

Modélisation Des Données Météorologiques Et Climatiques Autour Du Volcan Nyiragongo A Goma En République Démocratique Du Congo.

BAHAYA BARHAHAMUKENYI Siméon¹, LUBEMBA ATCHIBIYA
Michel¹KABASELE YENGA-YENGA Albert² et CIMBELA KABONGO
Joseph²

¹ Institut Supérieur Pédagogique (ISP-Bukavu) B.P 854 Bukavu, RDCongo

² Université Pédagogique Nationale(UPN-Kinshasa) B.P 8815 Kinshasa/Binza, RDCongo

Résumé

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution au-dessus d'un lieu ou d'une région donnée pendant une période.

Malgré les avancées technologiques et l'amélioration des prévisions météorologiques, les risques liés au climat restent grands. L'urbanisation croissante, le volcanisme, la pollution atmosphérique et le réchauffement actuel de la planète conduisent à des profondes modifications des systèmes de prévisions et surtout des valeurs climatiques mesurées sur la surface terrestre dans des endroits où l'intervention de l'homme est omniprésente (aéroport, centre-ville, parcs, ...)

Notre étude permet alors de modéliser les données des éléments climatiques et météorologiques (température de l'air, température des fissures, précipitation, pression atmosphérique, humidité de l'air) mesurées expérimentales par les chercheurs de l'Observatoire Volcanique de Goma (OVG) de 2003 à 2005, en vue d'établir les équations linéaires de prédiction des données climatiques et les graphiques y afférent,

L'exploitation des logiciels SPSS 16.0 et Excel nous ont conduits à l'Analyse des variances, au modèle de régression linéaire, et nous ont permis d'établir les équations de prédiction partant d'une part, des coefficients générés par le logiciel SPSS et d'autre part, en calculant les coefficients de la droite de régression linéaire, ainsi que la représentation graphique de ces modèles pour nous permettre de vérifier quel est le modèle de prédiction fiable, donnant des résultats modélisés qui coïncident avec les résultats expérimentaux (mesurées in situ) en tenant compte du seuil de signification inférieur ou égal à 0,05.

Notre étude montre que les températures des fissures du volcan Nyiragongo ont une répercussion sur le climat et sur les éléments météorologiques, mais aussi ces éléments météorologiques interagissent entre eux. Le microclimat autour du volcan Nyiragongo dépend du volcan.

Mots clés: *Modélisation, régression linéaire, climat, température, précipitation, pression atmosphérique, humidité de l'air*

Date of Submission: 26-07-2020

Date of Acceptance: 10-08-2020

I. Introduction

Le climat a un impact sur la vie des hommes, sur l'agriculture, sur les lacs, sur les animaux, sur la biodiversité. Les éléments du climat sont : la pression atmosphérique, la température, les précipitations et le vent. Ces éléments interagissent entre eux pour produire le temps (météorologie).

Le volcan Nyiragongo influence les conditions climatiques et météorologiques autour de la ville de Goma et de l'aéroport international, ainsi que du parc national des Virunga dans lequel ce volcan est inclus.

Le besoin de modéliser les données climatiques et météorologiques (température de l'air, température des fissures, précipitation, pression atmosphérique, humidité de l'air, ...) autour du volcan Nyiragongo est nécessaire car il est très fréquent de se trouver devant la situation où quand une grandeur varie d'autres grandeurs varient et il est intéressant de traduire ces variations par des relations fonctionnelles de prédiction.

C'est ainsi que l'Observatoire Volcanique de Goma prélève les données climatiques et météorologiques autour du volcan Nyiragongo, ainsi que les températures dans les fissures ; ce dernier étant très proche de la ville et de l'aéroport International de Goma (à 15 km seulement), étant donné que la variation des données météorologiques autour de l'aéroport sont influencées par le volcan Nyiragongo.

Le but de l'article est de modéliser les équations de données climatiques et météorologiques, en utilisant le modèle de régression linéaire, en vue de prédire les risques liés au climat dans la ville de Goma, à

l'aéroport international de Goma et dans le parc national des Virunga. Et de mettre au point le degré d'influence des paramètres, quels paramètres influent plus sur les autres.

La modélisation est la conception d'un modèle, elle permet d'analyser des phénomènes réels et de prévoir des résultats à partir de l'application d'une ou plusieurs théories à un niveau d'approximation donné.

Le principe d'un modèle est de remplacer un système complexe en un objet ou opérateur simple reproduisant les aspects ou comportements principaux de l'original (Éric GONCALVES DA SILVA, 2011).

Un modèle fournit une représentation à laquelle on puisse se référer quand on ne peut pas voir ce qui se produit réellement.

Un des modèles est "*la régression linéaire*" où une variable x , est expliquée, modélisée par une fonction affine d'une autre variable y .

C'est une approche exploratoire ou alors la recherche d'une réponse à une question du type : une variable quantitative x a-t-elle une influence sur une variable quantitative y ? ou enfin, la recherche d'un modèle de prévision de y en fonction de x .

II. Modèle De Régression Linéaire

Un modèle de régression linéaire est un modèle de régression d'une variable expliquée sur une ou plusieurs variables explicatives dans lequel on fait l'hypothèse que la fonction qui relie les variables explicatives à la variable expliquée est linéaire dans ses paramètres. Ce modèle a de nombreuses applications pratiques. Il permet notamment de faire des analyses de prédiction.

S'il existe entre la variable y et x une relation stricte linéaire, on peut prédire avec certitude toute valeur de y quand on connaît x .

Un modèle de régression linéaire est de la forme :

$$y = a + bx \quad (1)$$

Le terme d'erreur aléatoire du modèle étant négligé. La signification donne l'exactitude de l'estimation.

Le modèle est linéaire en a et b qui sont deux paramètres à estimer. Le paramètre a indique combien varie en moyenne la valeur de y lorsque celle de x varie d'une unité. Le paramètre b correspond à la valeur théorique de y lorsque la valeur de $x = 0$.

On pourra aussi prédire les résultats à l'aide d'un graphique. Il s'agira alors de déterminer la valeur de a et b ou de tracer le diagramme de dispersion ou la droite qui s'ajuste le mieux aux données.

On appelle "droite de régression" une droite qui représente la relation linéaire entre "la variable- critère" y^* (la variable dont on veut prédire la valeur) et la "variable-prédicteur" (la variable qui sert à prédire), et qui s'ajuste le mieux aux données.

III. Approche Méthodologie

Dans cette partie nous allons exposer les méthodes que nous allons utiliser, mais avant tout nous allons prendre connaissance du milieu dans lequel notre étude se déroule.

3.1 Champ d'investigation

La ville de Goma est le chef-lieu de la province du Nord-Kivu, en République Démocratique du Congo (RDCongo). Cette ville est située en bordure et au nord du lac Kivu sur les anciennes coulées de laves issues de la chaîne des Virunga et principalement sur celles du volcan Nyiragongo qui la domine de près de 1km à 20 km plus au Nord (OVG, janvier 2009).

Cette ville a un aéroport international, et bénéficie d'un climat tropical à cause de sa situation géographique dans le Kivu montagneux. Ce climat est caractérisé par une longue saison pluvieuse qui s'étend de septembre à mai et une saison sèche allant de juin à août (OVG, département de Géophysique, 2009)

La plaine de Goma est légèrement inclinée vers le lac Kivu à une altitude de 1640 m à 2000 m d'altitude Nord vers la chaîne volcanique des Virunga (dont fait partie le volcan Nyiragongo).

Le volcan Nyiragongo est situé à 15 km de la ville de Goma qu'il domine du haut de ses 3470 m d'altitude (latitude : 1.52 S/29.25 E). Il se présente sous la forme d'un imposant cône tronqué dominant la région de Goma, sa dernière éruption date du 17 janvier 2002 qui a réduit à néant 18% de la ville mais ravageant 80% de l'économie et détruit la moitié de l'aéroport international et 14 villages environnants (NASA EarthObservatory).

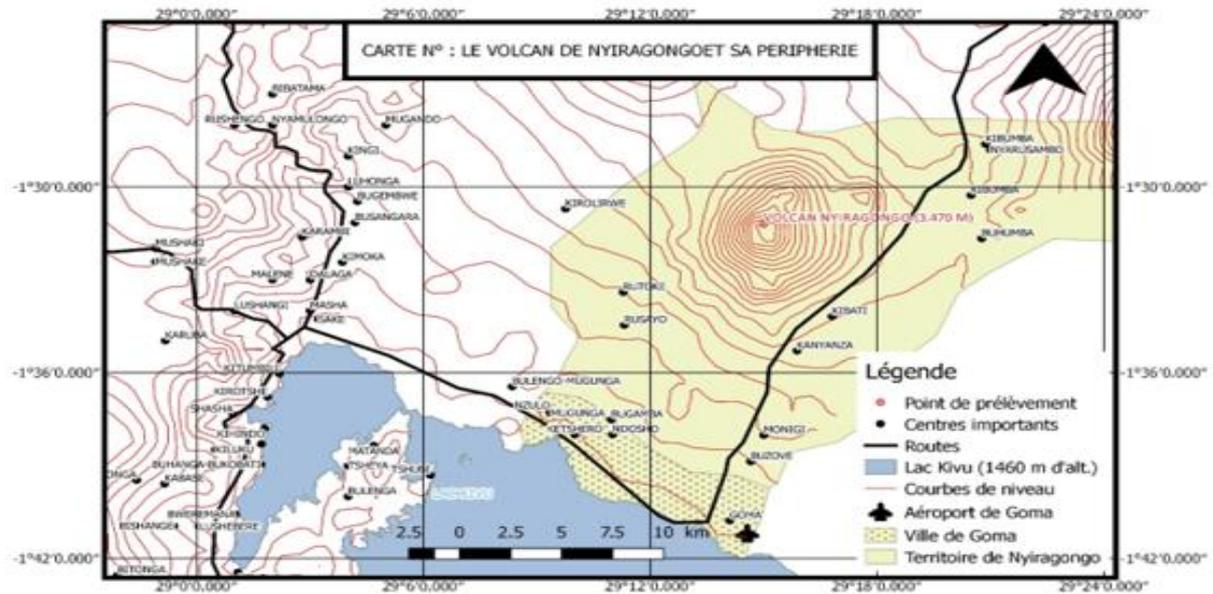


Figure 1- Géolocalisation du volcan Nyiragongo et sa périphérie (carte auteurs)

3.2 Méthode statistique

Le logiciel SPSS 16.0, nous a permis de mener notre étude en exploitant ses menus, chaque menu ayant des sous menus. Pour explorer les données, on exploite le menu Analyse servant à accéder à la procédure de régression simple en sélectionnant "régression" et en cliquant sur linéaire pour ouvrir la boîte de dialogue "régression linéaire". Il est utile de demander des statistiques descriptives supplémentaires et une analyse des résidus.

Ce traitement statistique nous a conduits à l'Analyse des Variances.

Le logiciel a été employé pour l'ensemble des analyses statistiques, le seuil de signification a été fixé à 5% (0,05).

3.3 Méthode analytique

Modèle de régression linéaire : Détermination des droites de régression.

Le modèle de régression linéaire simple est donné par l'équation (1) : $y = a + bx$

Le coefficient angulaire b et le coefficient a sont déterminés par les relations : (OLIVIER Martin, 2007)

$$b = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Et puisque les moyennes \bar{y} et \bar{x} sont des valeurs correspondantes, on a: $\bar{y} = a + b \bar{x}$, donc: (OLIVIER Martin, 2007)

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \quad (3)$$

On prédit y à partir de x , on a $y^* = a + bx$; avec $a = \bar{y} - b \bar{x}$, l'équation de la droite de régression prend la forme: (D'HAINAUT Louis, 1978, op cit)

$$y^* = \bar{y} - b \bar{x} + bx = \bar{y} + b(x - \bar{x}) \quad (4)$$

L'équation (4) est équivalente à l'équation (1) car on a remplacé le coefficient a par son expression (relation 3) et le coefficient b garde sa valeur qui sera trouvée partant de la relation 2.

Le paramètre a de la droite de régression indique combien varie en moyenne la valeur de y lorsque celle de x augmente d'une unité. Le paramètre b correspond à la valeur théorique de y lorsque la valeur de $x = 0$.

Quand une équation de régression est utilisée pour estimer une variable y à partir de celles d'une ou des plusieurs variables indépendantes x , l'estimation (valeur modélisée) y^* n'atteint pas habituellement l'exactitude complète. Géométriquement parlant, les points des données ne tombent pas exactement sur la ligne de droite, le plan ou l'hyperplan spécifié par l'équation de régression. La différence ($y - y^*$) sur les valeurs prédites sont appelées "résidus"

Un résidu est alors la différence entre la valeur réelle de la valeur dépendante et sa valeur prédite en utilisant l'équation de régression (KINNEAR et GRAY, 2006)

3.4 Méthode expérimentale

Les données expérimentales ont été mises à notre disposition par le département de géophysique de l'OVG, récoltées par ses chercheurs.

Les données météorologiques et climatiques (Humidité de l'air, précipitations, température de l'air, pression atmosphérique) se répartissent sur trois ans : de 2003 à 2005, et sont mensuelles et les températures dans les fissures sont des moyennes journalières qui ont données les valeurs mensuelles.

Les précipitations sont exprimées en millimètre(mm), les températures en degrés Celsius, la pression atmosphérique en Pascal(Pa), l'humidité de l'air est en pourcentage (ou en gramme d'eau par m³ quand elle désigne la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air).

La fissure de MUNIGI (SO 1° 63,588; EO 29° 24,565)se trouvant à une altitude de 1619 m a été prise en considération. Les coordonnées de la fissure ont été repérées à l'aide du GPS différentielle par les chercheurs de l'OVG et le repérage des températures s'est fait à l'aide d'un capteur thermique muni d'une sonde d'environ 15cm de long

IV. Présentation Et Interprétation Des Résultats

Nous présentons les résultats c'est à dire les équations modélisées et les graphiques se rapportant à chaque équation.

Les données météorologiques et climatiques ainsi que les températures des fissures sont des moyennes mensuelles reprises dans les tableaux.

4.1 Modélisation des données climatiques et météorologiques de 2003

4.1.1 Pression atmosphérique en fonction de la température de l'air

1° Coefficients de prédiction

a) Coefficients générés par le logiciel

Considérons le tableau des coefficients.

Tableau 1- Tableau des coefficients (var dépendante *patm_2003*)

Modèle	Coefficients non standardisés		Sig
	B	Erreur standard	
1 (constante)	858,982	4,328	,000
Temp_air 2003	-,651	,225	,016

Variable dépendante: *patm_atm*; Prédicteur : Temp-air

Les coefficients de ce tableau nous permettent d'établir l'équation de prédiction :

$$patm_mod1 = 858,982 - 0,651 Temp_air \quad (5)$$

Le seuil de signification de cette équation est inférieur à 5%, soit 1,6% ; cette équation est fiable et prouve que la pression atmosphérique est influencée par la température de l'air.

b) Calcul des coefficients par le modèle de régression linéaire

Déterminons l'équation de prédiction en utilisant le modèle de régression linéaire donnée par l'équation (1) :

$y = a + bx$, en calculant les coefficients *a* et *b* partant des relations (2) et (3) et des données numériques mesurées in situ (données expérimentales) des précipitations et de la pression atmosphérique repris dans le tableau 7.

Soient *y* : pression atmosphérique(*patm*) et *x* : Température de l'air (*Temp_air*)

$\bar{y} = 846,485$ et $\bar{x} = 19,1858333$; Le coefficient angulaire *b* et le coefficient *a* sont déterminés par les relations (2) et (3) :

$$b = \frac{-4,68895}{7,19849} = -0,651379 \quad \text{et} \quad a = \bar{y} - b \bar{x} = 846,485 - ((-0,651379) \cdot 19,1858333) = 858,982258$$

$$y = 858,982258 - 0,651379 x$$

L'équation de prédiction est alors :

$$patm_mod(cal) = 858,982258 - 0,651379 Temp_air \quad (6)$$

Les deux équations de prédiction (5) et (6) ont même coefficients angulaire et même constantes à 0,01 près. Elles donneront des valeurs égales et les droites représentatives seront confondues.

2° Tableau des valeurs

Les données expérimentales (mesurées in situ) comparées aux données modélisées sont reprises dans le tableau 2

Tableau 2- pression atmosphérique en fonction des températures de l'air (2003)

Mois	Temp air 2003	patm 2003 in situ	patm_mod1	patm_mod(cal)	sig
janvier	19,06	846,6	846,57	846,57	0,00
février	19,08	846,07	846,56	846,55	0,00
mars	19,15	845,63	846,52	846,51	0,00
avril	19,72	846,14	846,14	846,14	0,00

mai	19,64	847,32	846,2	846,19	0,00
juin	19,42	847,11	846,34	846,34	0,00
juillet	17,33	847,97	847,7	847,69	0,00
août	17,99	847,14	847,27	847,26	0,00
septembre	19,43	846,71	846,33	846,33	0,00
octobre	20,11	845,77	845,89	845,88	0,00
novembre	20,1	845,46	845,9	845,89	0,00
décembre	19,2	845,9	846,48	846,48	0,00

Le tableau 2 montre que les équations de prédiction (5) et (6) de ces deux modèles donnent les mêmes valeurs que les valeurs expérimentales (mesurées in situ) ; le seuil de signification étant de 0% pour toutes les valeurs.

3° Graphique

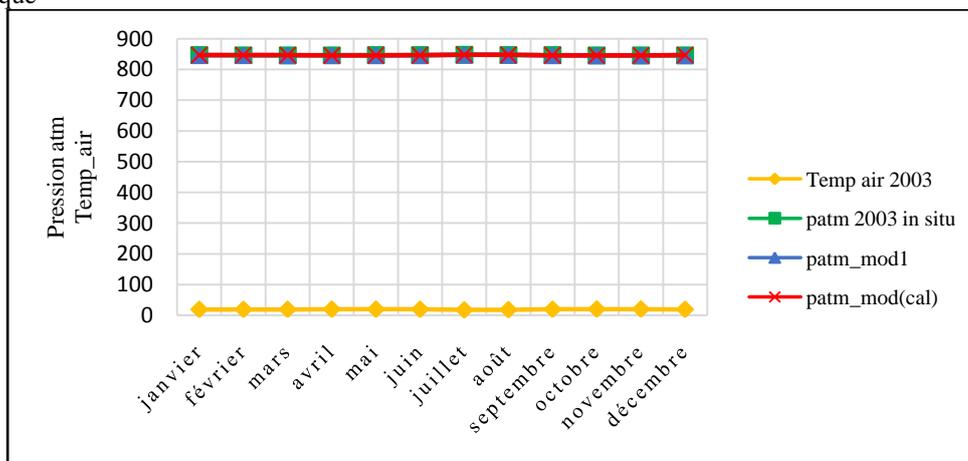


Figure 2- Graphique de la pression atmosphérique en fonction de la température de l'air (2003)

Cette figure 2 montre que les équations de prédiction sont "exactes" car les trois graphes de la pression atmosphérique (des valeurs expérimentales et des valeurs modélisées) sont confondus. Le graphe des valeurs mesurées in situ (couleur verte) est masqué par les deux autres des valeurs modélisées (couleur bleu et rouge). Ces trois graphes sont confondus ; ceci prouve que les valeurs prédites sont égales aux valeurs expérimentales.

En ce qui concerne l'influence de la température de l'air sur la pression atmosphérique, on constate qu'il n'y a pas eu de variation considérable de la pression atmosphérique.

4° Distribution statistique

Considérons la distribution statistique de la pression atmosphérique.

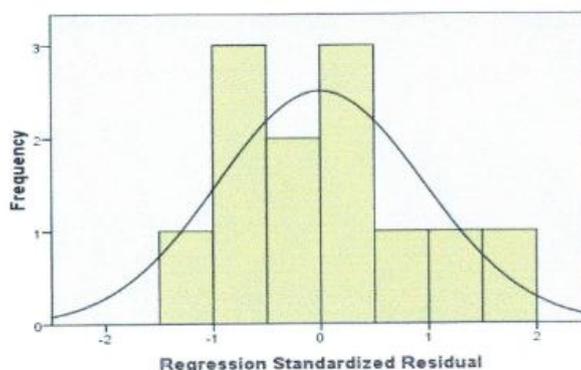


Figure 3-Histogramme et courbe normale superposées (var dépendante : patm2003)}

La distribution est gaussienne. La fréquence de la valeur moyenne de la pression atmosphérique est de 3 sur 3 soit 100%. La valeur moyenne se répète au maximum dans la distribution. De ce fait, la moyenne représente

exactement la mesure. La distribution est normale autour de la moyenne qui est de 846,48 Pa. Toutes les valeurs sont presque égales à la moyenne.

Il n'y a pas eu variation considérable de la pression atmosphérique.

4.1.2 Humidité de l'air en fonction de la température de la fissure Munigi et de la Température de l'air

1° Coefficients de prédiction

a) Coefficients générés par le logiciel

Considérons le tableau des coefficients générés par le logiciel SPSS.

Tableau 3-Tableau des coefficients (var dépendante humid_2003)

Modèle	Coefficients non standardisés		Sig
	B	Erreur standard	
1 (Constante)	-9,114	23,774	,709
Fissure_munigi	2,181	,608	,005
2 (Constante)	-43,742	15,840	,022
Fissure_munigi	2,161	,355	,000
Temp_air	1,846	,409	,001

Variable dépendante : humid_2003 ; Prédicteur: Temp_Mng 2003 ; Prédicteurs : Temp_MngTemp_air 2003

Le logiciel nous donne 2 modèles :

Pour le modèle 1, le prédicteur est la température de Munigi et l'équation de prédiction est :

$$Humid_airmod1 = 2,18 Temp_Mng - 9,114 \quad (7)$$

Le seuil de signification est de 0,5% < 5% pour le coefficient angulaire qui détermine la pente de la droite de régression, il est de 70,9% > 5% pour la constante. Cette constante peut faire à ce qu'il y ait une différence entre les données, différence non significative bien sûr car le coefficient angulaire joue un rôle déterminant. De ce fait, l'équation de prédiction garde sa valeur prédictive.

Pour le modèle 2, les prédicteurs sont la température de Munigi (Temp-Mng) et la température de l'air (Temp-air). L'équation de prédiction est :

$$Humid_airmod2 = 2,161Temp_Mng + 1,846Temp_air - 43,742 \quad (8)$$

Le seuil de signification est inférieur à 5% pour tous les coefficients, de ce fait, ce modèle donnera un résultat meilleur par rapport au premier. On trouve que l'humidité est influencée par la température de la fissure de Munigi et par la température de l'air en 2003.

b) Calcul des coefficients par le modèle de régression linéaire

Considérons y : Humidité de l'air (Hum_air) et x : Température de Munigi (Temp_Mng) : $\bar{y} = 76,2$ et $\bar{x} = 39,069$

Le coefficient angulaire b et le coefficient a sont déterminés par les relations (2) et (3) :

$$b = \frac{20,87}{9,57989} = 2,17852188 \text{ et } a = \bar{y} - b \bar{x} = 76,2 - (2,1785218) \cdot 39,0669 = -8,912671$$

$$y = 2,17852188 x - 8,912671$$

L'équation de prédiction est alors :

$$Humid_airmod(cal) = 2,17852188 Temp_Mng - 8,912671 \quad (9)$$

Les coefficients angulaires calculés et celui du modèle 1 sont égales à 0,001 près. Ils donneront des valeurs égales.

2° Tableau des valeurs

Dans le tableau 4 nous représentons les données de ces trois modèles.

Tableau 4- Humidité de l'air en fonction de la température de Munigi et de la température de l'air

Mois	Temp_Mng 2003	Temp_air 2003	Hum_air in situ 2003	Hum_air mod1	Hum_air mod2	Hum_airmod(cal)	sig1	sig2
Mars	39,89	19,15	77,5	77,9	77,8	77,99	0,01	0,00
Avril	40,98	19,72	80,9	80,3	81,2	80,36	0,01	0,00
Mai	40,21	19,64	79,8	78,6	79,4	78,69	0,02	0,01
Juin	39,4	19,42	78,6	76,8	77,2	76,92	0,02	0,02
Juillet	39,13	17,33	72,6	76,2	72,8	76,33	0,05	0,03
Août	38,6	17,99	72,3	75,1	72,9	75,18	0,04	0,01
Septembre	38,09	19,43	75	74	74,4	74,07	0,01	0,01
Octobre	38,23	20,11	75,4	74,3	76	74,37	0,01	0,01

Novembre	38,09	20,1	74,5	74	75,7	74,07	0,01	0,02
Décembre	38,07	19,2	75,4	73,9	74	74,02	0,02	0,02

Les données des mois de janvier et février de la température de Munigi et de l'humidité de l'air n'ont pas été disponibles.

Le tableau 4 montre que les trois modèles sont fiables, le seuil de signification étant inférieur ou égal à 5% pour toutes les valeurs. Il y a eu effet de la température de la fissure Munigi sur l'humidité de l'air. La valeur maximale de l'humidité de l'air est de 80,9 (en mars) et la valeur minimale est de 72,3 (en août), la variation de température n'était pas considérable.

3° Graphiques

Représentons les graphiques de ces deux modèles :

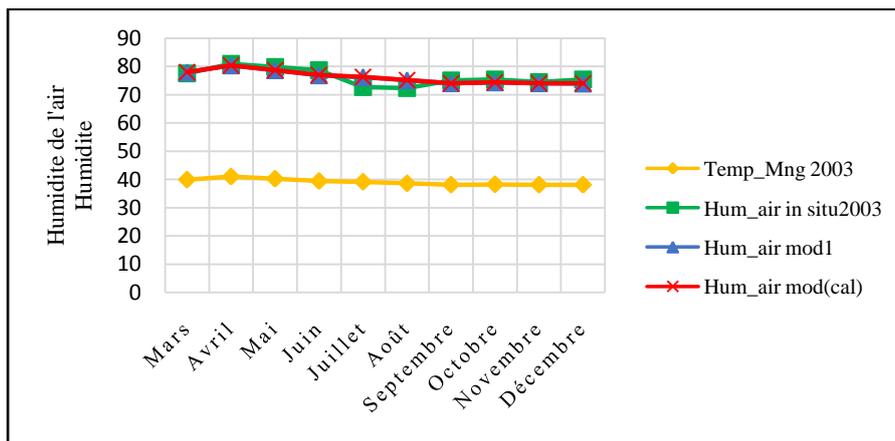


Figure 4- Humidité de l'air en fonction de la température de Munigi (modèle 1)

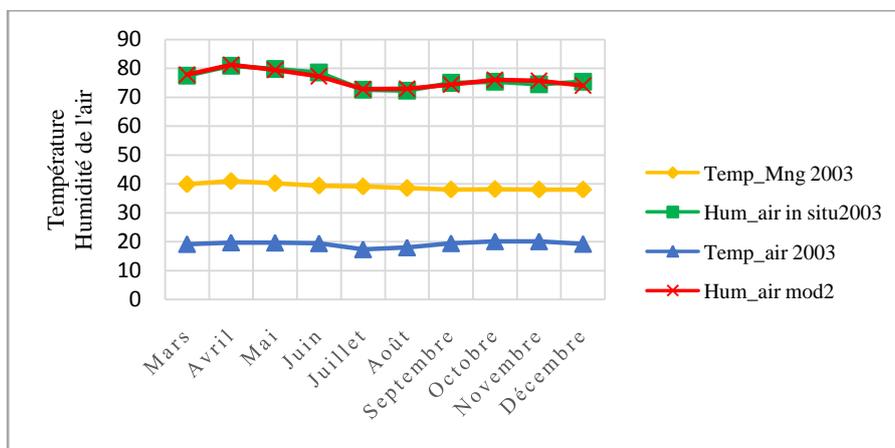


Figure 5- Humidité de l'air en fonction de la température de Munigi et de la température de l'air (modèle 2)

Les deux graphiques prouvent que l'humidité de l'air est influencée par la température de la fissure Munigi (Figure 4) mais aussi par la température de l'air (Figure 5). Le modèle 1 (mod1) et le modèle calculé (modcal) donnent le même résultat (leurs graphes sont confondus).

La prédiction est bonne pour la figure 4 car les graphes sont superposés mais il y a un écartement aux mois de juillet-août.

Le graphe du modèle 2 (mod2) est confondu avec celui des valeurs expérimentales (mesurées in situ), ce modèle donne de très bons résultats et prouve que l'humidité de l'air a été influencée en 2003 par la température de Munigi et la température de l'air à la fois. La relation (8) prédit efficacement cette variation.

4° Distribution Statistique

Considérons la distribution statistique de l'humidité de l'air.

a) Histogramme

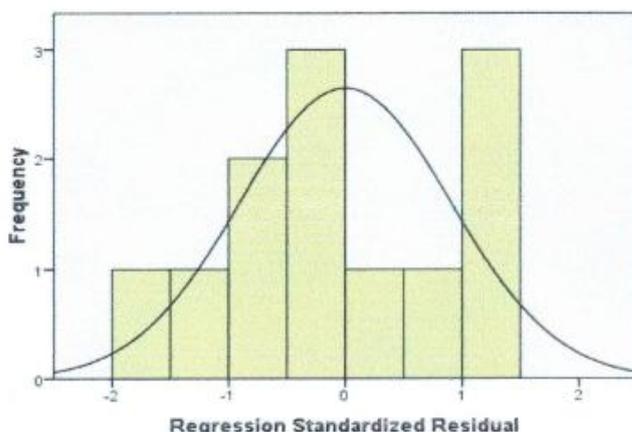


Figure 6-Histogramme et courbe normale superposés (var dépendante : humidité 2003)

La fréquence de la valeur moyenne de l'humidité de l'air se répète au moins 3 fois dans la distribution. Elle est maximale au vu de l'histogramme.

La distribution est presque normale autour de la moyenne qui est égale à 76,2.

b) Diagramme de régression

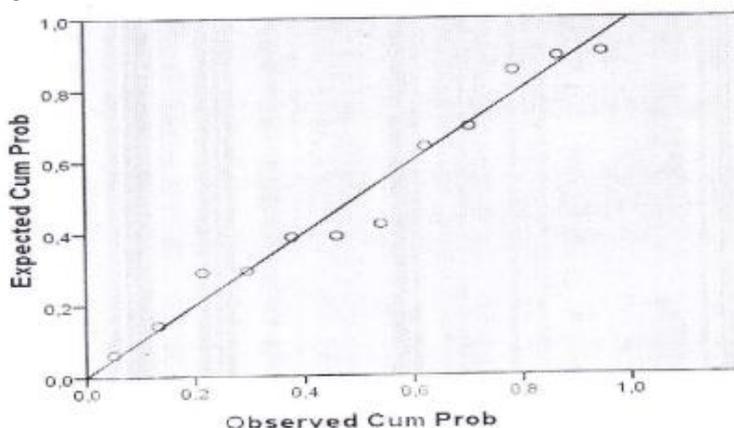


Figure7-Diagramme de la droite de régression (var dépendante : humidité 2003)

Cette droite prouve que la régression est linéaire.

Ce diagramme montre que le nuage se dispose suivant une forme allongée et montre une tendance linéaire.

De ce fait, l'humidité a été influencée par la température de la fissure de Munigi en 2003.

4.1.3 Précipitations en fonction de la pression atmosphérique

Considérons le tableau d'analyse des variances et celui des coefficients de prédiction

1° Analyse des variances

Tableau 5- Tableau d'Analyse des variances (precip_2003)

Modèle	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Sig
1 Régression	11525,968	11525,968	,038
Résidu	20254,299	2025,430	
Total	31780,267		

Variable dépendante ; precip_2003

Prédicteur : patm_2003

L'Analyse des variances montre que le module est bon, le seuil de signification étant 3,8% < 5%.

2° Coefficients de prédiction

a) Coefficients générés par le logiciel

Tableau 6- Tableau des coefficients (var dépendante patm_2003)

Modèle	Coefficients non standardisés		Sig
	B	Erreur standard	
1 (constante)	35168,054	14704,233	,038
patm_2003	-41,438	17,371	,038

Variable dépendante : precip_2003

De ce tableau des coefficients nous tirons l'équation de prédiction suivante :

$$Précip_{mod1} = 35168,054 - 41,438 \text{ patm} \quad (10)$$

L'existence de cette équation, sa fiabilité due au seuil de signification des constantes inférieures à 5% montre que les précipitations sont influencées par la pression atmosphérique.

b) Calcul des coefficients par le modèle de régression linéaire

Déterminons l'équation de prédiction en utilisant le modèle de régression linéaire donnée par l'équation (1) :

$y = a + bx$, en calculant les coefficients a et b partant des relations (2) et (3) et des données numériques mesurées in situ (données expérimentales) des précipitations et de la pression atmosphérique repris dans le tableau 7 :

Soient y : précipitation(précip.) et x : pression atmosphérique(patm) : $\bar{y} = 91,06666667$ et $\bar{x} = 846,485$

Le coefficient angulaire b et le coefficient a sont déterminés par les relations (2) et (3) :

$$b = \frac{-278,147}{6,7123} = -41,4384 ; a = \bar{y} - b \bar{x} = 91,06666667 - (-41,4384 * 846,485) = 35168,05069$$

$$y = 35168,05069 - 41,4384 x$$

De même en utilisant la relation (4) : $y^* = \bar{y} + b(x - \bar{x})$, on a :

$$y^* = \bar{y} + b(x - \bar{x}) = 91,06666667 + (-41,4384(x - 846,485))$$

$$y^* = 91,06666667 + 35076,984024 - 41,4384x = 35168,05069 - 41,4384 x$$

On remarque $y = y^*$ comme le montre la relation (1) et (4) ; l'équation de prédiction est alors :

$$Précip_{mod(cal)} = 35168,05069 - 41,4384 \text{ patm} \quad (11)$$

On remarque que l'équation (10), établie à partir des coefficients générés par le logiciel, et l'équation (9) trouvée partant des coefficients calculés en utilisant les relations (2) et (3) déterminant les coefficients de l'équation du modèle de régression linéaire, ont même coefficient angulaire b et les constantes a sont égales à 0,0004 près.

Les deux équations donneront les mêmes résultats.

3° Tableau des valeurs

Tableau 7- Précipitation en fonction de la pression atmosphérique

Mois	patm 2003 in situ	precip 2003 in situ	precip_mod1	precip_mod(cal)	Sig1	Sig2
janvier	846,6	44,3	86,6	86,301	0,49	0,49
février	846,07	68,4	108,6	108,264	0,37	0,37
mars	845,63	132,6	126,8	126,496	0,05	0,05
avril	846,14	150,9	105,7	105,363	0,43	0,43
mai	847,32	57,5	56,8	56,466	0,01	0,02
juin	847,11	48,5	65,5	65,168	0,26	0,26
juillet	847,97	23,7	29,9	29,531	0,21	0,20
août	847,14	62,2	64,3	63,925	0,03	0,03
septembre	846,71	144	82,1	81,743	0,75	0,76
octobre	845,77	201,7	121	120,695	0,67	0,67
novembre	845,46	88,3	133,9	133,541	0,34	0,34
décembre	845,9	70,7	115,6	115,308	0,39	0,39

Partant du seuil de signification nous remarquons que les deux modèles donnent les mêmes résultats mais il y a un décalage entre les valeurs modélisées (estimées) et les valeurs expérimentales étant donné que ce seuil est supérieur à 5% pour la plupart des cas sauf pour 3 mois sur 12 (les mois de mars, mai et août), mois pour lesquels le seuil de signification est inférieur ou égal à 5% et pendant lesquels les valeurs expérimentales et les valeurs modélisées sont presque égales.

Au mois de mars, avril et octobre il y a eu des grandes précipitations par rapport aux autres mois.

En rapport avec l'influence de la pression atmosphérique sur les précipitations, on remarque que les précipitations ont considérablement variées quand bien même la pression atmosphérique varie légèrement.

4° Graphique

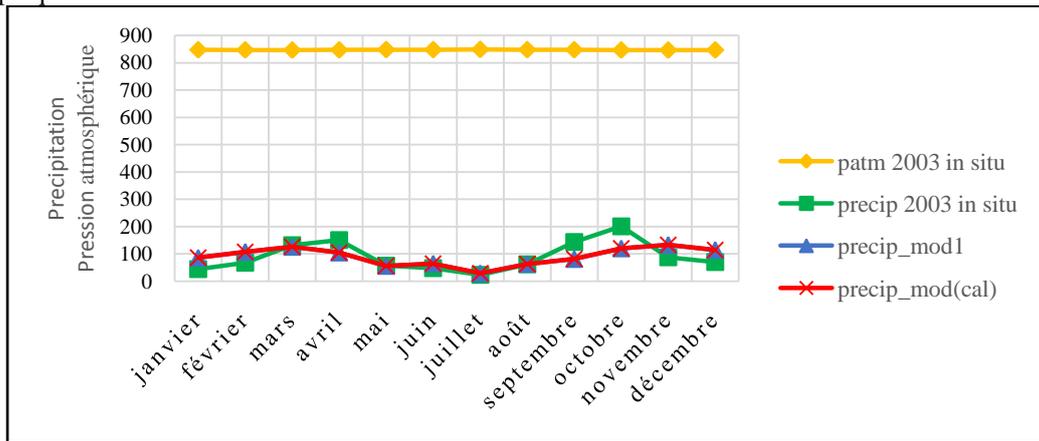


Figure 8- Graphique des précipitations en fonction de la pression atmosphérique(2003)

L'allure des graphes confirme notre interprétation précédente des données. Les graphes représentant les 2 modèles (celui du logiciel SPSS et celui des coefficients calculés) sont confondus (le graphe de couleur rouge et celui de couleur bleu), les deux donnent le même résultat. Ces graphes rencontrent et se confondent forcément avec celui des données expérimentales au mois de mars, mai et août. Il y a un chevauchement aussi vers fin juillet et début novembre. Ils s'écartent davantage en novembre, octobre et décembre.

5° Distribution statistique

Considérons la répartition statistique des précipitations en 2003.

a) Histogramme

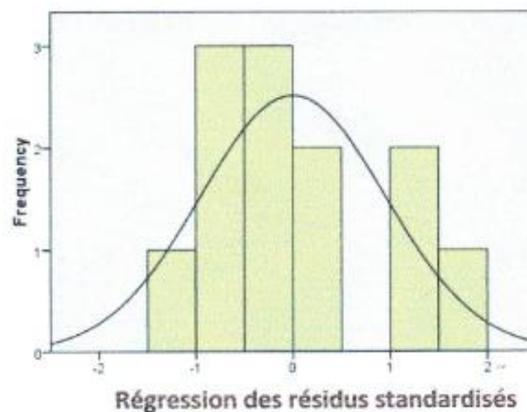


Figure 9-Histogramme et courbe normale superposés(variable dépendante : précipitation 2003)

L'histogramme donne la forme de la distribution c'est-à-dire les fréquences avec les quelles la série des mesures doit être trouvée. La fréquence de la moyenne est environ 2, ceci signifie que la valeur moyenne se répète à peu près 2 fois dans la distribution. La valeur modale est proche de la moyenne et se répète 3 fois. De ce fait, la moyenne représente exactement la mesure des précipitations.

b) Diagramme de régression

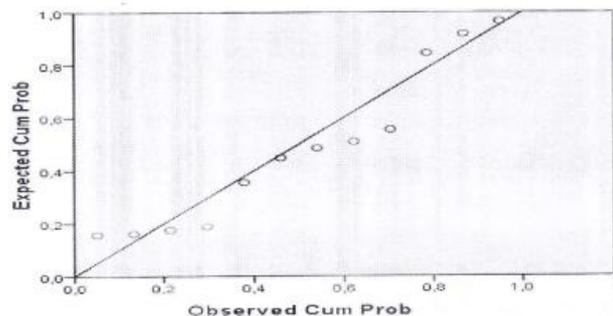


Figure 10-Diagramme de la droite de régression (variable dépendante : précipitation 2003)

Les points sur ce diagramme représentent les données (valeurs), la droite représente la régression. L'allure de la droite prouve que la régression est linéaire pour confirmer l'interprétation de l'Analyse des variances.

4.2 Modélisation des données climatiques et météorologiques de 2004

4.2.1 Humidité de l'air en fonction de la pression atmosphérique

1° Coefficients de prédiction

a) Coefficients générés par le logiciel

Le tableau des coefficients générés par le logiciel nous permet d'établir l'équation de régression.

Tableau 8- Tableau des coefficients (variable dépendante ; humidité de l'air 2004)

Modèle	Coefficients non standardisés		Sig
	B	Erreur standard	
1 (constante)	3158,458	1045,951	,013
patm_2004	-3,643	1,236	,015

Variable dépendante : Humidité de l'air ; Prédicteur : patm_2004

Le modèle donne l'équation de régression avec un seuil de signification inférieur à 5% pour les deux coefficients :

$$Hum_air\ mod1 = 3158,458 - 3,643\ patm \quad (12)$$

L'existence de cette relation témoigne déjà l'influence de la pression atmosphérique sur l'humidité de l'air.

b) Calcul des coefficients par le modèle de régression linéaire

Calculons les coefficients de prédiction partant des relations (2) et (3) pour établir la relation (1) de régression linéaire $y = a + bx$.

y : Humidité de l'air (Hum_air) ,x : pression atmosphérique (patm) : $\bar{x} = 846,52167$ et $\bar{y} = 74,465$

$$b = \frac{-47,0127}{14,2781667} = -3,29263 ; a = \bar{y} - b\bar{x} = 74,465 - (-3,29263).846,52167 = 2861,7223$$

$$y = 2861,7223 - 3,2926\ x$$

L'équation de prédiction est alors :

$$Hum_airmod(cal) = 2861,7223 - 3,2926\ patm \quad (13)$$

2° Tableau des valeurs

Tableau 9- Humidité de l'air en fonction de la pression atmosphérique 2004.

Mois	patm 2004	Hum_air 2004 in situ	Hum_air mod1	Hum_airmod(cal)	Sig1	Sig2
janvier	845,57	78,16	78,1	77,60	0,00	0,01
février	846,26	77,5	75,6	75,33	0,03	0,03
mars	845,6	81,7	78	77,50	0,05	0,05
avril	846,31	82,8	75,4	75,16	0,10	0,10
mai	847,34	78,3	71,6	71,77	0,09	0,09
juin	848,72	66,7	66,6	67,23	0,00	0,01
juillet	848,17	64,26	68,6	69,04	0,06	0,07
août	847,47	70,3	71,2	71,34	0,01	0,01
septembre	846,21	70,4	75,7	75,49	0,07	0,07
octobre	845,93	72,26	76,8	76,41	0,06	0,05
novembre	845,18	73,9	77,3	78,88	0,04	0,06
décembre	845,5	77,3	78,3	77,83	0,01	0,01

Les deux modèles présentent les mêmes seuil de signification, seuil $\leq 5\%$, pour la plupart des mois, et il montre que les valeurs prédites sont proches des valeurs expérimentales 7 mois sur 12, soit 58,3% de fiabilité de notre prédiction en interprétant les données de ce tableau.

3° Graphique

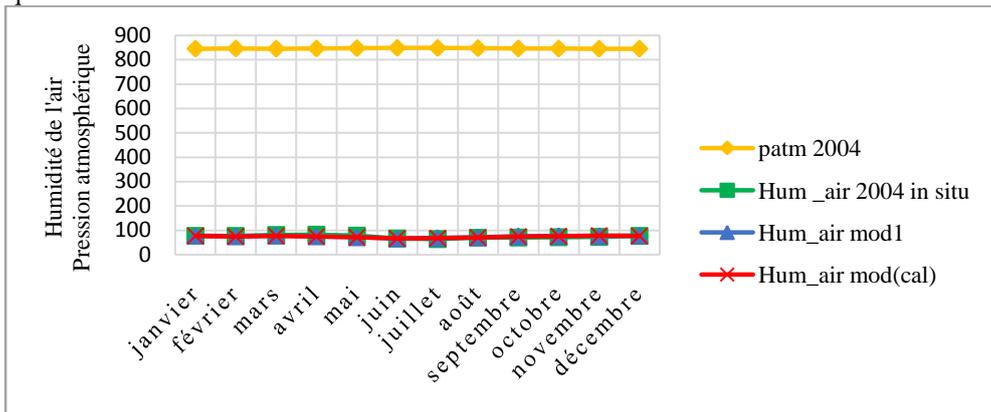


Figure 11- Graphique de l'humidité de l'air en fonction de la pression atmosphérique 2004

Le graphe représentant l'humidité de l'air des valeurs expérimentales et ceux représentant les deux modèles sont confondus (graphes en vert, bleu et rouge). Ceci montre que nos deux modèles sont bons et que les relations de prédiction sont fiables ; la différence évoquée en interprétant les valeurs du tableau 9 n'est pas significative.

4° Distribution statistique

a) Histogramme

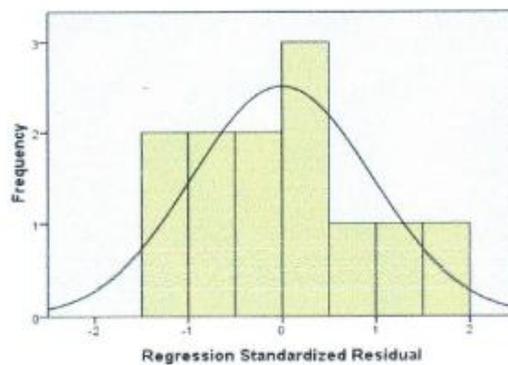


Figure 12- Histogramme et courbe normale (variable dépendante : humid_air 2004)

Cet histogramme montre que la fréquence de la valeur moyenne est maximale et est égale à la valeur modale ; la moyenne représente exactement la valeur la plus grande de l'humidité. On a une distribution normale autour de la moyenne, qui est égale à 74,465.

b) Droite de régression

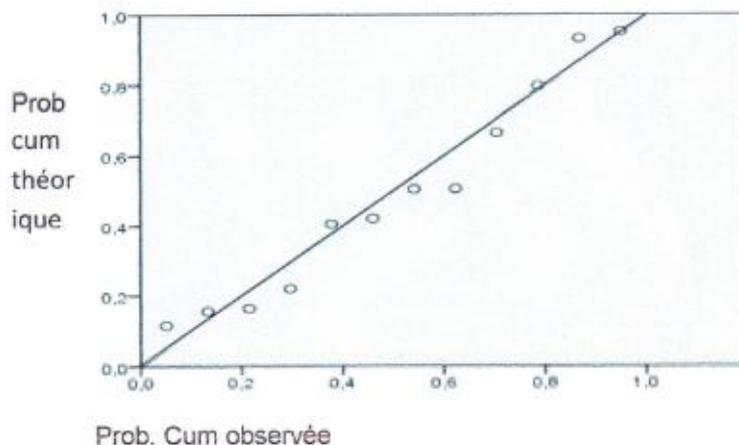


Figure 13- Droite de régression (variable dépendante : humid_air 2004)

L'allure de la droite prouve que la régression est linéaire, les points représentant les données se répartissent suivant une forme allongée montrant une tendance linéaire.

4.2.2 Pression atmosphérique en fonction des précipitations

1° Coefficients de prédiction

a) Coefficients générés par le logiciel

Tableau 10- Tableau des coefficients (variable dépendante : patm_2004)

Modèle	Coefficients non standardisés		Sig
	B	Erreur standard	
1 (constante)	848,291	,332	,000
precip_2004	-,020	,003	,000

Variable dépendante : patm

Prédicteur : précip_2004

Partant des coefficients de ce tableau, la pression atmosphérique varie avec les précipitations suivant la relation :

$$patm_mod1 = 848,291 - 0,020\ precip \quad (14)$$

Le seuil de signification du coefficient angulaire et celui de la constante sont nulles, de ce fait notre équation de prédiction est fiable. Le tableau des valeurs et le graphique nous permettront de confirmer cette fiabilité.

b) Calcul des coefficients par le modèle de régression linéaire

Partant des relations (2) et (3), calculons les coefficients de prédiction pour établir la relation (1) de régression linéaire $y = a + bx$.

y : pression atmosphérique (patm) x : précipitation (precip)

$$\bar{y} = 846,52167 \text{ et } \bar{x} = 84,83$$

$$b = \frac{-534,3646}{24496,1228} = -0,02181 ; a = \bar{y} - b\bar{x} = 846,52167 - (-0,02181) \cdot 84,83 = 848,371$$

$$y = 848,371 - 0,0218 x$$

L'équation de prédiction est alors après calcul des coefficients :

$$patm_mod(cal) = 848,371 - 0,0218\ precip \quad (15)$$

Les coefficients angulaires des équations (12) et (13) issues de ces deux modèles sont égaux à 0,0018 près, les résultats de ces 2 modèles seront presque égaux.

2° Tableau des valeurs

Tableau 11- Pression atmosphérique en fonction des précipitations (2004)

Mois	precip 2004	patm 2004 in situ	patm_mod1	patm_mod(cal)	Sig1 et Sig2
janvier	154,5	845,57	845,2	845,00	0,00
février	73,6	846,26	846,8	846,77	0,00
mars	81,7	845,6	846,7	846,59	0,00
avril	98,1	846,31	846,3	846,23	0,00
mai	51,5	847,34	847,3	847,25	0,00
juin	22,36	848,72	848,8	847,88	0,00
juillet	15,6	848,17	848	848,03	0,00
août	31,4	847,47	847,7	847,69	0,00
septembre	118,5	846,21	845,9	845,79	0,00
octobre	102,7	845,93	846,2	846,13	0,00
novembre	147,8	845,18	845,3	845,15	0,00
décembre	120,2	845,5	845,9	845,75	0,00

Le seuil de signification pour toutes les valeurs est égal à zéro, ceci prouve que les deux modèles sont bons et donnent des valeurs expérimentales approximativement égales aux valeurs estimées (modélisées).

3° Graphique

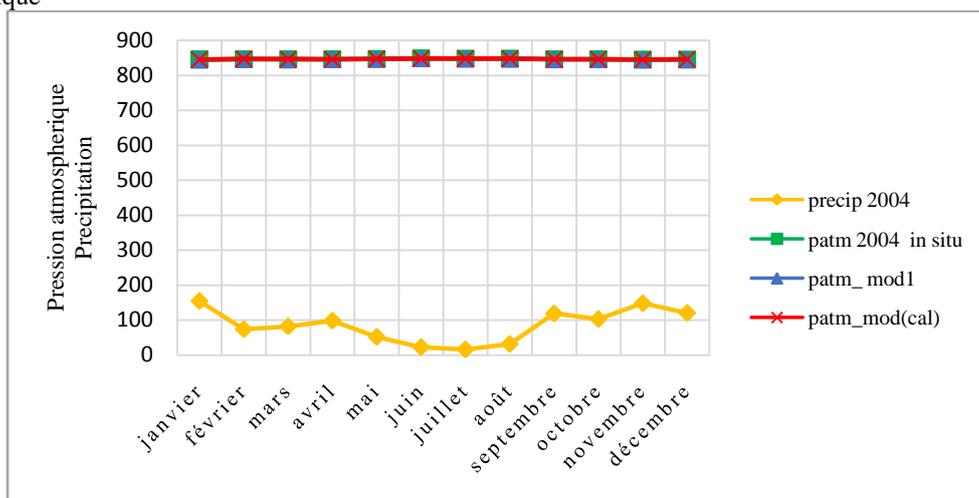


Figure 14- Graphique de la pression atmosphérique en fonction des précipitations (2004)

Les 3 graphes sont confondus, nos deux modèles donnent une très bonne estimation des valeurs. Partant de ces modèles nous trouvons des valeurs modélisées égales aux valeurs expérimentales (mesurées in situ). Le graphe de la pression atmosphérique est presque parallèle à l'axe des abscisses, cette dernière n'a pas varié considérablement ; les précipitations elles, ont plus variées.

4.2.3 Précipitations en fonction de la température de Munigi

1° Analyse des variances

Tableau 12 - Tableau d'analyse des variances

Modèle	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Sig
1 Régression	17213,926	17213,926	,001
Résidu	7282,197	728,220	
Total	24496,123		

Le seuil de signification de l'analyse des variances étant égal à $0,1\% < 5\%$; la régression est linéaire.

2° Coefficients de prédiction

a) Coefficients générés par le logiciel

Tableau 13- Tableau des coefficients (variable dépendante : precip_2004)

Modèle	Coefficients non standardisés		Sig
	B	Erreur standard	
1 (constante)	3278,066	656,830	,001
Temp_ Mng 2004	-81,448	16,752	,001

Variable dépendante : précipitation

Prédicteur : Temp_Mng2004

Les coefficients de ce tableau permettent d'établir l'équation suivant la quelle varie les précipitations en fonction de la température de la fissure Munigi. Cette relation est donnée par :

$$precip_mod1 = 3278,066 - 81,448 Temp_Mng \quad (16)$$

Le seuil de signification du coefficient angulaire et celui de la constante sont inférieure à 5%, ainsi notre équation de prédiction est fiable.

b) Calcul des coefficients par le modèle de régression linéaire

Considérons les relations (2) et (3) pour calculer les coefficients de prédiction en vue d'établir la relation (1) de régression linéaire $y = a + bx$.

y : précipitation (precip) x : Température Munigi(Temp_Mng) ; $\bar{y} = 84,83$ et $\bar{x} = 39,5392$

$$b = \frac{-25,4687}{0,79489} = -32,0405 ; a = \bar{y} - b\bar{x} = 84,83 - (-32,0405).39,5392 = 1351,8637$$

$$y = 1351,8637 - 32,0405 x$$

L'équation de prédiction est alors :

$$precip_mod(cal) = 1351,8637 - 32,0405 Temp_Mng \quad (17)$$

2° Tableau des valeurs

Tableau 14- Précipitations en fonction de températures de Munigi (2004)

Mois	Temp_Mng 2004	precip 2004 in situ	precip_mod1	precip_mod(cal)	sig 1	sig 2
janvier	39,49	154,5	143,1	86,58	0,08	0,78
février	39,03	73,6	99,2	101,32	0,26	0,27
mars	39,57	81,7	55,2	84,02	0,48	0,03
avril	39,09	98,1	94,3	99,40	0,04	0,01
mai	39,88	51,5	29,9	74,09	0,72	0,30
juin	39,54	22,36	57,6	84,98	0,61	0,74
juillet	39,75	15,6	40,5	78,25	0,61	0,80
août	39,66	31,4	47,8	81,14	0,34	0,61
septembre	39,36	118,5	72,3	90,75	0,64	0,31
octobre	39,84	102,7	114,6	75,37	0,10	0,36
novembre	39,72	147,8	124,4	79,22	0,19	0,87
décembre	39,54	120,2	139,1	84,98	0,14	0,41

Nous avons établi deux colonnes de seuil de signification pour comparer les résultats de nos deux modèles par rapport aux données expérimentales. Le seuil de signification est de loin supérieur à 5% pour la plupart des valeurs pour les 2 modèles, les valeurs modélisées sont alors différentes des valeurs expérimentales (les graphes devront s'écarter davantage). Seul au mois d'avril pour le premier modèle et au mois de mars et avril pour le deuxième modèle qu'on a un seuil de signification inférieur à 5%. Les données modélisées de ces mois précités correspondent aux données expérimentales.

Les précipitations ont varié considérablement sous l'influence de la température de la fissure de Munigi, la valeur minimale des précipitations étant 15,6mm et la valeur maximale 154,5mm.

3° Graphique

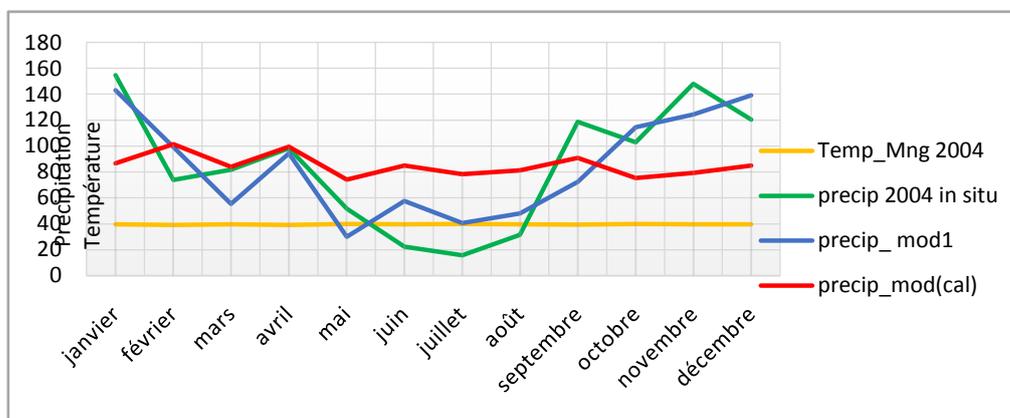


Figure 15- Graphique des précipitations en fonction des températures de Munigi (2004)

Ce graphique prouve que les données modélisées sont différentes des données expérimentales (mesurées in situ), les graphes s'écarter davantage. C'est seulement au mois d'avril que les deux modèles ont données des valeurs égales aux valeurs expérimentales. Le graphique confirme l'interprétation faite par rapport aux valeurs du tableau 14.

4° Distribution statistique : Histogramme

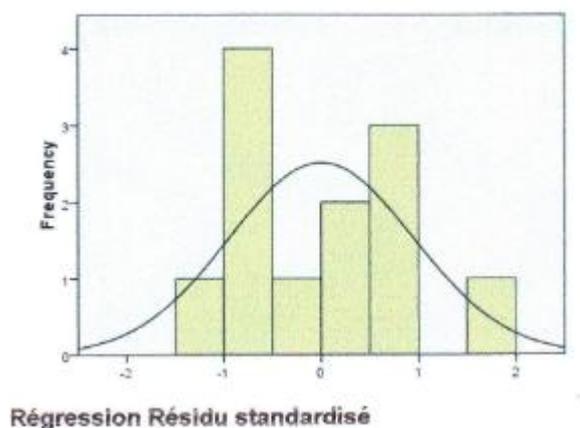


Figure 16 - Histogramme et courbe normale superposés (variable dépendante : precip_2004)

La valeur moyenne a une petite fréquence et ne représente pas la valeur modale qui elle, a une grande valeur. On a une distribution plus ou moins normale autour de la moyenne.

4.3 Modélisation des données climatiques et météorologiques de 2005

4.3.1 Pression atmosphérique en fonction de la température del'air

1° Analyse des variances

Tableau 15 - tableau d'analyse des variances (var dépendante : patm 2005)

Modèle	Somme des carrés	Moyenne des carrés	sig
1 Régression	4,877	4,877	,019
Résidu	6,205	,621	
Total	11,082		

Variable dépendante : pression atmosphérique (patm)

Prédicteur : Temp_ air 2005

Le seuil de signification est égal à 1,9%, inférieur à 5 %, la régression est linéaire.

2° Coefficients de prédiction

a) Coefficients générés par le logiciel

Tableau 16 - Tableau des coefficients (var dépendante : patm 2005)

Modèle	Coefficients non standardisés		Sig
	B	Erreur standard	
1 (Constante)	860,962	5,158	,000
Temp_ air 2005	-,749	,267	,019

Variable dépendante : pression atmosphérique

Prédicteur : Temp_ air 2005

La pression atmosphérique est fonction de la température suivant la relation :

$$patm_mod1 = 860,962 - 0,749 Temp_air \quad (18)$$

Le seuil de signification est inférieur à 5% pour les deux coefficients. De ce fait, l'équation de régression donnera des bonnes valeurs de prédiction.

b) Calcul des coefficients par le modèle de régression linéaire

Les relations (2) et (3) permettent de calculer les coefficients de prédiction en vue d'établir la relation (1) de régression linéaire $y = a + bx$.

y : pression atmosphérique (patm) , x : Température de l'air(Temp_ air) ; $\bar{y} = 846,6$ et $\bar{x} = 19,28417$

$$b = \frac{-6,0849}{8,69149} = -0,7 ; a = \bar{y} - b\bar{x} = 846,6 - (-0,7).19,28417 = 860,0989$$

$$y = 860,0989 - 0,7 x$$

L'équation de prédiction est alors :

$$patm_mod(cal) = 860,0989 - 0,7Temp_air \quad (19)$$

Les coefficients angulaires donnés par ces deux modèles sont égaux à 0,049 près. Ces équations donneront des valeurs approximativement égales.

2° Tableau des valeurs

Tableau 17- pression atmosphérique en fonction de la température de l'air (2005)

Mois	Temp_air 2005	patm2005 in situ	patm_mod1	patm_mod(cal)	Sig1	Sig2
janvier	19,04	845,98	846,7	846,77	0,00	0,00
février	19,33	846,4	846,5	846,57	0,00	0,00
mars	19,14	846,4	846,6	846,70	0,00	0,00
avril	20,2	846,18	846,8	845,96	0,00	0,00
mai	19,6	847,95	846,3	846,38	0,00	0,00
juin	18,6	847,4	846	847,08	0,00	0,00
juillet	17,1	848,18	846,2	848,13	0,00	0,00
août	18,79	847	846,9	846,95	0,00	0,00
septembre	19,59	846,41	846,3	846,39	0,00	0,00
octobre	19,71	846,2	846,2	846,30	0,00	0,00
novembre	20,6	845,5	846,5	845,68	0,00	0,00
décembre	19,71	845,6	846,2	846,30	0,00	0,00

Le seuil de signification des valeurs modélisées par rapport aux valeurs expérimentales (mesurées in situ) est nul pour toutes les valeurs et pour les deux modèles, ceci veut signifier que les modèles sont bons et que les équations de prédiction sont fiables. Les valeurs estimées sont égales aux valeurs expérimentales. Quant à l'influence de la température de l'air, la pression atmosphérique n'a pas varié sensiblement.

3° Graphique

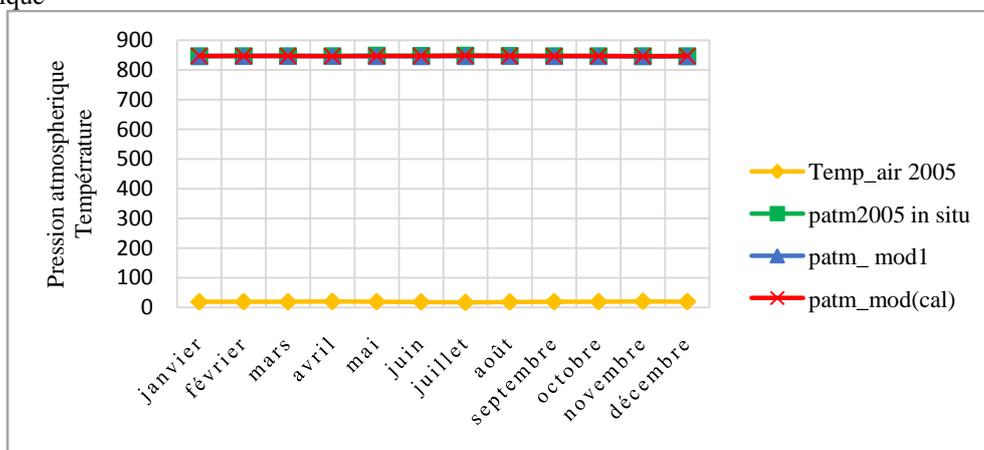


Figure 17-Graphique de la pression atmosphérique en fonction de la température de l'air (2005)

Les trois graphes représentant la pression atmosphérique sont confondus. Ceci prouve que les valeurs modélisées sont égales aux valeurs expérimentales et nous rassure que les deux modèles sont bons. La droite représentant la pression atmosphérique est horizontale (parallèle à l'axe des abscisses), ceci montre que la pression n'a pas variée d'une façon remarquable, il y a eu influence de la température de l'air mais cette influence n'a pas été significative.

4.3.2 Température del'air en fonction des températures de la fissure Munigi

1° Coefficients de prédiction

a) Coefficients générés par le logiciel

Tableau 13- Tableau des coefficients (variable dépendante : Temp_air 2005)

Modèle	Coefficients non standardisés		Sig
	B	Erreur standard	
1 (constante)	45,510	10,312	,001
Temp_ Mng 2005	-,786	,309	,029

Variable dépendante : Température de l'air (Temp_air)

Prédicteur : Temp_Mng2005

Partant de ces coefficients générés par le logiciel l'équation de prédiction de la température de l'air est :

$$Temp_air\ mod1 = 45,510 - 0,786 Temp_Mng \quad (20)$$

Le seuil de signification du coefficient angulaire et celui de la constante sont inférieure à 5%, ainsi notre équation de prédiction est fiable.

b) Calcul des coefficients par le modèle de régression linéaire

Ces coefficients de prédiction se calcul à partir des relations (2) et (3) pour établir la relation de régression linéaire (1) : $y = a + bx$.

y : Température de l'air (Temp_air), x : Température Munigi (Temp_Mng); $\bar{y} = 19,28416667$ et $\bar{x} = 39,693333$

$$b = \frac{1,44943333}{17,0180667} = 0,08517; a = \bar{y} - b\bar{x} = 19,28416667 - (0,08517).39,6933 = 15,9035$$

$$y = 15,9035 + 0,08517 x$$

L'équation de prédiction est alors :

$$Temp_air\ mod(cal) = 15,9035 + 0,08517 Temp_Mng \quad (21)$$

2° Tableau des valeurs

Tableau -14 Température de l'air en fonction des températures de la fissure Munigi (2005)

Mois	Temp_Mng 2005	Temp air 2005 in situ	Temp air_mod1	Tempair_mod(cal)	sig1	sig2
janvier	36,86	19,04	16,5	19,04	0,15	0,00
février	37,75	19,33	15,8	19,12	0,22	0,01
mars	39,61	19,14	14,4	19,28	0,33	0,01
avril	40,98	20,2	13,3	19,39	0,52	0,04
mai	40,66	19,6	13,6	19,37	0,44	0,01
juin	40,54	18,6	13,6	19,36	0,37	0,04
juillet	40,12	17,1	14	19,32	0,22	0,11
août	39,8	18,79	14,2	19,29	0,32	0,03
septembre	40,18	19,59	13,9	19,33	0,41	0,01
octobre	40,58	19,71	13,6	19,36	0,45	0,02
novembre	40,2	20,6	13,9	19,33	0,48	0,07
décembre	39,04	19,71	14,8	19,23	0,33	0,03

Il ressort des seuils de signification ce qui suit :

- Le seuil du modèle 1(généré par le logiciel) est de loin supérieur à 5% pour toutes les valeurs, les valeurs issues de ce modèle s'écartent des valeurs expérimentales.
- Le modèle 2 (généré par calcul des coefficients : mod(cal)) donne un seuil de signification inférieur à 5% pour toutes les valeurs sauf pour le mois de juillet (sig=11%) et le mois de novembre (sig=7%). Ces valeurs se rapprochent davantage des valeurs expérimentales.

3° Graphique

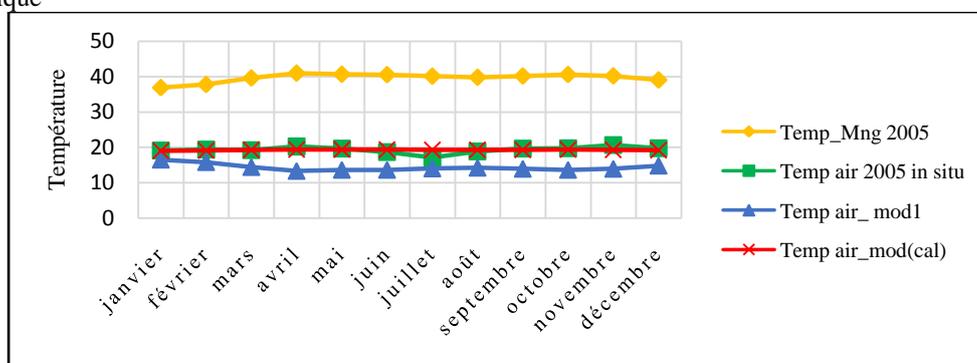


Figure 18 -Graphique de la température de l'air en fonction des températures de la fissure Munigi (2005)

Le graphe (couleur bleu)issudu mod1 (modèle du logiciel) s'écarte de celui obtenu par les valeurs expérimentales ceci prouve que les valeurs modélisées s'écartent aussi comme l'indique le tableau 14 ; le

graphe du modèle issu du calcul des coefficients (mod (cal)) est confondu sauf le mois de juillet et de novembre comme indiquait en interprétant le seuil de signification.

Les valeurs modélisées par cette deuxième méthode sont égales aux valeurs expérimentales à 0,01% environ sauf pour les mois de juillet et de novembre 2005.

4.3.3 Humidité de l'air et précipitations

En considérant l'humidité de l'air comme variable dépendante, nous avons trouvé qu'elle n'a pas été influencée par d'autres facteurs en 2005 ; ainsi que les précipitations de cette même année, qui elles aussi n'ont pas été influencées par d'autres facteurs climatiques et météorologiques de cette même année 2005.

V. Discussion Des Résultats

5.1 De la modélisation des données climatiques et météorologiques de 2003

5.1.1 Pression atmosphérique en fonction de la température de l'air

Les deux modèles ont donné les mêmes coefficients et mêmes équations de prédiction, le seuil de signification étant égal à zéro pour les deux modèles. Les valeurs modélisées sont égales aux valeurs expérimentales (mesurées in situ) sont égales et les graphes sont confondus. Ces deux modèles sont fiables.

La pression atmosphérique a été influencée par la température de l'air, les relations (5) et (6) montrent que la pression atmosphérique varie en moyenne de 852Pa lorsque la température de l'air varie de 1°C.

5.1.2 Humidité de l'air en fonction de la Température de Munigi et de la Température de l'air

Il ressort de nos résultats que le logiciel SPSS a donné deux modèles et le calcul que nous avons faits a donné un modèle. Les valeurs du tableau (4) montrent que ces modèles sont fiables avec un seuil de signification inférieure ou égale à 5% pour toutes les valeurs, mais le graphique de la figure 5 montre que le modèle 2 donne de très bons résultats car son graphe est confondu avec le graphe des données expérimentales alors que pour le modèle 1 et le modèle calculé, les graphes s'écartent de celui des données expérimentales aux mois de juillet et août ; les valeurs y afférent sont alors différentes des valeurs mesurées in situ pendant ces deux mois. Ces 2 modèles sont moins fiables et ne donnent que la variation de l'humidité en fonction de la température de Munigi seulement conformément aux relations (7) et (9).

Le modèle 2 reste alors plus fiable en donnant les valeurs modélisées égales aux valeurs expérimentales et prouve, partant de l'équation (8), que l'humidité a été influencée par la température de la fissure de Munigi et de la température de l'air.

5.1.3 Précipitation en fonction de la pression atmosphérique

Les deux modèles donnent deux équations de prédiction équivalentes, les coefficients angulaires b ayant même valeurs et les constantes a sont égales à 0,0004 près, et les seuils de signification donnent les mêmes résultats, les graphes représentant les deux modèles étant confondus, mais il y a décalage entre les valeurs modélisées (estimées) et les valeurs expérimentales étant donné que ce seuil est de loin supérieur à 5% pour la plupart des cas sauf pour 3 mois sur 12 (voir tableau 7), mois pour lesquels le seuil de signification est inférieur ou égale à 5% et les graphes se confondent et pendant lesquels les valeurs expérimentales et les valeurs modélisées sont presque égales. Il y a un chevauchement aussi vers fin juillet et début novembre. Ils s'écartent davantage en novembre, octobre et décembre, mois pendant lesquels les valeurs estimées sont différentes des valeurs expérimentales.

Au mois de mars, avril et octobre il y a eu des grandes précipitations par rapport aux autres mois.

On remarque que les précipitations ont considérablement variées (valeur minimale 44,3mm en janvier ; valeur maximale 201,7mm en octobre) quand bien même la pression atmosphérique a varié légèrement, son graphe étant presque parallèle à l'axe des abscisses.

5.2 De la modélisation des données climatiques et météorologiques de 2004

5.2.1 Humidité de l'air en fonction de la pression atmosphérique

Les résultats du tableau 9 montrent que le seuil de signification est $\leq 5\%$ pour les deux modèles pour 7 mois sur 12, soit 58,3% des cas. Les valeurs prédites sont proches des valeurs expérimentales dans ces cas.

Le graphe représentant l'humidité de l'air des valeurs expérimentales et ceux représentant les deux modèles sont confondus. Ceci montre que nos deux modèles sont bons et que les relations de prédiction sont fiables ; la différence évoquée ci-dessus, en interprétant les valeurs du tableau 9, n'est pas significative (les seuils de signification variant entre 6% et 10%). On remarque que la pression atmosphérique a influencé l'humidité de l'air en 2004.

5.2.2 Pression atmosphérique en fonction des précipitations

Les coefficients angulaires des équations de prédiction issues de ces deux modèles sont égaux à 0,0018 près, les résultats de ces 2 modèles sont égaux.

Le seuil de signification pour toutes les valeurs est égal à zéro et les 3 graphes sont confondus, nos deux modèles donnent une très bonne estimation des valeurs. Partant de ces modèles nous trouvons des valeurs modélisées égales aux valeurs expérimentales (mesurées in situ).

Les relations (14) et (15) montrent que la pression atmosphérique a variée de 846 Pa lorsque les précipitations ont varié de 1mm. Les précipitations ont aussi varié (valeur minimale : 15,6mm en juillet et valeur maximale en janvier :154,5 mm)et de ce fait, il y a eu plus de pluie, de brouillard ou de bruine ou grive en janvier et novembre qu'en juillet 2004 pouvant avoir un impact sur la ville et l'aéroport international de Goma.

5.2.3 Précipitation en fonction de la température de Munigi

Le tableau des valeurs (tableau 14) montre une disparité entre les valeurs expérimentales et les valeurs modélisées, et le seuil de signification est de loin supérieur à 5% pour la plupart des valeurs pour les 2 modèles. Seul au mois d'avril pour le premier modèle et au mois de mars et avril pour le deuxième modèle qu'on a un seuil de signification inférieur à 5%. Les données modélisées de ces mois précités correspondent aux données expérimentales. Le graphique (figure 15) prouve que les données modélisées sont différentes des données expérimentales (mesurées in situ), les graphes s'écartent davantage. C'est seulement au mois d'avril que les deux modèles ont données des valeurs égales aux valeurs expérimentales.

Les précipitations ont varié considérablement sous l'influence de la température de la fissure de Munigi, la valeur minimale des précipitations étant 15,6mm et la valeur maximale 154,5mm, pouvant avoir un impact négatif sur la ville et l'aéroport de Goma. La relation (16) montre que les précipitations varient en moyenne de 3196,6mm lorsque la température de la fissure Munigi varie de 1°C.

5.3 De la modélisation des données climatiques et météorologiques de 2005

5.3.1 Pression atmosphérique en fonction de la température de l'air

Le seuil de signification des valeurs modélisées par rapport aux valeurs expérimentales (mesurées in situ) est nul pour toutes les valeurs et pour les deux modèles, ceci veut signifier que les modèles sont bons et que les équations de prédiction sont fiables (ayant des coefficients angulaires égaux à 0,049 près. Les trois graphes représentant la pression atmosphérique sont confondus. Ceci prouve que les valeurs modélisées sont égales aux valeurs expérimentales et nous rassure que les deux modèles sont bons. La relation (19) montre que la pression atmosphérique a variée de 860 Pa en moyenne lorsque la température de l'air variait de 1°C.

5.3.2 Température de l'air en fonction de la Température de Munigi

Le modèle 1(généré par le logiciel) donne des valeurs et un graphe qui s'écartent grandement des données expérimentales, le seuil de signification étant aussi de loin supérieur à 5% pour toutes les valeurs. Aucune valeur n'est égale à la valeur mesurée in situ. L'équation (18) est non prédictive. Contrairement à ce modèle, le modèle 2 (généré par calcul des coefficients : mod (cal)) nous donne des valeurs modélisées se rapprochant davantage des valeurs expérimentales (sont égales à 0,01%), le seuil de signification est inférieur à 5% pour toutes les valeurs sauf pour le mois de juillet (sig=11%) et le mois de novembre (sig=7%). Le graphe de ce modèle est confondu avec celui des données expérimentales sauf pour le mois de juillet et de novembre comme l'indiquait le seuil de signification. Ce modèle est fiable et prouve que la température de Munigi a un effet sur la température de l'air.

La relation (21) montre que la température de l'air a variée de 15,9°C moyenne lorsque la température de la fissure de Munigi variait de 1°C.

5.3.3 Humidité de l'air et Précipitation

Les résultats du logiciel ont montré qu'en 2005, l'humidité de l'air et les précipitations n'ont pas influencées par d'autres facteurs.

5.4 Des histogrammes et droite de régression

Les histogrammes montrent les fréquences des valeurs moyennes et les courbes sont normales. L'allure des droites de régression est linéaire.

La valeur moyenne des précipitations en fonction de la température de Munigi (en 2004) a une petite fréquence et ne représente pas la valeur modale qui, elle a une grande valeur ; sa distribution est plus au moins normale autour de la moyenne.

VI. Conclusion

La modélisation nous a permis d'établir des équations de prédiction des données climatiques, des phénomènes météorologiques et des graphiques y relatifs. Elle a montré que les températures des fissures du volcan Nyiragongo ont une répercussion sur le climat et sur les éléments météorologiques, mais aussi ces éléments météorologiques interagissent entre eux.

L'Humidité de l'air en 2003, les précipitations en 2004 et la température de l'air en 2005 ont plus variées en fonction de la température de la fissure de Munigi même quand la température de cette dernière ne variait pas considérablement. Le microclimat autour du volcan Nyiragongo dépend alors de ce volcan. Et ceci pouvant avoir un impact sur la ville et l'aéroport international de Goma.

Comme les variations climatiques ont un impact sur les sociétés et les écosystèmes, il est nécessaire de modéliser l'ensemble des phénomènes qui caractérise l'état moyen de l'atmosphère et son évolution au-dessus d'un lieu car cette modélisation permettra de comprendre, d'anticiper et des prévoir les scénarios futurs.

Bibliographie

- [1]. A. ROBOCK ;(2000),*Volcanic eruptions and climate, Review of Geophysics*
- [2]. BAHAYA B. Siméon, (2013), *Modélisation des températures des fissures volcaniques et des données météorologiques autour du volcan Nyiragongo dans le Rift Est Africain*, Mémoire DEA, Faculté des sciences, Département de Physique, Université Pédagogique National (UPN), Kinshasa, RDCongo.
- [3]. Cyril BONNEFOY, (2013), *Observation et modélisation spatiale de la température dans les terroirs viticoles du Val de Loire dans le contexte du changement climatique*, thèse de doctorat, Ecole Doctorale Sciences Humaines et Sociales, RENNES 2
- [4]. Éric GONCLAVES DA SIVER. (2011), *Méthode, Analyse et Calculs Numériques*, HAL, Archives ouvertes.
- [5]. HELENA, *Les éruptions volcaniques et leur impact climatique en Europe du XVIIIè Siècle à nos jours*
- [6]. KABASELE Yenga-Yenga, (2011), *Modélisation atmosphérique du temps Hélio-pluviométrique qu'il fait dans la ville de Kinshasa*, article, Numéro spécial, Vol1, IGC
- [7]. LUBEMBA A. Michel, (2013), *Modélisation des gaz volcaniques (CO2 et SO2) du Nyiragongo au Nord Kivu*, Mémoire DEA, Faculté des sciences, Département de Physique, Université Pédagogique National (UPN), Kinshasa, RDCongo.
- [8]. MAHFONF Jean Marie et BORREL laurent, *L'impact Climatiques des éruptions climatiques, article scientifique*
- [9]. MICHEL Déqué et al, *Climat : Modéliser pour comprendre et anticiper*, article scientifique
- [10]. M. MORENO &O. ROUSTANT. *Modélisation de la température : Application aux dérivés climatiques*, article
- [11]. OLIVIER Dupont, *utiliser les données territorialisées du changement climatique avec l'outil DRIAS : quels besoins, quelles limites ?* Nancy
- [12]. OLIVIER Martin, (2007), *Introduction à la régression linéaire*, INRA, Avignon, France
- [13]. Olivier ROUSSAINT, (2006), *Modélisation statistique de la température pour la gestion des produits dérivés climatiques*, EMSE, ISFA, Sainte Etienne, Paris.
- [14]. OLIVIER Thual , (2016), *Modeliser le climat grace au calcul scientifique*, Toulouse
- [15]. SUSY Domenicano et al, *Utiliser la modélisation pour prévoir des scénarios : les changements climatiques vont-ils conduire les systèmes agroforestiers au Quebec vers la complémentarité ou la compétition ?* Quebec
- [16]. [https:// www.cerema.fr](https://www.cerema.fr) consulté le 25/7/20202
- [17]. www.wimesure.fr consulté le 24/7/20202
- [18]. www.camerecole.org consulté le 27/7/2020

BAHAYA BARHAHAMUKENYI Siméon, et. al. "Modélisation Des Données Météorologiques Et Climatiques Autour Du Volcan Nyiragongo A Goma En République Démocratique Du Congo." *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 12(4), 2020, pp. 29-49.