

La correspondance entre le champ de pesanteur et le champ magnétique terrestre vue au Sud-Kivu en R.D Congo.

Justin MUDEKUZA CHIBWANA¹, Albert KABASELE YENGAYENGA².

1. Département de physique, ISP-BUKAVU, R.D Congo

2. Département Physique, UPN-Kinshasa, R.D Congo

Résumé :

Contexte : les champs géomagnétique et de pesanteur agissent tous deux à partir du globe Terrestre et sont fonction de la structure interne du sous-sol mais aucune relation de la mécanique classique ne les unie à notre connaissance.

Matériel et méthodes : dans cette étude de liens entre les deux champs, nous utilisons la Télémétrie par Satellite des données ASCII NOAA sur une période allant de 1920 à 2020 pour les contraintes gravifiques et les éléments du champ géomagnétiques dont : l'inclinaison, la Déclinaison, les composantes X, Y et Z du champ géomagnétique ainsi que le champ magnétique horizontal et le champ magnétique total. Les pesanteurs en altitude et en latitude sont déterminées à partir des données GPS et les relations modélisées des pesanteurs et remontés dans le temps par des techniques de régression, l'ANOVA et la méthode de Lagrange.

Résultats : La pesanteur en latitude est fonction du champ magnétique horizontal B_{xy} et de la composante suivant Y du champ magnétique tandis que la pesanteur en altitude est fonction de la composante verticale B_z du champ magnétique. Les deux pesanteurs en altitude et en latitude varient avec la Déclinaison magnétique. La contrainte gravifique suivant X varie en fonction de la Déclinaison et de l'Inclinaison tandis que la contrainte gravifique suivant Y varie avec la Déclinaison magnétique

Conclusion : il y a des liens entre le champ géomagnétique le champ de pesanteur. le champ géomagnétique influence le champ de pesanteur. Il y a une variabilité périodique alternée de manière quasi semestrielle des Composantes Gravifiques (R_x , R_y) de la Terre. Les conséquences massiques directes des marées gravifiques Terrestres (R_x , R_y) ont une périodicité régulière de 50ans d'augmentation suivis de 50 ans de diminution de la Masse Terrestre au fil de temps, comme le prouve nos graphiques.

Mots clé : contrainte, pesanteur, champ, magnétique, Terre

Date of Submission: 10-04-2021

Date of Acceptance: 26-04-2021

I. Introduction :

La pesanteur varie d'un point à un autre sur le globe terrestre et ne reste pas constante au fil des années.

De même, le champ magnétique terrestre varie sur le globe terrestre et ne reste pas constante au fil des années.

Beaucoup de phénomènes naturels et artificiels modifient la répartition de la masse dans la structure de la Terre et ainsi influencent les deux champs en même temps car modifiant la répartition de la masse dans le sous-sol ainsi que la répartition de l'énergie solaire sur le globe. Il s'agit de : le mouvement de révolution de la terre autour du soleil, sa rotation autour de l'axe des pôles, la précession de la terre, les marées terrestre et océanique, la tectonique des plaques, la position de la terre autour du soleil, l'excentricité de la trajectoire de la terre, les érosions sur la terre, le séisme et tremblement de Terre, le volcanisme et déplacement des laves, les failles, les glissement des terrains, les exploitations minières, ...

La province du Sud-Kivu a un sous-sol riche avec des réserves en or, cassitérite, coltan et autres comme le fer, le Wolframite, la tourmaline, l'Améthyste, ... et une bonne couverture végétale contenant des forêts et des réserves naturelles comme la forêt équatoriale, la Réserve Naturelle d'Itombwe, le parc de KAHUZI BIEGA, ...

C'est aussi une région montagneuse se trouvant dans la chaîne de MITUMBA, possédant un ancien volcan éteint KAHUZI BIEGA, des exploitations minières, les érosions, les glissements des terrains...

Etant influencé dans le sous-sol par beaucoup des phénomènes naturels et/ou artificiels, ne pouvons pas trouver des correspondances entre les deux champs ?

Nous savons que les relations actuelles de la mécanique classique, à notre connaissance n'établit aucune correspondance entre les deux champs.

Le champ de pesanteur varie en altitude en en latitude selon les expressions suivantes de la mécanique classique :

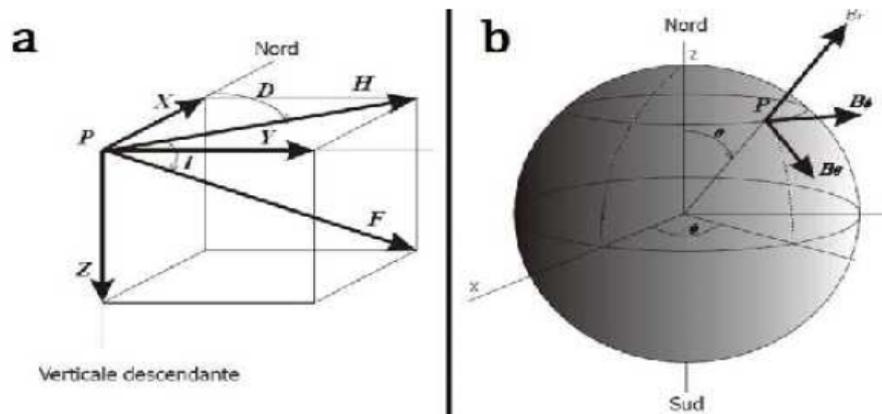
$$g_h = g_0 \frac{R_T^2}{(R_T+h)^2} \quad (1.1)$$

et

$$g_\lambda = g_0 - \omega^2 R_T \cos 2\lambda. \quad (1.2)$$

où $g_0 = 9,81 \text{m/s}^2$ est la pesanteur à la surface de la Terre, $R_T = 6370 \text{km}$ le rayon Terrestre, h l'altitude du point où l'on détermine la pesanteur, ε l'écart d'angle entre le vecteur poids de l'objet et la direction géocentrique (ε étant très faible, $\cos \varepsilon = 1$), λ la latitude en radian, ω la vitesse angulaire de rotation de la terre, g_h la pesanteur à l'altitude h et g_λ la pesanteur à la latitude λ .

Le champ magnétique terrestre en un point est défini par sept éléments dans le système de coordonnées cartésiennes dont : F : Intensité du champ total ; X : Projection de F sur le méridien géographique (vers le Nord géographique) ; Y Projection de F sur le parallèle géographique (vers l'Est géographique) ; Z Projection de F sur la verticale descendante. (Vers le centre de la Terre) ; H Projection de F sur le plan horizontal « xoy » ; D (Déclinaison magnétique) angle entre X et H. I (Inclinaison magnétique) angle entre F et H



Les sept éléments sont reliés entre eux par ces expressions simples :

$$H = F \cdot \cos I; \quad Z = F \cdot \sin I \quad \text{Ainsi, } I = \arctan \frac{Z}{H} \quad (1.3)$$

$$X = H \cdot \cos D; \quad Y = H \cdot \sin D \quad \text{Ainsi, } D = \arctan \frac{Y}{X} \quad (1.4)$$

$$X^2 + Y^2 = H^2 \quad \text{Ainsi, } H = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (1.5)$$

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2 = F^2 \quad \text{donc } F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1.6)$$

L'induction magnétique B est liée au champ magnétique H par la relation

$$B = \mu H \quad \text{avec } \mu = \mu_r \mu_0. \quad (1.7)$$

Où μ est la perméabilité absolue du milieu, μ_r la perméabilité relative d'un milieu et μ_0 la perméabilité du vide.

On définit la susceptibilité magnétique d'un matériau $\chi = \mu_r - 1$, ou $\mu_r = 1 + \chi$, vu comme un milieu continu, comme une grandeur sans dimension qui caractérise la faculté de ce matériau à s'aimanter sous l'effet d'une excitation magnétique.

Dans toutes ces relations connues du magnétisme et de la mécanique, aucun lien n'est établi avec le champ de pesanteur.

Nous nous proposons d'étudier la correspondance mutuelle entre les deux champs dans le souci de la théorie des champs unifiés.

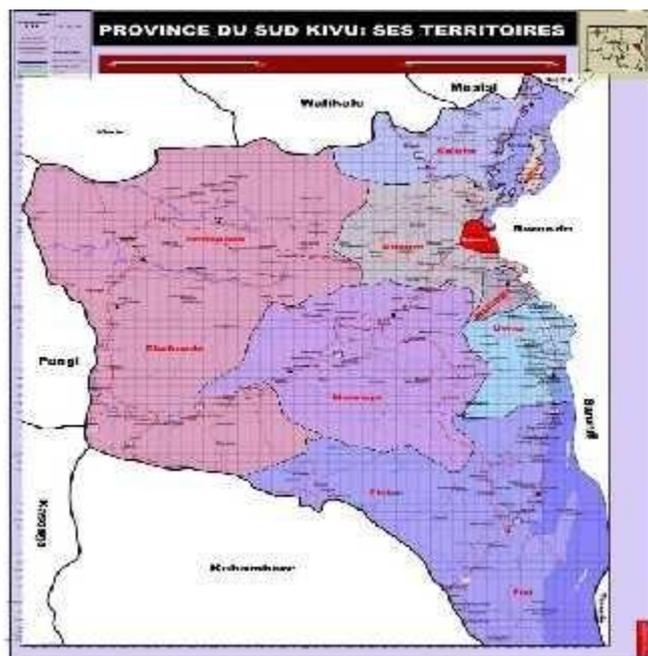
II. Methode Et Materiel

A. Milieu d'étude :

Le Sud-Kivu est située à l'Est de la R.D Congo et partage ses frontières avec le Rwanda, le Burundi et la Tanzanie. Il a des frontières internes communes avec les provinces du Nord-Kivu, du Maniema et du Katanga. Bukavu est la capitale de la province. Baraka et Uvira sont les deux autres grandes villes.

La province du Sud-Kivu a une superficie de 69.130 Km², Le Sud-Kivu est situé à l'Est de la République Démocratique du Congo, approximativement entre 1°36' de latitude sud et 5° de latitude sud d'une part et 26°47' de longitude Est et 29°20' de longitude Est d'autre part.

Le Sud-Kivu compte 8 Territoires dont: Fizi, Idjwi, Kabare, Kalehe, Mwenga, Shabunda, Uvira, Walungu (et la ville de Bukavu).



Les ressources du sous-sol sont : L'or, le fer, la Cassitérite, le Coltan, la chaux, le pétrole, le gaz méthane, le Niobium, le Colombite-Tantalite, l'huile de palme, Cinchona, le thé.

Les minerais sont exploités depuis la période coloniale jusqu'à nos jours. Les environs de la ville de Bukavu sont des régions volcaniques où l'on rencontre des roches basaltiques et un volcan éteint sur le Mont Kahuzi. Plusieurs réserves des forêts comme Mokanga, Kasombe, Mikelo, Itula, la forêt dense contenant la réserve naturelle d'Itombwe, la réserve forestière de Lolemba-Ngoma, la réserve forestière de l'Île Kifumbwe, ... et des savanes herbeuses.

Deux lacs de montagne ; le lac Kivu (1.470 m), le plus profond contenant des gaz carbonique et méthane et le lac Tanganyika (773 m) très poissonneux reliés entre eux par la rivière Ruzizi.

b. Sources des données :

En absence de Magnétomètre à Proton pour mesurer localement le Champ Magnétique et sans Gravimètre pour quantifier le Champ de Pesanteur local, la Télémétrie par Satellite des données ASCII NOAA est une aubaine pour nous Chercheurs Africains pour disposer des mesures locales du Magnétisme et de la Gravité locale, comme vous le constater au Sud Kivu, notre Champ de Recherche.

- les coordonnées géographiques des centroides des territoires par GPS

- Les données magnétiques ont été fournies par le satellite NOAA en utilisant le lien suivant <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/> à travers NCEI Geomagnetic Calculators NOAA. Nous avons introduit la latitude, la longitude, l'élévation en choisissant le modèle IGRF (1590-2024) en choisissant une date précise sous le format HTML.

- Les données gravifiques (les contraintes gravifiques) ont été fournis par le satellite NOAA de la NASA et nous a permis à travers son outil GIOVANNI de la source Merra 2 sur le site [http //giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni](http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni) dans le web-based NASA Giovanni d'obtenir les contraintes gravifiques suivant X et suivant Y données en N/m² avec une résolution temporelle mensuelle et une résolution

spatiale de $0,5 \times 0,625^\circ$ soit $55,5 \times 69.375 \text{ km}^2$ de 1980 à 2020 soit sur 41 ans.

c. **période** : 1920 à 2020 soit 101 ans étant donné que les deux champs varient lentement dans le temps et dans l'espace.

d. Traitement des données :

- on a utilisé les relations modélisées de la pesanteur en altitude et en latitude trouvées par nos récentes recherches sur la ville de Bukavu, pour déterminer les pesanteurs sur les autres centroides d'autres territoires de notre zone d'étude, dont les relations sont :

$$g_\lambda = 9,776 + 5,078.10^{-5}.\lambda + 4,558.10^{-7}.\beta + 3,757.10^{-11}.h \quad (1.8)$$

et $g_h = 9,81 - 3,078.10^{-6}.h - 4,993.10^{-7}.\lambda + 4.756.10^{-7}.\beta \quad (1.9)$

avec h l'altitude, λ la latitude et β la longitude

- La méthode Mathématique de Lagrange, le Modèle quadratique et cubique ainsi que les anomalies spatiales et temporelles des pesanteurs, l'ANOVA et la régression par SPSS nous ont permis de compléter notre base de données sur notre période d'étude soit de 1920 à 2020.

e. Les variables utilisées :

- Le temps en mois et en années
- Les pesanteurs en altitude et en latitude en m/s^2
- Les contraintes gravifiques en X et en Y en dyn/m^2
- Les sept éléments du champ magnétique terrestre : la déclinaison et l'inclinaison magnétique en degré décimal, les composantes en X, en Y et en Z de l'induction magnétique en nT et les inductions horizontale Bxy et l'induction totale Bxyz aussi en nT.

III. Résultats et discussion

Dendrogramme Euclidien des Variables Magnéto-Gravifiques sur Bukavu

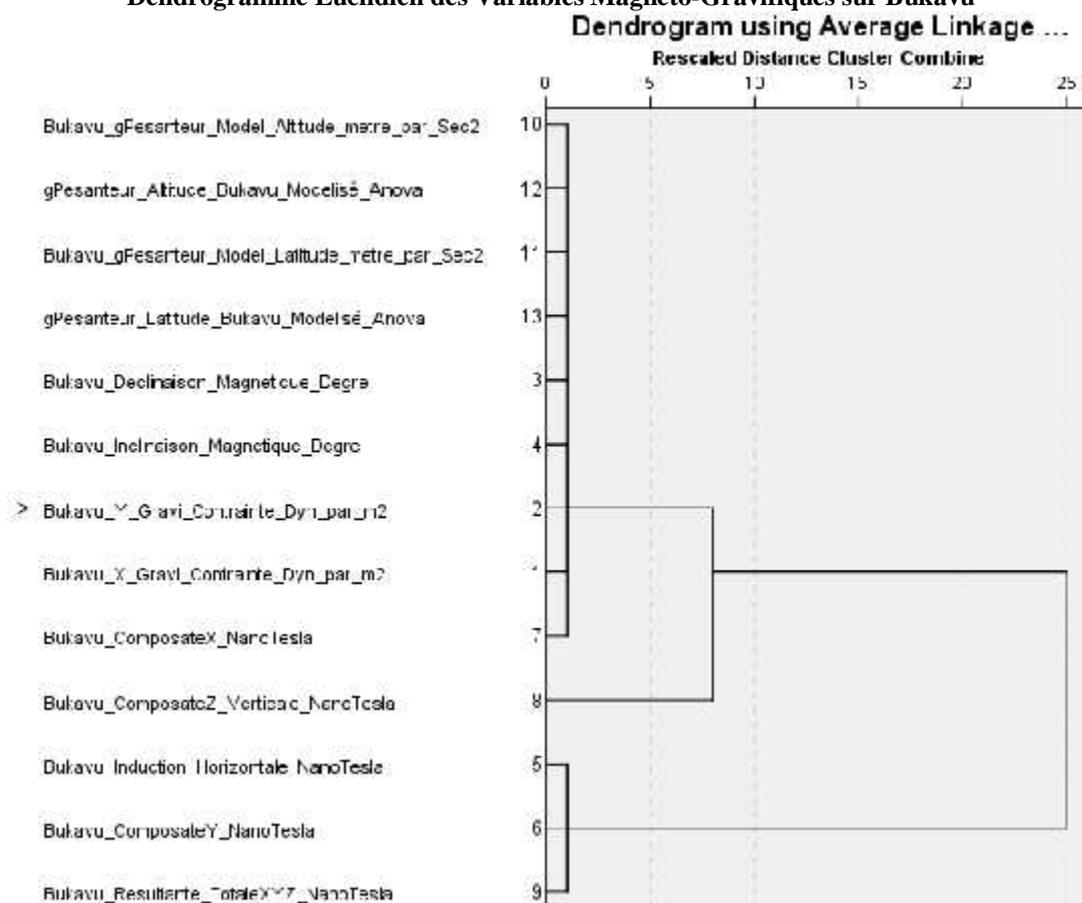


Fig1 : dendrogramme euclidien des variables gravifiques avec déclinaison et Inclinaison

Pour de raisons techniques en l'absence d'une base Théorique pour justifier l'influence de la Masse-kg sur le magnétisme Inductif, faute de modèle théorique, Nous avons étudié l'action du Champ Magnétique Terrestre vérifiable sur le Profil de la Variation du Champ Gravifique vérifiable.

Le dendrogramme, nous montre un lien euclidien sur l'échelle de 1/25 entre le Champ de Pesanteur g, les Contraintes Gravifiques et la Déclinaison-Inclinaison Magnétique sur Bukavu.

III.1 Interactions Linéaire et Non Linéaire de la Déclinaison-Inclinaison Magnétique de la Terresur les Contraintes Gravifiques à Bukavu

Tableau 1 : contrainte gravifique-X fonction de la Déclinaison et Inclinaison

Model/Anova	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
1 (Constant)	363.302	141.625		.010
Bukavu_Déclinaison_Magnétique_Degré	3.964	1.403	.086	.005
Bukavu_Inclinaison_Magnétique_Degré	16.526	4.313	.117	.000

a. Dependent Variable: Bukavu_X_Grav_Contrainte_Dyn_par_m2

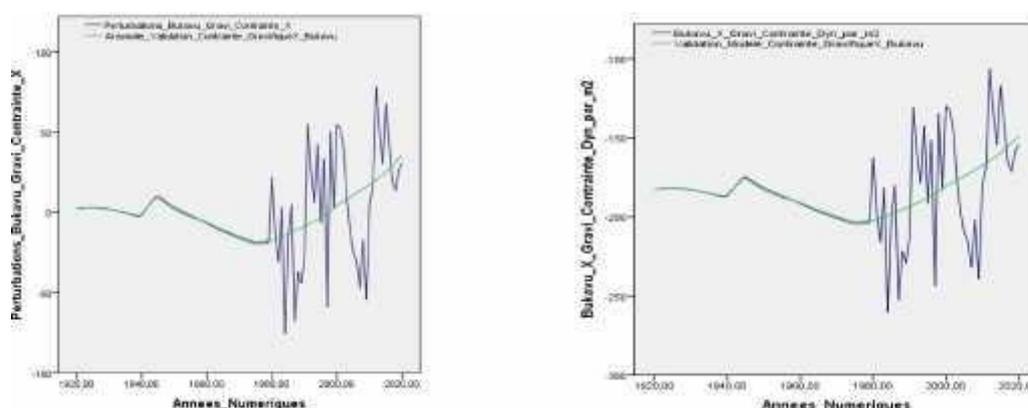


Fig2 : perturbation de la contrainte gravifique suivant X au cours des années

On peut remarquer qu'il existe une corrélation linéaire sur la ville de Bukavu entre la contrainte gravifique longitudinale (contrainte suivant X) CGx en fonction de la Déclinaison magnétique D et de l'Inclinaison magnétique I.

$$CGx = 363.303 + 3.964 * D - 16.526 * I \quad (1.10)$$

Tableau 2 : contrainte gravifique-Y fonction de la Déclinaison et Inclinaison

Contrainte Gravifique Bukavu Y(D) = 59,703 - 4,387 * Déclinaison Bukavu - 0,675 * Déclinaison Bukavu * 2

Modèle de Lagrange	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
Bukavu_Déclinaison_Magnétique_Degré	-4,387	2,244	-,105	,351
Bukavu_Déclinaison_Magnétique_Degré ** 2	-,675	,305	-,166	,375
(Constant)	59,703	2,777		,000

De même, il existe une corrélation quadratique sur la ville de Bukavu entre la contrainte gravifique latitudinale (contrainte suivant Y) CGy en fonction de la Déclinaison magnétique D.

$$CGy = 59.703 - 4.38764 * D - 0.675 * D^2 \quad (1.11)$$

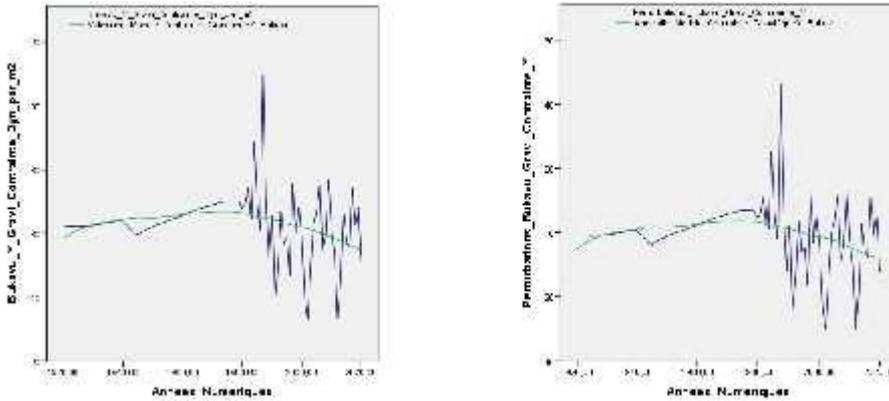


Fig3 : perturbation de la contrainte gravifique suivant Y aucours des années

De même, il existe une corrélation quadratique sur la ville de Bukavu entre la contrainte gravifique latitudinale(contrainte suivant Y) CGy en fonction de la Déclinaison magnétique D.

$$CGy = 59.703 - 4.38764 * D - 0.675 * D^2 \quad (1.12)$$

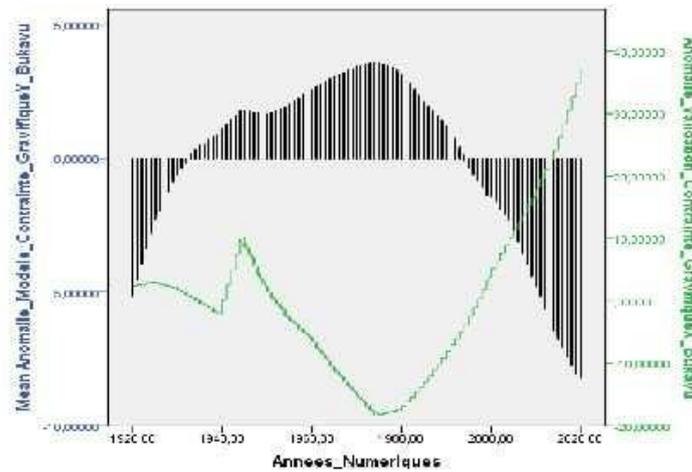


Fig4 : Anomalie des contraintes gravifiques suivant X et Y aucours des années

La Composante-Y = Ry de la Contrainte Gravifique est pareille à la Marée Haute de la Terre, tandis que la Composante-X = Rx de la Contrainte Gravifique est pareille à la Marée Basse de la Terre, en Interactions Magnétiques, alternant de manière sinusoidaloidé entre le Champ Solaire et Lunaire de part et d'autre de la Terre tous les 50 à 60 ans au plus.

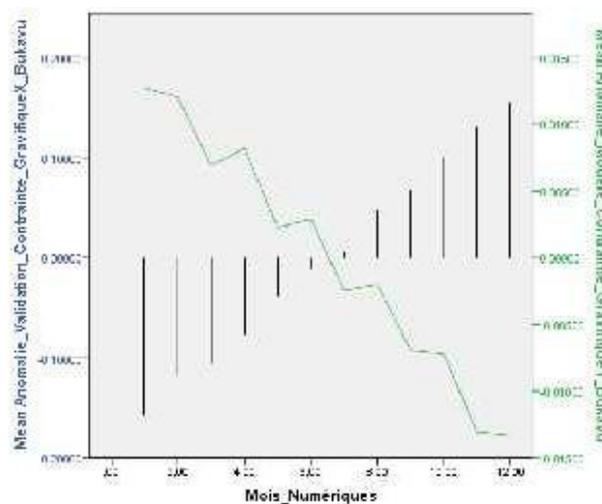


Fig5 : Anomalie des contraintes gravifiques suivant X et Y aucours des mois

Nous constatons une variabilité périodique alternée de manière quasi semestrielle des Composantes Gravifiques (Rx, Ry) de la Terre, de façon que rien ne se perd rien ne se crée, tout se conserve avec la résultante $R = R_x + R_y$:

Les conséquences massiques directes issues de ces marées gravifiques Terrestres (Rx, Ry) sont théoriquement liées à la Théorie de fossilisation et de la dé-fossilisation de la lumière cosmique sur notre Planète, et cela, avec une périodicité régulière de 50ans d'augmentation suivis de 50 ans de diminution de la Masse Terrestre au fil de temps, comme le prouve nettement nos graphiques.

III.2 Interactions Linéaire et Non Linéaire de la Déclinaison-Inclinaison Magnétique de la Terre le Champde Pesanteur g(Altitude, Latitude)

Tableau 3 : pesanteur en altitude fonction de la Déclinaison et Inclinaison

Modele Bukavu(Altitude)_gPesanteur(D) = 9,763 + 0,00006283*Déclinaison_Magnétique Bukavu*

Model	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	Sig.
1 (Constant)	9,761	,000	,000
Bukavu_Inclinaison_Magnétique_Degré	,000	,000	,733
2 (Constant)	9,763	,000	,000
Bukavu_Inclinaison_Magnétique_Degré	,000	,000	,983
Bukavu_Déclinaison_Magnétique_Degré	6,283E-005	,000	,721

a. Dependent Variable: Bukavu_gPesanteur_Model_Altitude_metre_par_Sec2

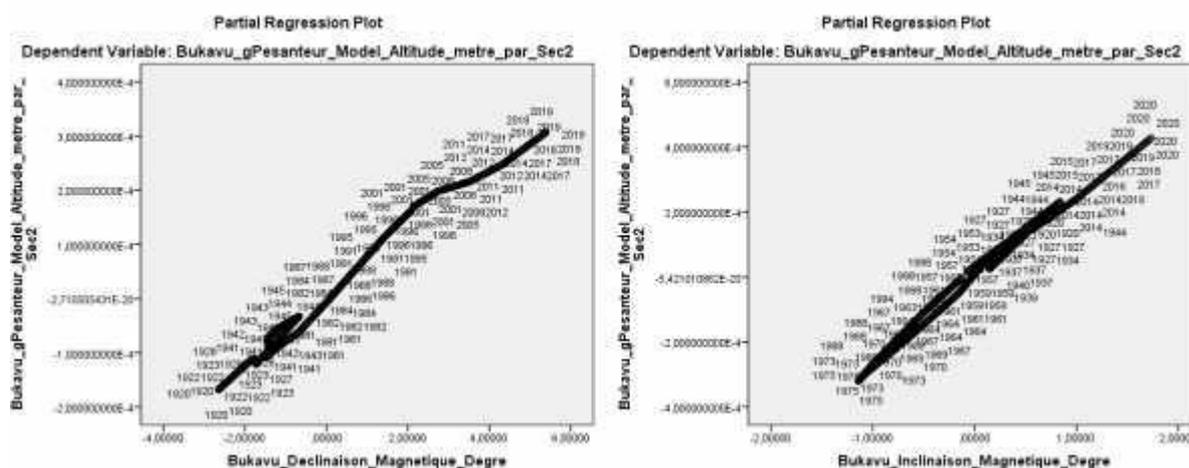


Fig5 : dependnce de la pesanteur altitude en fonction de la Déclinaison et Inclinaison magnétique

Nous remarquons une relation linéaire de la pesanteur en altitude et la déclinaison magnétique sur Bukavu.

$$g_h = 9,761 + 0,00006283 * D \quad (1.13)$$

Tableau 4 : pesanteur en latitude fonction de la Déclinaison et Inclinaison
Modele Lagrange gPesanteur_Latitude(Déclinaison Magnétique) Bukavu = 9,779 - 0,000001006 *Déclinaison + 0,00006091 *Déclinaison^2

Modele Quadratique de Lagrange	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
Bukavu_Déclinaison_Magnétique_Degré	-1,006E-006	,000	-,003	,085
Bukavu_Déclinaison_Magnétique_Degré ** 2	6,091E-005	,000	,997	,000
(Constant)	9,779	,000		,000

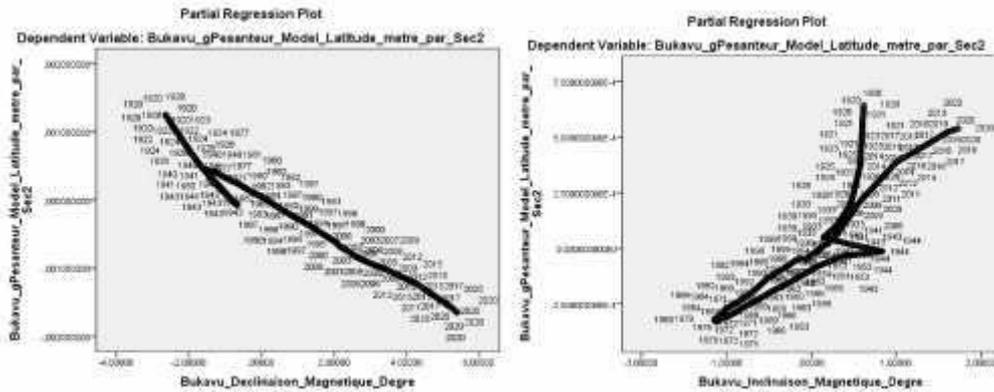


Fig5 : dependnce de la pesanteur altitude en fonction de la Déclinaison et Inclinaison magnétique

Le modèle quadratique de Lagrange nous montre qu'il y a une relation quadratique entre la pesanteur en latitude et la Déclinaison magnétique D sur la ville de Bukavu. On a :

$$g_{\lambda} = 9.779 - 0.00001006 * D + 0.00006091 * D^2 \quad (1.14)$$

La courbe ci-dessous illustre bien cette relation quadratique.

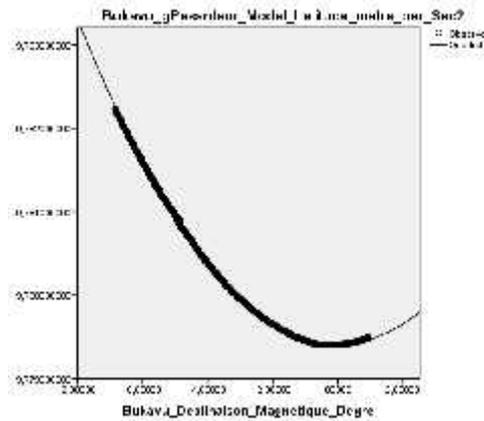


Fig6 : courbe quadratique de la pesanteur laltitude en fonction de la Déclinaison magnétique

III.3 Interactions Linéaire et Non Linéaire des inductions magnétique sur la pesanteur sur s sur Bukavu

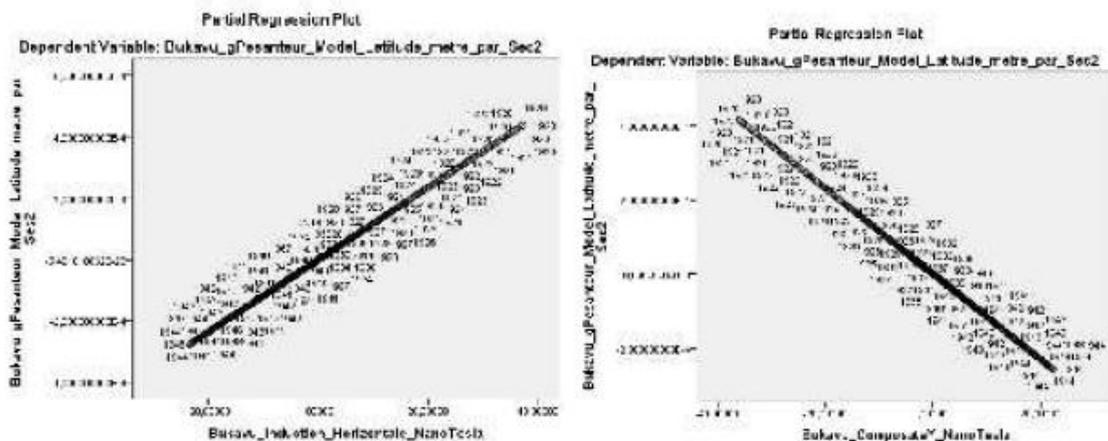


Fig7 : pesanteur en latitude en fonction des inductions magnétiques

Tableau 5 : pesanteur en latitude fonction des inductions magnétiques

Modele_gPesanteur(Induction)_Latitude_Bukavu = 9,773 + 0,00001177*Bxy - 0,00001154*By²

Model Anova	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
1 (Constant)	9,739	,000		,000
Bukavu_Induction_Horizontale_NanoTesla	1,432E-036	,000	,991	,000
2 (Constant)	9,773	,000		,000
Bukavu_Induction_Horizontale_NanoTesla	1,177E-035	,000	8,150	,000
Bukavu_ComposateY_NanoTesla	1,154E-035	,000	7,160	,000
3 (Constant)	9,773	,000		,000
Bukavu_Induction_Horizontale_NanoTesla	1,177E-035	,000	8,150	,000
Bukavu_ComposateY_NanoTesla	-1,154E-035	,000	-7,160	,000
Bukavu_ComposateX_NanoTesla	4,034E-019	,000	,000	,000
4 (Constant)	9,773	,000		,000
Bukavu_Induction_Horizontale_NanoTesla	1,177E-035	,000	8,150	,000
Bukavu_ComposateY_NanoTesla	1,154E-035	,000	7,160	,000
Bukavu_ComposateX_NanoTesla	5,407E-018	,000	,000	,000
Bukavu_ComposateZ_Verticale_NanoTesla	-3,964E-018	,000	,000	,000

a. Dependent Variable: Bukavu_gPesanteur_Model_Latitude_metre_par_Sec2

Plusieurs relations possibles entre la pesanteur en latitude et les composantes des inductions magnétiques.

On a :

$$g_x = 9.739 + 0.000001432 * B_{xy} \quad (1.15)$$

$$g_x = 9.773 + 0.00001177 * B_{xy} - 0.00001154 * B_y \quad (1.16)$$

On peut bien remarquer que quand l'induction horizontale augmente, la pesanteur augmente et quand la composante suivant Y augmente, la pesanteur diminue (confer les graphique ci-dessous)

Tableau 6 : pesanteur en altitude fonction des inductions magnétiques

Modele_gPesanteur(Induction Verticale Bz)_Altitude Bukavu = 9,763 + 0,0000004742*Bz²

Model-Anova	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
1 (Constant)	9,763	,000		,000
Bukavu_ComposateZ_Verticale_NanoTesla	4,742E-007	,000	1,000	,000

a. Dependent Variable: Bukavu_gPesanteur_Model_Altitude_metre_par_Sec2

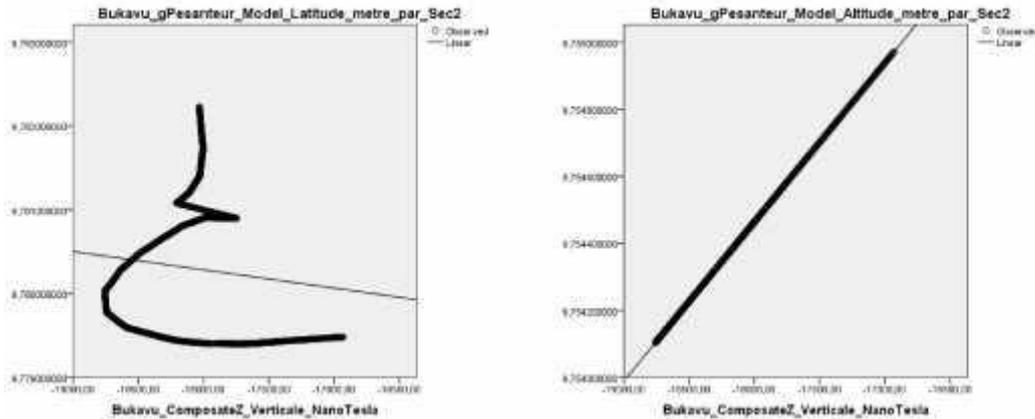


Fig8 : pesanteur en altitude en fonction des inductions magnétiques

Nous remarquons l'existence d'une relation linéaire entre la pesanteur en altitude et la composante verticale Z de l'induction magnétique. On a :

$$g_h = 9.763 + 0000004742Bz \quad (1.17)$$

IV. Conclusion

En effet, les constats faits sur Bukavu sont identiques sur le comportement magnétique et gravifique des autres centroïdes territoriales du Sud Kivu dans le Fizi, Idjwi, Kabare, Kalehe, Mwenga, Shabunda, Uvira ainsi Walungu, toute chose restant égale par ailleurs.

Ainsi, pour ne pas faire des vices repetitas et redondances inutiles, les observations géophysiques faites sur les Interactions du Champ Magnétique sur le Champ Gravifique suffisent par ailleurs pour être généralisées sur tout le Sud Kivu.

Nous confirmons donc qu'il y a des liens entre les champs magnétique et gravifique dans leurs comportements sur le Sud-Kivu. Le champ magnétique au Sud-Kivu influence le champ de pesanteur

Les contraintes gravifiques suivant X et suivant Y varient avec la déclinaison et l'inclinaison magnétique : si la déclinaison D augmente la contrainte gravifique suivant X augmente et diminue lorsque l'inclinaison augmente.

La contrainte gravifique suivant Y diminue lorsque la déclinaison augmente et ne depend pas de l'inclinaison.

$$CG_x = 363.303 + 3.964 * D - 16.526 * I$$

$$CG_y = 59.703 - 4.38764 * D - 0.675 * D^2$$

La pesanteur en altitude augmente avec l'augmentation de la déclinaison et la pesanteur en latitude augmente avec l'augmentation de la Déclinaison

$$g_h = 9.761 + 0.00006283 * D$$

$$g_\lambda = 9.779 - 0.000001006 * D + 0.00006091 * D^2$$

La pesanteur en latitude augmente lentement au cours des années avec l'augmentation de l'induction magnétique horizontale et diminue avec l'augmentation de la composante suivant Y de l'induction magnétique.

$$g_\lambda = 9.739 + 0.000001432 * B_{xy}$$

$$g_\lambda = 9.773 + 0.00001177 * B_{xy} - 0.00001154 * B_y$$

La pesanteur en altitude augmente avec l'augmentation de la composante verticale Z de l'induction magnétique.

$$g_n = 9.763 + 0000004742Bz$$

Les conséquences massiques directes issues de ces marées gravifiques Terrestres (Rx, Ry) sont théoriquement liées à la Théorie de fossilisation et de la dé-fossilisation de la lumière cosmique sur notre Planète, et cela, avec une périodicité régulière de 50ans d'augmentation suivis de 50 ans de diminution de la Masse Terrestre au fil de temps, comme le prouve nettement nos graphiques.

Nous constatons une variabilité périodique alternée de manière quasi semestrielle des Composantes Gravifiques (Rx, Ry) de la Terre, de façon que rien ne se perd rien ne se crée, tout se conserve avec la résultante $R = Rx + Ry$.

Bibliographie

ARTICLES ET PUBLICATIONS

- [1]. DEPARIS, V., 2013, Variation de la pesanteur avec l'altitude et déviation de la verticale près des montagnes : mesures, premiers modèles explicatifs et approche indirecte de l'intérieur de la Terre.
- [2]. DEQUINCEY, OI., Frédéric Chambat, 2010, Ellipsoïde et géoïde, gravimétrie, corrections et anomalies : surface et profondeur de la Terre.
- [3]. GOGUEL, J. 1984. Bouguer au Chimborazo, et l'acceptation de la théorie newtonienne de l'attraction , Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie, deuxième série, t. II, p.41.
- [4]. JAMET OI.& Patrick Sillard ; 2003, Simulation du champ de pesanteur à partir d'un modèle géologique en trois dimensions : un outil pour l'évaluation des méthodes de calcul de géoïde ; Bulletin d'Information de l'IGN n° 74.
- [5]. KURT LAMBECK, K., 2000, le champ global de la pesanteur terrestre
- [6]. RICARD, Y. 2003, Méthode de mesure de la gravité à la surface terrestre et forme du géoïde. Implications géologiques de l'étude des anomalies.
- [7]. Jacques Duboi, Michel Diament, 2011, géophysique cours et exercices corrigés, 4^{ème} édition, dunod
- [8]. KAVUKE K, MAHINDA K, MUSUMBA T, MUKAMBILWA K, et CIRABA M., MUSOSEKANIA K, AJEJE B et BISUSA K, variation du champ magnétique terrestre local, un paramètre de surveillance d'un volcan actif : cas des volcans Nyiragongo et Nyamulagira/RD Congo, cahier du ceruki nouvelle série 42, pp18—25
- [9]. LA GEOPHYSIQUE POUR LES GEOLOGUES Tome 2 , METHODE DE PROSPECTION MAGNETIQUE 65p
- [10]. Justin Mudekuza, Albert Kabasele, 2017, pp 251 – 272, « correction des relations de la mécanique classique donnant la pesanteur en un point en fonction de l'altitude et de la latitude : de la ville de Bukavu ».
- [11]. Kavuke K. Mahinda K, Musumba T, Mukambilwa K et Ciraba M, 2012, Cahier du Ceruki N°42, pp. 26-42 « à propos des mouvements tectoniques de l'île d'Idjwi dans le lac kivu tel que révélés par les anomalies magnétiques de 1900 à 2010 »
- [12]. Grégory Fanjat le 29 juin 2012, ÉCOLE DOCTORALE SIBAGHE, Les fluctuations du champ magnétique terrestre : des variations séculaires récentes aux renversements, Thèse
- [13]. Sylvain Bonvalot, 2010, Mesures et traitement de gravimétrie terrestre, Institut de Recherche pour le Développement (IRD) Bureau Gravimétrie International (BGI) UMR5563 UMR5563 – Observatoire Observatoire Midi Pyrénées Pyrénées, 14 av. E. , 14 av. E. Belin, 31400 Toulouse
- [14]. Visualizing satellite data: How to use NASA's Giovanni data visualizer? Xiaomeng Jin (xjin@ldeo.columbia.edu) Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University HAQAST6 Meeting, Pasadena, CA July 12, 2019 Acknowledgement: Arlene Fiore, Daniel Tong, Suhung Shen, Jennifer Wei, Rhianna Miles, Tracey Holloway

MEMOIRES ET THESES

- [1]. **MOUYEN, Maxime(2011)**, Université de Strasbourg, Thèse de doctorat : « Apport de la gravimétrie à l'étude de l'orogénèse taïwanaise »
- [2]. **POITEVIN**, 1989 pp 407-420, dans les annales de la société géologique de Belgique, tome 112 (fascicule 2), , étudie l' « apport de la gravimétrie à la tectonique récente et actuelle en Belgique ».
- [3]. **ROZIER de LINAGE**, Ca.,2008, Université Louis Pasteur Strasbourg I, Mesures gravimétriques au sol et satellitaires : « Etude du rapport entre variation de pesanteur et déplacement vertical et apport de la mission spatiale GRACE à l'étude des surcharges hydrologiques »
- [4]. **SHANDINI NJANKOUO**, Yv., 2007, Université de Yaoundé I Cameroun - DEA , étudie l' « Implication structurale des anomalies gravimétriques en bordure septentrionale du craton du Congo »
- [5]. **ZENNED**, 2002, UNIVERSITE DU TUNISIE, DEA : « calcul des géoïdes locaux : la contribution de la topographie aux géoïdes »
- [6]. Mioara Manda-Alexandrescu (1996), Le champ géomagnétique et ses observatoires. thèse,
- [7]. Justin MUDEKUZA CHIBWANA, 2013, mémoire de DEA, Université Pédagogique Nationale, à Kinshasa, « modélisation du champ de pesanteur terrestre de la ville de Bukavu : cas de la commune de Bagira.

QUELQUES SITES CONSULTES

- [1]. http://ganymede.ipgp.jussieu.fr/frog/journées/11_mai/présentations/I_Panet.pdf
- [2]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/pesanteur>.
- [3]. <http://ganymede.ipgp.jussieu.fr/frog/>
- [4]. <http://planet-terre.ens.lign.fr/article>
- [5]. <http://planet-terre.ens-lyon.fr>
- [6]. <http://ngdc.noaa.gov/wist/magfield.jsp> ce 22/2/2021
- [7]. <https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.jpboaseret.eu%2Fbiologie%2Fimages%2F2018-couche-d-ozone->

- 0.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.jpboser
[8]. <https://www.encyclopedie-environnement.org/air/la-magnetosphere/>
[9]. <http://www.arl.noaa.gov/ready.geomagn> , 2018].

Justin MUDEKUZA CHIBWANA, et. al. “La correspondance entre le champ de pesanteur et le champ magnétique terrestre vue au Sud-Kivu en R.D Congo.” *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 13(2), 2021, pp. 44-55.