

# Le gravimètre relatif supraconducteur et le gravimètre absolu balistique: principes de fonctionnement, performances et apport aux Sciences de la Terre

Jacques Hinderer

Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre  
5, rue Descartes 67084 Strasbourg Cedex  
Jacques.Hinderer@eost.u-strasbg.fr

## I/ Le gravimètre relatif à supraconductivité



**Gravimètre supraconducteur GWR C026 en fonctionnement à l'Observatoire Gravimétrique de Strasbourg depuis juillet 1996**

- Instrument d'observatoire
- Principe de lévitation magnétique (équivalent du ressort mécanique)
- Détection de déplacement capacitive
- Asservissement magnétique

## Avantages:

- Mesures en continu
- Linéarité
- Très forte sensibilité ( $\sim$  nanogal =  $10^{-11} \text{m.s}^{-2} \sim 1$  pico-g, où g est la valeur moyenne de la gravité terrestre en surface)
- Très faible dérive à long terme

## Inconvénients:

- Très basse température de fonctionnement (hélium liquide)
- Isolation thermique requise (dewar cryogénique)
- Instrument relatif (étalonnage requis)

## Traitements des données

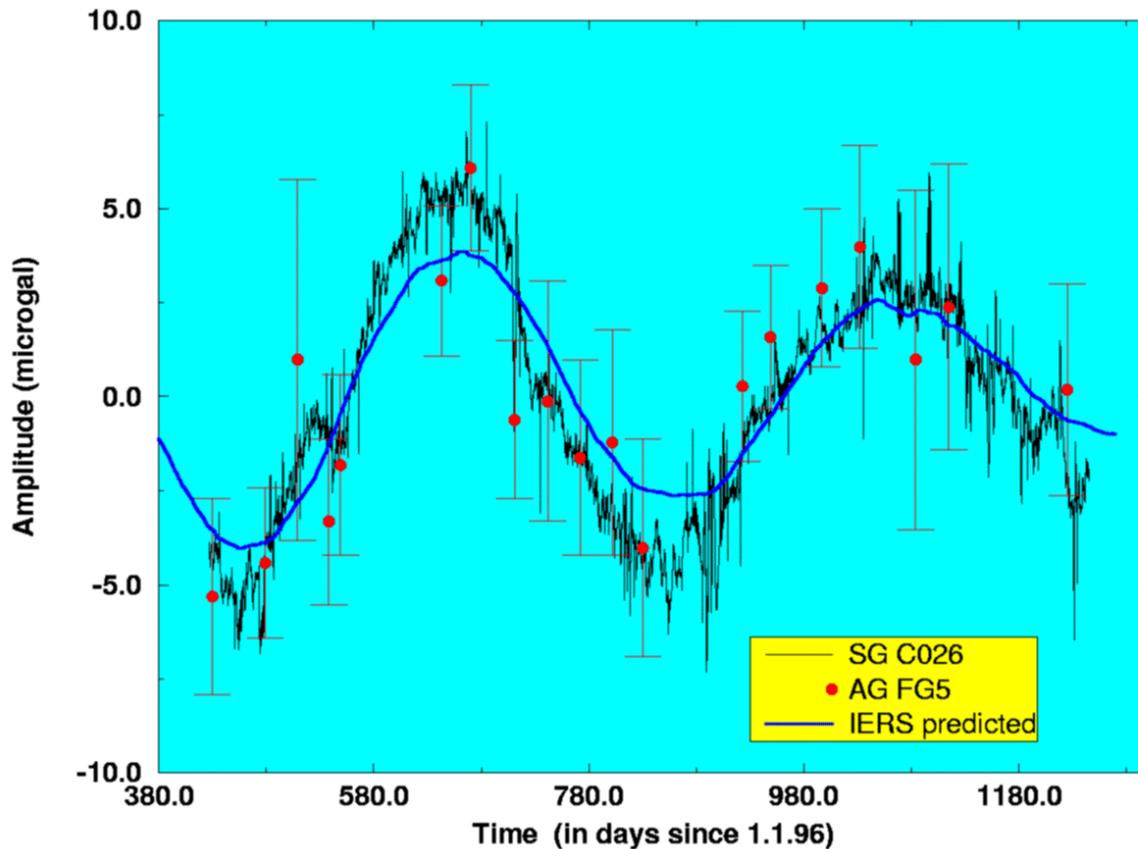
- **Prétraitement**
  - élimination des perturbations liées aux séismes, orages, problèmes d'acquisition numérique, interventions humaines (transfert d'hélium liquide, maintenance)
- **Analyse par MMC des contributions suivantes:**
  - marées terrestres + surcharges des marées océaniques
  - admittance atmosphérique (si restriction à la pression locale) ou calcul global à partir des champs de pression des centres météorologiques
  - effet instrumental à long terme
- **Obtention des résidus de gravité**
  - recherche de signaux géodynamiques de très faible amplitude

## Apport du gravimètre supraconducteur

- **Marées terrestres:**
  - termes quart-diurnes (potentiel de degré 4)
  - termes ter-diurnes, semi-diurnes, diurnes (degré 2 et 3) et longue période
- **Surcharges océaniques:**
  - validation des modèles de marées océaniques
  - étude de la réponse dynamique des océans
- **Surcharges atmosphériques:**
  - contributions locale/globale de pression
  - impact des ondes thermiques ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_a$ )

- **Rotation de la Terre:**
  - détection de la signature gravimétrique du mouvement du pôle (terme annuel et Chandlerien)
  - résonance du noyau liquide (Free Core Nutation)

### Polar motion signature as seen by SG C026 and AG FG5



Signature gravimétrique du mouvement du pôle de rotation terrestre observée à Strasbourg par les gravimètres supraconducteur et absolu (Hinderer et al. 1999)

- **Géodynamique globale:**
  - détection des modes oscillatoires de la graine solide (Slichter) et du noyau fluide

## II/ Le gravimètre absolu balistique

- Instrument portable
- Gravité restituée par analyse de la trajectoire d'un corps en chute libre dans le vide

- mesures de temps par horloge atomique au rubidium
- mesures de distance par interférométrie laser

### **Avantages:**

- Instrument absolu
- Précision de l'ordre du microgal
- Exactitude 1-2 microgal

### **Inconvénients:**

- Mise en œuvre lourde
- Mesures discontinues
- Stabilité de l'horloge?



**Gravimètre absolu FG5 modèle 206 (Micro-g Solutions Inc.) en opération au site de Strasbourg**

### **Corrections appliquées aux mesures**

#### **Instrumentales:**

- vitesse de propagation de la lumière
- prise en compte du gradient vertical de gravité
- transfert au sol (même gradient)

## Géophysiques:

- marées terrestres (modèle ou observations si accessibles)
- surcharge des marées océaniques (altimétrie satellitaire ou modèle hydrodynamique)
- surcharge atmosphérique (correction locale  $-0.3$  microgal/millibar ou calcul global)
- mouvement du pôle de rotation

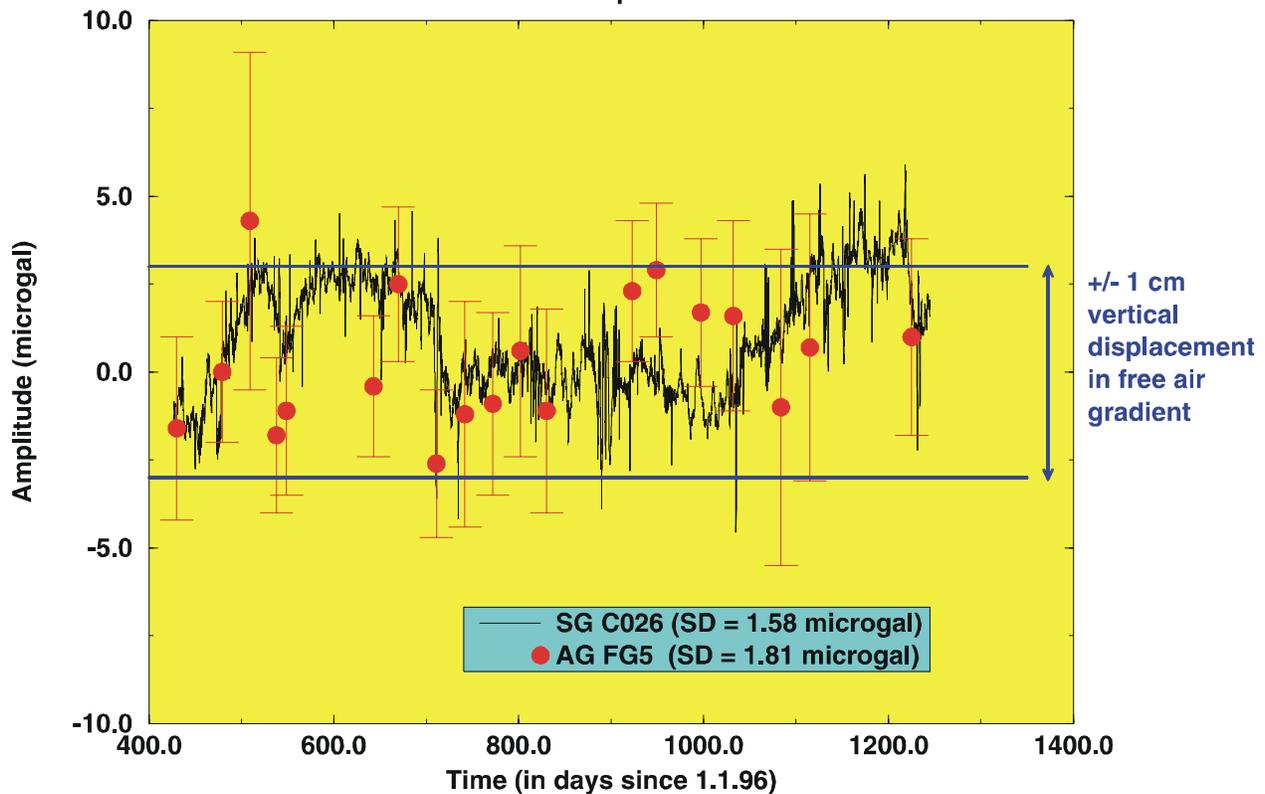
## Apport du gravimètre absolu

### Géodésie/Géodynamique/Tectonique

- Etalonnage des gravimètres supraconducteurs et suivi de leurs dérives
- Etablissement de lignes de calibration pour gravimètres de terrain
- Suivi des réseaux de répétitions (tectonique, volcanologie)
- Etablissement des points du 1er ordre des réseaux gravimétriques
- Rattachement des marégraphes

### Long term stability in gravity

after subtraction of polar motion effect



Stabilité à long terme de la gravité à Strasbourg de Février 1997 à Mars 1999  
(Hinderer et al. 1999)

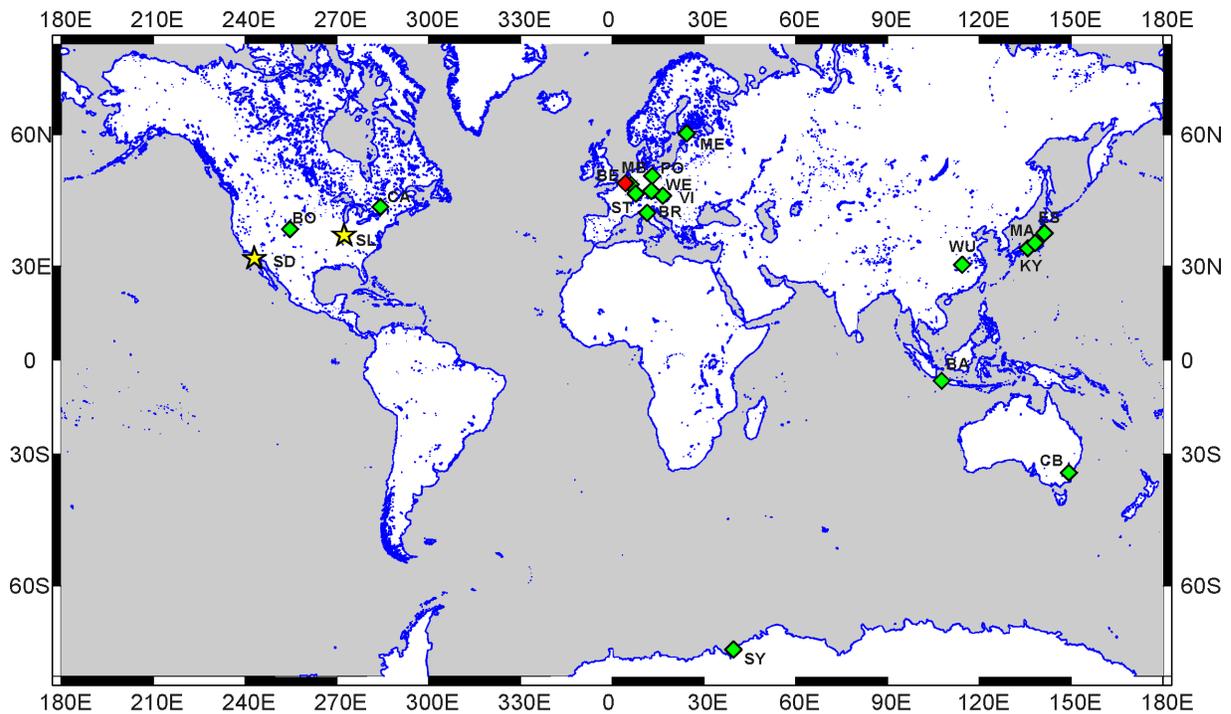
- Observations des variations de gravité à long terme (mouvement du pôle, hydrologie)
- Observations des variations temporelles en des sites privilégiés (surcharges océaniques à proximité de la mer)

**Remarque: Suivi du mouvement vertical du sol**

outil complémentaire aux techniques de positionnement de géodésie classique et spatiale (GPS, Interférométrie laser, DORIS, SAR, nivellement, ...) de précision (sub-) centimétrique et sensible aux transferts de masse

**Sites WEB concernant la gravimétrie absolue et supraconductrice**

**Global Geodynamics Project, 1997-2003  
Superconducting Gravimeters, July 1998**



GMT Nov 25 17:19

**Réseau mondial des gravimètres supraconducteurs participant au Global Geodynamics Project**

<http://www.eas.slu.edu/GGP/gwrhome.html> (site du constructeur des gravimètres supraconducteurs GWR Instruments)

<http://www.eas.slu.edu/GGP/ggphome.html> (site du projet international de réseau de gravimètres supraconducteurs incluant une bibliographie)

<http://www.microgsolutions.com> (site du constructeur des gravimètres absolus incluant une bibliographie)

<http://eost.u-strasbg.fr/obsgrav/Accueil.html> (site de l'Observatoire Gravimétrique de Strasbourg) (en cours de remaniement)

### **Une sélection de références utilisant les observations de gravimétrie relative et absolue effectuées au site de Strasbourg (observatoire gravimétrique J9)**

Amalvict, M., J. Hinderer, O. Francis and J. Mäkinen, 1998. Comparisons between absolute (AG) and superconducting (SG) gravimeters. In: R.Forsberg, M. Feissel and R. Dietrich (eds), Geodesy on the Move. Gravity, Geoid, Geodynamics, and Antarctica. IAG Scientific Assembly, IAG Symposia **119**, 24–29.

Amalvict, M., Bayer, R., Biancale, R., Duquenne, H., Florsch, N., Hinderer, J., and Llubes, M., 1999. Activités françaises dans le domaine de la gravimétrie et du champ de pesanteur (1994-1998), in Rapport quadriennal 95-98, CNFGG, 27-37.

Boy, J.P., Hinderer, J. & Gegout, P., 1998. Global atmospheric loading and gravity, Phys. Earth Planet. Int., **109**, 161-177.

Boy, J.-P., Hinderer, J., Amalvict, M., and Calais, E., On the use of long records of superconducting and absolute gravity observations with special application to the Strasbourg station, France, Proceedings . "High precision gravity measurements with application to geodynamics and 2nd GGP Workshop", sous presse.

Crossley, D., Jensen, O.G. & Hinderer, J., 1995. Effective barometric admittance and gravity residuals, Phys. Earth Planet. Int., **90**, 221-241.

Crossley, D., Hinderer, J., Casula, G., Francis, O., Hsu, H.-T., Imanishi, Y., Jentzsch, G., Kaarianen, J., Merriam, J., Meurers, B., Neumeyer, J., Richter, B., Shibuya, K., Sato, T., and T. van Dam, 1999. Network of superconducting gravimeters benefits a number of disciplines, EOS, Transactions, AGU, **80**, no11, 121, 125-126.

Defraigne P., V. Dehant & J. Hinderer, 1994. Stacking gravity tide measurements and nutation observations in order to determine the complex eigenfrequency of the Nearly Diurnal Free Wobble, *J. Geophys. Res.*, **99**, 9203-9213.

Florsch, N., Hinderer, J. & Legros, H., 1995. Mise en évidence d'ondes de marée quart-diurnes de quelques pico-g d'amplitude à l'aide de gravimètres supraconducteurs, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. **321**, sér. Ila, 279-285.

Florsch, N., Legros, H. & Hinderer, J., 1995. The search for weak harmonic signals in a spectrum with application to gravity data, *Phys. Earth Planet. Int.*, **90**, 197-210.

Francis, O., Amalvict, M., & Hinderer, J., 1999. Intercomparison between the FG5#202 and FG5#206 at the site of the superconducting gravimeter C021 in Membach (Belgium), *Bull. Inf. BGI*, **84**, 36-39.

Freybourger, M., Hinderer, J., & Trampert, J., 1997. Comparative study of superconducting gravimeters and broadband seismometers STS-1/Z in seismic and subseismic frequency bands, *Phys. Earth Planet. Int.*, **101**, 203-217.

Hinderer, J., Florsch, N., Mäkinen, J., Legros, H. & Faller, J.E., 1991. On the calibration of a superconducting gravimeter using absolute gravity measurements, *Geophys. J. Int.*, **106**, 491-497.

Hinderer, J., D. Crossley & Xu H., 1994. A two year comparison between the French and Canadian superconducting gravimeter data, *Geophys. J. Int.*, **116**, 252-266.

Hinderer, J., Crossley, D. & Jensen, O. G., 1995. A search for the Slichter triplet in superconducting gravimeter data, *Phys. Earth Planet. Int.*, **90**, 183-195.

Hinderer, J., 1997. Constraints on the Earth's deep structure and dynamics from superconducting gravimetry, in *Earth's Deep Interior, Doornbos Memorial Volume*, ed. D. Crossley, Gordon & Breach Science Publ., 167-195.

Hinderer, J., Amalvict, M., Florsch, N., Francis, O., & Mäkinen, J., 1998. On the calibration of superconducting gravimeters with the help of absolute gravity measurements, *Proc. 13th Int. Symp. Earth Tides*, eds. B. Ducarme & P. Pâquet, Brussels, Belgium, 557-564.

Hinderer, J., Amalvict, M., Boy, J.-P., and Gegout, P., 1999. A 750 day record of gravity variations as seen by a superconducting gravimeter (GWR C026) and an absolute gravimeter (FG5-206) in Strasbourg, France. IUGG, Birmingham, UK, July 1999.

Jensen, O., Hinderer, J. and Crossley, D., 1995. Noise limitations in the core-mode band of superconducting gravimeter data, *Phys. Earth Planet. Int.*, **90**, 169-181.

Loyer, S., Hinderer, J., & Boy, J.P., 1999. Determination of the gravimetric factor at Chandler period from Earth's orientation data and superconducting gravimetry observations, *Geophys. J. Int.*, **136**, 1-7.

Smylie, D., J. Hinderer, B. Richter & B. Ducarme, 1994. The product spectra of gravity and barometric pressure in Europe, *Phys. Earth Planet. Int.*, **80**, 135-157.