



# Développement d'une nouvelle méthode de traitement des observations GPS: ORGANIGRAMME DU LOGICIEL IAVGPS

T.Tachallaït, E. Bénéaïm et L. Bahi

I.A.V. Hassan II  
Filère de Formation en  
Topographie

1

## Plan de l'exposé

- Introduction, objectifs
- Approche bibliographique
  - Introduction
  - Méthode différentielle
  - Problèmes de la méthode différentielle
  - Méthode des observables transformés
  - Avantages de la méthode des observables transformés
- Réalisation de l'application IAVGPS
  - Organigramme
- Validation de l'application

I.A.V. Hassan II  
Filère de Formation en  
Topographie

2

## Introduction

Le traitement à l'aide des méthodes différentielles présente des exigences et des contraintes pour l'utilisateur :

- Dans l'étape de collecte des observations
- Dans l'étape de traitement

Développement de la méthode des observables transformés permettant le traitement des observations GPS tout en parant aux problèmes de la méthode différentielle.

I.A.V. Hassan II  
Filère de Formation en  
Topographie

3

## Objectifs

- **Présentation sommaire du système GPS, du fondement théorique des méthodes différentielles et de la méthode des observables transformés**
- **Développer à partir des sources FORTRAN une application sous Windows permettant le traitement des observations GPS en utilisant la méthode des observables transformés**
- **Validation de l'application réalisée**

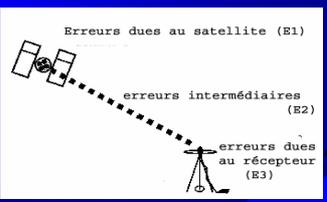
I.A.V. Hassan II  
Filère de Formation en  
Topographie

4

## Approche Bibliographique (Introduction)

### Les différentes erreurs affectant les observations GPS

Les erreurs systématiques entachant les observations GPS limitent la précision de positionnement par GPS



Chaque méthode de traitement doit procéder d'abord à l'élimination de ces erreurs systématiques

I.A.V. Hassan II  
Filère de Formation en  
Topographie

5

## Approche Bibliographique (méthode différentielle)

### Introduction

Elimination des erreurs systématiques par des combinaisons linéaires des observations

observations brutes  $\xrightarrow[\text{linéaires}]{\text{combinaisons}}$  nouveaux observables

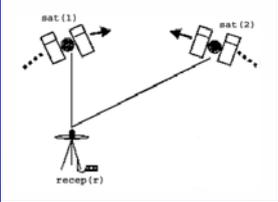
I.A.V. Hassan II  
Filère de Formation en  
Topographie

6

Approche Bibliographique (méthode différentielle)

### Différence simple entre satellites

Combinaison des observations provenant de deux satellites à partir du même récepteur



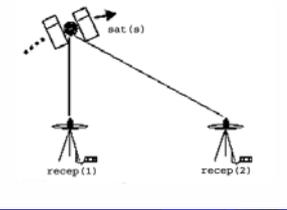
Observable exempt de l'erreur d'horloge du récepteur

I. A. V. Hassan II  
Filère de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (méthode différentielle)

### Différence simple entre récepteurs

Combinaison des observations faites sur le même satellite à partir de deux récepteurs



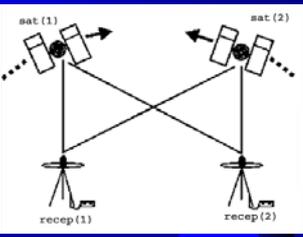
Observable exempt de l'erreur d'horloge du satellite

I. A. V. Hassan II  
Filère de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (méthode différentielle)

### Différence double entre deux récepteurs et deux satellites

Combinaison des différences simples



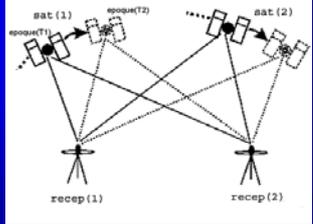
observable exempt des erreurs d'horloges des récepteurs et des satellites

I. A. V. Hassan II  
Filère de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (méthode différentielle)

### Différence triple

Combinaison des différences doubles



Observable exempt des erreurs d'horloges et de l'ambiguïté de phase

I. A. V. Hassan II  
Filère de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (méthode différentielle)

### Résumé

L'observable généré à partir des différences triples est exempt:

- Des erreurs systématiques
- Du paramètre de l'ambiguïté de phase
- Des éventuels sauts de cycles

Les équations d'observations peuvent être formées à partir de cet observable

I. A. V. Hassan II  
Filère de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (problèmes de la méthode différentielle)

### Conséquences des combinaisons linéaires des observations

- Rejet de bonnes observations:** les groupes d'observations qui ne peuvent pas entrer dans des combinaisons avec d'autres groupes à cause de la simultanéité seront rejetés.
- Corrélation entre les stations :** la formation des différences génère des observables qui ne sont pas réellement mesurés.

I. A. V. Hassan II  
Filère de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (problèmes de la méthode différentielle)

### Conséquences des combinaisons linéaires des observations (suite)

- **Diminution des équations d'observations à traiter:** 2 récepteurs bi-fréquences qui observent 4 satellites simultanément (100 époques).
  - 1600 observations brutes
  - 600 différences triples
- **Réduction partielle des erreurs systématiques:** (erreur troposphérique et ionosphérique)

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (problèmes de la méthode différentielle)

### Conséquences des combinaisons linéaires des observations (suite)

- **Exigences en moyens:**
  - Au moins deux récepteurs qui observent en même temps
  - Calcul fastidieux puisque les combinaisons des observations augmentent le nombre de paramètres à déterminer dans les équations des observations

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (méthode des observables transformés)

### Introduction

- La méthode des observables transformés repose sur l'exploitation des propriétés d'une matrice particulière  $U_0$  (matrice idempotente).
- L'application de la matrice  $U_0$  au modèle mathématique d'observation élimine les paramètres à coefficients constants.

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (méthode des observables transformés)

### Forme et caractéristiques de la matrice $U_0$

- La matrice  $U_0$  est d'ordre  $n$  et admet comme forme générale

$$U_0 = \frac{1}{n} \begin{vmatrix} n-1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & n-1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & -1 & n-1 & \dots & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & -1 & -1 & \dots & n-1 \end{vmatrix}$$

- $U_0 * E = 0$  avec  $E^T = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1]$
- $U_0 * U_0 = U_0$
- $U_0 = U_0^T$

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (méthode des observables transformés)

### Application au modèle mathématique de compensation

Dans le cas du système GPS chaque observation peut être écrite sous la forme :

$$\hat{L} = F(\hat{X})$$

Sous forme linéarisée on peut écrire :

$$A \hat{X} = \hat{V} + W$$

L'application de la matrice idempotente au modèle mathématique de compensation revient à multiplier l'équation précédente de part et d'autre par la matrice  $U_0$

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

Approche Bibliographique (méthode des observables transformés)

### Elimination des erreurs systématiques à coefficients constants:

- Le modèle mathématique s'écrit en séparant la matrice  $A$  en sous matrices ( $A_1, A_2$ ) des coefficients constants et non constants :

$$A_1 \hat{X}_1 + A_2 \hat{X}_2 = \hat{V} + W$$

- En appliquant la matrice idempotente  $U_0$  au modèle précédent on obtient :

$$U_0 A_2 \hat{X}_2 = U_0 (\hat{V} + W)$$

- Elimination des paramètres à coefficients constants

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

### Approche Bibliographique (méthode des observables transformés)

#### Application de $U_0$ aux observations GPS (ex: phases)

Le modèle mathématique des observations de phases s'écrit :

$$\Phi = [\rho] + [\varepsilon] + \lambda \mathbf{E} \mathbf{N}$$

En appliquant la matrice idempotente on obtient :

$$\tilde{\Phi} = U_0 \Phi$$

- Elimination des erreurs systématiques à caractère constant
- Elimination de l'ambiguïté de phase

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

### Approche Bibliographique (avantages de la méthode des observables transformés)

#### Conséquences de l'application de la matrice $U_0$

- Réduction des erreurs systématiques à caractère constant: l'application de la matrice  $U_0$  permet de réduire les erreurs systématiques à caractère constant
- Utilisation de l'ensemble des observations: aucune négligence d'une partie des observations à cause de la simultanéité
- Absence de corrélations géométriques entre les stations

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

### Approche Bibliographique (avantages de la méthode des observables transformés)

#### Conséquences de l'application de la matrice $U_0$ (suite)

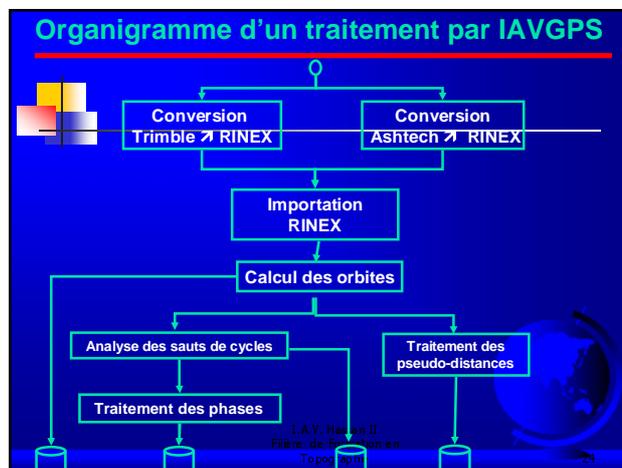
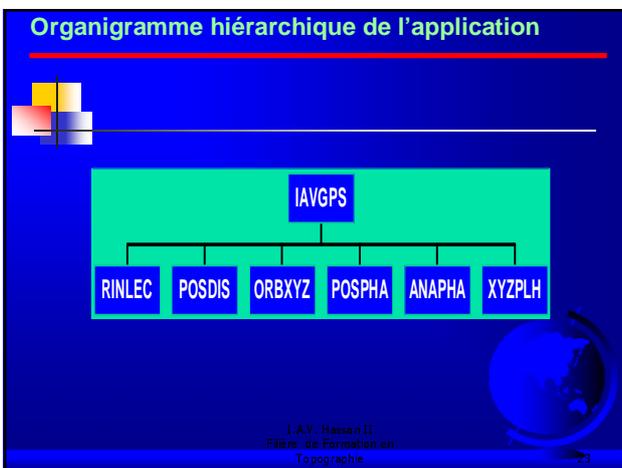
- Procédure simple d'identification des sauts de cycles: la méthode permet d'identifier facilement les sauts de cycles
- Exigences modestes en moyens:
  - Les matrices à traiter sont de tailles minimales
  - Possibilité de traitement des données provenant d'un seul récepteur

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie

### Réalisation de l'application IAVGPS

- Sources FORTRAN
- Adaptées à Windows
- Formation des modules par assemblage des routines
- Adaptation à Rinex
- Établissement des organigrammes

I.A.V. Hassan II  
Filière de Formation en Topographie



## Validation de l'application



- Observation d'un réseau à l'IAV
- Traitement des données par WinPrism et IAVGPS
- Pas de résultats disponibles



I. A. V. Hassan II  
Filère de Formation en  
Topographie

25



Merci pour votre attention

I. A. V. Hassan II  
Filère de Formation en  
Topographie

26