Comparaisons des solutions gravimétriques spatiales GRACE avec les surcharges hydrologiques

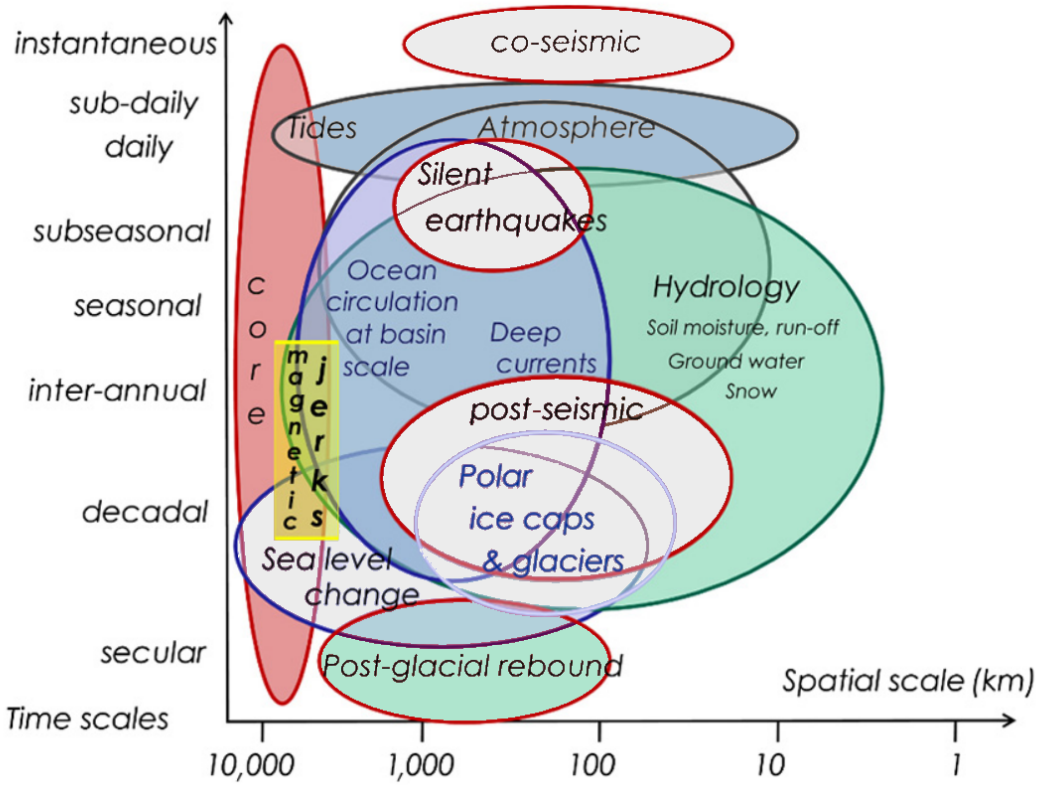
H. Lecomte, S. Rosat, M. Mandea

24/11/2021, Colloque du G2

Institut Terre & Environnement de Strasbourg | ITES | UMR 7063 de l'Université de Strasbourg & CNRS & ENGEES

cnes

Introduction



Échelles spatiale et temporelle des processus physiques créant des variations de masses dans le système Terre, [Mandea et al. 2012]

- Variations de masses dans le système Terre = processus multiples
- Focus sur les modèles de surcharges hydrologiques

Les missions GRACE et GRACE Follow-on

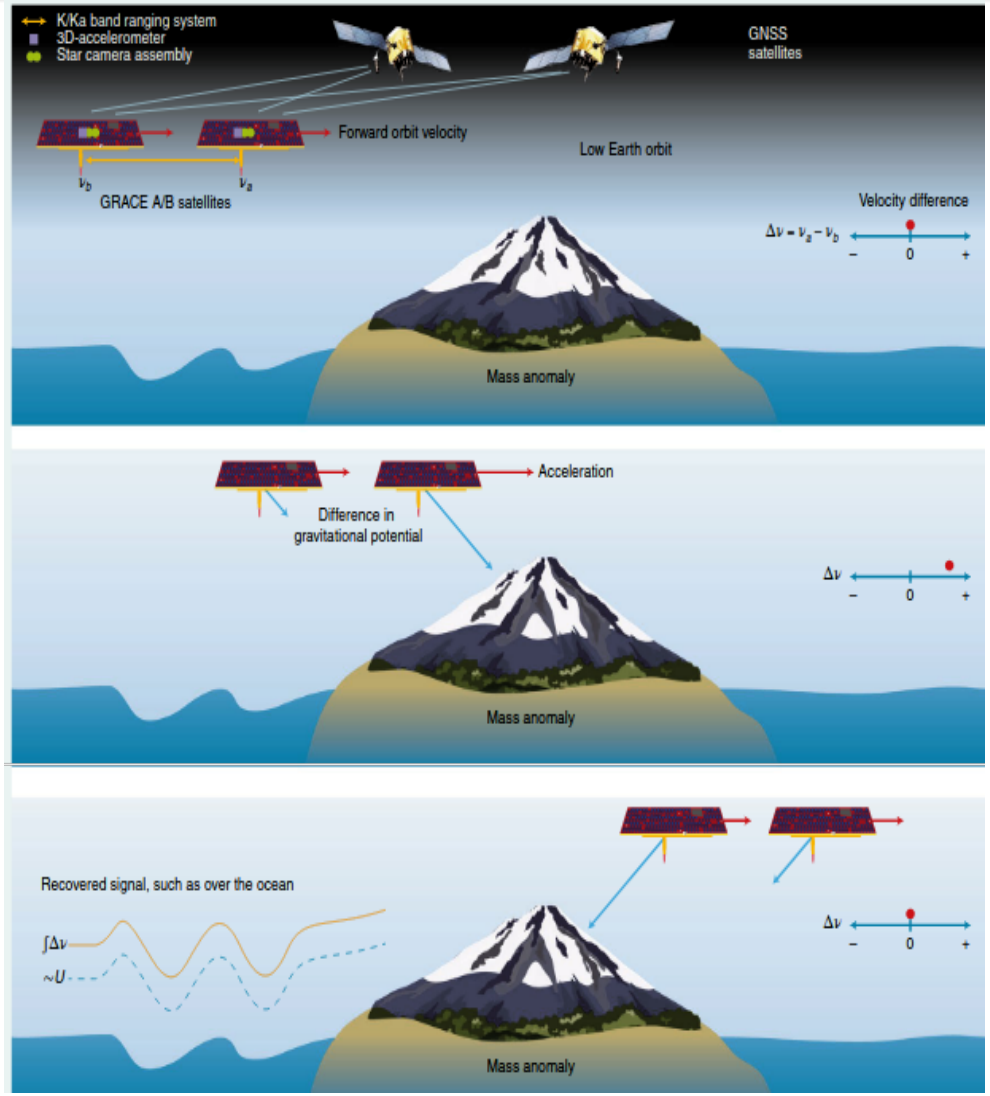


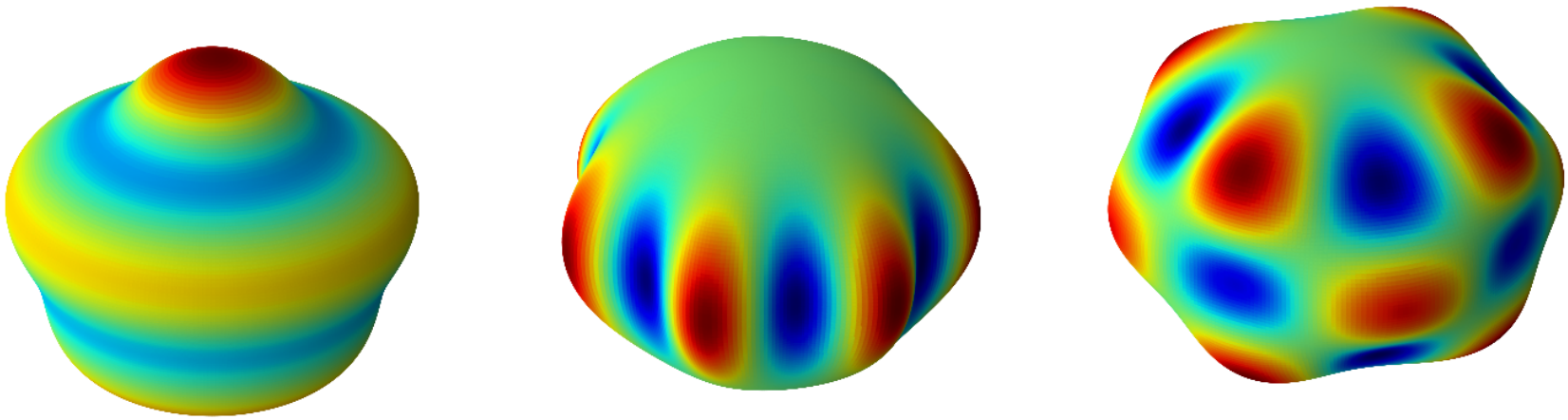
Schéma du fonctionnement de GRACE (modifié à partir de NASA Earth Observatory)

- Mission GRACE : 2002 $\Rightarrow$ 2017
- Mission GRACE Follow-On : 2018 $\Rightarrow$ ...
- Produits mensuels

Approche physique

$$V(\lambda,\theta,r) = \sum_{l=0}^{+\infty} A_l \sum_{m=0}^{+\infty} [C_{l,m} cos(m\lambda) + S_{l,m} sin(m\lambda)] P_{l,m}(cos\ \theta)$$

- Coefficients en harmoniques sphériques
- La résolution spatiale d'un modèle est associée avec le degré maximal utilisé. Ici $l_{max} = 60$



(a) 5, 0 (b) 7, 7 (c) 6, 4

Exemple d'harmoniques sphériques

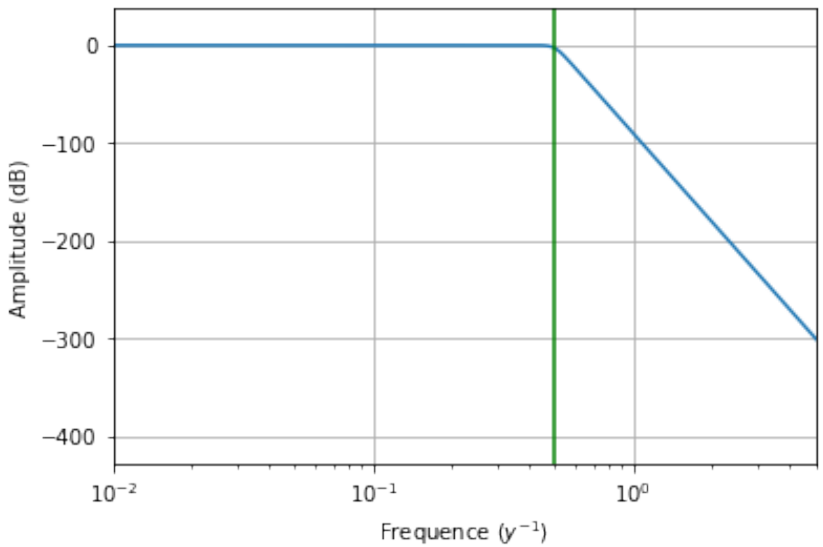
Filtrage pour étudier les échelles d'intérêt

Filtre spatial :

- Noyau gaussien de rayon 1200 km appliqué par convolution (Jekeli 1981 Wahr, Molenaar et Bryan 1998)
- Atténue complètement le signal à partir du degré $l = 13$

Filtre temporel :

- Filtre passe-bas avec une fréquence de coupure à 2 ans

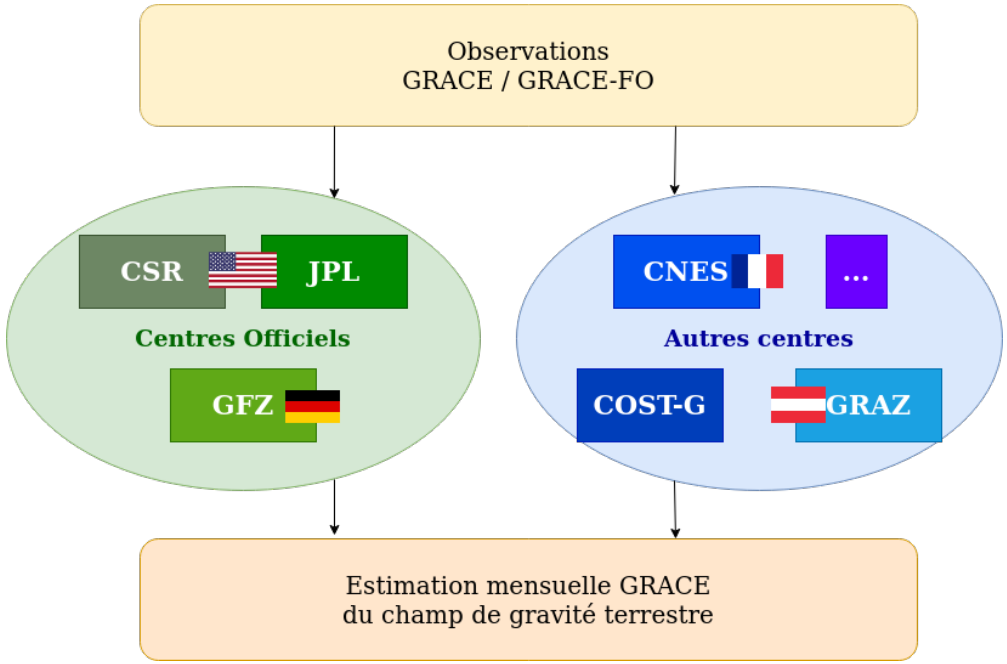


Filtre Butterworth

Centres d'analyse GRACE

- Chaque centre utilise une stratégie de calcul indépendante.
- Correction des effets de marées et de surcharges atmosphériques et océaniques

Données : *CSR RL6.0* 2018, *JPL RL6.0* 2018, Dahle et al. 2019, Mayer-Gürr et al. 2018, Lemoine et al. 2019, Meyer et al. 2020



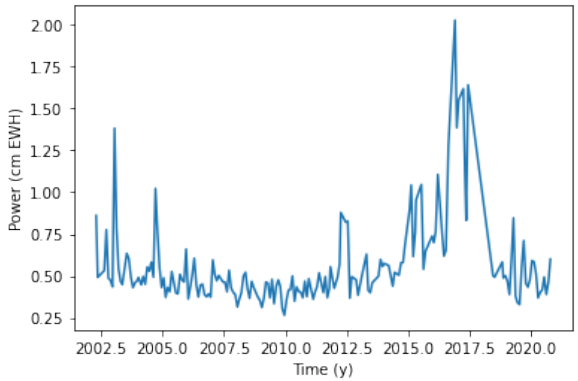
Centres d'analyse GRACE

Comparaison des solutions

- L'écart entre les solutions est la racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et est donné en Equivalent de Hauteur d'Eau (EWH).
- Les différents centres ont un accord de 0.5cm EWH.
- Pour la solution CNES, l'accord est autour de 1.5cm EWH.
- Les écarts sont plus importants en 2016 et 2017.

	JPL	GFZ	GRAZ	CNES	COSTG
CSR	0,39	0,61	0,52	1,57	0,32
JPL		0,57	0,5	1,56	0,36
GFZ			0,72	1,61	0,52
GRAZ				1,6	0,38
CNES					1,53

Comparaison des centres d'analyse avec filtrage spatial (cm EWH)



RMSE en fonction du temps entre CSR et GFZ avec filtrage spatial (cm EWH)

Zoom sur la solution CNES

- Correction des effets de surcharges atmosphériques et océaniques : AOD1B RL06 (sauf CNES)
- AOD1B RL06 = MPIOM (ocean) + ERA-interim (atmo) [Dobslaw et al. 2017]
- CNES correction = TUGO (ocean) + ERA-interim (atmo) (Période GRACE seulement) [Carrere et Lyard 2003]
- En corrigeant l'ocean $\Rightarrow$ RMSE $\searrow$ 1.48cm contre 1.63cm en EWH = **10% de différence environ**
- Il reste deux autres facteurs de différence :
  - La combinaison avec le SLR à bas degré = **5% de différence**
  - inversion par diagonalisation du produit CNES

Modèles de surcharges hydrologiques

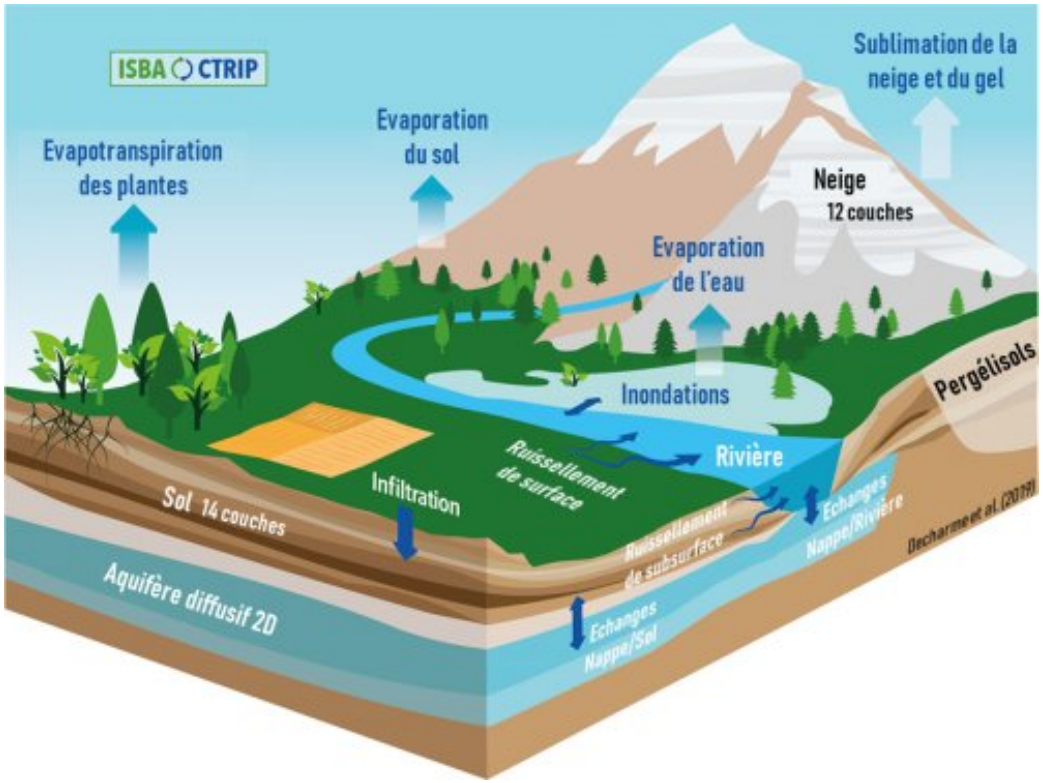


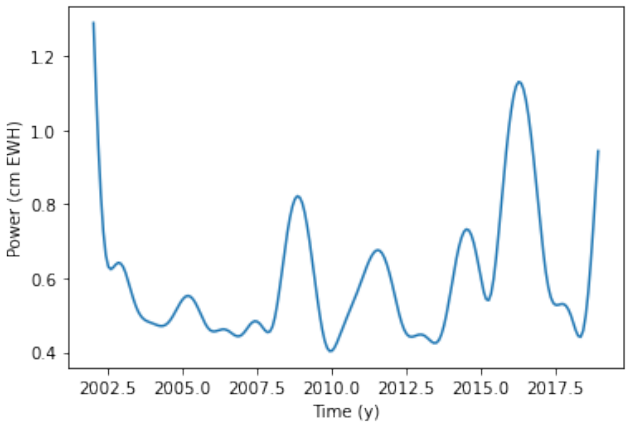
Schéma du système de modélisation hydrologique ISBA-CTRIP utilisé pour des applications hydrologique à l'échelle globale [Decharme et al. 2019]

- Basé sur de mesures météorologiques sur les continents et la modélisation numérique
- Modèle simple : ERA5, GLDAS2
  Modèle complet : ISBA, WGHM

Modèles : Hersbach et al. 2020, Rodell et al. 2004, Döll, Kaspar et Lehner 2003

Exemple du modèle ISBA

Modèle ISBA-CTRIP avec
filtrage spatial et temporel



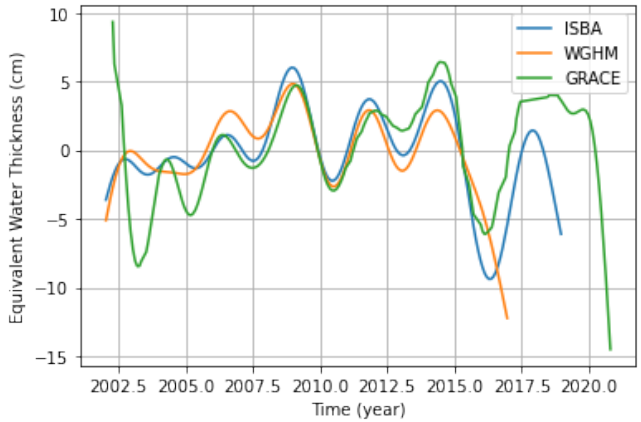
RMS en fonction du temps
pour le modèle ISBA-CTRIP
avec
filtrage spatial et temporel

Comparaison des modèles hydrologiques

- Différence d'amplitude de l'oscillation annuelle
- Après filtrage spatial et temporel, RMSE entre 1 et 1.5 cm EWH et pas de différences entre les deux familles
- Différence entre les modèles sur l'Amazonie, le permafrost et les pôles

	ERA5	GLDAS2	ISBA	WGHM GPCC 100	WHGM CRU 100
ERA5		1,15	1,13	1,62	1,67
GLDAS2			1,13	1,51	1,57
ISBA				1,26	1,40
WGHM GPCC 100					0,73

Comparaison des modèles hydrologiques avec filtrage spatial et filtrage temporel (cm EWH)



Profil sur l'Amazonie avec filtrage spatial et filtrage temporel (cm EWH)

Comparaison entre les modèles et GRACE

- Qualifier un modèle hydrologique ⇒ variance qu'il explique dans le signal de GRACE
- Les modèles complets réduisent plus la variance.
- Après filtrage temporel, les modèles simples n'apportent plus d'informations.

COST-G	- ERA5	- GLDAS	- ISBA	- WGHM GPCC	- WGHM CRU
Filtrage spatial	20%	18%	34%	31%	29%
Filtrage spatial et temporel	3%	3%	21%	20%	17%

Pourcentage de variance
expliqué par les modèles hydrologiques
avec le produit COST-G

Conclusion et perspective

- Les modèles hydrologiques complets sont meilleurs à grandes longueurs d'ondes et à basses fréquences
- Il reste un signal faible après soustraction de l'hydrologie $\Rightarrow$ majoritairement aux pôles
- Objectif : Soustraire les signaux connus dans la recherche d'un signal potentiel du noyau (Zone $\Rightarrow$ Afrique)
- L'approche de la réduction du signal hydrologique avec des modes climatiques semble aussi prometteuse.

Merci pour votre attention, des questions ?

Bibliographie :

Carrere, L. et F. Lyard (jan. 2003). "Modeling the barotropic response of the global ocean to atmospheric wind and pressure forcing-comparisons with observations". In : *Geophys. Res. Lett.* 6.

CSR RL6.0 (2018). en. URL : https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/GRACE_GSM_L2_GRAV_CSR_RL06.

Dahle, Christoph et al. (jan. 2019). "The GFZ GRACE RL06 Monthly Gravity Field Time Series : Processing Details and Quality Assessment". en. In : *Remote Sensing* 11(18). Number : 18 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 2116. DOI : 10.3390/rs11182116. URL : https://www.mdpi.com/2072-4292/11/18/2116.

Decharme, Bertrand et al. (2019). "Recent Changes in the ISBA-CTRIP Land Surface System for Use in the CNRM-CM6 Climate Model and in Global Off-Line Hydrological Applications". en. In : *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 11(5). _eprint : https ://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2018MS001545, p. 1207-1252. ISSN : 1942-2466. DOI : 10.1029/2018MS001545. URL : https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018MS001545.

Döll, Petra, Frank Kaspar et Bernhard Lehner (jan. 2003). "A global hydrological model for deriving water availability indicators : model tuning and validation". en. In : *Journal of Hydrology* 270(1), p. 105-134. ISSN : 0022-1694. DOI : 10.1016/S0022-1694(02)00283-4. URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169402002834.

Dobslaw, H. et al. (oct. 2017). "A new high-resolution model of non-tidal atmosphere and ocean mass variability for de-aliasing of satellite gravity observations : AOD1B RL06". In : *Geophysical Journal International* 211(1), p. 263-269. ISSN : 0956-540X. DOI : 10.1093/gji/ggx302. URL : https://doi.org/10.1093/gji/ggx302.

Hersbach, Hans et al. (2020). "The ERA5 global reanalysis". en. In : *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146(730). _eprint : https ://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/qj.3803, p. 1999-2049. ISSN : 1477-870X. DOI : 10.1002/qj.3803. URL : https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.3803.

Huder, Loïc et al. (2019). "pygeodyn 1.1.0 : a Python package for geomagnetic data assimilation". In : *Geoscientific Model Development Discussions* 12(8). Publisher : Copernicus Publ, p. 3795-3803. DOI : 10.5194/gmd-12-3795-2019. URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02307420 (visité le 22/01/2021).

Jekeli, C. (1981). *Alternative methods to smooth the Earth's gravity field*.

JPL RL6.0 (2018). en. URL : https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/GRACE_GSM_L2_GRAV_JPL_RL06.

Lemoine, Jean-Michel et al. (2019). *CNES/GRGS RL04 Earth gravity field models, from GRACE and SLR data*. Type : dataset. DOI : 10.5880/ICGEM.2019.010. URL : https://dataservices.gfz-potsdam.de/icgem/showshort.php?id=escidoc:4656890.

MANDEA, Mioara et al. (nov. 2012). "Recent changes of the Earth's core derived from satellite observations of magnetic and gravity fields". en. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(47). Publisher : National Academy of Sciences Section : Physical Sciences, p. 19129-19133. ISSN : 0027-8424, 1091-6490. DOI : 10.1073/pnas.1207346109. URL : https://www.pnas.org/content/109/47/19129 (visité le 22/01/2021).

MAYER-GÜRR, Torsten et al. (2018). *ITSG-Grace2018 - Monthly, Daily and Static Gravity Field Solutions from GRACE*. en. URL : https://dataservices.gfz-potsdam.de/icgem/showshort.php?id=escidoc:3600910.

MEYER, Ulrich et al. (2020). *International Combination Service for Time-variable Gravity Fields (COST-G) Monthly GRACE Series*. en. Version Number : 01 Type : dataset. DOI : 10.5880/ICGEM.COST-G.001. URL : https://dataservices.gfz-potsdam.de/icgem/showshort.php?id=escidoc:5219903.

RODELL, M. et al. (mars 2004). "The Global Land Data Assimilation System". en. In : *Bulletin of the American Meteorological Society* 85(3). Publisher : American Meteorological Society Section : Bulletin of the American Meteorological Society, p. 381-394. ISSN : 0003-0007, 1520-0477. DOI : 10.1175/BAMS-85-3-381. URL : https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/85/3/bams-85-3-381.xml.

WAHR, John, Mery MOLENAAR et Frank BRYAN (1998). "Time variability of the Earth's gravity field : Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE". In : *Journal of Geophysical Research : Solid Earth* 103(B12), p. 30205-30229. DOI : https://doi.org/10.1029/98JB02844. eprint : https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/98JB02844. URL : https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/98JB02844.