

Impact de la température du sol sur l'évapotranspiration vue au Sud-Kivu en R.D Congo.

Justin MUDEKUZA CHIBWANA¹, Albert KABASELE YENGAYENGA²,
Evariste KAZADI TSHIAMALA².

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

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

Résumé :

Contexte : la température du sol sur le plan mondial est entrain de croitre et cette température s'est accrue dans notre pays à Kinshasa et nous venons de le montrer aussi pour le Sud-Kivu en R.D Congo où la température du sous-sol à 2m a augmentée de 0.7 °C. Sans vouloir dire que cette élévation de température dans le sous-sol est le résultat du changement climatique, nous voulons savoir si cette température n'a pas d'impact sur l'évapotranspiration (ETP), traceur fiable de la dégradation et/ou de la déforestation des sols.

Matériel et méthodes : dans cette étude, nous utilisons la Télémétrie par Satellite des données ASCII NOAA sur une période allant de 1920 à 2020 pour les paramètres : la température du sol de 100 à 200cm en °C et l'évapotranspiration en Tonne d'H₂O par Hectare et par jour. Les données télémétrées par GIOVANNI sur les centroïdes des 8 Territoire du Sud-Kivu et la ville de Bukavu avec une résolution temporelle mensuelle et une résolution spatiale de 0.25° soit 27,75 * 27,75 km².

Résultats : Sur le Sud-Kivu, la température du sol a augmenté de 0.7°C jusqu'en 2020. Cette augmentation de la température impacte l'évapotranspiration et donc la quantité des précipitations sur la province. Les ETP sont entrain de diminuer suite à l'augmentation de la température ou de son gradient.

Conclusion : Il est établi que si la Température du Sol augmente alors l'Evapotranspiration Forestière en terme de Perturbation en tonne d'eau par hectare craque en diminuant drastiquement. Un bilan équilibré en transfert d'énergie entre les écosystèmes Sol-Végétation et Végétation-Sol est observable au Sud Kivu tel que annuellement, la température du sol augmente de Juillet à Décembre et diminue de janvier en juillet impliquant une diminution des ETP de Juillet à Décembre et une augmentation des ETP de Janvier à Décembre.

Mots clé : ETP, température du sol, gradient de température.

Date of Submission: 10-04-2021

Date of Acceptance: 26-04-2021

I. Introduction :

La déforestation, la dégradation des sols, les émissions des gaz à effets de serre, et bien d'autres facteurs sont aujourd'hui à la base du réchauffement climatique qui engendre des perturbations climatiques et la destruction de la couche d'ozone capable de perturber la température de l'air au sol.

Beaucoup de phénomènes naturels et artificiels modifient la répartition de l'énergie solaire à la surface de la Terre et ainsi influencent la température à la surface du globe : 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, le volcanisme et déplacement des laves, la tectonique des plaques ...

Aujourd'hui il est remarqué un réchauffement climatique du sol sur tout le globe.

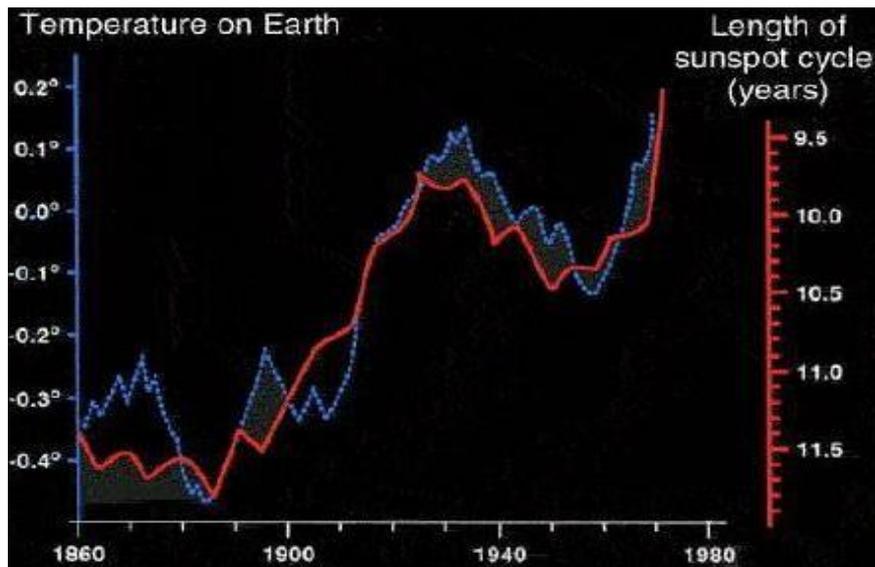


Fig 1. La température de la planète en augmentation avec la constante solaire (Source : NASA)

Il s'avère qu'il se crée actuellement un autre Equateur météorologique, où certaines zones de la Terre sont plus chaudes même en étant dans le même hémisphère.

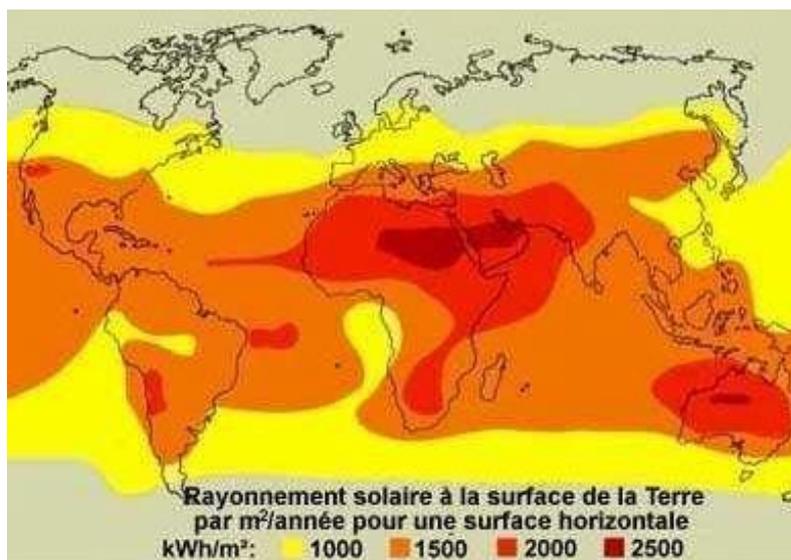


Fig 2. La température de la planète en augmentation par zone (Source : NASA)

Le constat depuis les années 1980 est que, la Terre ne fait que se réchauffer quoique la variation de la température soit faible. De 1980 à 2007, cette température s'est accrue de 0.55°C sur le continent.

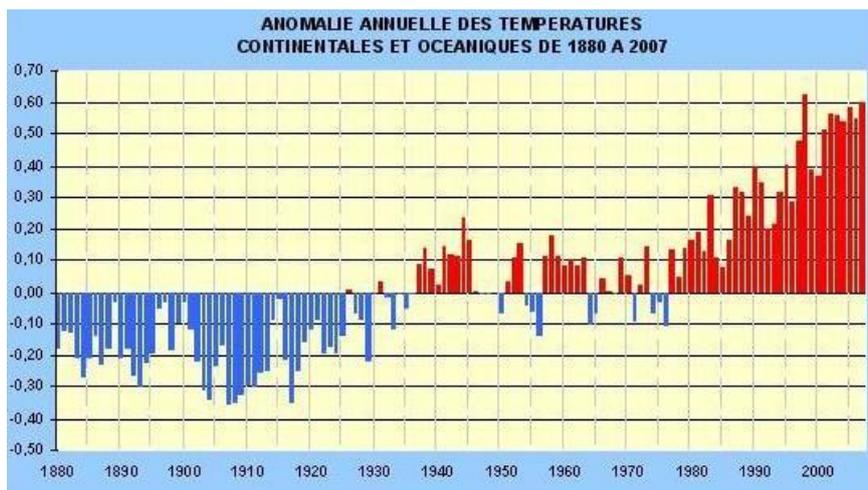


Fig 3. Les anomalies annuelles des Températures continentales (Source : NASA)

Au niveau de la RDC, le Réchauffement du Sol dégradé par les Ilots de Chaleur, surtout en milieux urbains comme Kinshasa, est une pire et triste Réalité observée à l'Observatoire Spatial des Ressources Naturelles et du Climat OSRNAC de l'Université Pédagogique Nationale UPN, au sein de son Ecole de Télécommunication et de Télédétection Spatiale ETS/UPN, www.ets-upn.com

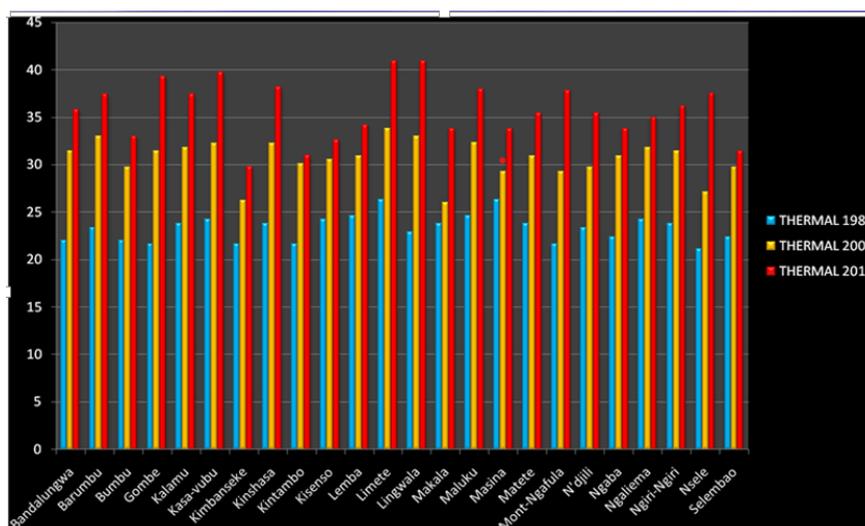


Fig 4. Les anomalies annuelles des Températures continentales (Source : ETS/UPN Labo OSRNAC)

Nous venons de constater par une étude sur les ilots mensuels de chaleurs du Sol à 2m de profondeur au Sud- Kivu, en utilisant les données ASCII du Satellite NOAA, sur la période allant de 1920 à 2020 que, le Sol du Sud Kivu s'est réchauffé de +0,7°Celsius comme l'indique les anomalies ci-dessous.

On constate que du mois de Juillet à Octobre la Terre du Sud Kivu se réchauffe avec des Pics Hauts de Température en Octobre, et se refroidit de Novembre à Juin avec des Pics Bas de Température en Juillet.

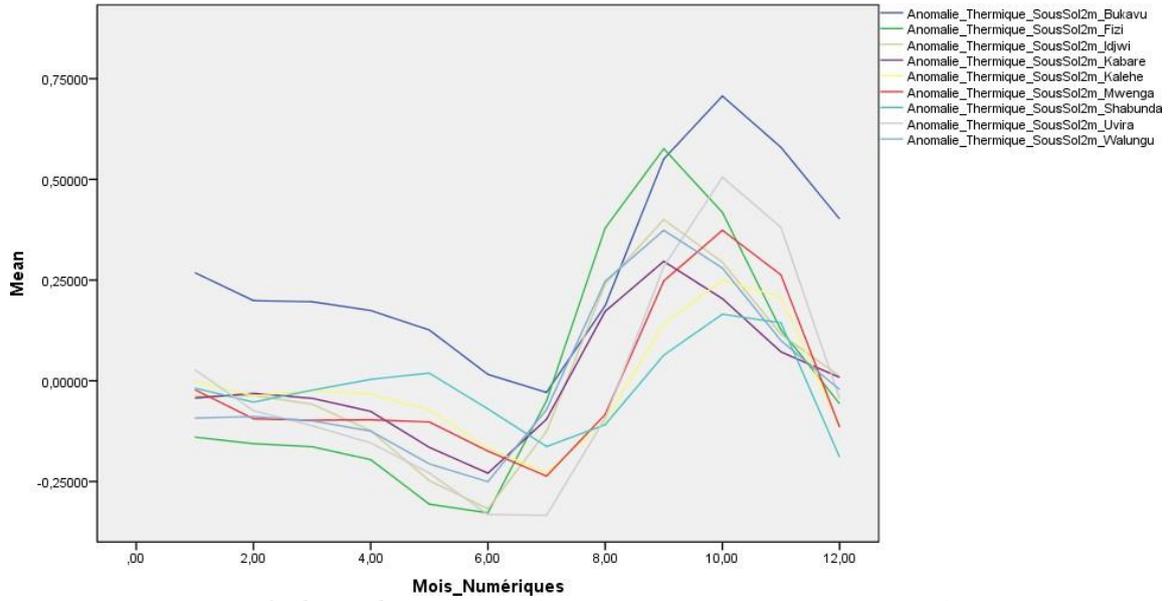
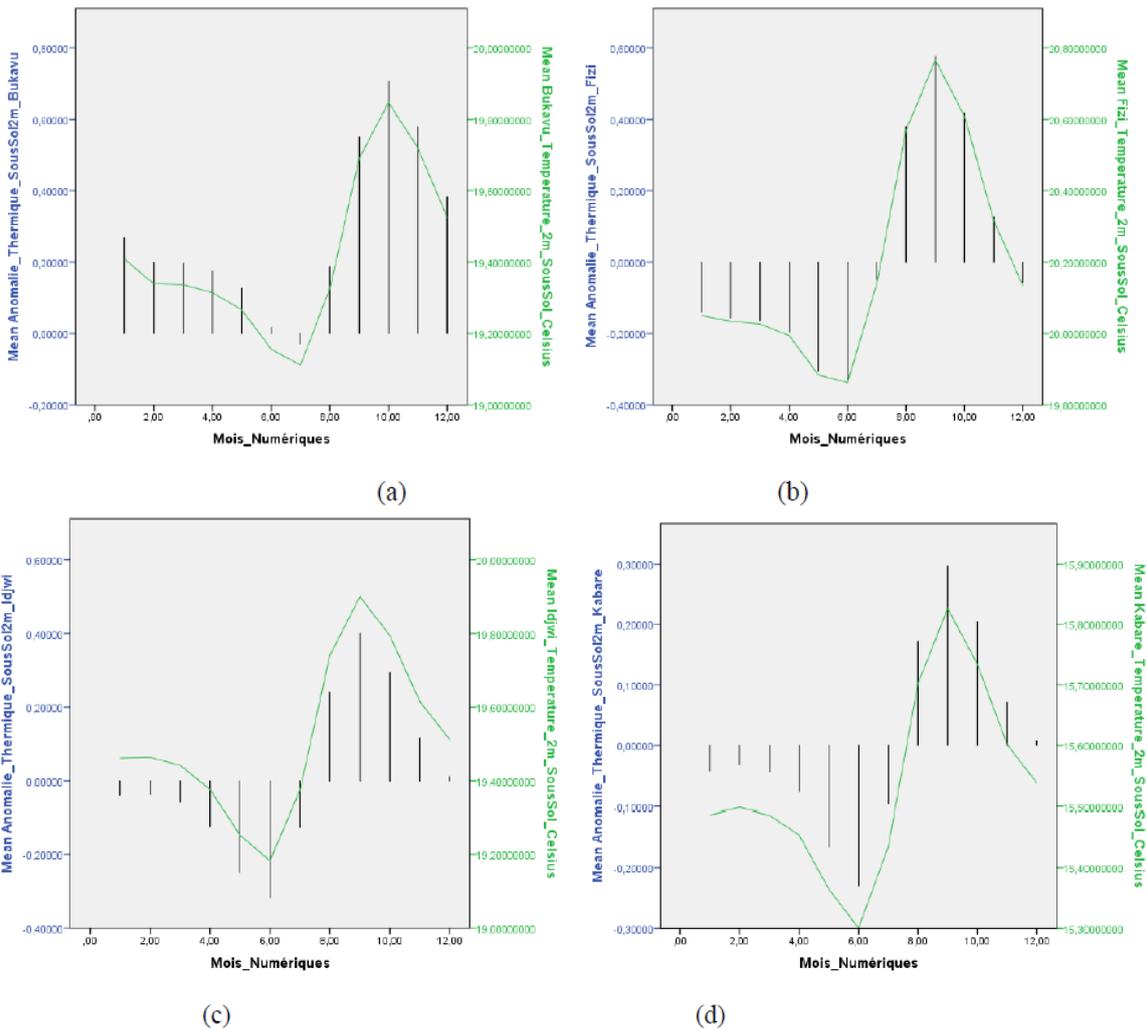


Fig 5. L'évolution des anomalies des températures par Territoire au Sud-Kivu

Flots mensuels de Chaleurs du Sol au Sud-Kivu par territoire



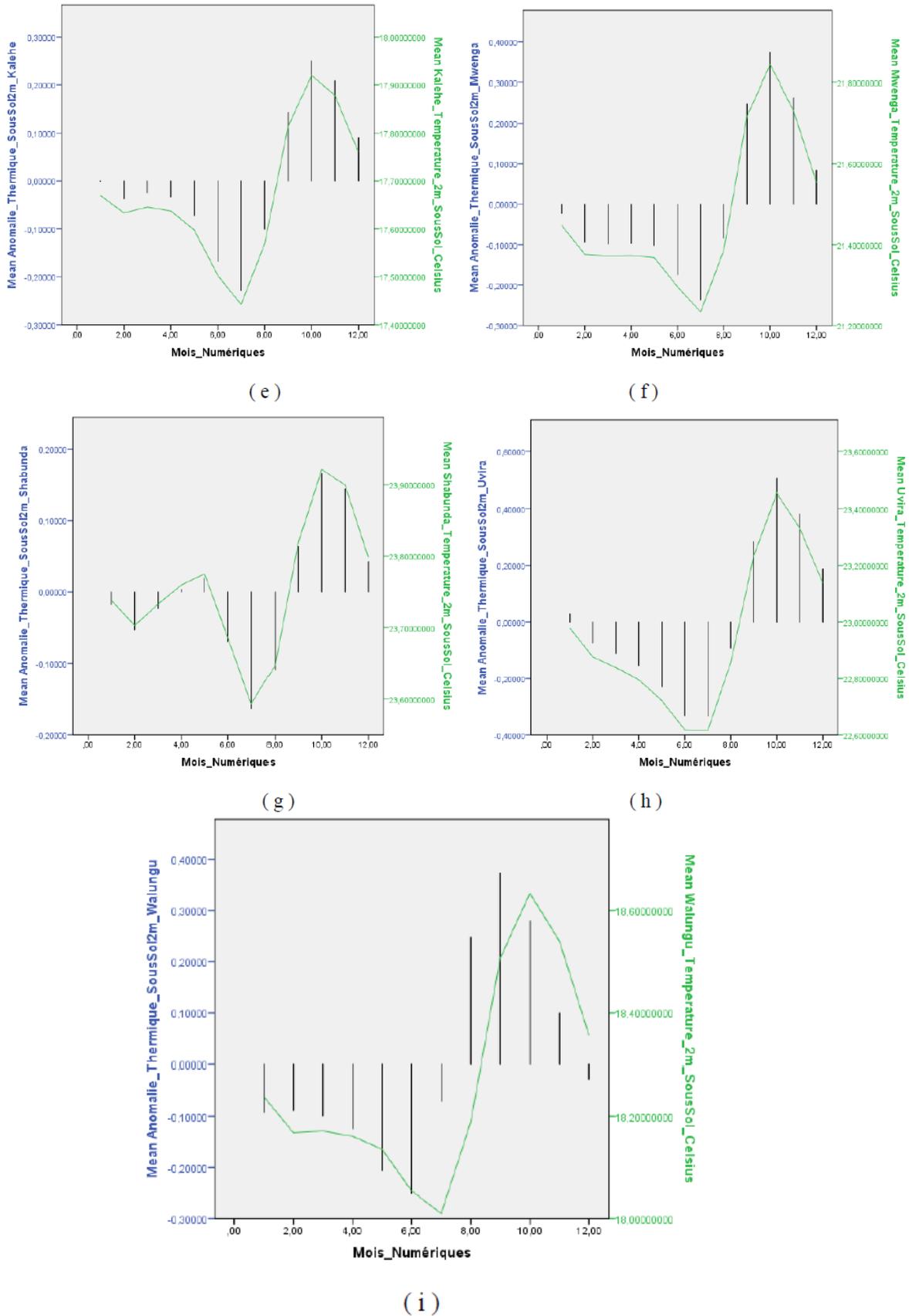


Fig 6. L'évolution annuelle des températures par Territoire au Sud-Kivu

Le mois de Juillet au Sud Kivu est celui de l'Inversion de la Température du sol dont la courbe change de Concavité du haut vers le bas. On remarque que la température du sol diminue de janvier à juin et augmente généralement de juillet à Décembre tout en commençant la chute en octobre.

La province du Sud-Kivu possède une bonne couverture dont la forêt dense équatoriale à Mwenga et Shabunda, un de meilleurs parcs du monde, celui de Kahuzi-Biega dans le kalehe et kabare avec une luxuriante forêt des bambous, une végétation montagnarde étagée et à prédominance herbeuse dans le uvira, la forestière de Lolemba-Ngoma, de l'Île Kifumbwe et la réserve naturelle d'Itombwe dans le Fizi contenant des forêts et des réserves naturelles comme la forêt équatoriale, la Réserve Naturelle d'Itombwe ...

La question essentielle est de savoir si le réchauffement avéré du sol au sud Kivu n'impacte pas la couverture végétale de cette province du Sud-Kivu en RDC.

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).

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 : On a utilisé la Télémétrie par Satellite des données ASCII NOAA.

- les coordonnées géographiques des centroides des territoires par GPS

- Les données des ETP (évapotranspiration) et les températures du sol de 100 à 200cm de profondeur sont fournis par le satellite NOAA de la NASA nous a permis à travers son outil GIOVANNI de la source GLDAS sur le site [http //giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni](http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni) dans le web-based NASA Giovanni d'obtenir avec une résolution temporaire mensuelle et une résolution spatiale de 0,25° soit 27,75 x 27,75 km² de 1948 à 2020 soit sur 73 ans.

c. Période : 1920 à 2020

d. Traitement des données : La méthode Mathématique de Lagrange, le Modèle quadratique et cubique ainsi que les anomalies thermiques et perturbations spatiales et temporelles des ETP, 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 ETP en kgm⁻²s⁻¹ que nous avons convertis en Tonne d'H₂O par Hectare et par jour
- Les températures en Kelvin

III. Résultats et discussion

En étudiant les perturbations des ETP (évapotranspiration) dans tous les territoires du Sud-Kivu, on constate que, annuellement, les ETP diminuent de janvier à juillet et croient de juillet/Aout à Décembre. On remarque les pics bas des ETP en juillet et les pics haut des ETP en Février/Mars.

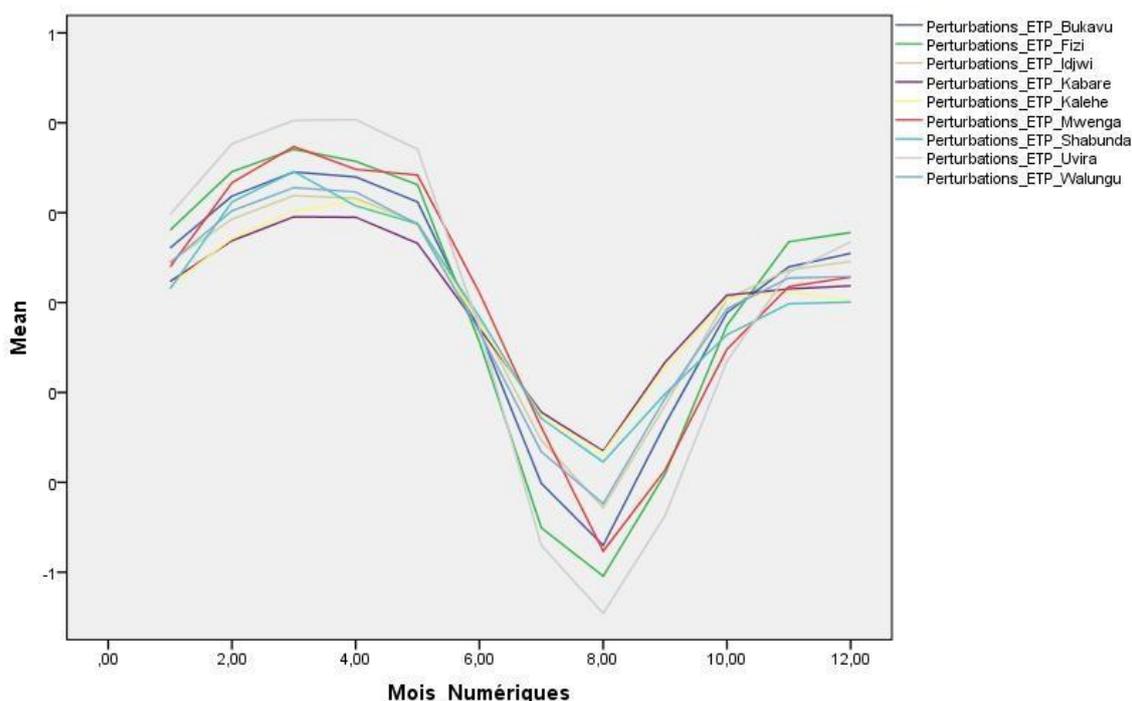


Fig 7. L'évolution annuelle des ETP des Territoires au Sud-Kivu

Tableau1 : Thermo évapotranspiration végétale du sol des centroïdes du Sud-Kivu

Source Auteur, Données ASCII Satellites NOAA	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Bukavu_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1212	17,43800000	21,25100000	19,41987799	,5507596010
Bukavu_GradTcm_SousSol	1211	,087190	,106255	,09709699	,002753672
Bukavu_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	,691200	4,838400	2,89348708	,482302741
Fizi_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1212	18,51800000	22,15400000	20,19890528	,5624623994
Fizi_GradTcm_SousSol	1211	,092590	,110770	,10099358	,002813281
Fizi_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	,77760	4,57920	3,0523799	,62807178
Idjwi_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1212	17,98700000	22,00200000	19,50980297	,4392393777
Idjwi_GradTcm_SousSol	1211	,089935	,110010	,09754776	,002196672
Idjwi_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	,60480	3,97440	3,1149714	,44261155
Kabare_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1212	13,24100000	17,83200000	15,53393649	,4366875317
Kabare_GradTcm_SousSol	1211	,066205	,089160	,07767915	,002159311
Kabare_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	1,29600	3,80160	2,7912711	,29622437
Kalehe_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1211	16,08000000	20,34600000	17,67224171	,4461585417
Kalehe_GradTcm_SousSol	1212	,000000	,101730	,08828830	,003378509
Kalehe_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	1,46880	4,06080	2,9732708	,30358788
Mwenga_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1211	19,45000000	23,67500000	21,47496750	,5053979746
Mwenga_GradTcm_SousSol	1212	,000000	,118375	,10728624	,003986612
Mwenga_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	,77760	4,92480	3,4066539	,49884703
Shabunda_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1211	22,08600000	25,07400000	23,75613895	,4569583876
Shabunda_GradTcm_SousSol	1212	,000000	,125370	,11868269	,004105719
Shabunda_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	1,90080	5,35680	3,7613011	,44885729
Uvira_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1211	18,62600000	24,82800000	22,95093636	,6748565273
Uvira_GradTcm_SousSol	1212	,000000	,124140	,11466000	,004716099
Uvira_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	,08640	4,92480	3,4579104	,73854020
Walungu_Temperature_2m_SousSol_Celsius	1211	16,25200000	20,09600000	18,26382427	,5308233476
Walungu_GradTcm_SousSol	1211	,081260	,100480	,09131912	,002654117
Walungu_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour	1209	,74241	3,97440	1,5807432	1,08843688
Valid N (listwise)	1208				

Ce tableau reprend les maxima, les minima, les moyennes et les écarts types des ETP en Tonne d'H₂O par Hectare et par jour, des températures en degré celsius et des gradients des températures du sous sol en cm.

Le dendrogramme ci-dessous nous montre qu'il existe des liens étroits sur plusieurs Territoire entre les ETP et les gradients des températures d'une part et entres les températures de ces Territoires d'autres parts avec un seuil de rapprochement de 1/25.

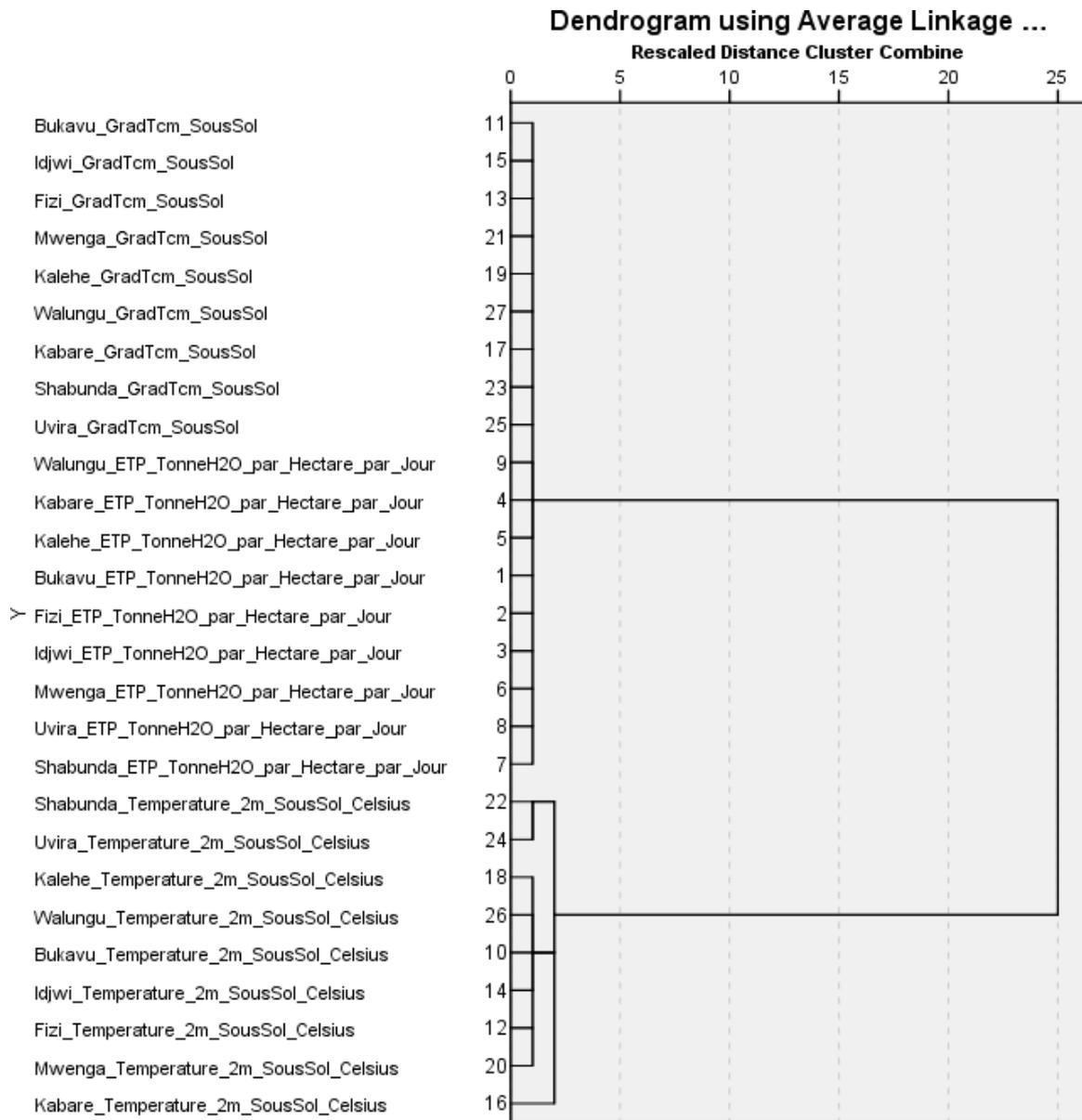


Fig 8. Dendrogramme des paramètres ETP_Température_Gradient de Température



Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Bukavu

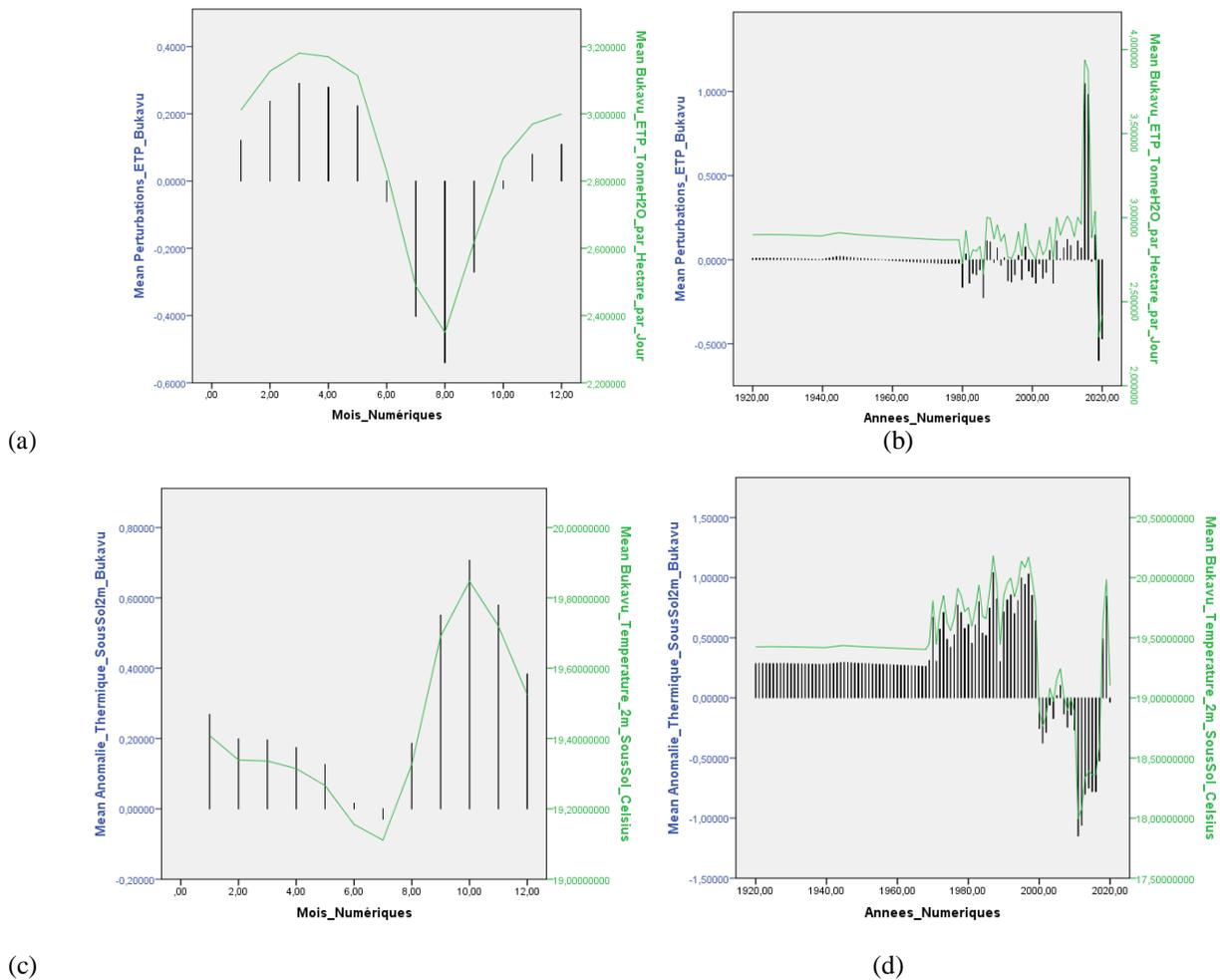


Fig 9. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Bukavu

On remarque qu'annuellement, sur la ville de Bukavu, les courbes d'anomalies montrent que les températures baissent de janvier à juillet et remontent de juillet à Décembre tandis que les ETP augmentent de janvier à juin et change en diminuant de juillet à décembre. Au cours des années, on remarque que les températures et les ETP s'inversent et sont suffisamment perturbées vers les années 1980,

Tableau2 : ETP de Bukavu fonction de la température du sol à Bukavu

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	4,546	,491		,000
	Bukavu_Temperature_2m_SousSol_Celsius	-,085	,025	-,096	,001

a. Dependent Variable: Bukavu_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour

$$ETP_{Bukavu} = 4,546 - 0,085 * Temperature_{Bukavu_sous-sol}$$

L'élévation de la température sur Bukavu impacte inversement l'ETP sur Bukavu.



Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Fizi

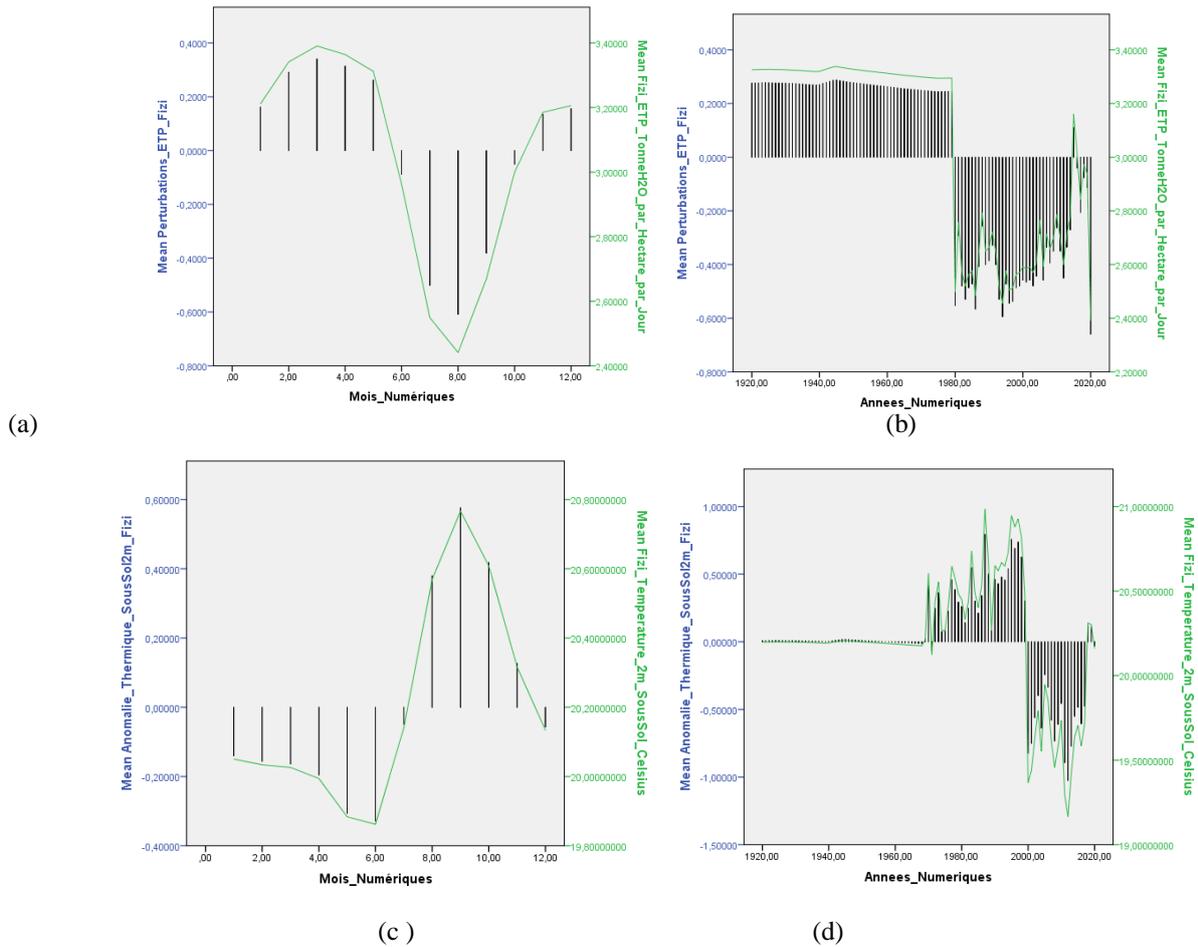


Fig 10. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur FIZI

Tableau 3 : ETP de FIZI fonction de la température du sol à FIZI

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
1 (Constant)	10,331	,615		,000
Fizi_Temperature_2m_SousSol_Celsius	-,360	,030	-,323	,000

a. Dependent Variable: Fizi_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour

$$ETP_FIZI = 10,331 - 0,36 * Temp\acute{e}rature_FIZI \text{ sous-sol}$$

L'élévation de la température sur FIZI impacte inversement l'ETP sur FIZI.



Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Idjwi

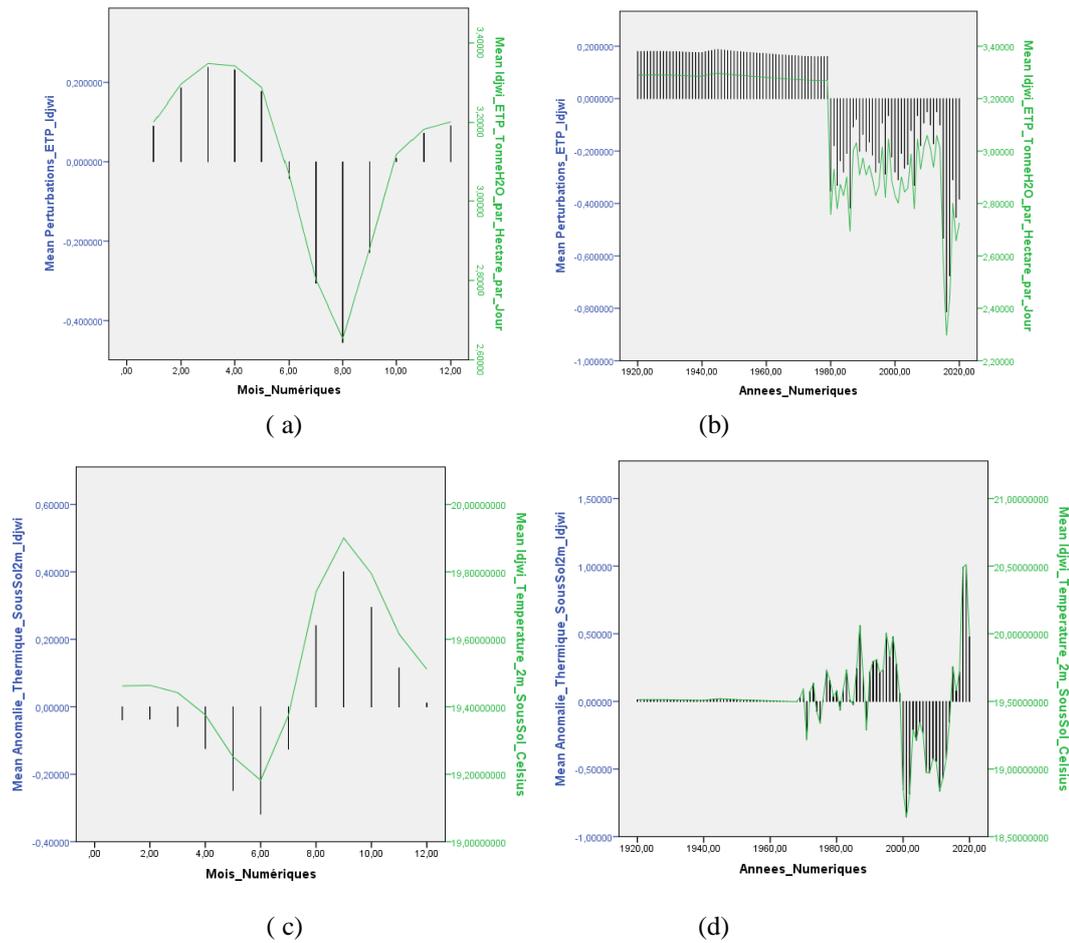


Fig 11. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur IDJWI

Tableau 4 : ETP de IDJWI fonction de la température du sol à IDJWI

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
1 (Constant)	8,900	,541		,000
Idjwi_Temperature_2m_SousSol_Celsius	-,297	,028	-,294	,000

a. Dependent Variable: Idjwi_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour

$$ETP_{IDJWI} = 8,9 - 0,297 * \text{Température}_{IDJWI \text{ sous-sol}}$$

L'élévation de la température sur IDJWI impacte inversement l'ETP sur IDJWI

➤ Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Kabare

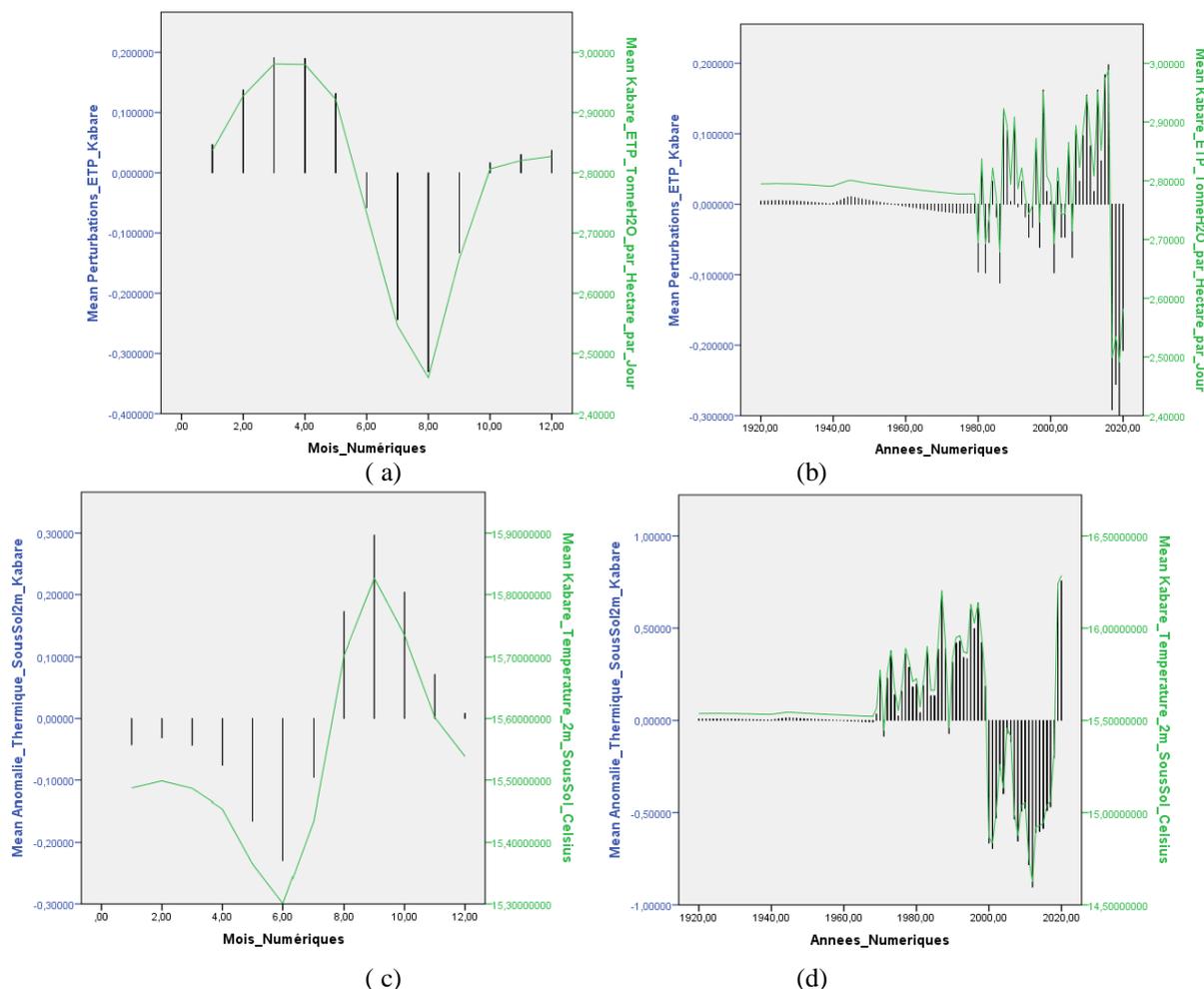


Fig 12. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur KABARE

Tableau 5 : ETP de KABARE fonction de la température du sol à KABARE

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	5,135	,306		,000
	Kabare_GradTcm_SousSol	-30,163	3,933	-,216	,000

a. Dependent Variable: Kabare_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour

$$ETP_{KABARE} = 5,135 - 30,163 * GradTcm_{KABARE} \text{ sous-sol}$$

L'élévation du gradient de la température sur KABARE impacte inversement l'ETP sur KABARE

➤ **Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Kalehe**

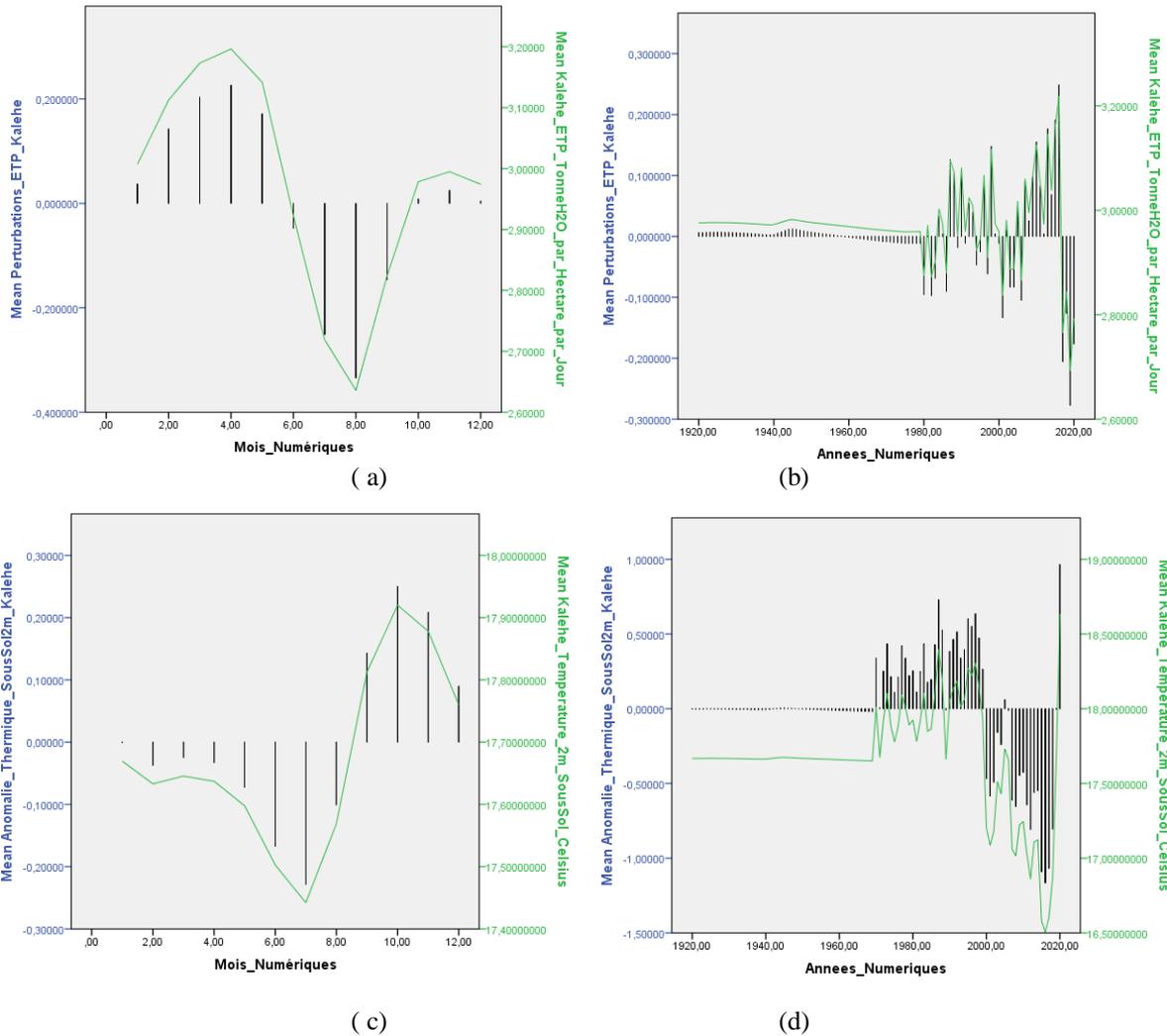
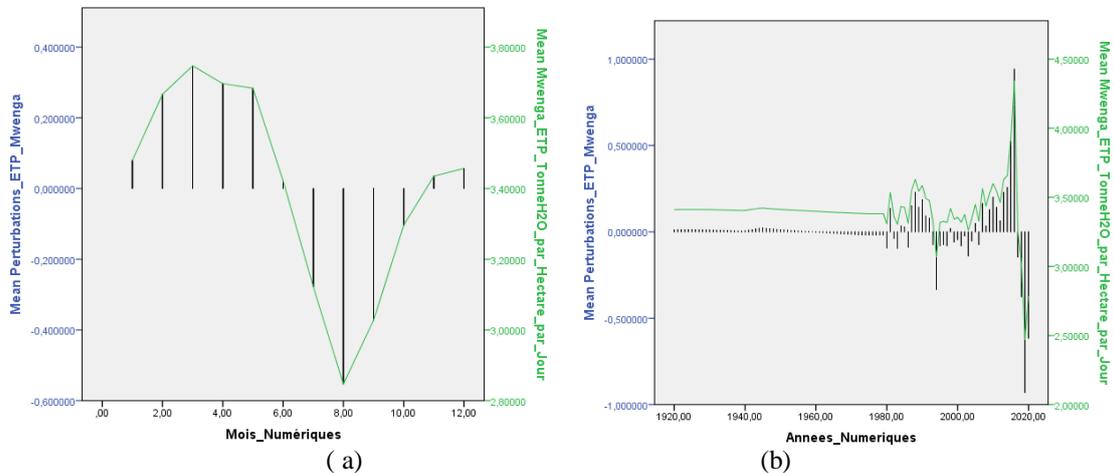
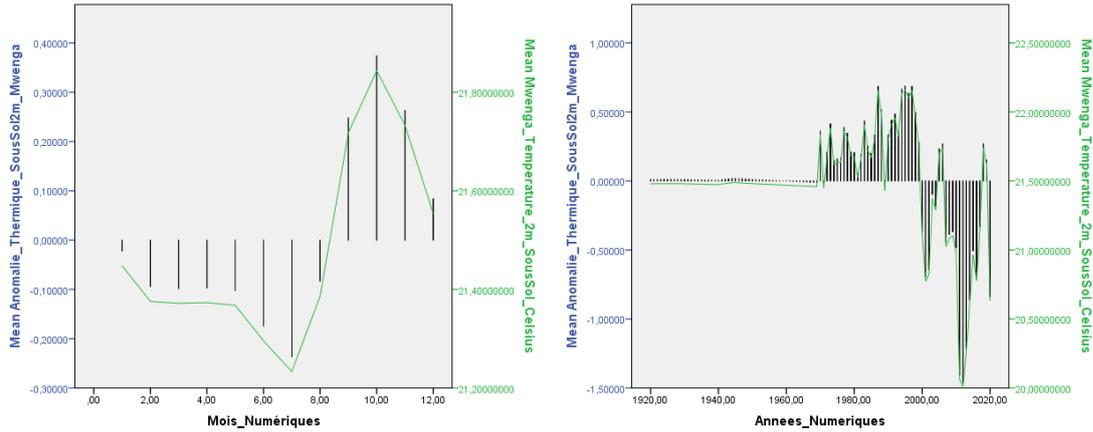


Fig 13. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur KALEHE

Les graphiques des perturbations des températures de KALEHE s'inversent avec celles des perturbations des ETP. Les deux s'impactent quoi qu'il n'y ai aucune relation linéaire entre les deux.

➤ **Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Mwenga**





(c)

(d)

Fig 14. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur MWENGA

Tableau 6 : ETP de MWENGA fonction de la température du sol à MWENGA

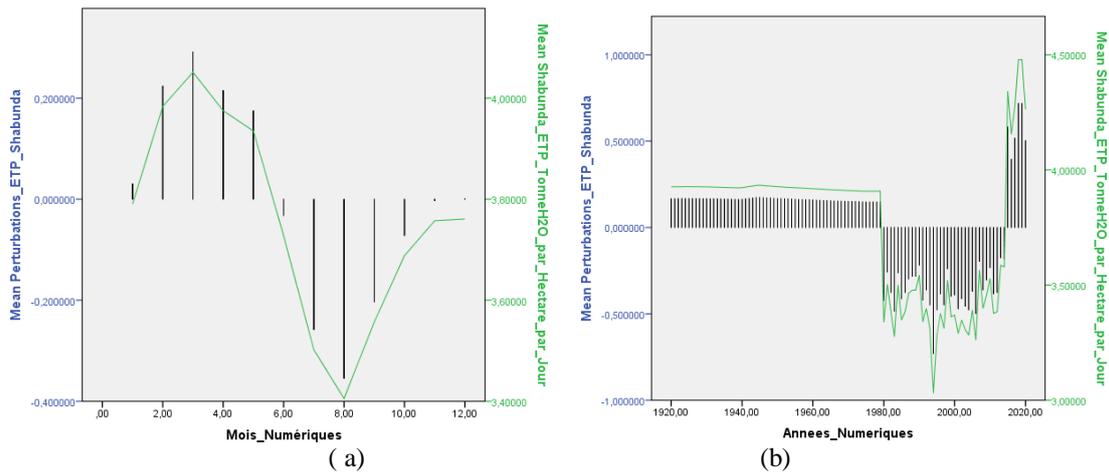
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	7,964	,600		,000
	Mwenga_Temperature_2m_SousSol_Celsius	-,212	,028	-,214	,000

a. Dependent Variable: Mwenga_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour

$$ETP_{MWENGA} = 7,964 - 0,212 * \text{Température}_{MWENGA_sous-sol}$$

L'élévation de la température sur MWENGA impacte inversement l'ETP sur MWENGA

➤ **Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Shabunda**



(a)

(b)

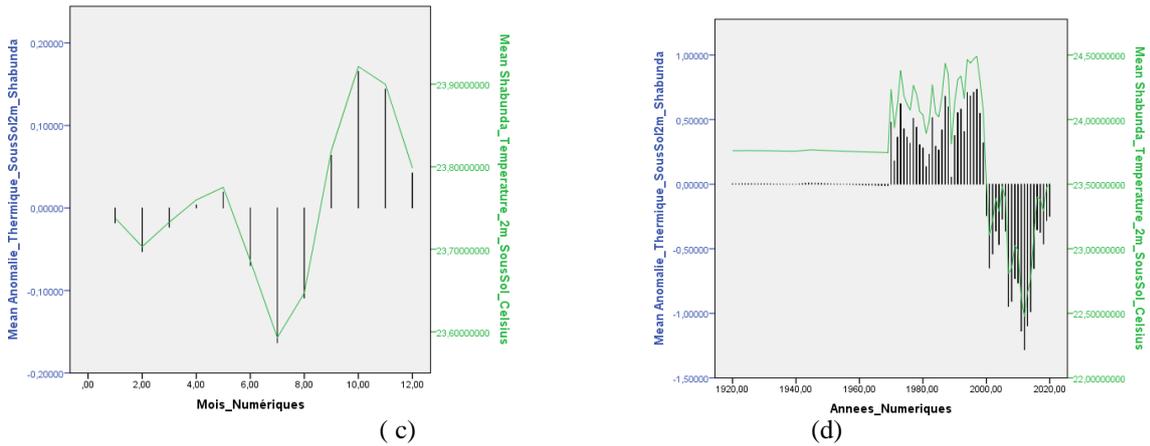


Fig 15. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur SHABUNDA

Les graphiques des perturbations des températures de SHABUNDA s'inversent avec celles des perturbations des ETP. Les deux s'impactent quoi qu'il n'y ai aucune relation linéaire entre les deux.

➤ **Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Uvira**

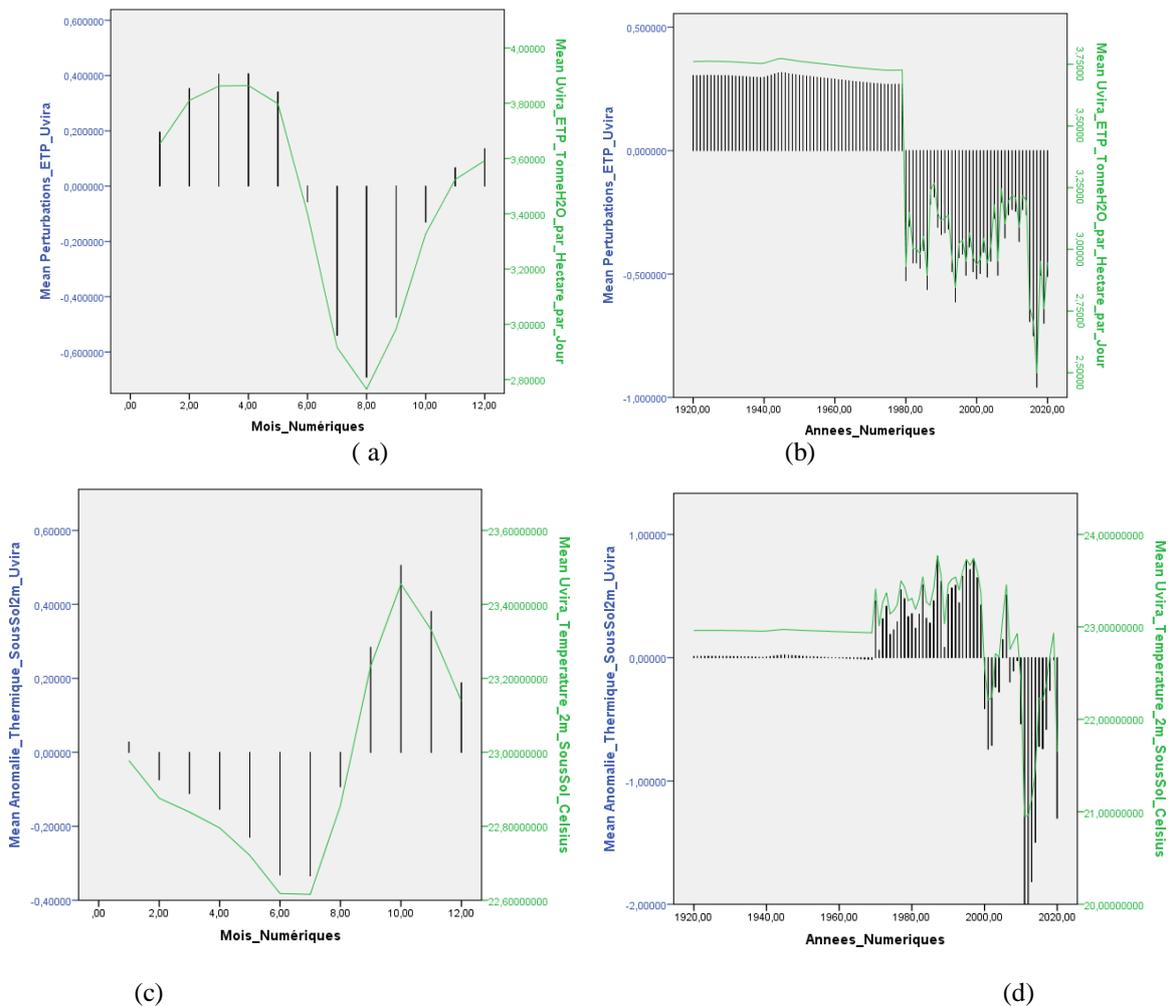


Fig 16. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur UVIRA

Les pgraphiques des perturbations des températures d'UVIRA s'inversent avec celles des perturbations des ETP. Les deux s'impactent quoi qu'il n'y ai aucune relation linéaire entre les deux.

➤ **Graphisme et Modélisation du Champ Thermo-Evapotranspiration sur Walungu**

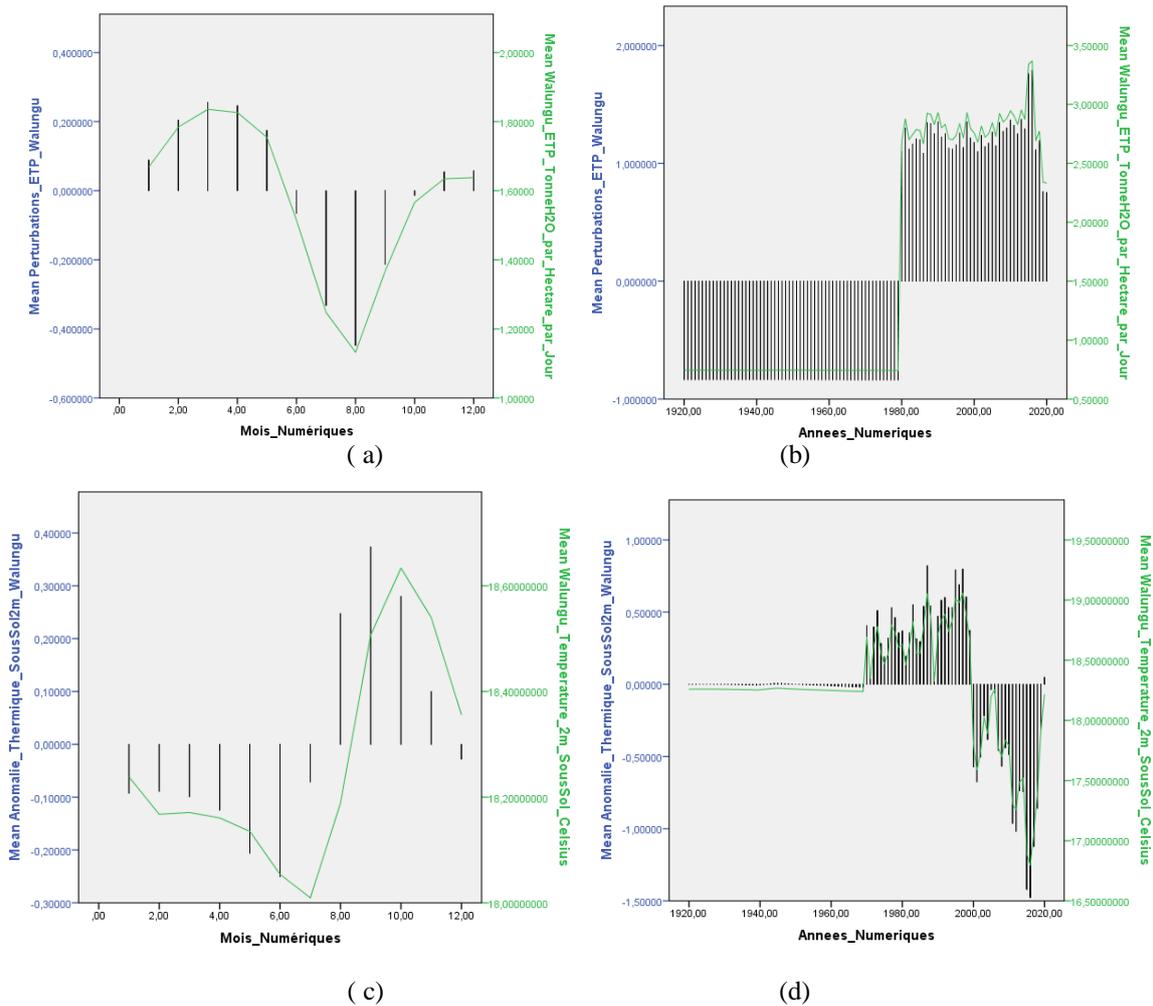


Fig 17. Graphisme du Champ Thermo-Evapotranspiration sur WALUNGU

Tableau 7 : ETP de WALUNGU fonction de la température du sol à WALUNGU

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
1 (Constant)	7,087	1,069		,000
Walungu_Temperature_2 m_SousSol_Celsius	-.301	,059	-.147	,000

a. Dependent Variable: Walungu_ETP_TonneH2O_par_Hectare_par_Jour

$$ETP_WALUNGU = 7,087 - 0,301 * \text{Température_WALUNGU_sous-sol}$$

On remarque que lorsque la température du sol de Walungu augmente, l'évapotranspiration du végétal diminue et si la température du sol sur Walungu augmente, l'évapotranspiration sur Walungu augmente.

IV. Conclusion

Sur les Territoires que compte le Sud-Kivu, on trouve annuellement une corrélation linéaire entre la température du sol ou son gradient et l'évapotranspiration sur 6 Territoires et sur les 3 autres, les graphiques des anomalies montrent une variation inverse de ces deux paramètres.

On conclut donc que la température du sol impact sur l'évapotranspiration du milieu tel que : si la température du sol augmente, l'ETP du milieu diminue et si la température du sol diminue, l'ETP augmente.

Un bilan équilibré en transfert d'énergie entre les écosystèmes Sol-Végétation et Végétation-Sol est observable au Sud Kivu tel que :

$$(a) \sum_{Janvier}^{Juin \text{ à } Juillet} Végétations(ETP) \text{ Croissante} + \sum_{Juillet}^{Décembre} Temperature \text{ Sol}(TSol) \text{ Décroissante} = \pm Constante$$

= Stabilité Thermo-forestière, tous les six mois ;

Soit

$$(b) \sum_{Janvier}^{Juin \text{ à } Juillet} Végétations(ETP) \text{ Décroissante} + \sum_{Juillet}^{Décembre} Temperature \text{ Sol}(TSol) \text{ Croissante} = \pm Constante =$$

Stabilité Thermo-forestière, tous les six mois ;

$$(c) \sum_{Janvier}^{Juin \text{ à } Juillet} Végétations(ETP) \text{ Croissante} + \sum_{Juillet}^{Décembre} GradientTSousSol2m(GradT) \text{ Décroissante} =$$

$\pm Constante$ = Stabilité Thermo-Pédologie, tous les six mois ;

Soit

$$(d) \sum_{Janvier}^{Juin \text{ à } Juillet} Végétations(ETP) \text{ Décroissante} + \sum_{Juillet}^{Décembre} GradientTSousSol2m(GradT) \text{ Croissante} =$$

$\pm Constante$ = Stabilité Thermo-Pédologie, tous les six mois ;

$$(e) \sum_{1920}^{2020} GradientTSousSol2m(GradT) + \sum_{1920}^{2020} Végétations(ETP) = \pm Constante = \text{Stabilité Apériodique au fil}$$

des ans ;

$$(f) \sum_{1920}^{2020} Température \text{ Sol}(TSol) + \sum_{1920}^{2020} Végétations(ETP) = \pm Constante = \text{Stabilité Apériodique au fil des}$$

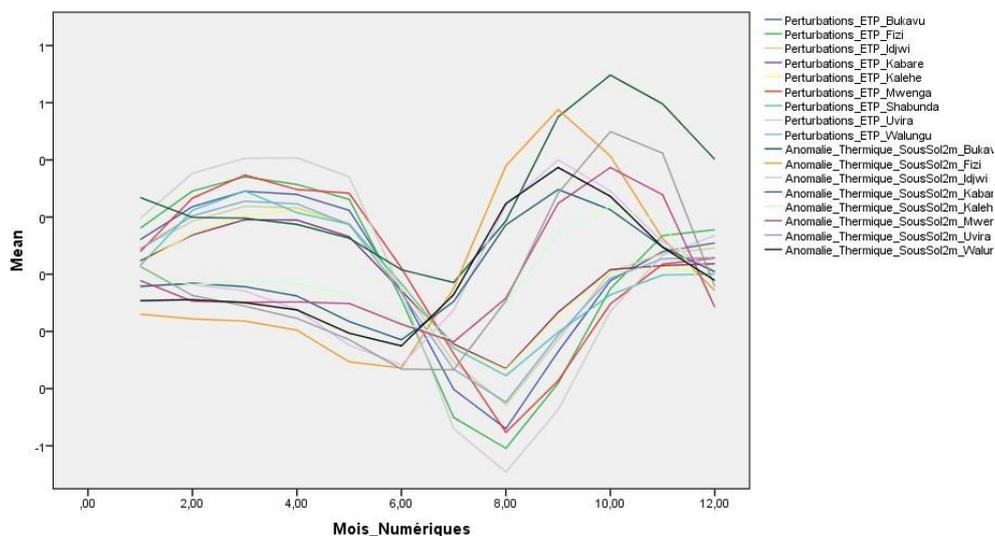
ans ;

C'est-à-dire :

$$\psi_t(Tsol, ETP) = \psi_t \{Tsol(x, y, z, t) ; ETP(x, y, z, t)\} = Constante$$

Ainsi, il est impérieux de signaler que l'action éventuelle du Réchauffement Climatique du Sol, Scénario possible, aura un impact Catastrophique sur le Couvert Végétal (ETP) qui va subir un choc de déforestation climatique. Car il est établi que si la Température du Sol augmente alors l'Evapotranspiration Forestière en terme de Perturbation en tonne d'eau par hectare craque en diminuant drastiquement.

Comme l'indique le graphique ci-bas, la Végétation joue ici un rôle existentiel primordial d'amortisseur thermique !



Bibliographie

- [1]. Adra, F. 2013. Etude des effets de l'augmentation de la température sur la croissance du pêcher et la qualité des fruits. Master Université de Lorraine, Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes. 28 p
- [2]. Albert KABASELE YENGA, juin 2009, Université Pédagogique Nationale à Kinshasa, Thèse :
- [3]. « Utilisation des Données Spatiales en Appui à la Géomatique pour la Modélisation de la Climatologie, de la Limnimétrie et de la Marée-graphie en RD Congo »
- [4]. Albert KABASELE YENGAYENGA, 2019, Modélisation du Fleuve Congo et Marées Océaniques de Muanda Par Climatologie Spatiale, , ed. revue des Géosciences et Innovations Spatiales de l'Institut Géographique du Congo IGC
- [5]. Alexis RUFFENACH , 2013, Observation et modélisation de l'érosion des nuages magnétiques solaires par reconnexion magnétique, thèse , Université de Toulouse.
- [6]. Arnaud CHULLIAT, « PÔLES DÉRIVE DES », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 22 février 2021. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/derive-des-poles/>
- [7]. Aroua AMMAR, 2014, Etude des Effets de fortes températures sur la production du pêcher et la qualité des fruits, MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES présenté pour l'obtention du MASTER 3A (Agronomie et Agroalimentaire), Organisme d'accueil : UR1115 Plantes et Systèmes de Culture Horticoles INRA Avignon
- [8]. Bertrand de SAINT-JEAN, 2008, École doctorale d'Astronomie et d'Astrophysique, à Paris, Thèse : « Étude et développement d'un système de gravimétrie mobile » 225p
- [9]. Brammer, H. and Brinkman, R. 1990. Changes in soil resources in response to a gradually rising sea- level. Chapter 12. In: Scharpenseel *et al.* (eds.). 1990. pp. 145-156.
- [10]. Buol, S.W., Sanchez, P.A., Kimble, J.M. and Weed, S.B. 1990. Predicted impact of climatic warming on soil properties and use. *American Soc. Agron. Special Publ.* 53: 71-82.
- [11]. Ch. FLORET, Ecologue au CNRS, Expert FAO R. PONTANIER, Pédologue à l'ORSTOM Document technique : N° 1 Juin 1978, Relations Climat- Sol- Végétation Dans Oueloues Formations Végétales Spontanées Du Sud Tunisien (Production Végétale Et Bilan Hydrique Des Sols) p164
- [12]. Cornic, G., 2007. Effet de la température sur la photosynthèse. URL: <http://www.esu-psud.fr/rubrique62.html> (consulté le 04/06/2014).
- [13]. Emanuel, W.R., Shugart, H.H. and Stevenson, M.P. 1985. Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes. *Climatic Change* 7: 29-43.
- [14]. Erwan Thébault (2003), Modélisation régionale du champ magnétique terrestre, thèse, Université Louis Pasteur à STRASBOURG ; 268p
- [15]. FAKHRI BAZZAZ, *Harvard University*, © FAO – 1997, *Cambridge, MA, USA*, WIM SOMBROEK, *FAO, Rome, Italie* Publié par l'Organisation Des Nations Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture Et Polytechnica Paris « Changements du climat et production agricole »
- [16]. Georges Coutagne, Année 1882 9-2 pp. 81-127, De l'influence de la température sur le développement des végétaux.
- [17]. <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/documents> 17. <https://www.encyclopedie-environnement.org/air/la-magnetosphere/>
- [18]. J.-C. TALINEAU, Cah. ORSTOM, Se?. Biol., no 14 - décembre 1970, Action Des Facteurs Climatiques Sur La Production Fourragère En Cote-D'ivoire *
- [19]. Jorge QUENSE, 2011, Changement Climatique et Dynamique De La Végétation Dans Les Andes Du Chili Central, Depuis Le Milieu Du Xxe Siecle : L'exemple De La Valée De Yerba Loca
- [20]. Legave, J.M., 2007. Les impacts du réchauffement global sur la phénologie des arbres fruitiers et de la vigne : quelles conséquences agronomiques ? Journées Techniques Fruits & Légumes Biologiques, Caen, pp. 1-8.
- [21]. MANUEL de TÉLÉDÉTECTION SPATIALE Élaboré par: Francisco Eugenio González Javier Marcello Ruiz Ferran Marqués Acosta
- [22]. MARLÈNE ANTOUN, 2013 Université Du Québec À Montréal, Effet De La Température Sur Le Développement Chez Arabidopsis Thal/Ana, Mémoire de Maîtrise.
- [23]. Nicolas LAUNAY, AIX-MARSEILLE UNIVERSITE, Soutenu le 12/07/2018, thèse « Propriétés d'aimantation des sources géologiques des anomalies du champ magnétique terrestre : magnétisme des roches et modélisation numérique »
- [24]. ONERC, *Conséquences du réchauffement climatique sur les risques liés aux événements météorologiques extrêmes*. Actes du colloque du 22 au 23 juin 2003, Onerc, 2003.
- [25]. ONERC, *Villes et adaptation au changement climatique (version PDF) [archive]* ; Rapport au Premier ministre et au Parlement ; Documentation française, 158pp.
- [26]. 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
- [27]. Yash P. ABROL ; Division de Physiologie des Plantes, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India

Justin MUDEKUZA CHIBWANA, et. al. "Impact de la température du sol sur l'évapotranspiration vue au Sud-Kivu en R.D Congo." *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 13(2), 2021, pp. 25-42.