



ÉCOLE NATIONALE  
DES SCIENCES  
GÉOGRAPHIQUES

École Nationale des  
Sciences Géographiques



Galigéo

Rapport de stage

Cycle des Ingénieurs diplômés de l'ENSG 3<sup>ème</sup> année

---

## **Stage de fin d'étude ENSG**

### **Estimation, analyse et prédiction de flux piétons**

### **BigData et Machine Learning**

---



ÉCOLE NATIONALE  
DES SCIENCES  
GÉOGRAPHIQUES

**Jules Pierrat**

Septembre 2022

☒ Non confidentiel   ☐ Confidentiel IGN   ☐ Confidentiel Industrie   ☐ Jusqu'au ...

ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES  
6-8 Avenue Blaise Pascal - Cité Descartes - 77420 Champs-sur-Marne  
Téléphone 01 64 15 31 00 Télécopie 01 64 15 31 07

## Jury

### Président de jury :

Le président de jury

### Commanditaire :

M. Sebastien Connesson, COO de Galigeo

### Encadrement de stage :

M. Jean-Michel Gaudin, Responsable du pôle Recherche et Développement à Galigeo

### Enseignant référent :

M. Loic Landrieu, Chercheur MATIS / IGN, Professeur de l'ENSG

### Rapporteur expert :

qui est rapporteur du mémoire ?

### Responsable pédagogique du cycle Ingénieur - TSI :

Victor Coindet Professeur de l'ENSG, Responsable du cycle TSI

### Gestion du stage :

Delphine Genès, Relation entreprise de l'ENSG

## Stage de fin d'étude du 2 mai 2022 au 28 Octobre 2022

**Diffusion web :** ☒ Internet ☒ Intranet Polytechnicum ☒ Intranet ENSG

### Situation du document :

Rapport de stage de fin d'études présenté en fin de 3<sup>ème</sup> année du cycle des Ingénieurs

**Nombres de pages :** 25 pages dont 5 d'annexes

**Système hôte :** L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

### Modifications :

EDITION	REVISION	DATE	PAGES MODIFIEES
1	0	09/2022	Création

# Remerciements

---

Avant toute chose, je tiens à remercier le lecteur pour l'intérêt qu'il porte à mon rapport et j'espère qu'il trouvera ici tout ce pourquoi il est venu. Je veux remercier également les personnes m'ayant permis de réaliser dans les meilleures conditions ce stage ainsi que celles ayant contribué à l'élaboration de ce rapport.

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à mon professeur, **Mr Loïc Landrieux de l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques**, mon maître de stage qui m'a suivi tout au long de ce stage, m'a guidé et éclairé dans mes décisions.

Je tiens à remercier mon maître de stage, **Jean-Michel Gaudin, Responsable du pôle recherche et développement à Galigeo** pour son suivi et l'intérêt qu'il a porté à mes travaux réalisés pendant le stage. Je remercie également **Raimana Teina, Data Scientist chez Galigéo** qui m'a guidé dans mes travaux et grâce à qui j'ai énormément progressé et appris durant toute ma période de stage. Mes remerciements vont également à **Sébastien Connesson, COO de Galigeo**, qui m'a permis de comprendre au mieux l'organisation de l'entreprise, les relations internes, les enjeux et les rapports aux clients.

Je remercie évidemment tout le reste de **l'équipe de Galigéo** pour son accueil, la confiance qu'ils m'ont accordée, leurs conseils et leur bienveillance. Je suis très heureux d'avoir pu travailler avec eux et me réjouis de continuer à le faire.

Enfin, après ces trois années fabuleuses je tiens à remercier toutes les personnes qui ont croisé mon chemin à **L'Ecole Nationale des Sciences Géographiques, mes professeurs, mes amis** et toutes les rencontres qui m'ont permis de grandir et de me préparer à cette nouvelle vie après les études.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont conseillé et relu lors de la rédaction de ce rapport de stage : **ma famille, mon ami Antoine Rainaud** camarade de promotion.

## Résumé

Ceci est mon résumé bla bla bla

**Mots clés :** clés, clés, clés

## Résumé

This is my abstract blah blah blah...

**Key words :** key, key, key



# Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>3</b>
<b>Glossaire et sigles utiles</b>	<b>5</b>
<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>1 La nouvelle feuille de style Ensg</b>	<b>9</b>
1.1 Les fichiers . . . . .	9
1.2 Commandes personnalisées . . . . .	9
1.3 Fichier source de cette doc . . . . .	9
<b>Conclusion</b>	<b>11</b>
<b>A Filtre de Kalman</b>	<b>23</b>
<b>B Moindres carrés</b>	<b>25</b>





# Glossaire et sigles utiles

---

**CNN** Convolutional Neural Network

**COO** Convolutional Neural Network

**DNN** Deep Neural Network

**ENSG** École Nationale des Sciences Géographiques

**LSTM** Long Short Term Memory

**ML** Machine Learning

**RNN** Recurrent Neural Network

**SVM** Support Vector Machine



# Introduction

---

J'introduis



*Voici la version 2 de la feuille de style ENSG.*

## 1.1 Les fichiers

- `themeensg.cls` : contient les personnalisations et macros utiles
- `jury.tex` : pour la feuille de présentation du jury
- le dossier `images` : il doit contenir toutes les images, il contient déjà le dossier `logo` avec celui de l'ENSG
- `bibliographie.bib` contient la bibliographie

## 1.2 Commandes personnalisées

- `\newevenpage` : identique à `\newpage` mais en insère une page blanche de façon à débiter la nouvelle page sur un numéro de page impaire.
- `\evenchapter{titre}` : démarre un nouveau chapitre sur une page impaire, `\evenchapter[titre sommaire]{titre}` fonctionne aussi mais pas `\evenchapter*{titre}`
- idem pour `\evenpart{titre}`

## 1.3 Fichier source de cette doc

Ce fichier `tex` contient toute la structure d'un rapport mais une bonne partie est désactivée car commentée par l'environnement `\begin{comment} ... \end{comment}`

### 1.3.1 Une sous-partie...

On évitera si possible de faire des sous-sous-parties (`\subsubsection`). Si vous en avez besoin, peut-être faut-il revoir la structures du document...

Au passage voici le code pour appeler une référence de la biblio [**globalpositioning**] : `\cite{globalpositioning}`

Pour plus d'infos sur la bibli, aller sur <http://bertrandmasson.free.fr/index.php?article27/>



# Conclusion

---

Il est l'heure de conclure : bonne nuit !





# Bibliographie

---

- [1] Balhorn R et AL. "Frequency Stabilization of Internal-Mirror Helium-Neon Lasers". In : *Applied Optics* (1972), p. 742-744.
- [2] Niebauer T.M. et AL. "A new génération of absolute gravimeters". In : *Metrologia* 32 (1995), p. 159-180.
- [3] Niebauer T.M. et AL. "Frequency stability measurements on polarization-stabilized He-Ne lasers". In : *Applied Optics* (1988), p.1285-1289.
- [4] Jacques BEILIN. "Compensation combinées d'observations gravimétriques absolues et relatives – MCGRAVI". Projet de fin d'étude. ENSG, 2005.
- [5] Helmut Moritz BERNHARD HOFMANN-WELLENHOF. *Physical Geodesy*. T. XVII. 2nd, corr. ed., Springer, 2006, p. 403.
- [6] Pilot laboratory BIPM. *7th International comparison of absolute gravimeters, ICAG-2005, Technical protocol*. Rapp. tech. BIPM, 2005.
- [7] BRGM. *Site web du BRGM - SIG Mines France*. BRGM. Nov. 2009. URL : [http://sigminesfrance.brgm.fr/geophy\\_gravi.asp](http://sigminesfrance.brgm.fr/geophy_gravi.asp).
- [8] Michel CAPDEROU. *Satellites : orbites et missions*. Springer, 2002, p. 511. ISBN : 9782287597725.
- [9] Frédéric CHAMBAT. "Voir la planète avec la pesanteur". In : *Dossiers Pour la Science* 67 (2010), p. 72-73.
- [10] Michel DIAMENT. "Mesure du champ de pesanteur terrestre". In : *Techniques de l'ingénieur* R 1814 (2005).
- [11] Bernard DUCARME. *MT80 - Theoretical tides computation*. Observatoire Royal de Belgique.
- [12] Françoise DUQUENNE et al. *GPS : localisation et navigation par satellites*. Hermès science publications, 2005, p. 330. ISBN : 9782746210905.
- [13] Henri DUQUENNE. "Altitude, nivellement, systèmes de référence altimétrique". In : *Cours aux étudiants PPMD*. ENSG, 2005.
- [14] Germinal GABALDA et Sylvain BONVALOT. *CG3TOOL, Programme interactif de traitement de données gravimétriques Scintrex CG3/3M*. IRD. Juin 2000.
- [15] Germinal GABALDA, Sylvain BONVALOT et Roger HIPKIN. "CG3TOOL : an interactive computer program to process Scintrex CG3/3M gravity data for high resolution applications". In : *Computer & Geosciences* 29 (2003), p. 155-171.
- [16] Scott GLEASON et Demoz GEBRE-EGZIABHER. *GNSS Applications and Methods*. Artech House, août 2009, p. 528. ISBN : 9781596933293.
- [17] GPSW. *IS-GPS-200 rev e, Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces*. Rapp. tech. El Segundo, California : Global Positioning System Wing (Gpsw) Systems Engineering & Integration, 2010.
- [18] Mohinder S. GREWAL et al. *Global positioning systems, inertial navigation, and integration*. Wiley-Interscience, jan. 2007, p. 553. ISBN : 9780470041901.

- [19] Jérôme Verdun HENRI DUQUENNE. "Le champ de pesanteur : notions fondamentales et méthodes modernes de détermination". In : *Cours aux étudiants PPMD*. ENSG, 2006.
- [20] Bernhard HOFMANN-WELLENHOF, Herbert LICHTENEGGER et Elmar WASLE. *GNSS Global Navigation Satellite Systems : GPS, GLONASS, Galileo, and more*. 1<sup>re</sup> éd. Springer, déc. 2007. ISBN : 3211730125.
- [21] Bernhard HOFMANN-WELLENHOF et Helmut MORITZ. *Physical Geodesy*. 1<sup>re</sup> éd. Springer, sept. 2005. ISBN : 3211235841.
- [22] J. IDHE, J. MAKKINEN et M. SACHER. "Conventions for the Definition and Realisation of a European Vertical Reference System (EVRS) - EVRS conventions 2007". In : 2008.
- [23] Len JACOBSON. *GNSS markets and applications*. Artech House, juin 2007, p. 240. ISBN : 9781596930421.
- [24] KLOBUCHAR. "A first order worldwide ionospheric time-delay algorithm". In : *Ionospheric Physics Laboratory, Air Force Cambridge Research Laboratories* (1975). Hanscom AFB, Massachusetts Klobuchar John A.
- [25] François L'ECU. "Calcul du quasi-geoïde QGF16 et de la grille de conversion altimétrique RAF16, état d'avancement et perspectives". In : XYZ (2017).
- [26] I.M. LONGMAN. "Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun". In : *Journal of Geophysics Research* 64 (1959), p. 2351-2355.
- [27] J. Hinderer M. AMALVICT N. Debeglia. "The Absolute Gravity Measurements Performed By Sakuma In France, Revisited 20 Years Later". In : *Gravity and Geoid 3rd meeting of the IGGC* (2002), p. 76-83.
- [28] Ahmed EL-RABBANY. *Introduction to GPS : the Global Positioning System*. Artech House, 2002, p. 202. ISBN : 9781580531832.
- [29] M. SACHER et al. "EVRF2007 as Realization of the European Vertical Reference System". In : *Symposium oh the IAG sub-commision for Europe (EUREF) in Brussels, June 18-21 2008*. 2008.
- [30] Nel SAMAMA. *Global positioning : technologies and performance*. Wiley-Interscience, 2008, p. 440. ISBN : 9780471793762.
- [31] Wilfred SCHOFIELD et Mark BREACH. *Engineering surveying*. Butterworth-Heinemann, avr. 2007, p. 637. ISBN : 9780750669498.
- [32] SCINTREX. *User's guide : CG-3/3M Gravity Meter*. Scintrex Ltd. 1995.
- [33] Gunter SEEGER. *Satellite Geodesy*. 2 Revised. Walter de Gruyter, sept. 2003. ISBN : 3110175495.
- [34] Victor G. SZEBEHELY et Hans MARK. *Adventures in celestial mechanics*. Wiley-VCH, 1998, p. 328. ISBN : 9780471133179.
- [35] Wolfgang TORGE. *Geodesy*. 3rd ed., De Gruyter, 2001, p. 416.
- [36] Wolfgang TORGE. *Gravimetry*. Walter de Gruyter, déc. 1989, p. 488. ISBN : 9783110107029.
- [37] James Bao-yen TSUI. *Fundamentals of global positioning system receivers : a software approach*. John Wiley et Sons, 2005, p. 373. ISBN : 9780471706472.
- [38] P. WESSEL et W.H.F. SMITH. "Free software helps map and display data". In : *EOS Trans. Amer. Geophys. U.* 72 (1991), p. 445-446.
- [39] P. WESSEL et W.H.F. SMITH. *The Generic Mapping Tools Technical Reference and Cookbook*. SOEST-NOAA. 2010.
- [40] Derek Van WESTRUM. *A10 absolute portable gravimeter*. Micro-g Solutions, Inc., 2005.
- [41] Guochang XU. *GPS : theory, algorithms, and applications*. Springer, 2007, p. 354. ISBN : 9783540727149.

- [42] Guochang XU. *Orbits*. Springer, 2008, p. 236. ISBN : 9783540785217.



## Table des figures



## Liste des tableaux





# Annexes

A	Filtre de Kalman . . . . .	23
B	Moindres carrés . . . . .	25



# FILTRE DE KALMAN

---

ANNEXE  
**A**

Contenu de l'annexe sur Kalman...



# MOINDRES CARRÉS

---

ANNEXE  
**B**

Contenu de l'annexe sur MC...