

Pouvoir Réchauffant Et Refroidissant Du Volcan Nyiragongo Sur L'Environnement Local de Goma

LUBEMBA Atchibiya Michel⁽¹⁾, BAHAYA Barahamukenyi Siméon⁽¹⁾,
KAZADI Tshiamala Evariste⁽²⁾ et KABASELE Yenga Yenga Albert⁽²⁾

⁽¹⁾ *Département de Physique-Technologie, Institut Supérieur Pédagogique (ISP) de Bukavu, RD Congo*

⁽²⁾ *Département de Physique et des sciences appliquées, Université Pédagogique Nationale (UPN) de Kinshasa, RD Congo.*

Résumé :

Par l'intermédiaire des gaz qu'il émet en tout temps, notamment le dioxyde de carbone (CO₂) et le dioxyde de soufre (SO₂), le volcan Nyiragongo a des effets sur les paramètres climatiques comme la température de l'air, les précipitations, ...

La présente étude a pour but de mettre en évidence le pouvoir de réchauffement du CO₂ et le pouvoir de refroidissement du SO₂ dégagés par le volcan Nyiragongo sur le microclimat local de la région autour du volcan.

Les données numériques des températures maximales et des températures minimales ainsi que celles des concentrations du CO₂ ont été extraites à l'aide du logiciel ArcGIS à partir des images satellitaires prises par le satellite NOAA de ces paramètres sur le volcan Nyiragongo, la ville de Goma et la cité de Sake, de Janvier 1980 à Octobre 2020. Les données numériques des concentrations en SO₂ nous ont été fournies par l'Observatoire Volcanologique de Goma (OVG). Toutes ces données ont été ensuite traitées par le logiciel SPSS pour générer des équations de régression linéaire de type ANOVA et des équations de prévision de type ARIMA des températures maximales et des températures minimales sur Nyiragongo, Goma et Sake en fonction des concentrations des gaz CO₂ et SO₂ dégagés par le volcan Nyiragongo.

A l'issue de la discussion des résultats, nous avons conclu que localement le volcan Nyiragongo refroidit son environnement, par émission du SO₂, plus qu'il ne le réchauffe, par émission du CO₂.

Mots clés :

Pouvoir réchauffant, Pouvoir refroidissant, Volcan Nyiragongo, Gaz volcaniques, Dioxyde de carbone (CO₂), Dioxyde de soufre (SO₂), Modélisation.

Date of Submission: 10-04-2021

Date of Acceptance: 26-04-2021

I. Introduction

Nyiragongo est l'un des volcans les plus dangereux du monde encore actifs à ce jour. Il présente un danger permanent pour les populations environnantes, principalement celles de la ville de Goma située à environ 20 km vers le sud [10]. Qu'il soit en éruption ou non, le volcan Nyiragongo émet, par son cratère sommital et à travers les fissures dans son flan, différents gaz dont le dioxyde de carbone (CO₂) et le dioxyde de soufre (SO₂). Les quantités de ces gaz dégagés par le volcan Nyiragongo donnent une indication, non seulement sur l'activité de ce volcan mais aussi sur le degré de pollution atmosphérique de son environnement [11]. En effet, un accroissement important des gaz émis par un volcan est un des signes précurseurs d'une éventuelle éruption prochaine [18]. Par ailleurs, lorsque ces gaz sont injectés dans l'atmosphère, ils influent [8] sur les paramètres climatiques tels que la température de l'air et les précipitations avec des effets nuisibles ou bénéfiques sur les populations des agglomérations humaines situées à proximité du volcan. C'est le cas notamment de la ville de Goma et de la cité de Sake situées dans un rayon d'une vingtaine de kilomètres à partir du volcan Nyiragongo.

Les deux gaz, CO₂ et SO₂, ont des effets antagonistes sur le climat. Le premier est un gaz à effet de serre contribuant théoriquement au réchauffement climatique. Quant au second, c'est un gaz formant des aérosols dans l'air et contribuant théoriquement au refroidissement de l'atmosphère,

L'objectif de cette étude est de démontrer, grâce aux équations de modélisation, que c'est le dioxyde de carbone (CO₂) qui donne au volcan Nyiragongo son pouvoir de réchauffement et le dioxyde de soufre (SO₂) son pouvoir de refroidissement du climat local autour du dit volcan. Pour cela, nous allons utiliser les équations de modélisation par régression linéaire simple ou multiple de type ANOVA et les équations de prévision de

type ARIMA générées par SPSS qui expriment la température maximale et la température minimale de l'air sur le volcan Nyiragongo, Goma et Sake en fonction des concentrations des gaz CO₂ et SO₂ émis par le volcan Nyiragongo. En outre, en comparant les poids de chacun des deux gaz dans ces équations de modélisation des températures pourront déterminer l'impact thermique résultant du volcan Nyiragongo sur le climat. Bref la question fondamentale à laquelle nous aurons à répondre dans la présente étude est la suivante : « Avec l'émission des gaz CO₂ et SO₂, le volcan Nyiragongo réchauffe-t-il ou refroidit-il son environnement ? »

II. Cadre Théorique

2.1. Concept de Modélisation

D'une façon générale, un modèle peut se définir comme « une représentation plus ou moins simplifiée de la réalité pour pouvoir lui appliquer des outils/techniques/théories mathématiques ou autres » [6]. La modélisation consiste en la construction, l'étude et l'interprétation d'un modèle. Aussi bien dans le cadre des activités scientifiques que technologiques, la modélisation et la simulation ont toujours tenu une place importante [7]. Les techniques de modélisation sont actuellement utilisées dans plusieurs domaines scientifiques : on crée des modèles en physique, en mathématique, en chimie, en sciences de la vie et de la terre, en économie, et même en pédagogie, en musique, etc.

La modélisation stochastique, que nous utilisons dans cette étude, consiste à établir, à partir d'un jeu d'observations (séries de données), une relation entre variables quantitatives ou qualitatives [16]. Cette relation, une fois établie et vérifiée, sera utilisée pour prédire ou expliquer l'une des variables, appelée variable dépendante ou variable expliquée ou encore variable prédite, en fonction d'une ou de plusieurs autres variables, appelée(s) variable(s) indépendante(s) ou variable(s) explicative(s) ou encore variable(s) prédictive(s). Les modèles statistiques les plus simples et les plus utilisés sont les modèles de régression linéaire [15]. La régression est dite simple ou multiple suivant que l'on a une seule ou plusieurs variables indépendantes.

2.2. Modèle de régression linéaire simple

On considère deux variables x et y mesurées sur N unités d'observation et décrites par deux séries statistiques x (x_1, x_2, \dots, x_N) et y (y_1, y_2, \dots, y_N). On fait l'hypothèse que la fonction qui relie la variable dépendante y à la variable indépendante x est linéaire. Ce modèle permet alors de prédire la valeur de y lorsqu'on connaît celle de x [16].

On appelle droite de régression d'une variable dépendante y en fonction d'une variable indépendante x , la droite qui ajuste au mieux le nuage des points d'observation de ces variables au sens des moindres carrés [15].

L'équation de la droite de régression s'écrit :

$$y = ax + b. \quad (1)$$

où a et b sont des paramètres constants. Le paramètre a indique de combien varie en moyenne la valeur de y

lorsque celle de x varie d'une unité. Le paramètre b est la valeur théorique de y lorsque celle de x est nulle.

Le problème consiste à déterminer les coefficients a et b pour que cette droite ajuste bien le nuage de points (x_i, y_i) . Pour cela, on utilise le principe des moindres carrés qui consiste à chercher la droite qui minimise la somme des carrés des résidus. Le résidu e_i est l'erreur que l'on commet en utilisant la droite de régression pour prédire y_i à partir de x_i :

$$e_i = y_i - ax_i - b. \quad (2)$$

On trouve [3] [11] [15] :

$$a = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} \text{ et } b = \bar{y} - \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} \bar{x} \quad (3)$$

avec :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \text{ et } \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad (4)$$

les moyennes de x et de y :

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \quad (5)$$

la variance de la variable x ;

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \text{ ou } \sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i y_i - \bar{x} \bar{y}, \quad (6)$$

la covariance entre les variables x et y .

2.3. Modèle ARIMA

La modélisation ARIMA ('Auto-Regressive Integrated Moving Average'), proposée par les statisticiens Georges BOX et Gwilym JENKINS durant les années 1970 [5] [13], s'applique aux séries temporelles. Une série temporelle, encore appelée série chronologique, est une succession d'observations au cours du temps [1] :

$$\{y_t: t = 1, 2, \dots, N\} = (y_1, y_2, \dots, y_N). \quad (7)$$

Chaque élément de la série est indexé par un nombre entier naturel t indiquant la date d'observation. L'indice

temps est, selon le cas l'heure, le jour, le mois, le trimestre, l'année [17]. Le modèle cherche alors à déterminer chaque valeur de la série en fonction des valeurs qui la précèdent :

$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots) \quad (8)$$

Les modèles ARIMA permettent de combiner trois types de processus temporels [5] [17] :

- Les processus autorégressifs (AR pour "Auto-Regressive") supposent que chaque point peut être prédit par la somme pondérée d'un ensemble de points précédents plus un terme aléatoire d'erreur.

- Les processus d'intégration (I pour "Integrated") supposent que chaque point présente une différence constante avec le point précédent.

- Les processus de la moyenne mobile (MA pour "Moving Average") supposent que chaque point est fonction des erreurs entachant les points précédents, plus sa propre erreur.

Ainsi, un modèle ARIMA est étiqueté comme modèle ARIMA (p, d, q) : p est l'ordre du processus autorégressif AR(p), c'est-à-dire le nombre de termes autorégressifs ; d est le degré d'intégration du processus I(d) dit aussi degré de différentiation, c'est-à-dire le nombre de fois que la série initiale a été différenciée pour obtenir la stationnarité ; q est l'ordre de la moyenne mobile MA(q) [2] [4] [9].

La condition nécessaire pour créer un modèle ARIMA est d'avoir une série temporelle comportant au minimum 50 valeurs à des intervalles de temps équidistants et qui est stationnaire, c'est-à-dire sans aucune tendance ni à la hausse ni à la baisse [12]. Afin de rendre une série stationnaire, Delcor et al (2008) et Vo Than (2010) cités par Balah (2018), proposent d'appliquer un terme de différentiation, c'est-à-dire de remplacer la série originale par la série des différences des points adjacents.

III. Approche Méthodologique

Dans cette partie nous exposons les méthodes et techniques utilisées pour mener notre recherche. Mais, nous présentons d'abord notre zone d'étude.

3.1. De la zone d'étude

Notre zone d'étude (Figure 1) comprend trois sites de prélèvement des données climatiques dans la région autour du volcan Nyiragongo, à savoir : le sommet du volcan, la ville de Goma et la cité de Sake.

Le Tableau 1 donne les coordonnées géographiques de ces trois sites et la Figure 1 représente leur géolocalisation.

Tableau 1. : Coordonnées géographiques de Nyiragongo, Goma et Sake

Site	Latitude	Longitude	Altitude
Nyiragongo	1°31'19" Sud	29°14'58" Est	3470 m
Goma	1°41'00" Sud	29°13'00" Est	1453 m
Sake	1°33'45,21" Sud	29°02'43,98" Est	1487 m

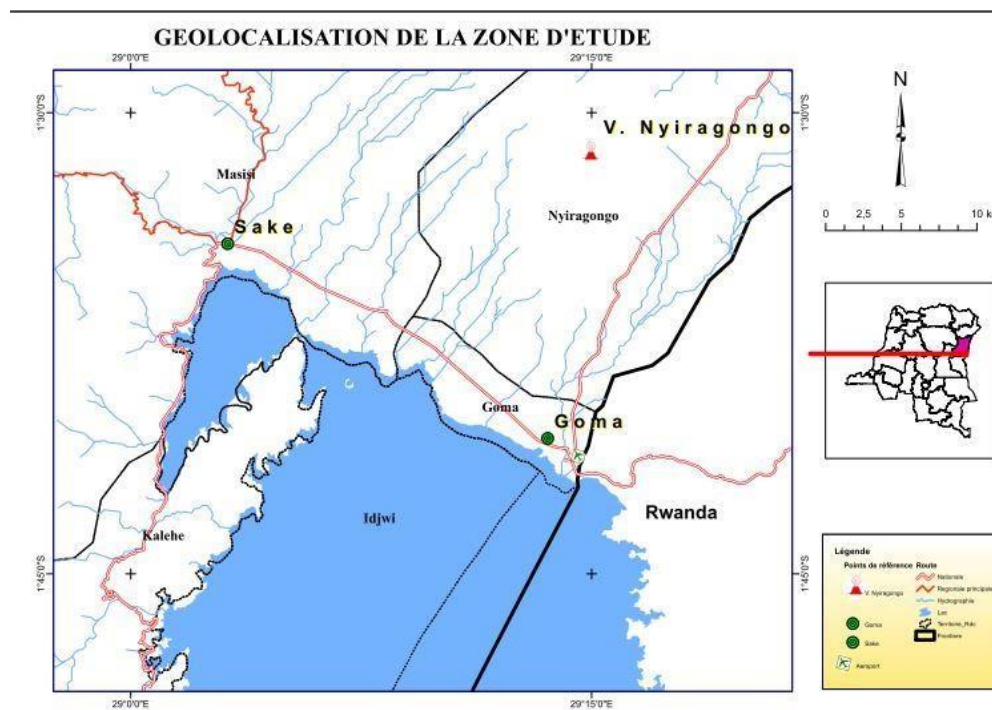


Figure 1 : Localisation des sites de Nyiragongo, Goma et Sake

De par sa situation géographique, cette région connaît un climat tropical des montagnes, caractérisé par deux saisons humides et deux saisons sèches. La première saison humide est située entre mi-août et mi-janvier et la deuxième va de mi-février à mi-juillet. Quant aux deux saisons sèches, elles sont plus courtes : la première est observée entre mi-janvier et mi-février et la seconde entre mi-juillet et mi-août [14]. La végétation dominante est de type savane herbeuse.

3.2. Techniques de télédétection

Ces techniques nous ont servi dans l'acquisition des données. L'obtention des valeurs numériques des températures maximales, des températures minimales et des concentrations en CO₂ sur chacun des trois sites s'est faite en deux phases avec, pour chaque phase, une technique appropriée. A la première phase, les images satellitaires, captées par le satellite NOAA, étaient téléchargées à partir du site GIOVANNI de la NASA. A la seconde phase, les valeurs numériques étaient extraites des images satellitaires à l'aide du logiciel ArcGIS 10.4. Nous avons ainsi obtenu 490 données par variable et par site, du mois de Janvier 1980 au mois d'Octobre 2020.

Les valeurs numériques des concentrations de SO₂ n'ont pas été fournies par le satellite. Nous avons alors recouru aux valeurs fournies par l'Observatoire Volcanologique de Goma (OVG). Comme les données de SO₂ fournies par l'OVG ne couvraient pas toute la période d'étude, nous avons utilisé des techniques d'extrapolation pour générer les données manquantes.

Notre base des données n'a pas été reprise dans ce travail compte tenu de sa grande taille. En effet, elle comprend 490 données (valeurs moyennes mensuelles) pour chacun des quatre paramètres (température maximale, température minimale, concentration en CO₂ et concentration en SO₂) et sur chacun des trois sites (Nyiragongo, Goma et Sake). Les températures sont exprimées en degrés Celsius (°C), les concentrations en SO₂ sont en parties par million (ppm) et les concentrations en CO₂ en parties par billion (ppbv). La base des données est un tableau de 490 lignes correspondant aux 490 mois, de Janvier 1980 à Octobre 2020, et 12 colonnes correspondant aux 12 variables, à raison d'une variable par paramètre (température maximale, température minimale, concentration en CO₂ et concentration en SO₂) et par site (volcan Nyiragongo, ville de Goma, cité de Sake).

3.3. Méthodes d'analyse statistique et mathématique

Le logiciel SPSS 20.0 a été utilisé pour analyser les données numériques afin d'en générer les résultats, c'est-à-dire les équations de modélisation ANOVA et les équations de prévision ARIMA des températures maximales et des températures minimales de l'air en fonction des concentrations de SO₂ et de CO₂ au volcan Nyiragongo, Goma et Sake ainsi que les différents graphiques y afférents.

Pour l'ensemble des analyses statistiques, tant en modélisation ANOVA qu'en modélisation ARIMA, le seuil de signification a été fixé à 0,05 (5%).

IV. Présentation Et Interprétation Des Résultats

Dans cette partie nous présentons et interprétons les fonctions de modélisation par ANOVA et ARIMA des températures maximales et des températures minimales sur Nyiragongo, Goma et Sake en fonction des concentrations en SO₂ et en CO₂ émis sur le volcan Nyiragongo.

Après le traitement des données, leurs statistiques descriptives sont résumées dans les deux tableaux ci-dessous :

Tableau 2 : Tableau statistique des températures maximales et des températures minimales Journalières sur Nyiragongo, Goma et Saké

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Temperature_Max_Nyirangogo_Celsius	490	16,00	22,90	19,5406	1,07047
Temperature_Max_Goma_Celsius	490	23,10	29,50	26,1046	1,06176
Temperature_Max_Sake_Celsius	490	21,30	27,90	24,7981	1,06785
Temperature_Min_Nyirangogo_Celsius	490	6,90	12,30	9,0627	,93744
Temperature_Min_Goma_Celsius	490	11,70	17,90	14,1038	1,05598
Temperature_Min_Sake_Celsius	490	10,60	16,40	12,9427	,95466
Valid N (listwise)	490				

Tableau 3 : Tableau statistique des concentrations Journalières en CO₂ et en SO₂ sur Nyiragongo, Goma et Saké

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Concentration_CO2_Nyirangogo_ppbv	490	61,29	233,76	123,0496	36,82021
Concentration_CO2_Goma_ppbv	490	62,36	233,76	107,8180	31,02042
Concentration_CO2_Sake_ppbv	490	61,29	233,76	108,4866	31,57554
Fissures_Capteurs_OVG_Aerosols_SO2_Nyirangogo_ppm	490	2902,02	163976,95	48112,9222	25860,57194
Dissipation_Aerosol_Volcan_SO2_Goma_ppm	490	1812,49	19070,52	6656,5193	2770,77557
Dissipation_Aerosol_Volcan_SO2_Sake_ppm	490	1812,49	19070,52	6656,5193	2770,77557
Valid N (listwise)	490				

Les tableaux ci-dessus présentent, pour chacune des variables des températures maximales et des températures minimales (Tableau 2) et des concentrations en gaz CO₂ et SO₂ (Tableau 3), les valeurs des caractéristiques suivantes : l'effectif (N=490), la valeur minimale, la valeur maximale, la valeur moyenne et l'écart-type.

4.1. Prévission thermique de l'air chaud sur Nyiragongo, Goma et Sake sous l'effet des gaz volcaniques CO₂ et SO₂

4.1.1. Modélisation des températures maximales sur le volcan Nyiragongo en fonction du CO₂ et du SO₂ émis par le même volcan

a) Modélisation ANOVA des températures maximales en fonction du CO₂ sur le volcan Nyiragongo^{1°}
Coefficients de prédiction

Tableau 4 : Coefficients ANOVA de modélisation des Températures Maximales en fonction du CO₂ sur le volcan Nyiragongo

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	18,612	,163		,000
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	,008	,001	,259	,000

a. Dependent Variable: Temperature_Max_Nyirangogo_Celsius

L'équation de régression linéaire trouvée à l'aide des coefficients tirés du Tableau 4, tous déterminés avec une signification nulle, est :

$$[T_{max_Air_Nyiragongo}] = 18,612 + 0,008 * [CO_2_ppbv_Nyirangongo] \quad (9)$$

Le coefficient positif du terme linéaire dans l'équation (9) indique que, sur le volcan Nyiragongo, la température maximale de l'air augmente avec la concentration en CO₂. Ceci est confirmé par les graphiques

de la figure 2 ci-dessous.
2° Digrammes des anomalies

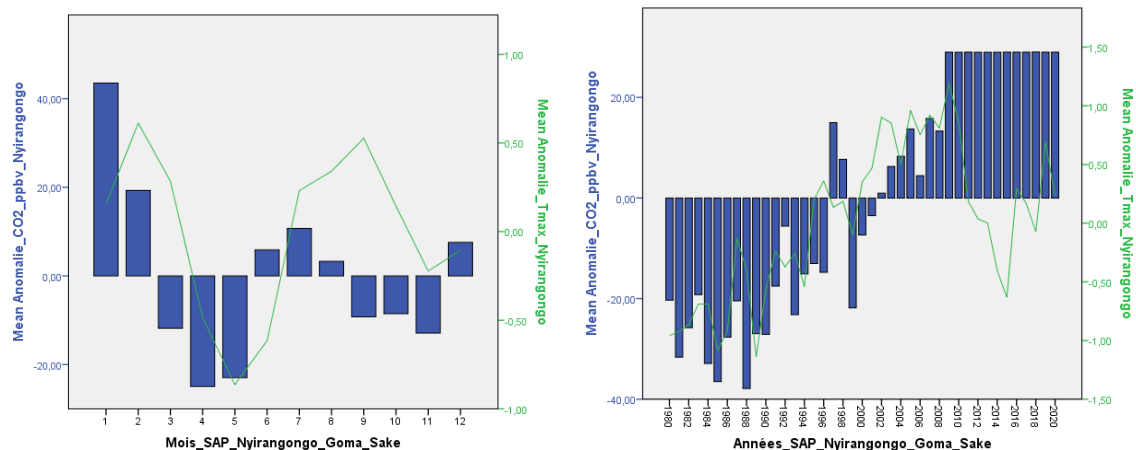


Figure 2 : Diagrammes des anomalies mensuelles et annuelles des températures maximales et du CO2 sur le volcan Nyiragongo

Les diagrammes de la figure 2 montrent que, d’une façon générale les anomalies des températures maximales et celles des concentrations en CO2 varient dans le même sens. Le dioxyde de carbone émis par le volcan Nyiragongo influence donc positivement la température maximale diurne de l’air sur le volcan.

b) Modélisation ANOVA des températures maximales en fonction du SO2 sur le volcan Nyiragongo^{1°}
Coefficients de prédiction

Tableau 5 : Coefficients ANOVA de modélisation des Températures Maximales en fonction du SO2 sur le volcan Nyiragongo

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	20,027	,099		,000
	Fissures_Capteurs_OVG _Aerosols_SO2_Nyirang ongo_ppm	-1,011E-005	,000	-,244	,000

a. Dependent Variable: Temperature_Max_Nyiragongo_Celsius

La fonction de régression linéaire trouvée à l’aide des coefficients tirés du Tableau 5, tous déterminés avec une signification nulle, est :

$$[T_{max_Air_Nyiragongo}] = 20,027 - 1,011 \cdot 10^{-5} * [SO2_ppmNyiragongo](10)$$

Le coefficient négatif du terme linéaire dans l’équation (10) indique que, sur le volcan Nyiragongo, la température maximale de l’air diminue avec la concentration en SO2. Ceci est confirmé par les graphiques de la figure 3 ci-dessous.

2° Digrammes des anomalies

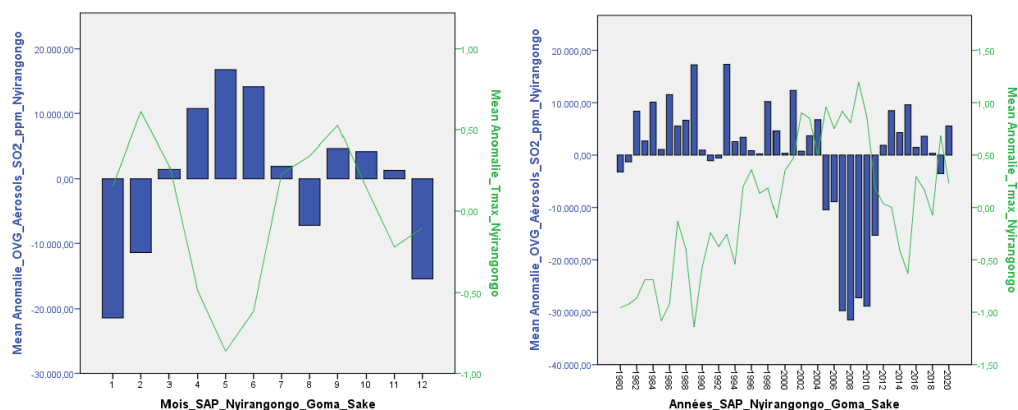


Figure 3 : Diagrammes des anomalies mensuelles et annuelles des températures maximales et du SO2 sur le volcan Nyiragongo

Les diagrammes de la figure 3 montrent que les anomalies des températures maximales et celles des concentrations en SO2 varient en sens contraires. On note que les anomalies positives des températures maximales correspondent aux anomalies négatives des concentrations en SO2 et inversement. Le dioxyde de soufre émis par le volcan Nyiragongo influence donc négativement la température maximale diurne de l'air sur le volcan.

c) Modélisation ARIMA des températures maximales en fonction du CO2 et du SO2 sur le volcan Nyiragongo

Tableau 6 : Coefficients ARIMA de modélisation des Températures Maximales en fonction du CO2 et du SO2 sur le volcan Nyiragongo

				Estimate	Sig.
Temperature_Max_Nyiragongo_Celsius-Model_1	Temperature_Max_Nyiragongo_Celsius	Square Root	Constant	4,445	,000
			AR Lag 1	,585	,000
			MA Lag 1	,112	,209
	OVG_Aerosols_SO2_Nyiragongo_ppm	No Transformation	Numerator Lag 0	-5,402E-007	,008

Dans le Tableau 6, les coefficients de prédiction déterminés avec une signification nulle donnent l'équation de modélisation suivante en AR (auto régression) :

$$[Tmax_Nyiragongo](aujourd'hui) = 4,445 + 0,585 * [Tmax_Nyiragongo](hier) - 5,402 \cdot 10^{-7} * [SO2_Nyiragongo_ppm] \quad (11)$$

La modélisation ARIMA en MA (moving average) n'a pas été prise en compte ici car la signification du coefficient du terme linéaire en $[Tmax_Nyiragongo](hier)$ est de 20,9%, de loin supérieure au seuil de 5%.

Dans l'équation (11) tirée du Tableau 6, nous notons que le modèle ARIMA des températures maximales sur le volcan Nyiragongo ici retenu ne prend en compte que l'influence du SO2 et néglige l'influence du CO2. Par ailleurs, cette équation montre que le dioxyde de soufre émis par le volcan Nyiragongo influence négativement la température maximale sur le volcan.

4.1.2. Modélisation des températures maximales sur Goma en fonction du CO2 et du SO2 émis par le volcan Nyiragongo

a) Modélisation ANOVA des températures maximales sur Goma en fonction du CO2 sur le volcan Nyiragongo

Tableau 7 : Coefficients ANOVA de modélisation des températures maximales sur Goma en fonction du CO2 sur le volcan Nyiragongo

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	25,222	,162		,000
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	,007	,001	,249	,000

a. Dependent Variable: Temperature_Max_Goma_Celsius

Les valeurs des coefficients tirés du Tableau 7, déterminées avec une signification nulle, donnent la fonction de régression linéaire suivante :

$$[Tmax_Air_Goma] = 25,222 + 0,007 * [CO2_ppbvNyiragongo] \quad (12)$$

Le coefficient positif du terme linéaire dans l'équation (12) indique que la température maximale de l'air sur Goma augmente avec la concentration en CO2 émis sur le volcan Nyiragongo.

b) Modélisation ANOVA des températures maximales sur Goma en fonction du SO2 sur le volcan Nyiragongo

Tableau 8 : Coefficients ANOVA de modélisation des températures maximales sur Goma en fonction du SO2 sur le volcan Nyiragongo

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	26,476	,100		,000
	Fissures_Capteurs_OVG_Aerosols_SO2_Nyirangongo_ppm	-7,717E-006	,000	-,188	,000

a. Dependent Variable: Temperature_Max_Goma_Celsius

Les valeurs des coefficients tirés du Tableau 8, déterminées avec une signification nulle, donnent la fonction de régression linéaire suivante :

$$[Tmax_Air_Goma] = 26,476 - 7,717 \cdot 10^{-6} * [SO2_ppmNyiragongo] \quad (13)$$

Le coefficient négatif du terme linéaire dans l'équation (13) indique que la température maximale de l'air sur Goma diminue avec la concentration en SO2 émis sur le volcan Nyiragongo.

c) Modélisation ARIMA des températures maximales sur Goma en fonction du CO2 et du SO2 sur le volcan Nyiragongo

Tableau 9 : Coefficients ARIMA de modélisation des Températures Maximales sur Goma en fonction du CO2 et du SO2 sur le volcan Nyiragongo

				Estimate	Sig.
Temperature_Max_Goma_Celsius-Model_1	Temperature_Max_Goma_Celsius	Square Root	Constant	5,087	,000
			AR Lag 1	,649	,000
			MA Lag 1	,259	,007
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	No Transformation	Numerator Lag 0	,000	,027
	OVG_Aerosols_SO2_Nyirangongo_ppm	No Transformation	Numerator Lag 0	-3,556E-007	,052

Dans le Tableau 9, les coefficients sont déterminés avec une signification inférieure au seuil de 5%, sauf celui du terme linéaire en concentration de SO2 qui vaut 5,2%. Ces coefficients donnent les équations de modélisation suivantes :

- En AR : $[Tmax_Goma](aujourd'hui) = 5,087 + 0,649 * [Tmax_Goma](hier) - 3,556 \cdot 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira]$ (14)

- En MA : $[Tmax_Goma](aujourd'hui) = 5,087 + 0,649 * [Tmax_Goma](hier) - 3,556 \cdot 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira]$ (15)

La valeur nulle du coefficient du terme linéaire de la variable concentration en CO2 sur le volcan (Tableau 9)

indique que la concentration en ce gaz sur le volcan Nyiragongo n'a aucun effet sur la température maximale de l'air à Goma. Seul l'effet de la concentration en SO₂ sur le volcan se fait sentir sur la température maximale à Goma. En outre, les équations (14) et (15) montrent que le dioxyde de soufre émis par le volcan Nyiragongo influence négativement la température maximale de l'air à Goma.

4.1.3. *Modélisation des températures maximales sur Sake en fonction du CO₂ et du SO₂ émis par le volcan Nyiragongo*

a) Modélisation ANOVA des températures maximales sur Sake en fonction du CO₂ sur le volcan Nyiragongo

Tableau 10 : Coefficients ANOVA de modélisation des températures maximales sur Sake en fonction du CO₂ sur le volcan Nyiragongo

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	23,974	,164		,000
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	,007	,001	,231	,000

a. Dependent Variable: Temperature_Max_Sake_Celsius

Les valeurs des coefficients tirés du Tableau 10, déterminées avec une signification nulle, donnent la fonction de régression linéaire suivante :

$$[Tmax_Air_Sake] = 23,974 + 0,007 * [CO2_Nyiragongo] \quad (16)$$

Le coefficient positif du terme linéaire dans l'équation (16) indique que la température maximale de l'air sur Sake augmente avec la concentration en CO₂ émis sur le volcan Nyiragongo.

b) Modélisation ANOVA des températures maximales sur Sake en fonction du SO₂ sur le volcan Nyiragongo

Tableau 11 : Coefficients ANOVA de modélisation des températures maximales sur Sake en fonction du SO₂ sur le volcan Nyiragongo

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	25,222	,100		252,890	,000
	Fissures_Capteurs_OVG_Aerosols_SO2_Nyirangongo_ppm	-8,801E-006	,000	-,213	-4,819	,000

a. Dependent Variable: Temperature_Max_Sake_Celsius

Les valeurs des coefficients tirés du Tableau 11, déterminées avec une signification nulle, donnent la fonction de régression linéaire suivante :

$$[Tmax_Air_Sake] = 25,222 - 8,801 \cdot 10^{-6} * [SO2_Nyiragongo] \quad (17)$$

Le coefficient négatif du terme linéaire dans l'équation (17) indique que la température maximale de l'air sur Sake diminue avec la concentration en SO₂ émis sur le volcan Nyiragongo.

c) Modélisation ARIMA des températures maximales sur Sake en fonction du CO₂ et du SO₂ sur le volcan Nyiragongo

Tableau 12 : Coefficients ARIMA de modélisation des Températures Maximales sur Sake en fonction du CO₂ et du SO₂ sur le volcan Nyiragongo

					Estimate	Sig.
Temperature_Max_Sake_Celsius-Model_1	Temperature_Max_Sake_Celsius	Square Root	Constant		4,983	,000
			AR Lag 1		,644	,000
			MA Lag 1		,213	,019
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	No Transformation	Numerator Lag 0		,000	,342
	OVG_Aerosols_SO2_Nyirangongo_ppm	No Transformation	Numerator Lag 0		-4,404E-007	,018

Dans le Tableau 12, les coefficients sont déterminés avec une signification inférieure au seuil de 5%, sauf celui

du terme linéaire en concentration de CO₂ qui vaut 34,2%. Ces coefficients donnent les équations de modélisation suivantes :

- En AR : $[Tmax_Sake](aujourd'hui) = 4,983 + 0,644 * [Tmax_Sake](hier) - 4,404. 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira]$ (18)

- En MA : $[Tmax_Sake](aujourd'hui) = 4,983 + 0,213 * [Tmax_Sake](hier) - 4,404. 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira]$ (19)

La valeur nulle du coefficient du terme linéaire de la variable concentration en CO₂ sur le volcan (Tableau 12) indique que, comme pour la ville de Goma, la concentration en ce gaz sur le volcan Nyiragongo n'a aucun effet sur la température maximale de l'air à Sake. Seul l'effet de la concentration en SO₂ sur le volcan se fait sentir sur la température maximale de l'air à Sake. En outre, les équations (18) et (19) montrent que le dioxyde de soufre émis par le volcan Nyiragongo influence négativement la température maximale de l'air à Sake.

4.2. Prévion thermique de l'air froid sur Nyiragongo, Goma et Sake sous l'effet des gaz volcaniques CO₂ et SO₂

4.2.1. *Modélisation ANOVA des températures minimales sur le volcan Nyiragongo en fonction du CO₂ et du SO₂ émis par le même volcan*

4.2.2.

Tableau 13 : Coefficients ANOVA de modélisation des températures minimales en fonction du CO₂ et du SO₂ sur le volcan Nyiragongo

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	8,381	,144		,000
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	,006	,001	,218	,000
2	(Constant)	8,517	,153		,000
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	,009	,002	,371	,000
	Concentration_CO2_Sake_ppbv	-,006	,002	-,192	,009

a. Dependent Variable: Temperature_Min_Nyirangongo_Celsius

Dans le tableau 13, tous les coefficients de prédiction sont déterminés avec une signification nulle sauf un qui est aussi valable parce que sa signification est égale à 0,9%, inférieure au seuil de 5%. Deux modèles sont proposés : le Modèle 2 avec deux variables indépendantes est plus riche, c'est-à-dire qu'il fournit plus d'informations, que le Modèle 1 avec une seule variable indépendante. Il faut noter que lorsque plusieurs modèles ANOVA de régression linéaire sont proposés (cas du tableau 13 ci-dessus), toutes autres choses étant égales par ailleurs, le modèle le plus riche (avec le plus grand nombre de variables indépendantes) est aussi le plus fiable.

Les fonctions ANOVA de régression linéaire données par les coefficients du tableau 13 sont les suivantes :

- Modèle 1 : $[Tmin_Air_Nyiragongo] = 8,381 + 0,006 * [CO2_Nyiragongo]$ (20)

- Modèle 2 : $[Tmin_Air_Nyiragongo] = 8,517 + 0,009 * [CO2_Nyiragongo] - 0,006 * [CO2_Sake]$ (21)

Les équations (20) et (21) montrent que, pour les deux modèles, le CO₂ émis par le volcan Nyiragongo influence toujours positivement les températures minimales sur le volcan.

4.2.3. *Modélisation ANOVA des températures minimales sur Goma en fonction du CO₂ émis par le volcan Nyiragongo*

Tableau 14 : Coefficients ANOVA de modélisation des températures minimales sur Goma en fonction du CO₂ émis par le volcan Nyiragongo

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	13,171	,161		,000
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	,008	,001	,264	,000

a. Dependent Variable: Temperature_Min_Goma_Celsius

Les valeurs des coefficients tirés du Tableau 14, déterminées avec une signification nulle, donnent la fonction de régression linéaire suivante :

$$[Tmin_Air_Goma] = 13,171 + 0,008 * [CO2_Nyiragongo] \quad (22)$$

Le coefficient positif du terme linéaire dans l'équation (22) indique que la température maximale de l'air sur Goma augmente avec la concentration en CO₂ émis sur le volcan Nyiragongo.

4.2.4. Modélisation ANOVA des températures minimales sur Sake en fonction du CO₂ émis par le volcan Nyiragongo

Tableau 15 : Coefficients ANOVA de modélisation des températures minimales sur Sake en fonction du CO₂ émis par le volcan Nyiragongo

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
	B	Std. Error	Beta	
1				
(Constant)	12,091	,145		,000
Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	,007	,001	,267	,000

a. Dependent Variable: Temperature_Min_Sake_Celsius

Les valeurs des coefficients tirés du Tableau 15, déterminées avec une signification nulle, donnent la fonction de régression linéaire suivante :

$$[Tmin_Air_Sake] = 12,091 + 0,007 * [CO2_Nyiragongo] \quad (23)$$

Cette équation représente une fonction linéaire croissante. La concentration en CO₂ sur le volcan Nyiragongo influence positivement la température minimale sur Sake.

4.2.5. Modélisation ARIMA des températures minimales sur Nyiragongo, Goma et Sake en fonction du CO₂ et du SO₂ émis par le volcan Nyiragongo

a) Modélisation ARIMA des températures minimales en fonction du CO₂ et du SO₂ sur le volcan Nyiragongo

Tableau 16 : Coefficients ARIMA de modélisation des températures minimales en fonction du CO₂ et du SO₂ sur le volcan Nyiragongo

					Estimate	Sig.
Temperature_Min_Nyirangongo_Celsius-Model_1	Temperature_Min_Nyirangongo_Celsius	Square Root	Constant		3,010	,000
			AR	Lag 1	,892	,000
			MA	Lag 1	,557	,000
	OVG_Aerosols_SO2_Nyirangongo_ppm	No Transformation	Numerator	Lag 0	2,442E-007	,320
	Concentration_CO2_Nyirangongo_ppbv	No Transformation	Numerator	Lag 0	,000	,531

Dans le tableau 16, le coefficient du terme linéaire des concentrations en CO₂ sur le volcan Nyiragongo est nul. Tous les autres coefficients, non nuls, sont déterminés avec une signification nulle excepté celui du terme linéaire des concentrations en SO₂ dont la signification est égale à 32,0%, largement supérieure au seuil de 5%. Toutefois, vu le poids très faible de ce dernier coefficient, de l'ordre de 10⁻⁷, tous les coefficients sont valables et donnent les équations suivantes :

- Equation AR : $[Tmin_Air_Nyira](aujourd'hui) = 3,01 + 0,892 * [Tmin_Air_Nyira](hier) + 2,442. 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira]$ (24)

- Equation MA : $[Tmin_Air_Nyira](aujourd'hui) = 3,01 + 0,557 * [Tmin_Air_Nyira](hier) + 2,442. 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira]$ (25)

Les équations (24) et (25) montrent que le dioxyde de soufre émis par le volcan Nyiragongo influence négativement la température minimale de l'air sur le volcan.

b) Modélisation ARIMA des températures minimales sur Goma et Sake en fonction du CO₂ et du SO₂ émis par le volcan Nyiragongo

Tableau 17 : Coefficients ARIMA de modélisation des températures minimales sur Goma et Sake en fonction

du CO₂ et du SO₂ émis par le volcan Nyiragongo

					Estimate	Sig.	
Temperature_Min_Goma _Celsius-Model_1	Temperature_Min_Goma _Celsius	Square Root	Constant		3,701	,000	
			AR	Lag 1	,726	,000	
		OVG_Aerosols_SO2_Nyir angongo_ppm	No Transformation	MA	Lag 1	,314	,000
				Numerator	Lag 0	-1,302E-007	,580
Concentration_CO2_Nyir angongo_ppbv	Concentration_CO2_Nyir angongo_ppbv	No Transformation	Numerator	Lag 0	,000	,009	
			Constant		3,591	,000	
		Temperature_Min_Sake_ Celsius-Model_2	Temperature_Min_Sake_ Celsius	AR	Lag 1	,885	,000
				MA	Lag 1	,584	,000
OVG_Aerosols_SO2_Nyir angongo_ppm	No Transformation	Numerator	Lag 0	-2,010E-007	,346		
		Concentration_CO2_Nyir angongo_ppbv	Lag 0	,000	,482		

Dans le tableau 17, le coefficient du terme linéaire des concentrations en CO₂ sur le volcan Nyiragongo est nul aussi bien pour Goma que pour Sake. Tous les autres coefficients, non nuls, sont déterminés avec une signification nulle excepté celui du terme linéaire des concentrations en SO₂ dont la signification est égale à 58,0% pour Goma et 34,6% pour Sake, largement supérieures au seuil de 5% dans les deux cas. Toutefois, vu le poids très faible de ce dernier coefficient, de l'ordre de 10⁻⁷ aussi bien pour Goma que pour Sake, tous les coefficients sont valables et donnent les équations suivantes :

- Equation AR sur Goma :

$$[Tmin_Air_Goma](aujourd'hui) = 3,701 + 0,726 * [Tmin_Air_Goma](hier) - 1,302. 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira] \quad (26)$$

- Equation MA sur Goma :

$$[Tmin_Air_Goma](aujourd'hui) = 3,701 + 0,314 * [Tmin_Air_Goma](hier) - 1,302. 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira] \quad (27)$$

- Equation AR sur Sake :

$$[Tmin_Air_Sake](aujourd'hui) = 3,591 + 0,885 * [Tmin_Air_Sake](hier) - 2,01. 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira] \quad (28)$$

- Equation MA sur Sake :

$$[Tmin_Air_Sake](aujourd'hui) = 3,591 + 0,584 * [Tmin_Air_Sake](hier) - 2,01. 10^{-7} * [OVG_SO2_Nyira] \quad (29)$$

Les quatre dernières équations montrent que le dioxyde de soufre émis par le volcan Nyiragongo influence négativement la température minimale de l'air sur Goma (équations 26 et 27) et sur Sake (équations 28 et 29).

V. Discussion Des Résultats

5.1. De la prévision thermique de l'air chaud sur Nyiragongo, Goma et Sake

5.1.1. De la modélisation des températures maximales sur le volcan en fonction de CO₂ et SO₂ émis par le volcan Nyiragongo

a) Modèles ANOVA

Le signe positif du coefficient du terme linéaire dans l'équation (9) indique que la présence de CO₂ émis par le volcan Nyiragongo a pour effet d'élever la température maximale de l'air sur ce volcan. C'est ce qu'indiquent aussi les diagrammes de la figure 2 qui montrent que, généralement, les anomalies positives des températures maximales correspondent aux anomalies positives des concentrations en CO₂ et inversement. Ainsi est mis en évidence le pouvoir réchauffant du CO₂ sur le climat autour du Volcan.

Le signe négatif du coefficient du terme linéaire dans l'équation (10) indique que la présence de SO₂ émis par le volcan Nyiragongo a pour effet d'abaisser la température maximale de l'air sur ce volcan. C'est ce qu'indiquent aussi les diagrammes de la figure 3 qui montrent que, d'une façon générale, aux anomalies positives des températures maximales correspondent des anomalies négatives des concentrations en SO₂ et inversement. Ainsi est mis en évidence le pouvoir de refroidissement du SO₂ autour du Volcan.

b) Modèles ARIMA

L'équation (11) tirée du tableau 6 montre que le dioxyde de soufre émis par le volcan Nyiragongo a pour effet d'abaisser la température maximale sur le volcan. Ceci confirme le pouvoir refroidissant du SO₂ autour du Volcan.

Par ailleurs, dans cette équation, le modèle ARIMA des températures maximales sur le volcan Nyiragongo ne prend en compte que l'influence du SO₂, avec son pouvoir refroidissant, et néglige l'influence du CO₂, avec

son pouvoir réchauffant. Ceci confirme que, du point de vue des températures maximales, le volcan Nyiragongo refroidit plus qu'il ne réchauffe son environnement.

5.1.2. De la modélisation des températures maximales sur Goma et Sake en fonction de CO₂ et SO₂ émis par le volcan Nyiragongo

a) Modèles ANOVA

Le coefficient positif du terme linéaire dans les équations (12) et (16) indique que, sur la ville de Goma et sur la cité de Sake, la température maximale de l'air augmente avec la concentration en CO₂ sur le volcan Nyiragongo. C'est là une preuve supplémentaire de l'effet réchauffant du CO₂.

Le coefficient négatif du terme linéaire dans les équations (13) et (17) indique que, sur la ville de Goma et sur la cité de Sake, la température maximale de l'air diminue avec la concentration en SO₂ sur le volcan Nyiragongo. C'est là une preuve supplémentaire de l'effet refroidissant du SO₂.

b) Modèles ARIMA

Les équations (14) et (15) tirées du tableau 9 d'une part et les équations (18) et (19) tirées du tableau 12 d'autre part montrent que le dioxyde de soufre émis par le volcan Nyiragongo a pour effet d'abaisser la température maximale sur Goma et Sake. Ceci confirme le pouvoir de refroidissement du SO₂ émis par le volcan Nyiragongo sur le climat local autour du volcan.

Par ailleurs, la valeur nulle du coefficient des termes linéaires de la variable concentration en CO₂ sur le volcan (Tableaux 9 et 12) indique que la concentration en ce gaz sur le volcan Nyiragongo n'a aucun effet sur la température maximale de l'air à Goma et à Sake. Seul l'effet de la concentration en SO₂ sur le volcan se fait sentir sur la température maximale à Goma et à Sake. C'est là une preuve supplémentaire que, par ses émissions des gaz CO₂ et SO₂, le volcan Nyiragongo refroidit plus qu'il ne réchauffe son environnement.

5.2. De la prévision thermique de l'air froid sur Nyiragongo, Goma et Sake

5.2.1. De la modélisation ANOVA des températures minimales sur le volcan et sur Goma en fonction de CO₂ émis par le volcan Nyiragongo

Les équations de modélisation ANOVA (20) et (21) issues du tableau 13, (22) issue du tableau 14 et (23) issue du tableau 15, montrent que les températures minimales sur le volcan Nyiragongo, Goma et Sake augmentent avec le CO₂ de Nyiragongo. Ainsi est mis en évidence, une fois de plus, le pouvoir réchauffant du CO₂ émis par le volcan Nyiragongo sur le climat autour du Volcan.

5.2.2. De la modélisation des températures maximales sur Goma et Sake en fonction de CO₂ et SO₂ émis par le volcan Nyiragongo

Dans les six équations, de (24) à (29), issues des tableaux 16 et 17 et qui prédisent par modélisation ARIMA la température minimale sur le volcan Nyiragongo, Goma et Sake, il est curieux de remarquer l'élimination du gaz CO₂. Ce gaz ne participe pas à la construction du modèle thermique de l'air la nuit sur la zone volcanique, où seul le SO₂ contribue bien que sans un poids énorme dans l'équation ARIMA, à voir les coefficients multiplicateurs de la concentration en aérosols si faibles. Néanmoins, la nuit, la présence des aérosols volcaniques SO₂ contribue légèrement au refroidissement de l'air sur Sake et sur Goma, et au réchauffement de l'air froid au-dessus du volcan, influençant comme une torche lumineuse fulminante sans grande importance les températures minimales de l'air dans la région.

VI. Conclusion

Volcan encore en activité à ce jour, le Nyiragongo éjecte continuellement dans l'atmosphère des quantités variables des gaz, notamment le dioxyde de carbone (CO₂) et le dioxyde de soufre (SO₂). La présence de ces gaz dans l'atmosphère a des effets sur les paramètres climatiques aussi bien sur le volcan lui-même que sur les agglomérations humaines qui lui sont proches, nous citons la ville de Goma et la cité de Sake.

L'objectif de ce travail était de mettre en évidence les effets antagonistes des deux gaz CO₂ et SO₂ émis par le volcan Nyiragongo sur le climat local de la région autour de ce volcan, l'un réchauffant et l'autre refroidissant l'atmosphère. Il fallait donc identifier, grâce aux équations de modélisation de types ANOVA et ARIMA, entre le CO₂ et le SO₂ émis par le volcan Nyiragongo lequel a pour effet d'élever et lequel a pour effet d'abaisser la température de l'air sur le volcan Nyiragongo, la ville de Goma et la cité de Sake. En outre, il fallait aussi déterminer si, au finish, le volcan Nyiragongo réchauffe ou refroidit le climat au volcan lui-même, à Goma et à Sake.

A l'issue de la discussion des résultats, les fonctions de modélisation ANOVA et ARIMA des températures maximales et des températures minimales sur le volcan Nyiragongo, Goma et Sake en fonction des

concentrations du CO₂ et SO₂ émis par le volcan Nyiragongo, nous concluons en affirmant ce qui suit :

- 1) Entre le CO₂ et le SO₂ émis par le volcan Nyiragongo, c'est le premier qui contribue au pouvoir réchauffant et le second au pouvoir refroidissant de ce volcan.
- 2) Au niveau local, le volcan Nyiragongo refroidit plus qu'il ne réchauffe son environnement.

Par la présente étude, nous aurons ainsi montré que dans la région autour du volcan Nyiragongo, les gaz CO₂ et SO₂ émis par le volcan Nyiragongo jouent leurs rôles naturels : le CO₂ est un gaz à effet de serre qui favorise le réchauffement de l'atmosphère et le SO₂ est un gaz formant dans l'atmosphère des aérosols qui constituent des noyaux de condensation de la vapeur d'eau, favorisant ainsi les précipitations et par voie de conséquence le refroidissement de l'atmosphère.

Bibliographie

- [1]. AVRAM Florin (2012), *Séries temporelles : régressions et modélisation ARIMA (p, d, q)*, Notes de cours, Département de Mathématiques, Université de Pau, France
- [2]. BALAH Belkacem (2018), *Prévision par modèle ARIMA des températures mensuelles du bassin versant de la Seybouse du Nord Est algérien*, Revue scientifique et technique, LJEE N° 32&33 Juin-Déc. 2018
- [3]. D'HAINAUT Louis (1978) : *Concept et méthodes de la statistique* ; Ed. Labor, Bruxelles
- [4]. DELIGNIERES Didier (2000), *Séries temporelles – Modèles ARIMA*, Séminaire EA "Sport-Performance-Santé"
- [5]. DESBOIS Dominique (2005), *Une introduction à la méthodologie de Box et Jenkins : l'utilisation des modèles ARIMA avec SPSS*, in Revue MODULAD N° 33, 2005
- [6]. GAUCEL Sébastien (2012), *Une introduction à la modélisation*, Ecole thématique « Initiation à la modélisation », INRA La Rochelle [7]. GIROUX Françoise, MAITRE Emmanuel et PEREZ Carlos (2011), *UE Modélisation et simulation*, MASTER MES, Notes de cours 2011-2012
- [7]. KABASELE Yenga-Yenga Albert (2011), *Modélisation Atmosphérique du temps Hélio-pluviométrique qu'il fait dans la ville de Kinshasa*, Numéro spécial, Vol 1, Institut Géographique du Congo (IGC), Kinshasa, RD Congo
- [8]. KABASELE Yenga-Yenga Albert (2020), *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), Kinshasa, RD Congo
- [9]. LEFEVRE C. (2010), *Volcans et risques volcaniques*, Ellipses, Paris
- [10]. LUBEMBA Atchibiya Michel (2013), *Modélisation des gaz volcaniques (CO₂ et SO₂) du Nyiragongo au Nord-Kivu*, Mémoire de DEA, Université Pédagogique Nationale UPN, Kinshasa
- [11]. MBAYE Baidy Baro et SENE Serigné Moustapha, (2007), *Analyse et prévisions des séries temporelles par la méthode de Box & Jenkins*, Document de travail, Direction de la Prévision et des Etudes Economiques, Ministère de l'Economie et des Finances, République du Sénégal
- [12]. NAU Robert (2014), *Introduction to ARIMA models*, Fuqua School of Business, Duke University,
- [13]. RD Congo / Ministères des Infrastructures et des Travaux Publics, Cellule des Infrastructures (2015) ; *Projet de réouverture et d'entretien des routes hautement prioritaires « PRO-ROUTES » : Cadre de Gestion Environnemental et Social (CGES) ; Rapport Final*, Octobre 2015
- [14]. TILLE Yves (2011) : *Résumé du cours de Modèles de régression* ; Institut de statistique, Université de Neuchâtel, Suisse
- [15]. TOUTAIN, P.L. et BOUSQUET-MELOU, A. (2007), *Modèles et modélisation : Généralités*, UMR 181 de Physiopathologie et Toxicologie expérimentale INRA/ENVT, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
- [16]. VIANO M.-C & PHILIPPE A (2004) : *Cours de séries temporelles*, Années 1999 à 2004, Université des Sciences et Technologie de Lille, U.F.R. de Mathématiques Pures et Appliquées
- [17]. WAFULA M., MAVONGA (1990) : *Activité sismique de la région de Virunga associée à l'éruption de Nyamulagira en 1989*. Dans Revue des Sciences Naturelles, Vol 1, N° 1.

LUBEMBA Atchibiya Michel, et. al. "Pouvoir Réchauffant Et Refroidissant Du Volcan Nyiragongo Sur L'Environnement Local de Goma." *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 13(2), 2021, pp. 56-69.