

1470 2518

Ajustement combiné du géoïde en prenant différentes réalisations par les pays voisins

Z. Jiang¹, C.C. Tscherning² et C. Poitevin³

- 1: Institut Géographique National, France
- 2: Université de Copenhague, Danemark
- 3: Observatoire Royal de Belgique, Belgique

Présenté aux Journées de Recherche de l'IGN, Le 19 ~ 20 Mars, 1996
ENSG/LAREG/IGN, St-Mandé, 94160, France

◆ Coopération entre trois institutions

- LAREG/ENSG/IGN, France (**Compensation combinée**, logiciel **PiLi**)
- Université de Copenhague, Danemark (**Collocation**, logiciel **GravSoft**)
- Observatoire Royal de Belgique (Essais : géoïde Belgique-Luxembourg)

◆ Table des Matières

Introduction

Rappel des méthodes d'ajustement

Compensation combinée

Collocation

Essais numériques

Résultats

Précision des géoïdes ajustés

Erreur interne (erreur des moindres carrés)

Erreur externe (sur les points de contrôle du GPS/Niv.)

Précision relative

- ◆ Il n'y a qu' un seul géoïde, mais ...

LE GEOÏDE ET SES NOMBREUSES VERSIONS

CAMEMBERTRIE

LANGRESRUYERE ROQUEFORT

TOMME DE SAVOIE

COMTE

EPOISSES

CAVANTAL

SAINT NECTAIRE

CANCOILLOT COURME D'AMBERT

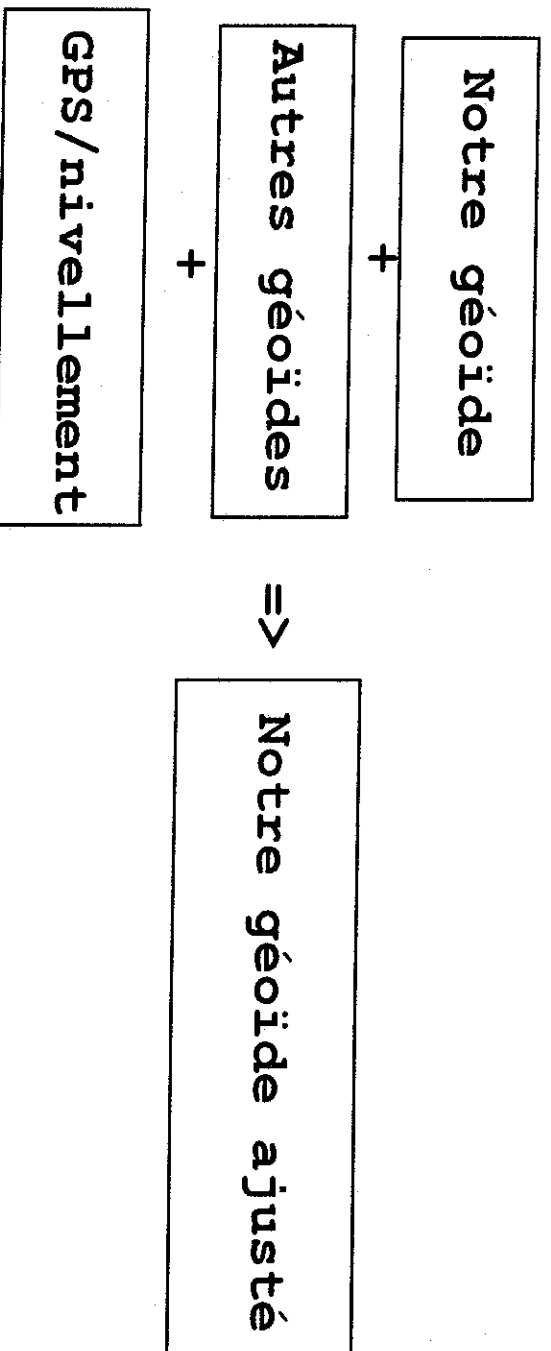
COULOMMIERS

Les raisons des différentes réalisations du géoïde

les diverses raisons	ordre des écarts	transformation analytique
références d'altitude des différents pays	1 ~ 2 m	OUI
définition: orthométrique/normal (géoïde/quasi-géoïde)	0 ~ 1 m	OUI
théories: Molokinski/Stokes	0 ~ ? cm	OUI ?
méthodes du calcul: intégrale de Stokes, FFT, collocation ect.	1 dm	NON
sources des données, précisions et résolutions: gravité, MNT, altimétrie, GPS/nivellement	1 dm	NON
logiciels différents et erreurs de calcul	1 ~ 5 cm	NON

Ajustement du géoïde en prenant différentes réalisations

◆ ⇒ La question posée:



Autres géoïdes=ensemble des géoïdes des pays voisins, internationaux et des données d'altimétrie etc.

◆ ⇒ Ajustement:

- *Eliminer les écarts entre les différentes réalisations*
- *La quantité de données lointaines est réduite grâce aux informations apportées dans les géoïdes des pays voisins*
- *Les erreurs du modèle géopotential et des déformations locales peuvent être largement éliminées grâce aux points GPS nivelés*
- *L'estimation d'erreur est possible*
- *Le géoïde ajusté peut être utilisé pour les travaux du nivellement par GPS*

◆ Les méthodes:

Compensation combinée avec le logiciel PILi

Collocation avec le logiciel GravSoft

◆ Compensation combiné et trois types des erreurs

Systématisme global:

$$T(F, \varphi, \lambda) = \delta \zeta^{Per.} + \delta \zeta^{sim.} + \delta \zeta^{pol.}$$

Série périodique:

$$\delta \zeta^{Per.} = \sum_{n=1}^P [x_{n,b} \cos(\omega_n \varphi) + y_{n,b} \sin(\omega_n \varphi) + x_{n,l} \cos(\omega_n \lambda) + y_{n,l} \sin(\omega_n \lambda)]$$

Similitude:

$$\delta \zeta^{sim.} = \cos \varphi \cos \lambda \Delta X + \cos \varphi \sin \lambda \Delta Y + \sin \varphi \Delta Z + k \times r - \Delta a + a \Delta f \sin^2 \varphi$$

Polynôme:

$$\delta \zeta^{Pol.} = \sum_{p,q} Q_{p,q} (\varphi - \varphi_0)^p (\lambda - \lambda_0)^q \cos^q \varphi, \quad p, q = 0, 1, 2, \dots$$

Déformation locale:

$$t(f) = t(\varphi, \lambda) = \Delta \zeta_0 + a(\varphi - \varphi_0) + b \cos \varphi_0 (\lambda - \lambda_0)$$

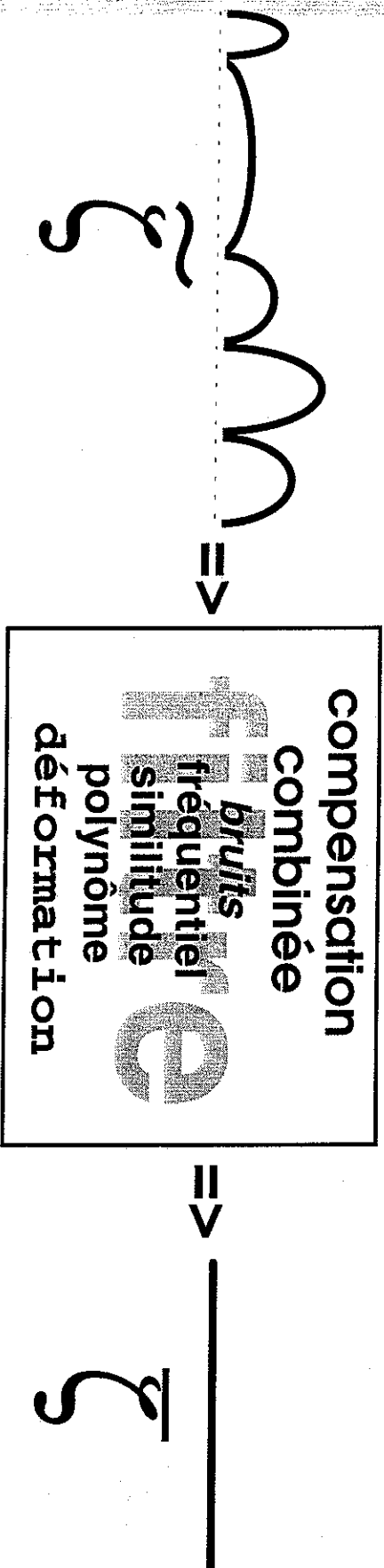
Erreurs aléatoires

Les hauteurs du géoïde sont considérées comme les pseudo-observations: avec celles déduites du géoïde gravimétrique, on établit l'équation relative et avec celles déduites du GPS/nivellement on établit l'équation d'observation absolue, avec P le poids:

$$\text{Equation relative: } P_{ij}^g: V_{ij} = \zeta_j - \zeta_i - \Delta \zeta_{ij}^g + \Delta T(F) + \Delta t(f)$$

$$\text{Equation absolue: } P_k^{GPS}: V_k = \zeta_k^g - \zeta_k^{GPS} + T(F)$$

La boîte de la compensation combinée



Avantage: modéliser toutes les erreurs systématiques et rapidité du calcul

désavantage: un seul type d'observation

◆ Collocation

$$\tilde{s} = \tilde{C}_{sx} \left(\tilde{C}_{xx} + \tilde{D}_x \right)^{-1} \tilde{x}$$

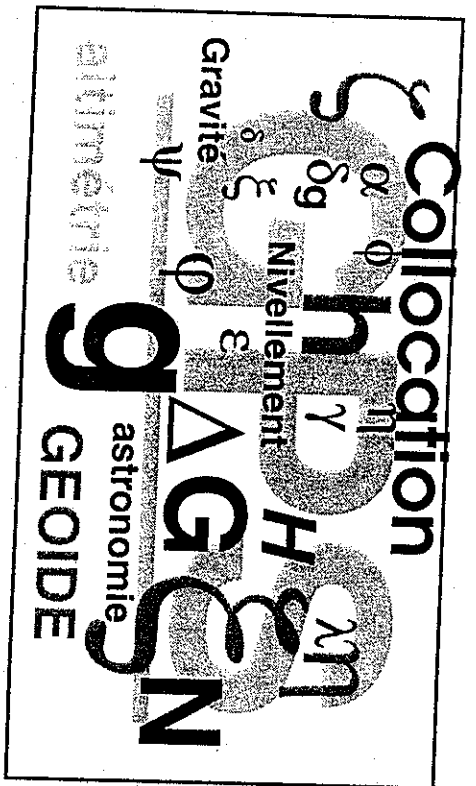
\tilde{s} = les signaux de pesanteur à prédire

\tilde{x} = les quantités d'observation

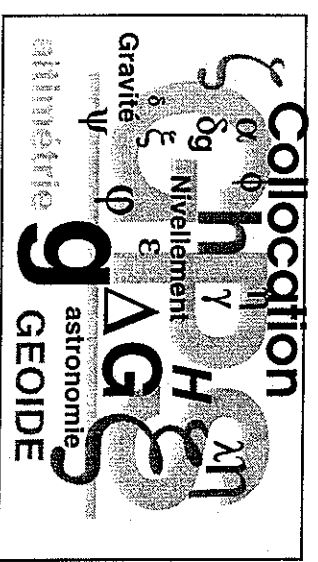
$\tilde{C}_{sx}, \tilde{C}_{xx}, \tilde{C}_{ss}$ = la cross- et de l'auto-covariance des signaux prédits \tilde{s} et des observations \tilde{x}

\tilde{D}_x = la covariance des erreurs d'observations \tilde{x}

La boîte de la collocation

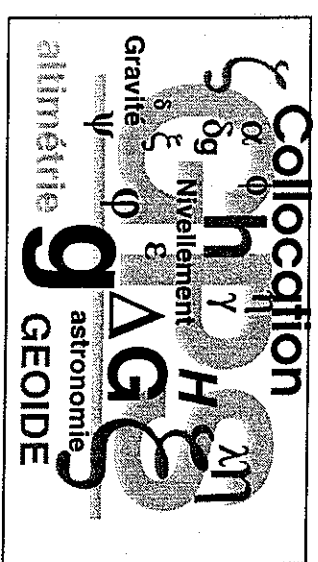


(autres géoïdes) $\zeta \Rightarrow >$



$\Rightarrow > \Delta g$

$\Delta g^+ \Rightarrow >$



$\Rightarrow > \zeta$
(notre géoïde)

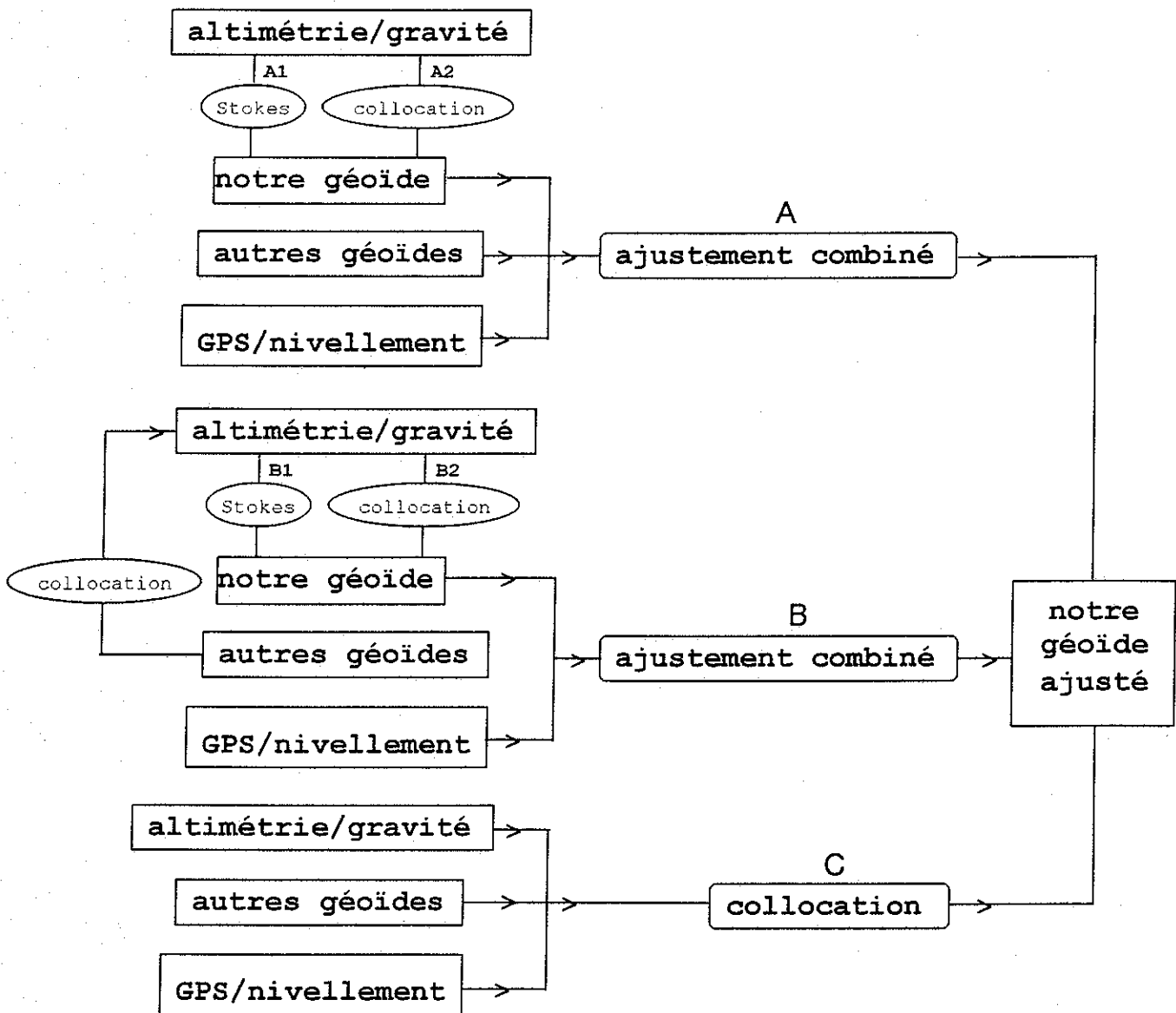
avantage: obtenir tous genres de quantités de champ de pesanteur

désavantage: consommation du temps pour obtenir la boîte de la collocation
(variance-covariance matrice)

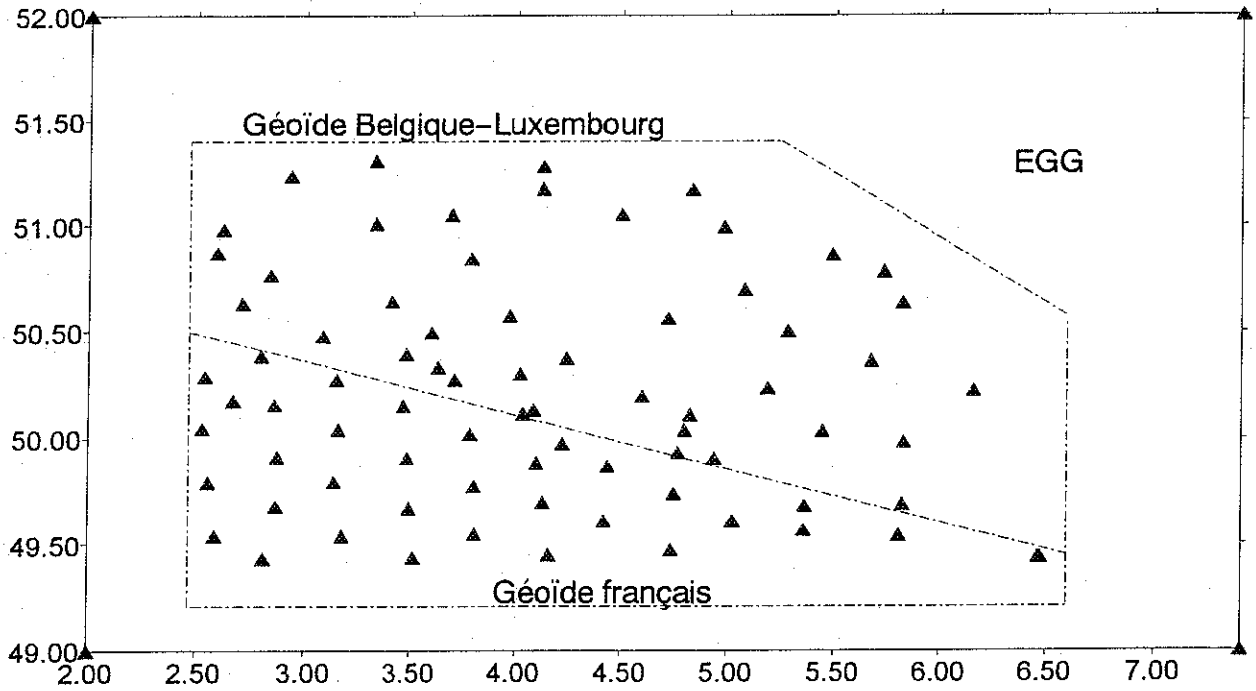
Configuration des observations et des méthodes d'ajustement

méthode	observations indépendantes de l'ajustement
A) ajustement combiné	1) "notre géoïde", 2) autres géoïdes, 3) GPS/nivellement
B) ajustement combiné	1) "notre géoïde", 2) GPS/nivellement note: autres géoïdes transformés en données gravimétriques
C) collocation	1) altimétrie, 2) gravité, 3) autres géoïdes, 4) GPS/nivellement

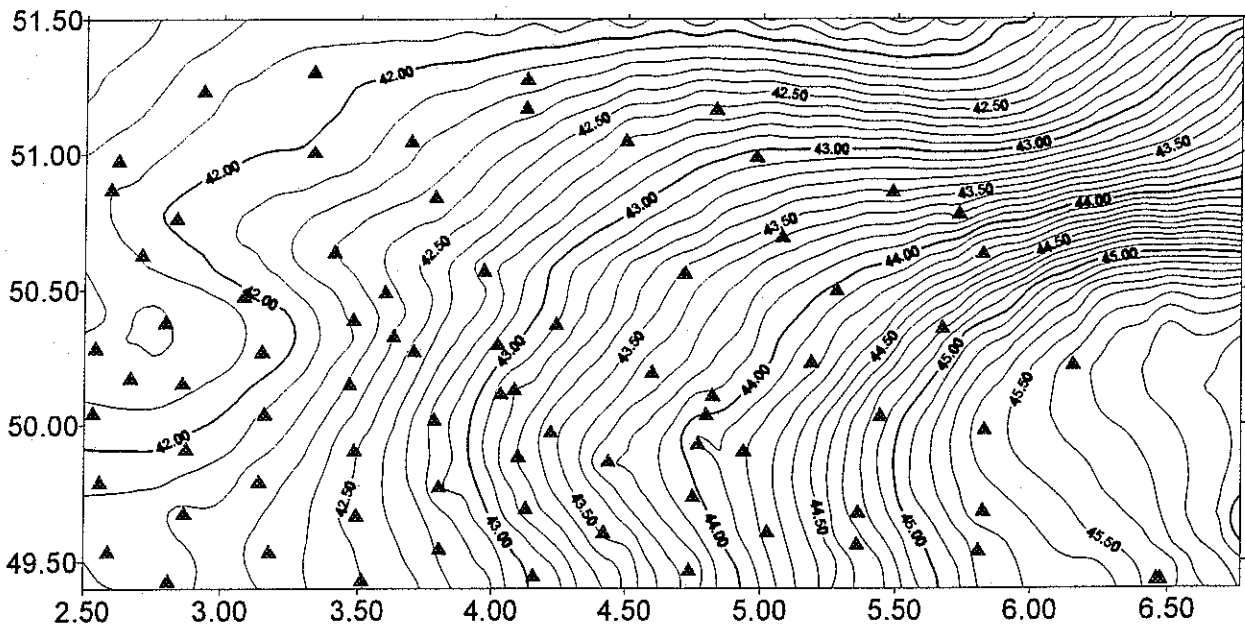
Configuration des observations et des méthodes d'ajustement



Essais numériques

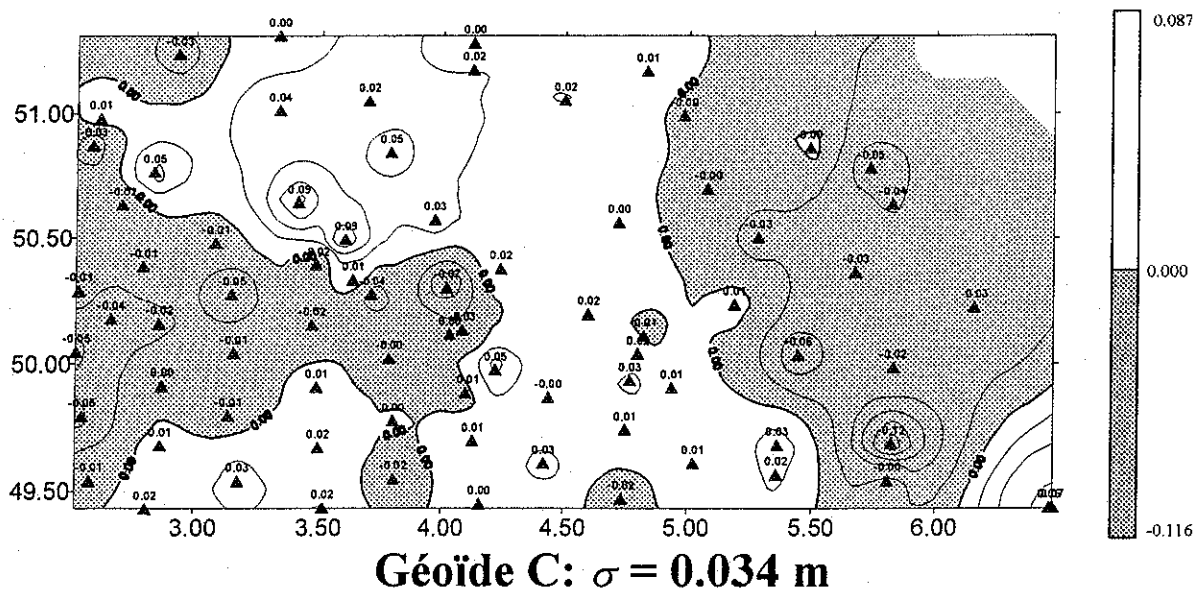
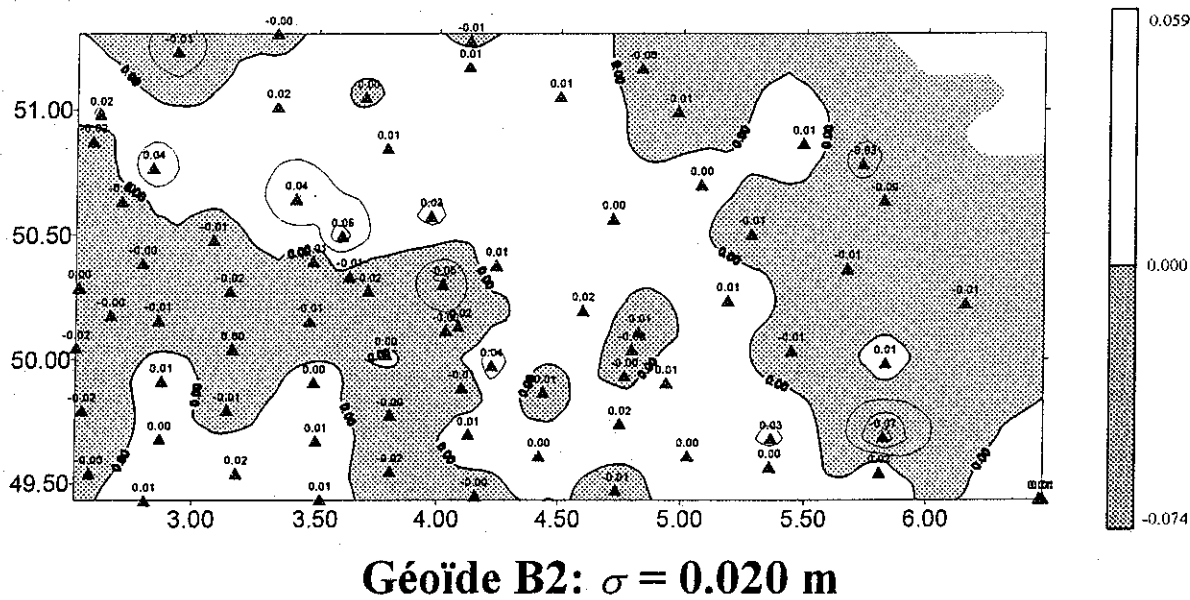
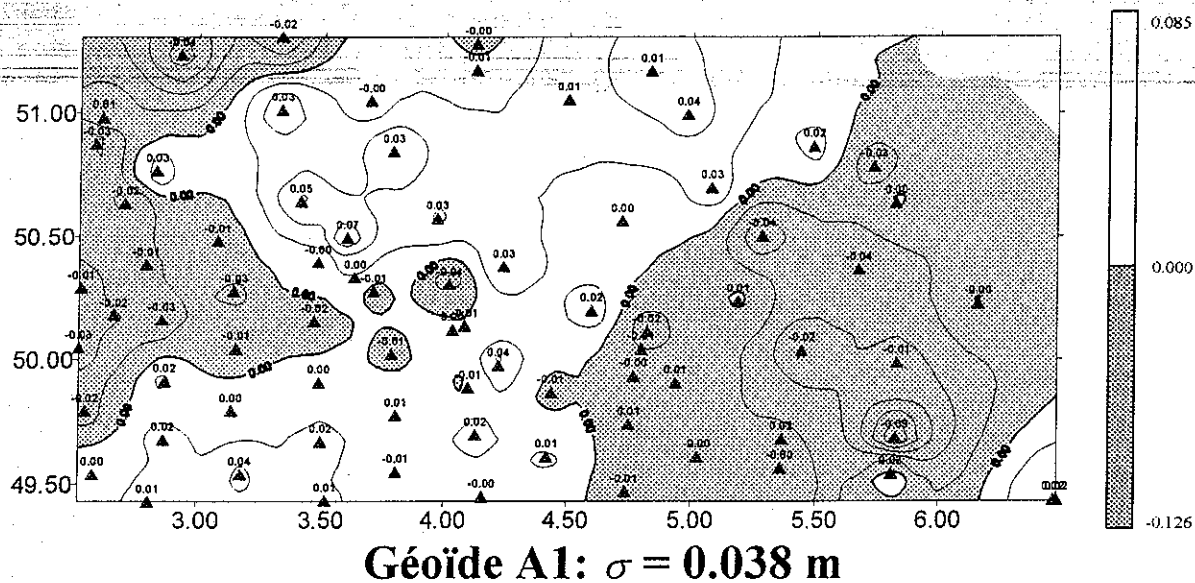


Les trois géοides connus et les 77 points GPS nivelés disponibles



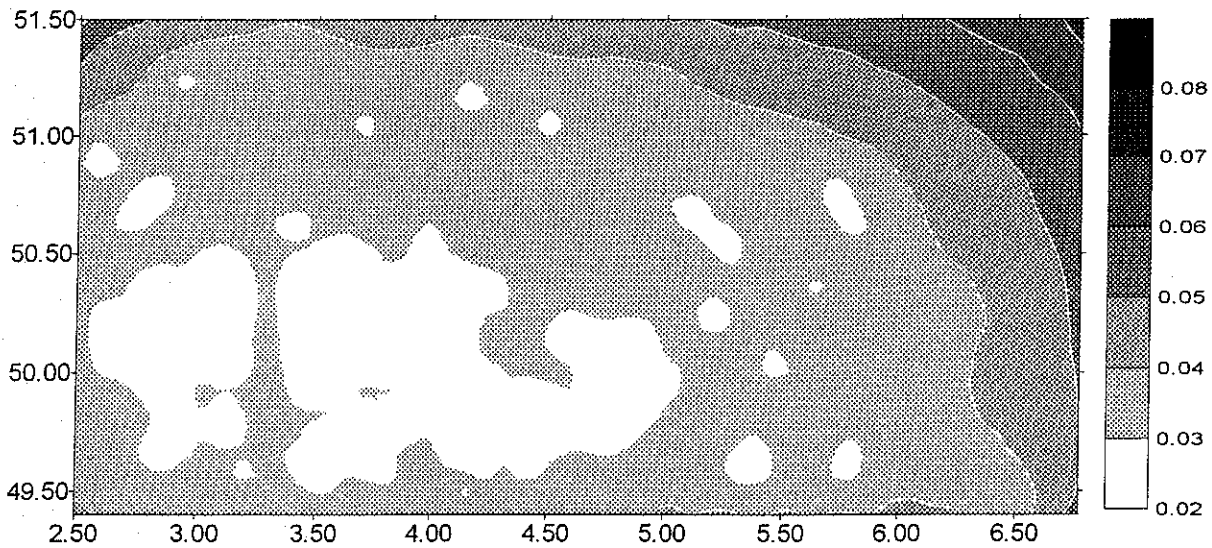
**Géοide B2: quasi-géοide gravimétrique
ajusté aux 77 points GPS nivelés par l'ajustement combiné (m)**

Résidus des géoïdes calculés (m, 77 points GPS nivelés)

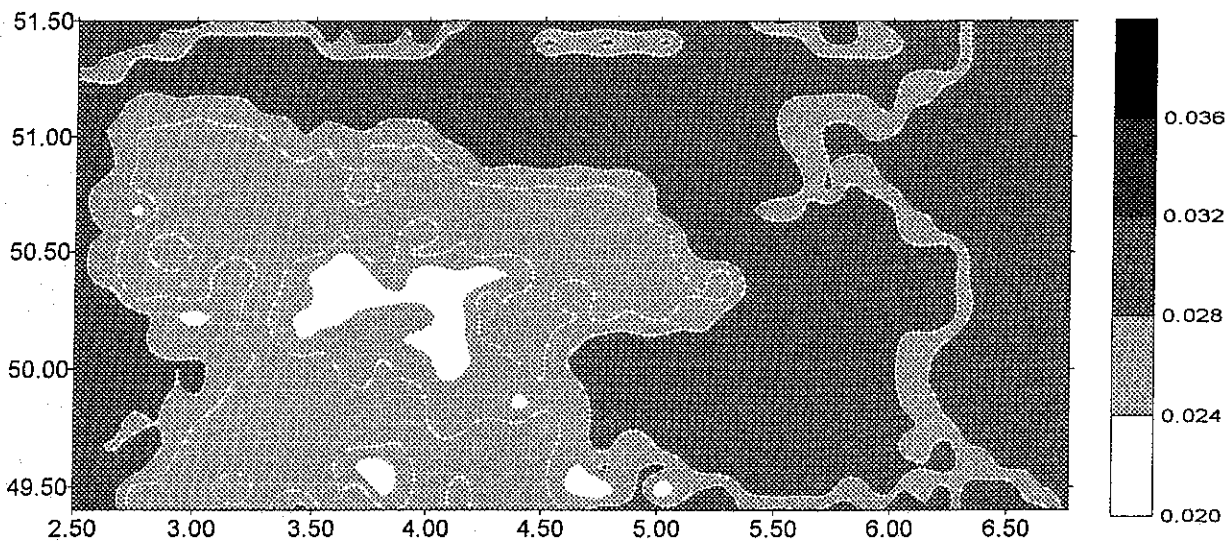


Précisions des géoïdes ajustés

◆ Erreur interne (erreur des moindres carrés)

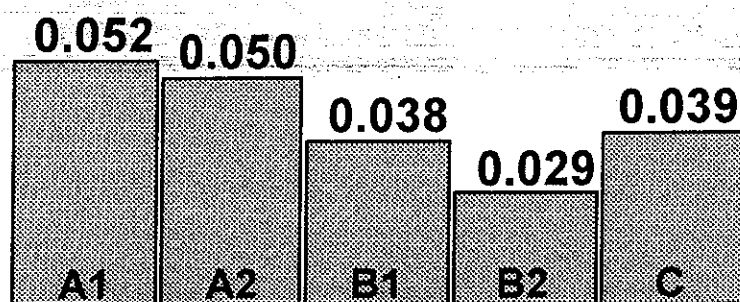


Géoïde B2: erreurs des moindres carrés de l'ajustement combiné



Géoïde C: erreurs des moindres carrés de la collocation

◆ Erreur externe (39 points de contrôle du GPS/niv. sur les 77)



Écart-types des erreurs externes du géoïde ajusté

(m, sur 77 points GPS nivelés parmi lesquels 39 points de contrôle non utilisés pour l'ajustement)

Statistiques des erreurs externes les plus pessimistes

(m, sur les 39 points de contrôle non utilisés pour l'ajustement)

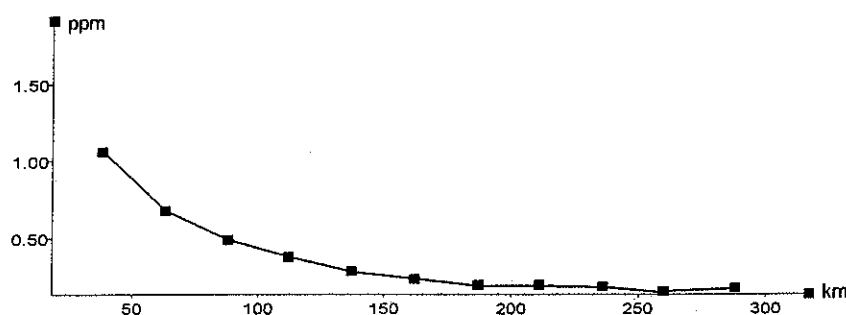
calcul	min	max	moyenne	écart-type
géoïde B2	-0.064	0.107	-0.001	0.034

◆ Précision relative (39 points de contrôle du GPS/niv. sur les 77)

Précisions relatives externes des géoïdes ajustés

(ppm = cm/10km)

distance moyenne	géoïde A1	géoïde A2	géoïde B1	géoïde B2	géoïde C
25 ~ 50 km	1.43	1.71	1.16	1.06	2.16
100 ~ 200 km	0.56	0.52	0.39	0.29	0.75
200 ~ 300 km	0.38	0.30	0.28	0.19	0.48



Précision relative externe du géoïde B2 par l'estimation externe

Conclusion

- ◆ Erreurs internes et externes ainsi que précision relative



la meilleure solution est le géoïde B
(compensation combinée + collocation)

Pour le géoïde Belgique-Luxembourg:

- précision externe = 2.9 ~ 3.4 cm
- précision relative externe = 1 ~ 0.2 ppm pour 25 ~ 300 km

◆ Avantages:

- **Eliminer**
 - *les écarts entre les différentes réalisations*
 - *les erreurs du modèle géopotentiel*
 - *les déformations locales*
- **Estimation d'erreur**
- **Travaux de nivellement par GPS**
- **Quantité de données requises autour du géoïde principal réduite**

◆ Problèmes

- *Pondération des différentes observations*
- *Paramètres des fonctions modélisant les erreurs systématiques*
- *Temps CPU*

Remerciements

MM. A. Harmel et C. Luzet du IGN de l'IGN

M. Pâquet, directeur de l'Observatoire Royal de Belgique,