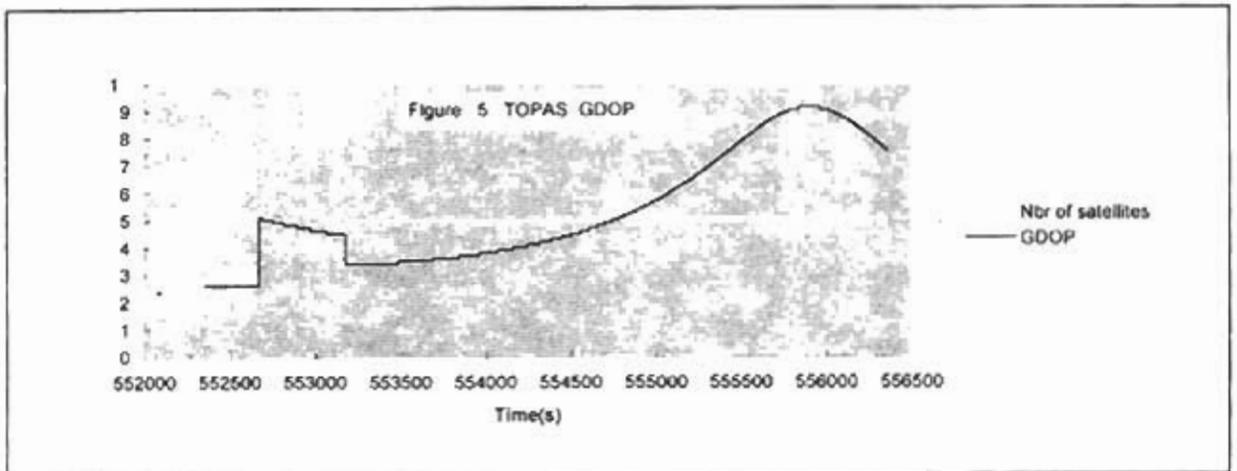
#### 3-1 Précision de TOPAS

Les figures 3, 4, illustrent la précision Sigma des coordonnées géodésiques  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  calculées par TOPAS.

Sigma varie entre 0.1 et 1.2 m (pour  $\varphi, \lambda$ ), durant 1h 11mn d'enregistrement. A noter que entre

l'époque 552000 et l'époque 555000, la précision varie entre 0.4 et 0.9 m, en forme de dents de scie, ce qui peut être expliqué par la détérioration des données du message de navigation de temps en temps (éphémérides d'orbites), et aussi l'influence de la précision de la fixation de l'ambiguïté par l'algorithme utilisé.



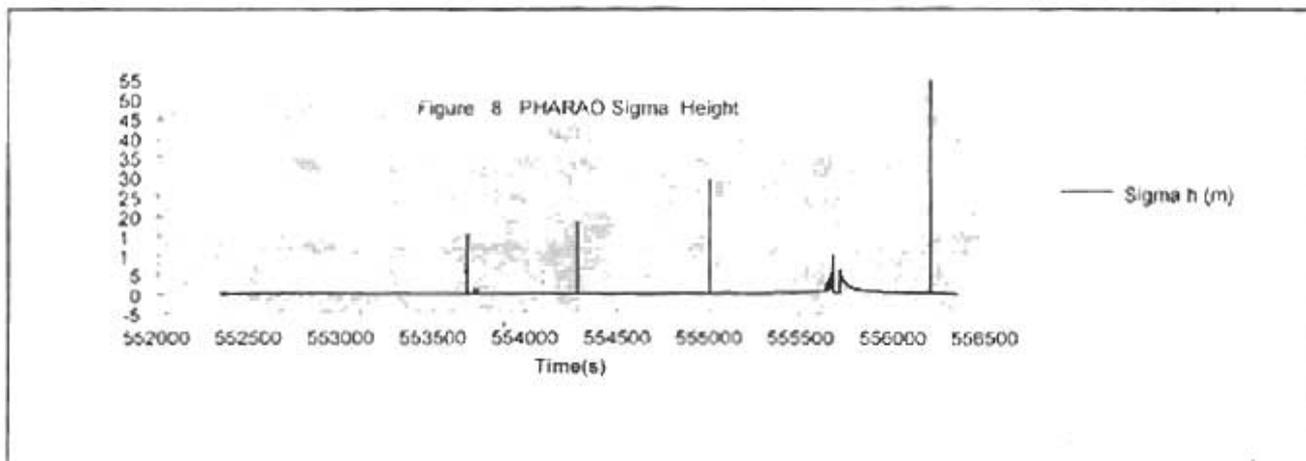
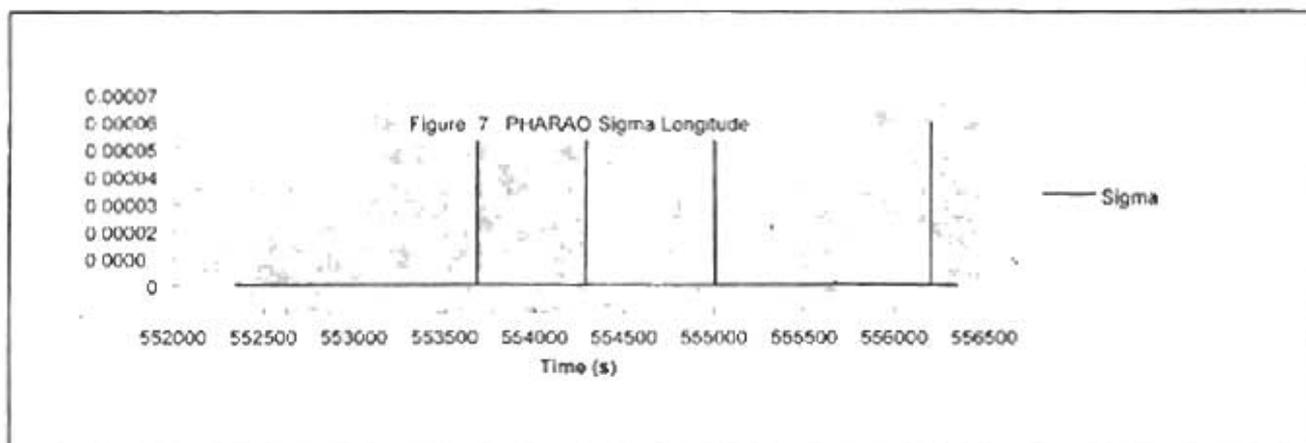
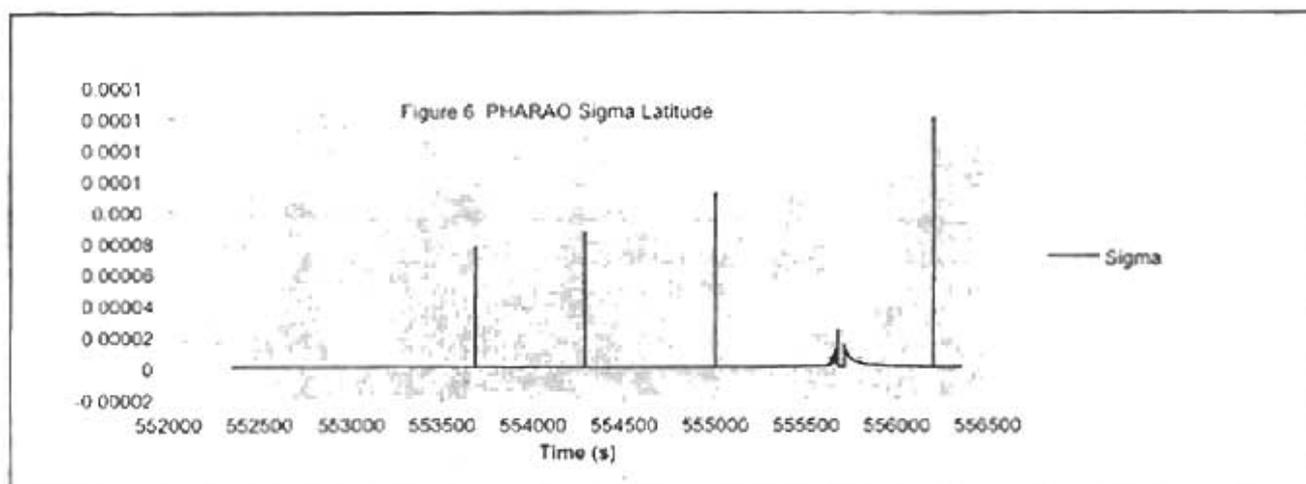


Après l'époque 555000, Sigma augmente nettement pour atteindre 1.2 m pour la latitude, et 3.2 m pour la hauteur. Ceci est due au mauvaise configuration géographique des satellites qui interviennent dans le calcul ( Figure 5). Quand le GDOP se stabilise de nouveau, c.à.d après l'époque 556000, la précision Sigma chute considérablement pour atteindre sa valeur minimale.

Remarque: la haute corrélation entre les différentes Sigma des composantes; signifie que les erreurs d'orbites, et les termes d'horloges, se propagent de la même manière dans le calcul de la position.

### 3.2-Précision de PHARAO

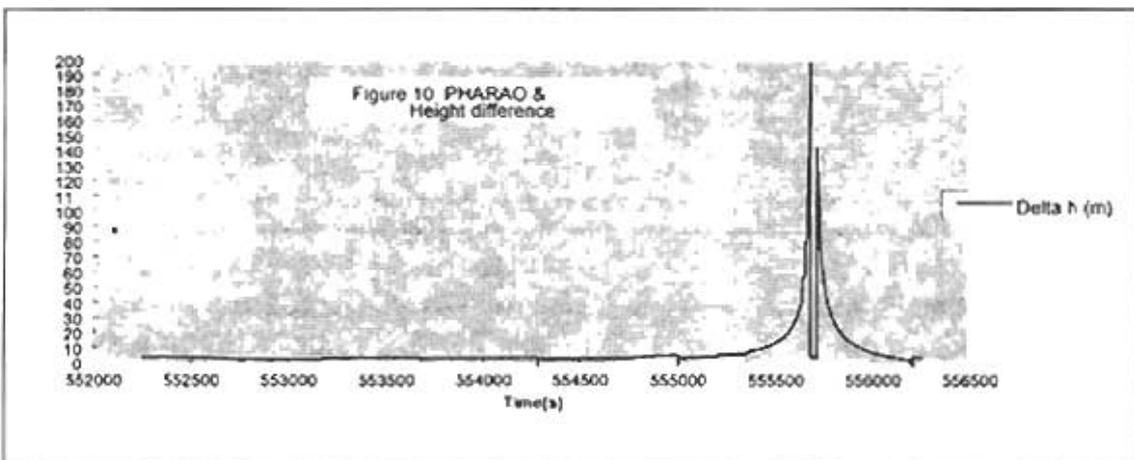
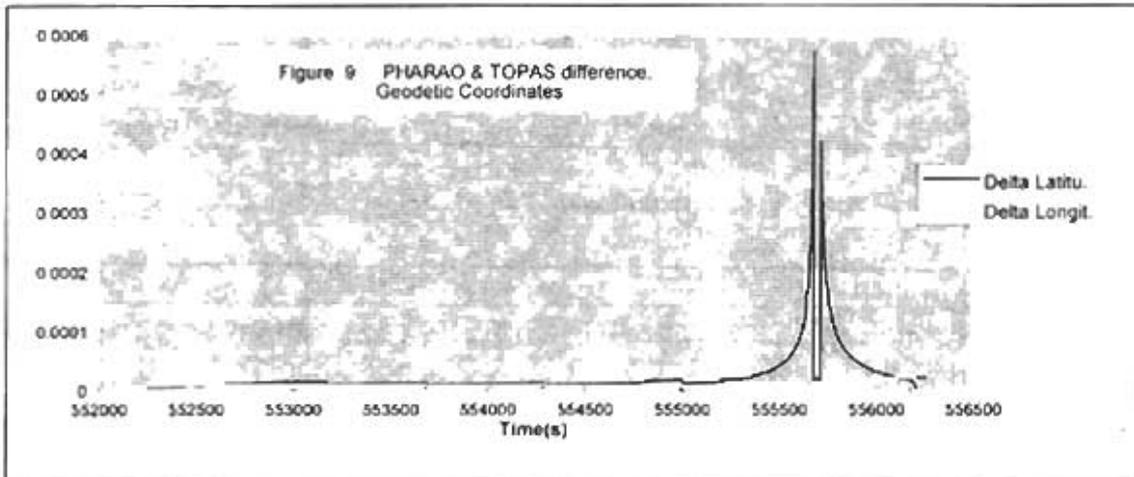
La précision de PHARAO est nettement meilleure que celle obtenue par TOPAS.(Figures 6, 7, 8). Les quatre "bâtons" d'une durée de 1s chacun qui correspondent aux mêmes moments de la détérioration de Sigma TOPAS et qu'on a volontairement voulu les faire figurer, ( Ils sont mentionnés comme moments invalides dans le fichier PHARAO.nav ) afin de montrer la puissance des algorithmes utilisés par PHARAO pour la fixation de l'ambiguïté On-The-Fly, l'utilisation des modèles de Klobuchar (ionosphère), modèle de Hopfield (troposphère), et le lissage de la solution par filtrage (filtre de Kalman).

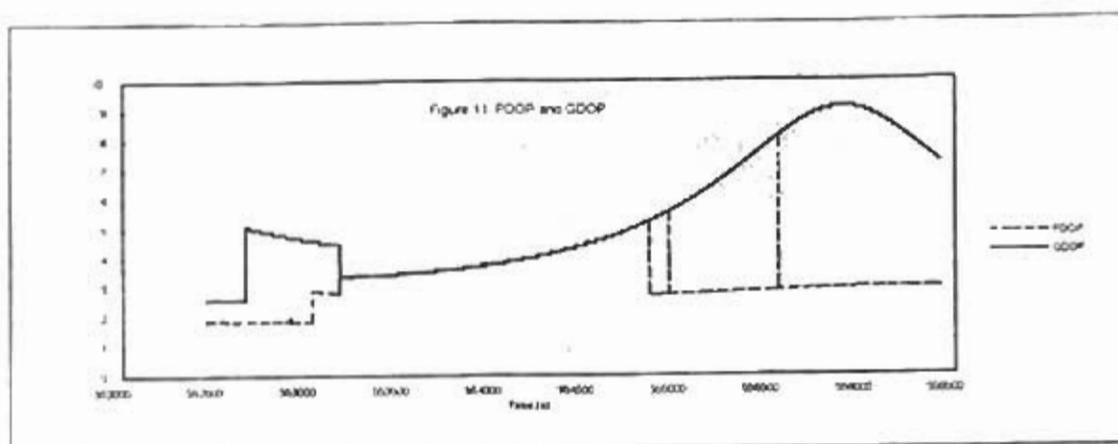


#### 4. Comparaison des résultats des deux logiciels

Les deux figures 9,10 représentent les écarts en position entre TOPAS et PHARAO.

Entre  $t = 555250$  s et  $t = 556000$  s, le GDOP (Figure 11) devient important (il atteint la valeur 9.09), ce qui explique clairement la mauvaise qualité des écarts entre coordonnées à ce moment.





Heureusement, cette détérioration du GDOP est survenue vers la fin de la mission (après la prise de vue). Donc, si on s'intéresse uniquement à la période "bandes". Figure 2, où la précision de positionnement Sigma est de 0.03m (calculée par la double différence des pseudo-distances observées sur les 5 satellites 6, 17, 22, 25, 28), cette détérioration de la configuration géométrique des satellites n'est pas trop gênante.

### 5. Conclusion du test d'aérophotogrammétrie:

La restitution de la trajectoire de l'appareil à partir des positions interpolées de l'antenne à bord a été sans difficultés du moment que les deux récepteurs enregistrent les données de plus de quatre satellites, avec un GDOP favorable pour la grande partie du temps du test. Donc ce genre d'application peut être utile pour le besoin de positionnement et un aide à la navigation sur un rayon de 500 km de la station de référence. Seulement pour le besoin de l'aérophotogrammétrie qui exige beaucoup plus de précision, le problème majeur rencontré est la fixation de l'ambiguïté qui requiert des données de bonne qualité est un traitement adéquat.

Par exemple, un traitement par ligne (bande) est conseillé (figure 2): les moments critiques lors des manœuvres de tournant de l'appareil pour entamer la bande suivante sont éliminés. Car à ce moment, les effets de la turbulence atmosphérique à cause du changement d'altitude, les interférences entre les différents systèmes électroniques à bord, variations des éléments d'orientation de l'avion, accélération variable, et les sauts de cycles sont fréquents et importants et doivent être éliminés. Leur présence nécessite une introduction de nouvelles inconnues (comme bruits) dans le système de résolution, mais certains sont modélisables, d'autres ne le sont pas et par conséquent ils dégradent la précision du positionnement des centres de projection du caméra.

### Références :

- [1] Marc Cocard, 1995  
High Precision GPS Processing in Kinematic Mode.
- [2] Dariusz Laputa, 1996  
GPS/INS Trajectory Determination for Highway Surveying.
- [3] H. Abdellaoui, 1997  
Positionnement et Localisation par GPS en temps réel.