

Relation de causalité entre les quatre variables climatiques journalières : « température, précipitation, évaporation et humidité spécifique » sur la ville de Maintirano dans la partie ouest de Madagascar

Antoine RABENDRINA

*Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Laboratoire de Physique du Solide, BP 101,
Antananarivo Madagascar*

(Reçu le 29 Juillet 2024 ; Accepté le 17 Octobre 2024)

* Correspondance, courriel : randrianasolohanitriniaina@gmail.com

Résumé

Le présent article porte sur la relation de causalité entre les quatre variables climatiques journalières « Température, précipitation, évaporation et humidité spécifique » sur la ville de Maintirano pendant 37 ans (ou 13514 jours), allant de 1979 à 2015, à la longitude de 44°1'37" EST et à la latitude de 18°3'41" SUD. Cette étude vise à établir les relations de causalité et les équations liant ces quatre variables. Pour mener à bien ce travail, on utilise la méthode de Granger qui nous permet d'examiner la corrélation entre ces données. De plus, le logiciel EvIEWS a permis de déterminer tous les paramètres nécessaires reliant les équations de ces quatre variables, telles que, le choix du Lag, la probabilité, les coefficients, ainsi que les tests statistiques des résultats. Les résultats de notre analyse montrent que ces quatre variables sont interdépendantes les unes des autres pour une période journalière. Cette analyse nous a conduit à conclure que la relation de cause à effet entre les variables endogènes et exogènes des quatre variables journalières n'est pas indépendante, notamment en ce qui concerne le changement climatique.

Mots-clés : *corrélation, causalité, variables exogènes, variables endogènes.*

Abstract

Causal relationships among daily climatic variables : "temperature, precipitation, evaporation and specific humidity" in Maintirano, Western Madagascar

This article focuses on the causal relationship between four daily climatic variables "the temperature, the precipitation, the evaporation and the specific humidity over the city of Maintirano within 37 years (or 13514 days), from 1979 to 2015, at the grid point 44°1'37" East and 18°3'41" South. This study aims to establish the causal relationship and the equations which link these four variables. To successfully complete this work, the Granger method was used for examining the correlation between these variables. The EvIEWS, a software, was used to determine all the required parameters of the equations which link the variables such as the choice of the "Lag", the probability, the coefficients, and the statistical test of the results. The findings show that the four variables depend each other for a daily period. This analysis leads us to conclude that the causal relationship between the endogenous and exogenous variables of the four daily variables are dependent, especially those related to the climate change.

Keywords : *correlation, causality, exogenous variables, endogenous variables.*

Antoine RABENDRINA

1. Introduction

La météorologie et la climatologie sont parmi les facteurs plus importants pour l'analyse du changement climatique de la planète. Elles se présentent sous forme des données de variables journalières, mensuelles et annuelles [1 - 3]. Ces variables sont en générales des variables non stationnaires et peuvent être décalées dans le temps et admettant des paramètres comme la saisonnalité, la tendances, etc. Pour mener à bien ce travail, les données seront obligatoirement transformées en séries stationnaires pour qu'elles soient stables avant le traitement. Donc l'analyse des séries chronologiques consiste généralement l'étude statistique des données régulièrement espacée dans le temps. Alors on a besoin d'un Logiciel appropriée pour leurs traitements [4 - 6]. On a choisi le Logiciel Eviews pour pouvoir analyser l'étude statistique des données observées et le processus aléatoire, la prévision, ainsi que la modélisation [7]. L'une des tâches capitales est l'analyse des relations de causalité journalière entre les quatre variables climatiques et les équations de ces variables. Par exemple, l'influence de la sécheresse sur la précipitation, l'impact de la température à la hausse sur l'évaporation (ou sur les autres variables). On sait que la transformation de l'air humide ne dépend que de la température et qui se termine par la formation de la gouttelette d'eau. La formation des nuages atmosphériques est causée par la diminution de la température et par l'augmentation de l'humidité relative [8]. La question qui nous pose maintenant est telle que : comment se relier les quatre variables journalières suivantes : Evaporation, Humidité spécifique, Précipitation et Température. Est-ce que ces variables sont-elles indépendantes ou non ? On a deux méthodes pour répondre ces questions : En premier lieu, nous allons présenter la méthode d'analyse de la régression vectorielle autorégressive (VAR) qui sont largement employées pour examiner ce phénomène causal telle que : la vérification de la stationnarité, l'analyse des fonctions de réponses impulsionnelles et enfin, nous terminerons par une tentative de prévision [9]. Et ensuite, la méthode de Granger qui a été introduite en 1969 est couramment utilisée pour déterminer la présence d'une causalité entre deux variables. Elle est fréquemment utilisée dans divers domaines de recherches, telles que la climatologie, l'économétrie, la médecine ou d'autres disciplines scientifiques [10, 11]. Elle permet également d'établir une corrélation entre les mouvements passé X et les mouvements futurs Y de la manière suivante : « une variable X cause la variable Y si les valeurs passées de X ont un impact statistique sur la valeur actuelle ou future de Y » [12 - 15]. L'objet de cet article vise à résoudre ces problèmes en effectuant les tests statistiques, probabilités, tests des coefficients, et ainsi que l'analyse des impacts des variables endogènes sur les variables exogènes et la mise en équation des résultats.

2. Méthodologie

Le Logiciel Eviews a été utilisée pour déterminer les relations entre les quatre variables climatiques [16]. Ce processus s'est déroulé essentiellement en trois étapes.

- La première étape consiste à réaliser les tests de stationnarités pour analyser les données utilisées pour qu'elles ne varient pas en fonction du temps.
- La deuxième étape est le test de causalité de Granger en choisissant le Lag convenable correspondant à la valeur minimale d'AIC et les équations appropriées.
- En troisième étapes, nous terminons par le choc impulsionnel.

2-1. Stationnarité de la série temporelle

Une série temporelle est stationnaire si elle admet une moyenne, une variance et une covariance finie indépendante du temps. De plus, cette série (X_t) est stationnaire si l'inverse des racines du polynôme caractéristique est à l'intérieur du disque unité.

2-2. Test de causalité

Les tests statistiques sur la probabilité des données ont permis de prendre une décision si une Variable « X » cause une variable « Y » [17]. Dans ce cas si la probabilité est inférieure à 5 % alors la variable X cause la variable Y, sinon X ne cause pas Y au sens de Granger, donc nous allons faire une à une un test de causalité pour chaque variable.

2-3. Choix du Lag

Le logiciel EvIEWS nous donne des valeurs de « Lags » mais il faut choisir les valeurs minimales convenables aux cinq paramètres suivants :

- AIC (Akaike Information Criterion),
- (SC) (Schwartz Bayesian Information Criterion)
- HQ) (Hannan-Quinn Criterion),
- (LR) (Log likelihood Radio)
- (FPE) (Prédiction finale de l'erreur)

2-4. Équation des variables

Généralement, une variable endogène peut s'exprimer en fonction des variables exogènes [18] et est donnée par les quatre **Équations** suivantes :

$$\begin{aligned} X_t &= \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^m b_j y_{t-j} + \sum_{k=1}^m c_k z_{t-k} + \sum_{l=1}^m d_l u_{t-l} + \varepsilon_{tx} \\ Y_t &= \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^m b_j y_{t-j} + \sum_{k=1}^m c_k z_{t-k} + \sum_{l=1}^m d_l u_{t-l} + \varepsilon_{ty} \\ Z_t &= \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^m b_j y_{t-j} + \sum_{k=1}^m c_k z_{t-k} + \sum_{l=1}^m d_l u_{t-l} + \varepsilon_{tz} \\ U_t &= \sum_{i=1}^m a_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^m b_j y_{t-j} + \sum_{k=1}^m c_k z_{t-k} + \sum_{l=1}^m d_l u_{t-l} + \varepsilon_{tu} \end{aligned}$$

avec, a_i, b_j, c_k, d_l sont les coefficients et $\varepsilon_{tx}, \varepsilon_{ty}, \varepsilon_{tz}$ et ε_{tu} sont des résidus.

2-5. Test des coefficients

Les coefficients des équations peuvent prendre des valeurs nulles ou non nulles suivant les valeurs de tests trouvées. Les tests des coefficients de système d'équation doivent vérifier les tests statistiques des hypothèses suivantes.

Si $\text{Prob} > 0,05$ alors $a_i = b_j = c_k = d_l = 0$, la variable X_t ne cause pas les trois autres variables $Y_{t-j}, Z_{t-k}, U_{t-l}$. De même pour les autres variables [19]

Si $\text{Prob} < 0,05$ alors $a_i \neq b_j \neq c_k \neq d_l \neq 0$, la variable X_t cause les trois autres variables $Y_{t-j}, Z_{t-k}, U_{t-l}$. De même pour les autres variables.

• **Modèle VAR**

Les quatre variables journalières dans notre étude peuvent se présenter sous forme matricielle ou modèle VAR admettant l'équation de la manière suivante :

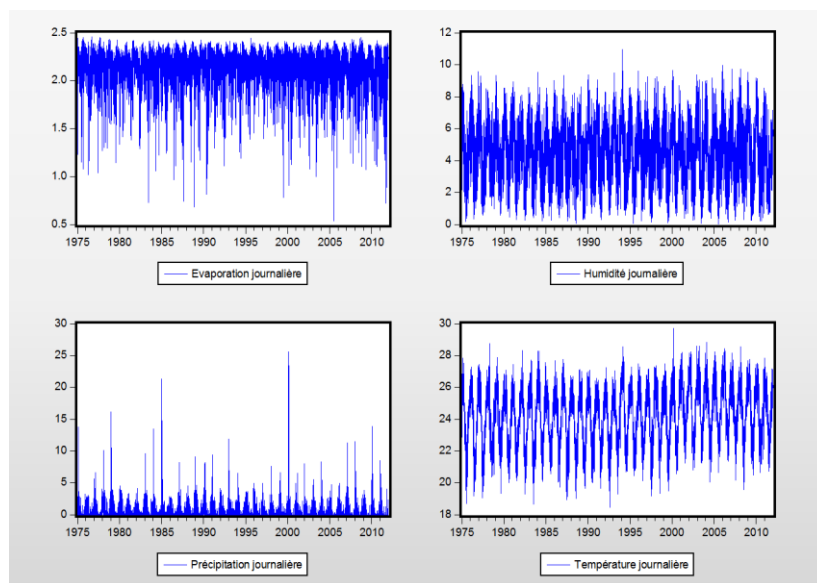
$$\begin{bmatrix} X_{1t} \\ X_{2t} \\ X_{3t} \\ X_{4t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 \\ b_0 \\ c_0 \\ d_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1^1 & b_1^1 & c_1^1 & d_1^1 \\ a_2^1 & b_2^1 & c_2^1 & d_2^1 \\ a_3^1 & b_3^1 & c_3^1 & d_3^1 \\ a_4^1 & b_4^1 & c_4^1 & d_4^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1t-1} \\ x_{2t-1} \\ x_{3t-1} \\ x_{4t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_2^2 & b_2^2 & c_2^2 & d_2^2 \\ a_3^2 & b_3^2 & c_3^2 & d_3^2 \\ a_4^2 & b_4^2 & c_4^2 & d_4^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1t-2} \\ x_{2t-2} \\ x_{3t-2} \\ x_{4t-2} \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} a_k^1 & b_k^1 & c_k^1 & d_k^1 \\ a_k^2 & b_k^2 & c_k^2 & d_k^2 \\ a_k^3 & b_k^3 & c_k^3 & d_k^3 \\ a_k^4 & b_k^4 & c_k^4 & d_k^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1t-k} \\ x_{2t-k} \\ x_{3t-k} \\ x_{4t-k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \\ \varepsilon_{4t} \end{bmatrix}$$

2-6. Choc impulsif

L'analyse graphique sur les chocs impulsifs de la série temporelle permet de constater un amortissement ou non sur les autres variables. Ce mécanisme aura lieu dans un certain temps. L'effet du choc se trouve sur les graphes des variables dans une période considérée.

3. Résultats

La **Figure 1** suivante illustre les allures des données observées des quatre variables climatiques journalières pendant une période de 37 ans, s'étendant de 1979 à 2015. On a constaté qu'elles ne sont pas stationnaires, ce qui indique une absence de stabilité, il est nécessaire d'appliquer une transformation afin de les rendre stationnaires.



Figures 1 : Quatre variables climatiques journalières non stationnaires

3-1. Stationnarités des variables

La condition de stationnarité constitue une exigence préalable essentielle à analyser des données, car une variable stationnaire indique une stabilité qui permet d'éviter les problèmes de régression trompeuse [20]. La transformation utilisée peut prendre une fonction logarithme, d'une dérivée d'une fonction logarithme, ou d'autres types de transformations en fonction des variables considérées. Les quatre variables présentées dans la **Figure 2** ci-dessous ont été transformées à l'aide du Logiciel Eviews. A l'issue de ces transformations, chaque variable a été rendue stationnaire. Par ailleurs, un modèle ARIMA a été employé afin d'analyser les propriétés hétéroscédastiques de ces variables. Les quatre transformations des variables sont telles que :

- L'EVAPORATION journalière (EVJ) en $EV = DLOG(EVJ)$.
- L'HUMIDITE journalière (HUJ) en $HU = LOG(HUJ)$.
- La PRECIPITATION journalière (PREJ) en $PR = PREJ$
- La TEMPERATURE (TPJ) en $TP = TPJ$.

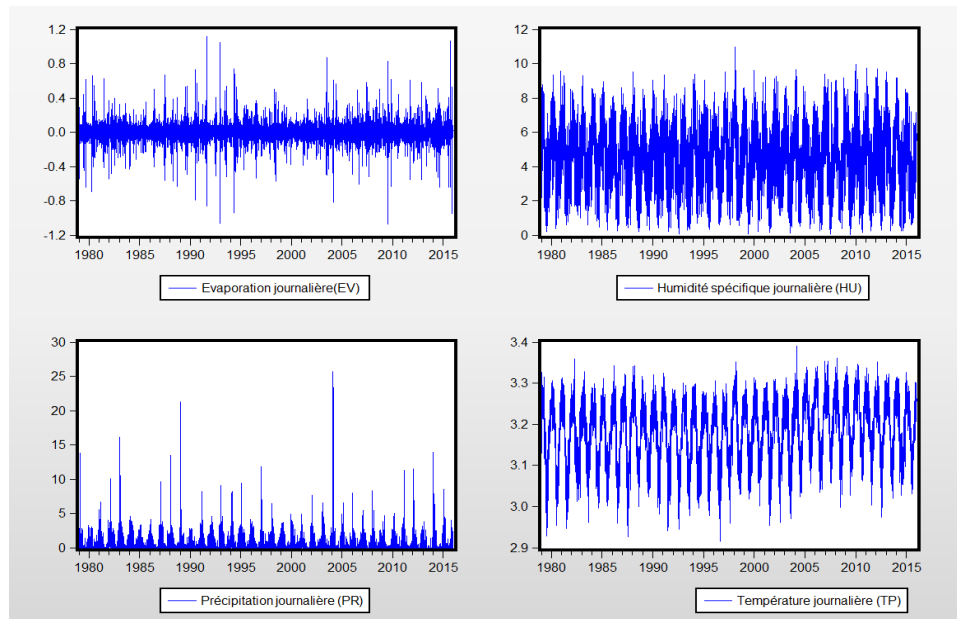


Figure 2 : *Quatre variables climatiques journalière stationnaires après transformations*

Les racines caractéristiques des polynômes des quatre variables journalières sont représentées par la **Figure 3** ci-dessous, elles se trouvent à l'intérieur du disque de rayon unité, ce qui signifie que les variables sont stationnaires ou stables. Ces racines sont appelées racines inverses des polynômes caractéristiques dans un disque unité de AR [21].

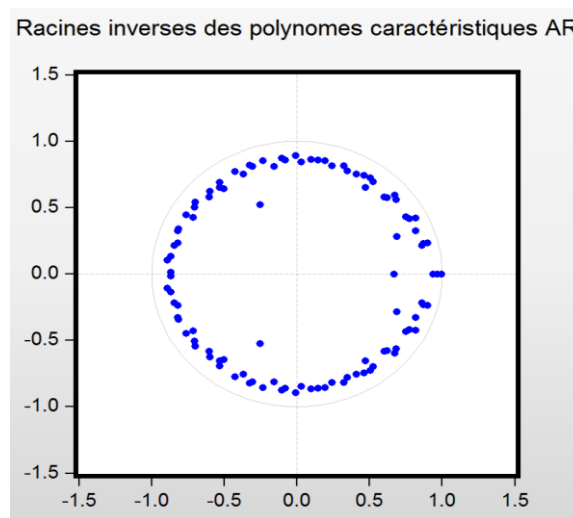


Figure 3 : *Racines inverses des polynômes caractéristiques dans un disque unité*

3-2. Modèle ARMA des quatre variables.

3-2-1. Variable Humidité spécifique journalière.

Le modèle ARMA nous permet de déterminer les propriétés de la variable de l'humidité journalière. Les caractéristiques et les informations statistiques sont données par le **Tableau 1**. Le terme ARMA (4,4) fait référence aux valeurs des composantes autorégressives AR (1), AR (2), AR (3), AR (4) ainsi qu'aux moyennes mobiles MA (1), MA (2), MA (3), MA (4) basée sur l'analyse des données pendant une période de 13514 jours. [22].

Les coefficients qui se trouve dans la 2^{ème} colonne sont significatifs et différents de zéro car les deux valeurs de probabilités (Prob (obs.) = 0.000 < 5 %) et la Prob (F-statistique = 0.000) < 5 %) sont tous inférieur à 5 %. On peut conclure d'après ce tableau que la variable humidité spécifique suit donc le modèle ARMA (4,4) (1,1) [23].

Tableau 1 : Modèle ARMA (4,4) (1,1) de la variable humidité journalière

Dependent Variable: HU				
Method: Least Squares				
Date: 09/12/23 Time: 15:45				
Sample: 1/01/1979 12/31/2015				
Included observations: 13514				
Convergence achieved after 32 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.451388	0.145866	30.51697	0.0000
AR(1)	1.100024	0.094781	11.60600	0.0000
AR(2)	-0.801377	0.157161	-5.099096	0.0000
AR(3)	1.094585	0.142104	7.702693	0.0000
AR(4)	-0.408921	0.051405	-7.954835	0.0000
SAR(365)	0.972725	0.014650	66.39729	0.0000
MA(1)	-0.210414	0.094375	-2.229555	0.0258
MA(2)	0.333098	0.099958	3.332387	0.0009
MA(3)	-0.629072	0.066999	-9.389256	0.0000
MA(4)	-0.289999	0.028033	-10.34474	0.0000
SMA(365)	-0.951976	0.018723	-50.84563	0.0000
SIGMASQ	0.976929	0.010427	93.68827	0.0000
R-squared	0.718119	Mean dependent var		4.447195
Adjusted R-squared	0.717889	S.D. dependent var		1.861720
S.E. of regression	0.988836	Akaike info criterion		2.818576
Sum squared resid	13202.22	Schwarz criterion		2.825246
Log likelihood	-19033.11	Hannan-Quinn criter.		2.820800
F-statistic	3127.052	Durbin-Watson stat		2.000928
Prob(F-statistic)	0.000000			

3-2-2. Variable évaporation journalière

La variable évaporation journalière suit le modèle ARMA (3,1) (0,0) d'après le **Tableau 2** ci-dessous. Cela signifie que le terme (3,1) est la combinaison d'Autorégressifs (AR) et un terme de moyenne mobile (MA), et ensuite le terme (0,0) indique un modèle sans composante saisonnière et sans terme de différenciation. Ce donne aussi les informations des paramètres concernant les tests des coefficients, les probabilités, les racines de AR et MA [24]. Les résultats statistiques de ce tableau nous présentent que les coefficients sont significatifs et différents zéros, car la probabilité d'observation (Prob (obs.) et la Prob (F-statistique) sont tous inférieur à 5 %. La transformation de cette variable évaporation est donnée par le Logiciel EvIEWS et nous avons l'équation telle que : $EV = DLOG(EVAJ)$.

Tableau 2 : Modèle ARMA (3,1) (0,0) de la variable Evaporation journalière

Dependent Variable: EV				
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)				
Date: 09/12/23 Time: 15:54				
Sample: 1/02/1979 12/31/2015				
Included observations: 13513				
Convergence achieved after 63 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	6.34E-07	5.92E-05	0.010703	0.9915
AR(1)	0.595397	0.004457	133.5736	0.0000
AR(2)	-0.147394	0.006316	-23.33583	0.0000
AR(3)	0.045179	0.008078	5.592864	0.0000
MA(1)	-0.967150	0.002346	-412.2331	0.0000
SIGMASQ	0.006399	2.68E-05	239.1141	0.0000
R-squared	0.224923	Mean dependent var		-9.50E-07
Adjusted R-squared	0.224636	S.D. dependent var		0.090862
S.E. of regression	0.080009	Akaike info criterion		-2.212785
Sum squared resid	86.46366	Schwarz criterion		-2.209450
Log likelihood	14956.68	Hannan-Quinn criter.		-2.211673
F-statistic	783.9315	Durbin-Watson stat		1.999758
Prob(F-statistic)	0.000000			
Inverted AR Roots	.48	.06-.30i	.06+.30i	
Inverted MA Roots	.97			

3-2-3. Variable température journalière

Les résultats statistiques de la variable température journalière est donnée par le **Tableau 3** ci-dessous et notée TPJ. Afin d'assurer la stationnarité de cette variable, il est nécessaire de procéder à une transformation pour que les propriétés statiques des variables telles que la variance et la moyenne ne changent pas au cours du temps, qui s'exprime par l'équation suivante : $TP = \text{LOG}(TPJ)$ [25]. Par suite, cette variable est modélisée selon un modèle ARMA (4,3) (0,2).

Tableau 3 : Modèle ARMA (4,3) (0,2) de la variable température journalière

Dependent Variable: LOG(TPJ)				
Method: Least Squares				
Date: 09/12/23 Time: 16:07				
Sample: 1/01/1979 12/31/2015				
Included observations: 13514				
Convergence achieved after 37 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.184074	0.002340	1360.917	0.0000
AR(1)	1.528081	0.001744	876.2467	0.0000
AR(2)	0.425702	0.002445	174.0902	0.0000
AR(3)	-1.439987	0.001980	-727.2261	0.0000
AR(4)	0.485909	0.002435	199.5215	0.0000
MA(1)	-0.946321	0.003730	-253.6952	0.0000
MA(2)	-0.947448	0.004069	-232.8538	0.0000
MA(3)	0.896523	0.004244	211.2358	0.0000
SMA(365)	0.017528	0.008346	2.100043	0.0357

SMA(730)	0.020562	0.008514	2.415110	0.0157
SIGMASQ	0.000729	7.64E-06	95.42460	0.0000
R-squared	0.874351	Mean dependent var		3.184231
Adjusted R-squared	0.874258	S.D. dependent var		0.076161
S.E. of regression	0.027007	Akaike info criterion		-4.384314
Sum squared resid	9.848783	Schwarz criterion		-4.378200
Log likelihood	29635.81	Hannan-Quinn criter.		-4.382275
F-statistic	9396.266	Durbin-Watson stat		2.001996
Prob(F-statistic)	0.000000			

$$TP = LOG(TPJ)$$

3-2-4. Variable précipitation journalière

Ce modèle de la précipitation journalière est une combinaison des composantes autorégressives AR et des moyennes mobile MA, de la forme ARMA(p,q) avec $p = 4$ et $q = 4$. La valeur de $p=4$ est la valeur passée, et $q = 4$ est les erreurs passées. Les termes (2,1) indiquent qu'il y a une composante saisonnière de périodicité 2 et un ordre de différenciation 1 [26]. En conclusion la variable Précipitation suit le modèle ARMA (4,4) (2,1) d'après le **Tableau 4** ci-dessous.

Tableau 4 : Modèle ARMA(4,4)(2,1) de la variable précipitation journalière

De la précipitation et les				
Method: Least Squares				
Date: 09/12/23 Time: 16:44				
Sample: 1/01/1979 12/31/2015				
Included observations: 13514				
Convergence achieved after 136 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.401817	0.070355	5.711300	0.0000
AR(1)	-0.337249	0.029152	-11.56865	0.0000
AR(2)	1.067895	0.023328	45.77669	0.0000
AR(3)	0.588344	0.025378	23.18363	0.0000
AR(4)	-0.362958	0.013996	-25.93239	0.0000
SAR(365)	0.986898	7.02E-05	14067.24	0.0000
SAR(730)	0.013099	7.97E-07	16441.20	0.0000
MA(1)	0.701261	0.029731	23.58723	0.0000
MA(2)	-0.777232	0.023773	-32.69432	0.0000
MA(3)	-0.804054	0.023099	-34.80837	0.0000
MA(4)	0.069556	0.014688	4.735511	0.0000
SMA(365)	-0.999611	0.000249	-4015.996	0.0000
SIGMASQ	0.669209	0.001673	400.1011	0.0000
R-squared	0.297758	Mean dependent var		0.403021
Adjusted R-squared	0.297134	S.D. dependent var		0.976233
S.E. of regression	0.818445	Akaike info criterion		2.460208
Sum squared resid	9043.685	Schwarz criterion		2.467434
Log likelihood	-16610.63	Hannan-Quinn criter.		2.462618
F-statistic	477.0473	Durbin-Watson stat		1.999562
Prob(F-statistic)	0.000000			

Précipitation $PRE=PREJ$; ARMA (4,4) (2,1)

3-3. Volatilité des résidus des quatre variables

La Probabilité (Prob = 0.000), du **Tableau 4** ci-dessus marque la présence d'hétéroscédasticité des variables journalières [27, 28]. Les résultats des tests statistiques présentés dans le **Tableau 5** ci-dessous indiquent l'homoscédasticité des résidus *res1*, *res2*, *res3*, *res4*, des quatre variables climatiques car la probabilité renvoie une valeur nulle, révélant ainsi la présence de volatilité des résidus à un instant donné [29].

Tableau 5 : Volatilité des Résidus

VAR Residual Heteroskedasticity Tests (Includes Cross Terms)					
Date: 09/11/23 Time: 17:48					
Sample: 1/01/1979 12/31/2015					
Included observations: 13487					
Joint test:					
Chi-sq	df	Prob.			
69793.06	55640	0.0000			
Individual components:					
Dependent	R-squared	F(5564,7922)	Prob.	Chi-sq(5564)	Prob.
res1*res1	0.437990	1.109601	0.0000	5907.164	0.0007
res2*res2	0.434725	1.094971	0.0001	5863.137	0.0026
res3*res3	0.754874	4.384625	0.0000	10180.98	0.0000
res4*res4	0.450326	1.166461	0.0000	6073.551	0.0000
res2*res1	0.454133	1.184525	0.0000	6124.893	0.0000
res3*res1	0.635084	2.477913	0.0000	8565.379	0.0000
res3*res2	0.615245	2.276730	0.0000	8297.810	0.0000
res4*res1	0.457915	1.202720	0.0000	6175.896	0.0000
res4*res2	0.425947	1.056455	0.0130	5744.744	0.0444
res4*res3	0.550532	1.743943	0.0000	7425.030	0.0000

Les volatilités *des quatre résidus* sont données par la **Figure 4** ci-dessous. Dans cette analyse, on a remarqué qu'il y a des fluctuations accidentelles irrégulières due aux cyclones ou orage averse, par exemples dans le cas de la précipitation.

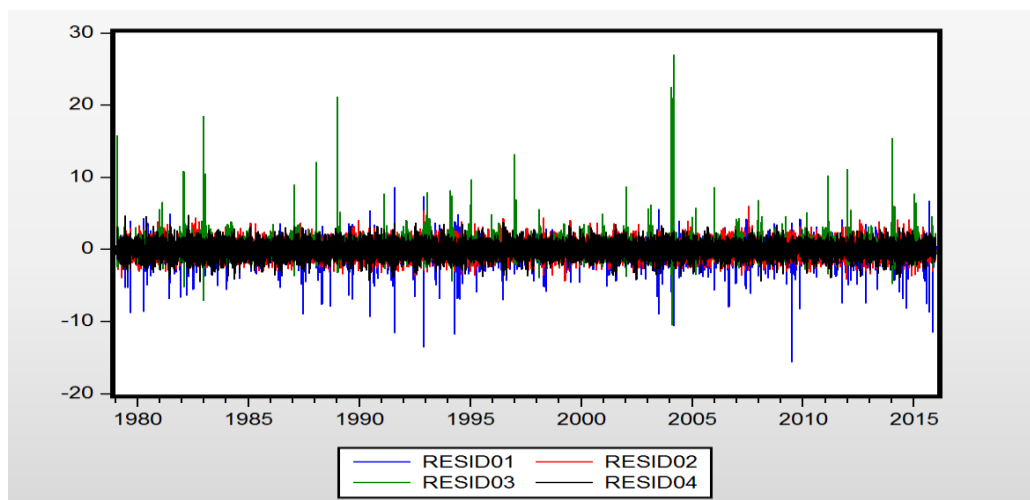


Figure 4 : Volatilités des quatre résidus des quatre variables journalières

3-4. Choix de Lag

La choix du Lag revêt une grande importance dans l'identification des paramètres minimaux appropriés pour les critères suivants : Likelihood Radio (LR), FPE (Final Prédiction Error), AIC (Aviaire Information Criteria), SC (Schwarz Information Criteria), HQ (Hann-Quinn Information Criteria) [30]. Nous avons constaté qu'il est nécessaire d'avoir 30 options pour pouvoir identifier le Lag correspondant dans notre variable. Le Logiciel EvIEWS indique dans le **Tableau 5** que le Lag égal à 26 est la seule valeur optimale appropriée pour nos variables.

Tableau 5 : Choix de Lag des quatre variables endogènes EV HU PRE TP

VAR Lag Order Selection Criteria						
Variables Endogènes: EV HU PRE TP						
Variables Exogènes: C						
Date: 09/07/23 Time: 16:45						
Sample: 1/01/1975 12/31/2011						
observations: 13484						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-65895.82	NA	0.206596	9.774520	9.776748	9.775263
1	-43176.18	45422.42	0.007123	6.407028	6.418166	6.410743
2	-42492.66	1366.133	0.006451	6.308018	6.328067	6.314705
3	-42061.00	862.4857	0.006065	6.246366	6.275325	6.256024
4	-41832.21	456.9975	0.005877	6.214804	6.252674	6.227435
5	-41663.11	337.6835	0.005745	6.192095	6.238875	6.207698
6	-41551.25	223.2954	0.005664	6.177878	6.233568	6.196452
7	-41408.86	284.1727	0.005559	6.159131	6.223731*	6.180677
8	-41351.07	115.2867	0.005524	6.152933	6.226444	6.177451
9	-41293.82	114.1993	0.005491	6.146814	6.229235	6.174303
10	-41242.06	103.1968	0.005462	6.141510	6.232842	6.171972
11	-41174.80	134.0706	0.005420	6.133907	6.234149	6.167340
12	-41123.71	101.8036	0.005392	6.128703	6.237855	6.165108
13	-41074.36	98.31779	0.005366	6.123756	6.241819	6.163133*
14	-41045.87	56.74586	0.005356	6.121903	6.248876	6.164252
15	-41014.69	62.06650	0.005344	6.119652	6.255536	6.164973
16	-40985.54	58.03322	0.005333	6.117700	6.262495	6.165993
17	-40959.83	51.15915	0.005326	6.116260	6.269965	6.167525
18	-40934.19	50.99497	0.005318	6.114831	6.277446	6.169067
19	-40915.14	37.87971	0.005315	6.114379	6.285904	6.171587
20	-40901.18	27.75563	0.005317	6.114681	6.295117	6.174861
21	-40891.03	20.16536	0.005322	6.115549	6.304896	6.178701
22	-40873.00	35.82641	0.005320	6.115248	6.313505	6.181372
23	-40848.85	47.97459	0.005314	6.114038	6.321206	6.183134
24	-40837.12	23.28898	0.005317	6.114672	6.330750	6.186739
25	-40816.64	40.63811	0.005314	6.114008	6.338997	6.189048
26	-40798.60	35.80905	0.005312*	6.113705*	6.347604	6.191716
27	-40786.84	23.32672	0.005315	6.114334	6.357143	6.195317
28	-40774.00	25.46932	0.005318	6.114803	6.366522	6.198758
29	-40751.44	44.73136*	0.005313	6.113829	6.374459	6.200756
30	-40742.75	17.21316	0.005318	6.114914	6.384455	6.204813
* indicates lag order selected by the criterion						
LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)						
FPE: Final prediction error						
AIC: Akaike information criterion						
SC: Schwarz information criterion						
HQ: Hannan-Quinn information criterion						

4. Discussion

4-1. Relation de causalité journalière [31]

Le test de causalité est formulé sous les deux hypothèses suivantes :

Soient deux variables Y_1 et Y_2 admettant deux hypothèses H_0 et H_1 .

H_0 : Y_2 cause Y_1 au sens de Granger

H_1 : Y_2 ne cause pas Y_1 au sens de Granger

Règle de décision :

- Si Probabilité < 0.05 on accepte H_0
- Si Probabilité > 0.05 on accepte H_1

L'analyse du **Tableau 6** indique que les deux valeurs de probabilités observées permettent d'accepter l'hypothèse alternative (H_1), car elles sont toutes supérieures au seuil significatif de 5 %. Cette situation concerne, la relation entre l'humidité spécifique (HU) et l'évaporation (EV), figurant dans la première ligne du **Tableau 6**, et présentant une probabilité de Prob = 0,5444 (> 0.05). De même, l'analyse de la septième ligne du tableau relative à la précipitation (PRE) et l'humidité spécifique (HU) révèle une probabilité de Prob=0,1051 (> 0.05). Ces résultats suggèrent que l'humidité spécifique (HU) n'a pas d'effet causal significatif sur l'évaporation (EV). De même, la précipitation (PRE) ne présente pas non plus d'effet causal notable sur l'humidité spécifique (HU). En revanche, une relation de causalité inverse est observée : l'humidité spécifique (HU) exerce une influence significative sur la précipitation (PRE), avec une probabilité extrêmement faible (Prob=1.E-66 (< 0.05)). De même, l'évaporation (EV) affecte de manière significative l'humidité spécifique (HU), comme en témoigne une probabilité très réduite (Prob=5.E-19 (< 0.05)). La majorité des résultats présentés dans le **Tableau 6** met en évidence une interdépendance. Significative entre les deux variables climatiques, comme en témoignent des valeurs de Probabilité inférieure au seuil de signification de 5 %. Cette interdépendance suggère l'existence d'une relation causale biunivoque, chaque variable exerçant une influence sur l'autre. En considérant la relation entre la température et l'évaporation, les résultats indiquent que. L'hypothèse nulle (H_0) ne peut pas être rejeté, et prouve l'existence de lien causal significatif entre ces deux variables. D'un point de vue physique et climatologique, la température constitue un facteur déterminant de l'évaporation, particulièrement durant les périodes chaudes ou les saisons équinoxes. Par ailleurs, l'évaporation semble également exercer une influence réciproque sur la température, comme l'indique une probabilité exceptionnellement faible (Prob=8.E-121 (< 0.05)), d'après les données du **Tableau 6**. En conclusion, l'analyse approfondie des quatre variables climatiques journalières confirme l'existence d'interactions causales mutuelles, mettant en évidence des relations de causalité journalière robuste entre la température, la précipitation, l'évaporation et l'humidité spécifique. Ces résultats sont systématiquement corroborés par des valeurs de probabilité nettement inférieure au seuil critique de 5 %, attestant de la solidité et de la fiabilité des interactions observées.

Tableau 6 : Test de causalité entre les quatre variables climatiques journalières EV HU PRE TP.

Pairwise Granger Causality Tests			
Date: 09/15/23 Time: 17:59			
Sample: 1/01/1979 12/31/2015			
Lags: 26			
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
HU does not Granger Cause EV	13488	0.94437	0.5444
EV does not Granger Cause HU		5.72442	5.E-19
PRE does not Granger Cause EV	13488	6.14735	5.E-21
EV does not Granger Cause PRE		4.36305	8.E-13
TP does not Granger Cause EV	13488	6.63333	2.E-23
EV does not Granger Cause TP		25.6793	8E-121
PRE does not Granger Cause HU	13488	1.35872	0.1051
HU does not Granger Cause PRE		15.2051	1.E-66
TP does not Granger Cause HU	13488	5.84516	1.E-19
HU does not Granger Cause TP		13.1618	4.E-56
TP does not Granger Cause PRE	13488	6.06467	1.E-20
PRE does not Granger Cause TP		1.58378	0.0300

L'analyse du **Tableau 7** ci-dessous permet de déterminer les caractéristiques des quatre variables EV, HU, PRE, TP et les équations reliant les quatre variables endogènes en fonction des variables exogènes. A chaque variable correspond 105 coefficients et 26 variables exogènes. Les valeurs des coefficients du **Tableau 7** seront retrouvées sur les équations VAR dont leurs valeurs variant de C (1,1) à C (1,105) [32]. Trois chiffres sont caractéristiques dans une case de ce **Tableau**. Prenons le cas de l'évaporation admettant les trois chiffres de la première colonne suivante.

- Le chiffre 0,629789 de la première ligne représente le coefficient EV (-1).
- Le 0,00871 de la seconde ligne représente l'écart type
- Le 72,3084 de la troisième est le test statistique du Student

Les valeurs marquées sur le **Tableau 7** nous montrent que le test du Student est significatif car $72,3084 > 1,96$, ce qui veut dire que l'évaporation EV du présent a une influence sur l'évaporation future EV (-1).

Concernant le cas des trois variables HU, PRE, TP de la 2ème 3ème 4ème colonne de la première ligne, nous avons les valeurs $3,82630 > 1,96$; $8,20375 > 1,96$; $13,5568 > 1,96$ montrent que les paramètres sont significatifs ce qui expliquent que l'humidité, la précipitation et la température ont une influence sur EV (-1). En revanche EV (-2), ne sont pas significatifs car $0,14734 < 1,96$ alors l'humidité HU ne cause pas l'EV (-2). Les interprétations des autres chiffres dans ce même tableau sont les mêmes.

Tableau 7 : Tableau donnant les valeurs statistiques de Student, écart type, les coefficients de VAR et les estimations pour les variables : EV HU PRE TP

Vector Autoregression Estimates				
Date: 09/15/23 Time: 15:02				
Sample (adjusted): 1/27/1979 12/31/2015				
Included observations: 13488 after adjustments				
Standard errors in () & t-statistics in []				
	EV	HU	PRE	TP
EV(-1)	0.629789 (0.00871) [72.3084]	0.225821 (0.05902) [3.82630]	-0.402814 (0.04910) [-8.20375]	0.513487 (0.03788) [13.5568]
EV(-2)	-0.160593 (0.01029) [-15.6114]	-0.010270 (0.06971) [-0.14734]	0.172344 (0.05799) [2.97183]	0.182345 (0.04474) [4.07606]
EV(-3)	0.056596 (0.01039) [5.44542]	0.117199 (0.07043) [1.66412]	-0.113581 (0.05859) [-1.93848]	0.113526 (0.04520) [2.51171]
EV(-4)	0.003754 (0.01040) [0.36086]	0.162612 (0.07049) [2.30675]	0.077089 (0.05865) [1.31442]	0.038452 (0.04524) [0.84991]
EV(-5)	0.005665 (0.01040) [0.54450]	-0.092553 (0.07050) [-1.31278]	-0.053600 (0.05866) [-0.91382]	-0.040341 (0.04525) [-0.89158]
EV(-6)	0.001070 (0.01040) [0.10284]	0.083493 (0.07050) [1.18433]	0.084958 (0.05865) [1.44850]	0.107592 (0.04524) [2.37803]
EV(-7)	0.008141 (0.01041) [0.78237]	-0.098519 (0.07051) [-1.39722]	0.031833 (0.05866) [0.54265]	-0.019625 (0.04525) [-0.43368]
EV(-8)	0.006608 (0.01040) [0.63508]	0.069446 (0.07050) [0.98505]	-0.002191 (0.05865) [-0.03736]	0.011841 (0.04525) [0.26171]
EV(-9)	0.000196 (0.01040) [0.01881]	0.013980 (0.07048) [0.19836]	0.004134 (0.05864) [0.07050]	0.106342 (0.04523) [2.35094]
EV(-10)	-0.014595 (0.01040) [-1.40316]	0.124967 (0.07048) [1.77303]	0.031281 (0.05864) [0.53346]	0.033954 (0.04523) [0.75064]
EV(-11)	0.004182 (0.01040) [0.40204]	0.024445 (0.07048) [0.34681]	-0.030858 (0.05864) [-0.52622]	0.024756 (0.04524) [0.54728]
EV(-12)	0.026398	0.035250	0.008452	-0.021772

	(0.01040)	(0.07046)	(0.05862)	(0.04522)
	[2.53869]	[0.50028]	[0.14418]	[-0.48145]
EV(-13)	0.002424	0.005321	0.028859	0.083999
	(0.01040)	(0.07047)	(0.05863)	(0.04523)
	[0.23309]	[0.07550]	[0.49224]	[1.85731]
EV(-14)	-0.001360	0.068832	-0.004760	-0.018444
	(0.01040)	(0.07046)	(0.05862)	(0.04522)
	[-0.13081]	[0.97685]	[-0.08120]	[-0.40786]
EV(-15)	0.012085	-0.004996	0.002078	0.048311
	(0.01039)	(0.07042)	(0.05859)	(0.04520)
	[1.16283]	[-0.07094]	[0.03547]	[1.06892]
EV(-16)	0.015425	0.093023	-0.000474	-0.056238
	(0.01039)	(0.07042)	(0.05858)	(0.04519)
	[1.48429]	[1.32104]	[-0.00809]	[-1.24441]
EV(-17)	0.007397	0.083001	0.092808	0.066875
	(0.01039)	(0.07042)	(0.05859)	(0.04519)
	[0.71177]	[1.17865]	[1.58409]	[1.47971]
EV(-18)	0.008294	0.022596	-0.098639	-0.011060
	(0.01039)	(0.07042)	(0.05859)	(0.04520)
	[0.79805]	[0.32086]	[-1.68354]	[-0.24471]
EV(-19)	0.015681	0.058044	0.076420	-0.013289
	(0.01039)	(0.07041)	(0.05858)	(0.04519)
	[1.50902]	[0.82434]	[1.30452]	[-0.29407]
EV(-20)	-0.001116	0.000646	-0.071718	0.012196
	(0.01039)	(0.07041)	(0.05858)	(0.04519)
	[-0.10739]	[0.00917]	[-1.22431]	[0.26991]
EV(-21)	0.009144	0.003382	0.049571	0.037547
	(0.01039)	(0.07039)	(0.05856)	(0.04517)
	[0.88023]	[0.04805]	[0.84648]	[0.83117]
EV(-22)	-0.008300	-0.018563	0.011437	0.014151
	(0.01038)	(0.07033)	(0.05851)	(0.04514)
	[-0.79968]	[-0.26395]	[0.19547]	[0.31352]
EV(-23)	0.033344	0.103841	-0.047517	0.057149
	(0.01037)	(0.07030)	(0.05849)	(0.04512)
	[3.21394]	[1.47709]	[-0.81242]	[1.26665]
EV(-24)	0.002105	0.046187	0.053727	0.019591
	(0.01036)	(0.07020)	(0.05840)	(0.04505)
	[0.20321]	[0.65798]	[0.91997]	[0.43487]
EV(-25)	0.024605	-0.153436	-0.063955	0.029225
	(0.01027)	(0.06958)	(0.05789)	(0.04466)
	[2.39616]	[-2.20518]	[-1.10479]	[0.65445]
EV(-26)	0.011098	0.217845	0.037444	0.000194
	(0.00865)	(0.05863)	(0.04878)	(0.03763)
	[1.28265]	[3.71555]	[0.76763]	[0.00515]

HU(-1)	-0.000667 (0.00129) [-0.51761]	0.871366 (0.00873) [99.7859]	0.076764 (0.00727) [10.5662]	0.082156 (0.00560) [14.6595]
HU(-2)	-0.000610 (0.00171) [-0.35751]	-0.284013 (0.01156) [-24.5790]	0.008437 (0.00961) [0.87758]	-0.051352 (0.00742) [-6.92464]
HU(-3)	0.002277 (0.00174) [1.30505]	0.109261 (0.01182) [9.24116]	-0.009319 (0.00984) [-0.94742]	0.006046 (0.00759) [0.79673]
HU(-4)	-0.000363 (0.00175) [-0.20745]	-0.024004 (0.01186) [-2.02367]	0.000108 (0.00987) [0.01095]	-0.004826 (0.00761) [-0.63397]
HU(-5)	0.001059 (0.00175) [0.60482]	0.035030 (0.01186) [2.95301]	0.012975 (0.00987) [1.31471]	0.005011 (0.00761) [0.65819]
HU(-6)	-0.000761 (0.00175) [-0.43451]	0.008115 (0.01187) [0.68376]	-0.003207 (0.00987) [-0.32479]	0.004806 (0.00762) [0.63095]
HU(-7)	-0.001102 (0.00175) [-0.62903]	-0.022199 (0.01187) [-1.87064]	0.001496 (0.00987) [0.15156]	-0.010911 (0.00762) [-1.43259]
HU(-8)	0.000367 (0.00175) [0.20955]	0.017956 (0.01187) [1.51300]	-0.008885 (0.00987) [-0.89988]	0.013393 (0.00762) [1.75836]
HU(-9)	0.001032 (0.00175) [0.58917]	-0.002882 (0.01187) [-0.24287]	0.014226 (0.00987) [1.44086]	-0.017827 (0.00762) [-2.34060]
HU(-10)	0.000485 (0.00175) [0.27677]	0.001236 (0.01187) [0.10414]	-0.007155 (0.00987) [-0.72458]	0.009105 (0.00762) [1.19529]
HU(-11)	0.001058 (0.00175) [0.60438]	0.008455 (0.01187) [0.71251]	0.006095 (0.00987) [0.61740]	0.005899 (0.00762) [0.77453]
HU(-12)	-0.000614 (0.00175) [-0.35053]	0.025288 (0.01187) [2.13095]	0.006014 (0.00987) [0.60915]	0.004483 (0.00762) [0.58862]
HU(-13)	0.001928 (0.00175) [1.10088]	-0.012098 (0.01187) [-1.01936]	-0.010535 (0.00987) [-1.06694]	-0.017948 (0.00762) [-2.35633]
HU(-14)	-0.000440 (0.00175) [-0.25125]	0.004263 (0.01187) [0.35902]	0.009430 (0.00988) [0.95458]	0.009477 (0.00762) [1.24361]

HU(-15)	0.000158	-0.006532	0.000601	-0.009456
	(0.00175)	(0.01187)	(0.00988)	(0.00762)
	[0.09036]	[-0.55020]	[0.06086]	[-1.24096]
HU(-16)	0.000560	0.013320	0.001418	0.002951
	(0.00175)	(0.01187)	(0.00988)	(0.00762)
	[0.31952]	[1.12198]	[0.14354]	[0.38725]
HU(-17)	-0.002364	-0.013356	-0.006009	-0.010316
	(0.00175)	(0.01187)	(0.00988)	(0.00762)
	[-1.34949]	[-1.12518]	[-0.60851]	[-1.35415]
HU(-18)	0.004157	0.025480	0.006838	0.009768
	(0.00175)	(0.01187)	(0.00988)	(0.00762)
	[2.37289]	[2.14643]	[0.69234]	[1.28215]
HU(-19)	-0.002483	-0.002453	0.001129	-0.007158
	(0.00175)	(0.01187)	(0.00988)	(0.00762)
	[-1.41688]	[-0.20659]	[0.11430]	[-0.93930]
HU(-20)	0.002364	0.000572	-0.007144	0.003846
	(0.00175)	(0.01187)	(0.00988)	(0.00762)
	[1.34964]	[0.04815]	[-0.72344]	[0.50492]
HU(-21)	-0.000532	0.001123	0.000392	-0.001499
	(0.00175)	(0.01187)	(0.00987)	(0.00762)
	[-0.30365]	[0.09465]	[0.03967]	[-0.19680]
HU(-22)	0.000117	0.008709	0.003357	0.004100
	(0.00175)	(0.01186)	(0.00987)	(0.00761)
	[0.06712]	[0.73421]	[0.34018]	[0.53861]
HU(-23)	-0.000308	-0.000581	-0.003874	-0.007314
	(0.00175)	(0.01186)	(0.00987)	(0.00761)
	[-0.17596]	[-0.04903]	[-0.39266]	[-0.96116]
HU(-24)	0.001611	0.022008	0.001332	0.015508
	(0.00174)	(0.01182)	(0.00983)	(0.00759)
	[0.92367]	[1.86208]	[0.13548]	[2.04446]
HU(-25)	0.000259	-0.005472	0.008845	-0.002204
	(0.00171)	(0.01157)	(0.00962)	(0.00742)
	[0.15201]	[-0.47305]	[0.91911]	[-0.29690]
HU(-26)	-0.000393	0.005480	-0.009304	-0.005667
	(0.00131)	(0.00885)	(0.00736)	(0.00568)
	[-0.30117]	[0.61928]	[-1.26387]	[-0.99789]
PRE(-1)	-0.016980	0.031615	0.341618	-0.022032
	(0.00155)	(0.01048)	(0.00872)	(0.00672)
	[-10.9818]	[3.01755]	[39.1914]	[-3.27657]
PRE(-2)	0.003825	-0.011033	0.022037	0.018081
	(0.00164)	(0.01109)	(0.00923)	(0.00712)
	[2.33704]	[-0.99483]	[2.38839]	[2.54042]
PRE(-3)	0.000162	0.024787	0.041408	0.005823

	(0.00164)	(0.01110)	(0.00923)	(0.00712)
	[0.09863]	[2.23360]	[4.48502]	[0.81767]
PRE(-4)	0.002072	-0.011744	0.002334	-0.001998
	(0.00164)	(0.01111)	(0.00924)	(0.00713)
	[1.26432]	[-1.05737]	[0.25254]	[-0.28033]
PRE(-5)	0.000682	0.003019	0.029275	-0.008172
	(0.00164)	(0.01110)	(0.00924)	(0.00712)
	[0.41613]	[0.27199]	[3.16970]	[-1.14701]
PRE(-6)	0.002617	-0.007798	-0.002872	0.005087
	(0.00164)	(0.01110)	(0.00924)	(0.00713)
	[1.59690]	[-0.70229]	[-0.31095]	[0.71380]
PRE(-7)	0.000508	0.027505	0.067898	-0.004138
	(0.00164)	(0.01110)	(0.00924)	(0.00713)
	[0.30980]	[2.47712]	[7.34987]	[-0.58067]
PRE(-8)	0.002075	0.007028	0.016394	-0.005596
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)
	[1.26377]	[0.63167]	[1.77122]	[-0.78369]
PRE(-9)	0.000324	0.008317	-0.034180	0.001181
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)
	[0.19707]	[0.74754]	[-3.69250]	[0.16546]
PRE(-10)	-0.000366	-0.001424	0.018693	-0.000351
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)
	[-0.22293]	[-0.12795]	[2.01892]	[-0.04912]
PRE(-11)	0.002676	0.017343	0.003071	0.008572
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00715)
	[1.62888]	[1.55783]	[0.33151]	[1.19971]
PRE(-12)	0.001028	0.011460	0.013689	0.004322
	(0.00164)	(0.01114)	(0.00926)	(0.00715)
	[0.62556]	[1.02918]	[1.47767]	[0.60483]
PRE(-13)	-0.000665	0.003763	0.011802	-0.000348
	(0.00164)	(0.01114)	(0.00926)	(0.00715)
	[-0.40488]	[0.33792]	[1.27388]	[-0.04871]
PRE(-14)	0.001815	0.004329	-0.000746	0.014345
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)
	[1.10485]	[0.38896]	[-0.08054]	[2.00821]
PRE(-15)	-0.000191	0.018786	0.002086	-0.001037
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)
	[-0.11610]	[1.68782]	[0.22525]	[-0.14524]
PRE(-16)	0.002664	0.021730	0.002108	0.003504
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)
	[1.62199]	[1.95224]	[0.22768]	[0.49056]
PRE(-17)	-0.000554	-0.003123	0.014257	-0.004411
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)

	[-0.33755]	[-0.28059]	[1.53953]	[-0.61753]
PRE(-18)	-1.09E-05	0.017512	-0.003570	0.007167
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)
	[-0.00667]	[1.57407]	[-0.38564]	[1.00369]
PRE(-19)	-0.000418	-0.009555	0.020766	0.001989
	(0.00164)	(0.01113)	(0.00926)	(0.00714)
	[-0.25430]	[-0.85880]	[2.24346]	[0.27854]
PRE(-20)	0.001252	0.008049	-0.002664	0.001770
	(0.00164)	(0.01111)	(0.00924)	(0.00713)
	[0.76367]	[0.72476]	[-0.28828]	[0.24836]
PRE(-21)	-0.001966	7.04E-05	0.001090	-0.004218
	(0.00164)	(0.01111)	(0.00924)	(0.00713)
	[-1.19967]	[0.00634]	[0.11800]	[-0.59177]
PRE(-22)	0.003526	0.012223	0.027443	-0.012858
	(0.00164)	(0.01110)	(0.00923)	(0.00712)
	[2.15247]	[1.10120]	[2.97179]	[-1.80501]
PRE(-23)	0.000306	-0.010717	-0.001620	-0.002773
	(0.00164)	(0.01111)	(0.00924)	(0.00713)
	[0.18666]	[-0.96501]	[-0.17535]	[-0.38908]
PRE(-24)	0.000854	-0.002575	0.011720	0.004141
	(0.00164)	(0.01109)	(0.00923)	(0.00712)
	[0.52168]	[-0.23213]	[1.26993]	[0.58169]
PRE(-25)	-4.46E-05	-0.002033	-0.001443	-0.003447
	(0.00164)	(0.01109)	(0.00922)	(0.00711)
	[-0.02727]	[-0.18338]	[-0.15645]	[-0.48455]
PRE(-26)	-0.001293	0.017382	0.021782	0.012154
	(0.00154)	(0.01044)	(0.00869)	(0.00670)
	[-0.83949]	[1.66487]	[2.50769]	[1.81383]
TP(-1)	0.013496	0.042328	-0.000267	0.535952
	(0.00201)	(0.01364)	(0.01135)	(0.00875)
	[6.70615]	[3.10406]	[-0.02355]	[61.2401]
TP(-2)	0.000229	-0.021470	0.023023	0.039142
	(0.00228)	(0.01544)	(0.01285)	(0.00991)
	[0.10058]	[-1.39009]	[1.79174]	[3.94885]
TP(-3)	-0.002040	0.002913	0.008122	0.013977
	(0.00228)	(0.01545)	(0.01286)	(0.00992)
	[-0.89429]	[0.18852]	[0.63173]	[1.40919]
TP(-4)	0.001451	0.008882	-0.003129	0.045370
	(0.00228)	(0.01545)	(0.01286)	(0.00992)
	[0.63645]	[0.57479]	[-0.24341]	[4.57486]
TP(-5)	0.001812	0.006228	-0.013778	0.026619
	(0.00228)	(0.01546)	(0.01286)	(0.00992)
	[0.79386]	[0.40275]	[-1.07097]	[2.68232]

TP(-6)	0.000939 (0.00228) [0.41151]	0.006447 (0.01546) [0.41686]	-0.006329 (0.01287) [-0.49193]	0.027163 (0.00993) [2.73682]
TP(-7)	0.001363 (0.00228) [0.59721]	0.018395 (0.01547) [1.18936]	0.003387 (0.01287) [0.26320]	0.039976 (0.00993) [4.02736]
TP(-8)	-0.000830 (0.00228) [-0.36345]	-0.008337 (0.01547) [-0.53877]	-0.004993 (0.01287) [-0.38783]	0.008540 (0.00993) [0.85992]
TP(-9)	0.000820 (0.00228) [0.35900]	0.026412 (0.01547) [1.70692]	-0.004076 (0.01287) [-0.31661]	0.022937 (0.00993) [2.30974]
TP(-10)	-0.000391 (0.00228) [-0.17119]	-0.009722 (0.01547) [-0.62833]	0.009102 (0.01287) [0.70704]	0.008479 (0.00993) [0.85380]
TP(-11)	-0.000157 (0.00228) [-0.06881]	0.024291 (0.01547) [1.57010]	-0.007303 (0.01287) [-0.56738]	0.022780 (0.00993) [2.29434]
TP(-12)	-0.002825 (0.00228) [-1.23700]	0.019106 (0.01547) [1.23486]	0.015694 (0.01287) [1.21917]	7.86E-05 (0.00993) [0.00791]
TP(-13)	0.000905 (0.00228) [0.39647]	0.005064 (0.01547) [0.32737]	-0.026416 (0.01287) [-2.05260]	0.045260 (0.00993) [4.55898]
TP(-14)	-0.003060 (0.00228) [-1.34040]	-0.026160 (0.01547) [-1.69119]	0.001089 (0.01287) [0.08463]	0.008122 (0.00993) [0.81817]
TPJ(-15)	-0.002695 (0.00228) [-1.18053]	0.007383 (0.01547) [0.47723]	-0.005894 (0.01287) [-0.45794]	0.017713 (0.00993) [1.78405]
TP(-16)	0.003609 (0.00228) [1.58111]	-0.015661 (0.01547) [-1.01245]	-0.001434 (0.01287) [-0.11145]	0.014435 (0.00993) [1.45405]
TP(-17)	-0.002775 (0.00228) [-1.21556]	0.010977 (0.01547) [0.70966]	0.025277 (0.01287) [1.96417]	0.021928 (0.00993) [2.20891]
TPJ(-18)	-0.002506 (0.00228) [-1.09782]	-0.015129 (0.01547) [-0.97819]	-0.002990 (0.01287) [-0.23235]	-0.004769 (0.00993) [-0.48050]
TP(-19)	-0.002569 (0.00228) [-1.12561]	0.014856 (0.01546) [0.96064]	0.002613 (0.01287) [0.20307]	0.008674 (0.00992) [0.87401]

TP(-20)	-0.002464	-0.020457	-0.015401	0.019720
	(0.00228)	(0.01545)	(0.01285)	(0.00992)
	[-1.08060]	[-1.32401]	[-1.19809]	[1.98871]
TP(-21)	-0.002754	0.003677	0.019663	-0.005953
	(0.00228)	(0.01545)	(0.01285)	(0.00992)
	[-1.20795]	[0.23801]	[1.52976]	[-0.60039]
TP(-22)	-0.001107	-0.005436	0.003146	-0.005126
	(0.00228)	(0.01544)	(0.01285)	(0.00991)
	[-0.48590]	[-0.35198]	[0.24486]	[-0.51717]
TPJ(-23)	-0.002743	0.005335	-0.004462	0.020868
	(0.00228)	(0.01543)	(0.01284)	(0.00990)
	[-1.20453]	[0.34573]	[-0.34756]	[2.10715]
TP(-24)	-5.24E-05	-0.003244	0.001244	-0.023810
	(0.00228)	(0.01543)	(0.01284)	(0.00990)
	[-0.02302]	[-0.21017]	[0.09692]	[-2.40396]
TP(-25)	-0.003299	0.000254	-0.010926	0.028404
	(0.00227)	(0.01541)	(0.01282)	(0.00989)
	[-1.45077]	[0.01648]	[-0.85234]	[2.87241]
TP(-26)	-0.002221	0.006010	0.007016	0.017617
	(0.00199)	(0.01351)	(0.01124)	(0.00867)
	[-1.11352]	[0.44473]	[0.62398]	[2.03118]
C	0.850956	-3.639348	-0.283829	-1.845178
	(0.04961)	(0.33614)	(0.27965)	(0.21573)
	[17.1542]	[-10.8270]	[-1.01492]	[-8.55333]
R-squared	0.414689	0.723737	0.305792	0.880459
Adj. R-squared	0.410140	0.721590	0.300397	0.879530
Sum sq. resids	280.9542	12900.13	8929.110	5313.371
S.E. equation	0.144891	0.981794	0.816822	0.630098
F-statistic	91.17072	337.1150	56.68353	947.7891
Log likelihood	6969.836	-18838.11	-16356.85	-12856.11
Akaike AIC	-1.017918	2.808883	2.440963	1.921872
Schwarz SC	-0.959458	2.867343	2.499422	1.980332
Mean dependent	2.132557	4.444881	0.402614	24.21604
S.D. dependent	0.188654	1.860707	0.976566	1.815385
Determinant resid covariance (dof adj.)		0.005151		
Determinant resid covariance		0.004992		
Log likelihood		-40812.20		
Akaike information criterion		6.113909		
Schwarz criterion		6.347748		
Number of coefficients		420		

4-2. Équations d'une variable endogène en fonction des variables exogènes

4-2-1. Variable précipitation en fonction des variables exogènes

Les *Équations* de chaque variable endogène en fonction des variables exogènes sont données par les équations suivantes dont les coefficients varient de C (1,1) au C (1,105). Nous avons 105 coefficients pour chaque variable.

=====

$$\begin{aligned} \text{PRE} = & C(1,1)*\text{PRE}(-1) + C(1,2)*\text{PRE}(-2) + C(1,3)*\text{PRE}(-3) + C(1,4)*\text{PRE}(-4) + C(1,5)*\text{PRE}(-5) + C(1,6)*\text{PRE}(-6) + \\ & C(1,7)*\text{PRE}(-7) + C(1,8)*\text{PRE}(-8) + C(1,9)*\text{PRE}(-9) + C(1,10)*\text{PRE}(-10) + C(1,11)*\text{PRE}(-11) + C(1,12)*\text{PRE}(-12) + \\ & C(1,13)*\text{PRE}(-13) + C(1,14)*\text{PRE}(-14) + C(1,15)*\text{PRE}(-15) + C(1,16)*\text{PRE}(-16) + C(1,17)*\text{PRE}(-17) + C(1,18)*\text{PRE}(-18) + \\ & C(1,19)*\text{PRE}(-19) + C(1,20)*\text{PRE}(-20) + C(1,21)*\text{PRE}(-21) + C(1,22)*\text{PRE}(-22) + C(1,23)*\text{PRE}(-23) + \\ & C(1,24)*\text{PRE}(-24) + C(1,25)*\text{PRE}(-25) + C(1,26)*\text{PRE}(-26) + C(1,27)*\text{EV}(-1) + C(1,28)*\text{EV}(-2) + C(1,29)*\text{EV}(-3) + \\ & C(1,30)*\text{EV}(-4) + C(1,31)*\text{EV}(-5) + C(1,32)*\text{EV}(-6) + C(1,33)*\text{EV}(-7) + C(1,34)*\text{EV}(-8) + C(1,35)*\text{EV}(-9) + \\ & C(1,36)*\text{EV}(-10) + C(1,37)*\text{EV}(-11) + C(1,38)*\text{EV}(-12) + C(1,39)*\text{EV}(-13) + C(1,40)*\text{EV}(-14) + C(1,41)*\text{EV}(-15) + \\ & C(1,42)*\text{EV}(-16) + C(1,43)*\text{EV}(-17) + C(1,44)*\text{EV}(-18) + C(1,45)*\text{EV}(-19) + C(1,46)*\text{EV}(-20) + C(1,47)*\text{EV}(-21) + \\ & C(1,48)*\text{EV}(-22) + C(1,49)*\text{EV}(-23) + C(1,50)*\text{EV}(-24) + C(1,51)*\text{EV}(-25) + C(1,52)*\text{EV}(-26) + C(1,53)*\text{HU}(-1) + \\ & C(1,54)*\text{HU}(-2) + C(1,55)*\text{HU}(-3) + C(1,56)*\text{HU}(-4) + C(1,57)*\text{HU}(-5) + C(1,58)*\text{HU}(-6) + C(1,59)*\text{HU}(-7) + \\ & C(1,60)*\text{HU}(-8) + C(1,61)*\text{HU}(-9) + C(1,62)*\text{HU}(-10) + C(1,63)*\text{HU}(-11) + C(1,64)*\text{HU}(-12) + C(1,65)*\text{HU}(-13) + \\ & C(1,66)*\text{HU}(-14) + C(1,67)*\text{HU}(-15) + C(1,68)*\text{HU}(-16) + C(1,69)*\text{HU}(-17) + C(1,70)*\text{HU}(-18) + C(1,71)*\text{HU}(-19) + \\ & C(1,72)*\text{HU}(-20) + C(1,73)*\text{HU}(-21) + C(1,74)*\text{HU}(-22) + C(1,75)*\text{HU}(-23) + C(1,76)*\text{HU}(-24) + C(1,77)*\text{HU}(-25) + \\ & C(1,78)*\text{HU}(-26) + C(1,79)*\text{TP}(-1) + C(1,80)*\text{TP}(-2) + C(1,81)*\text{TP}(-3) + C(1,82)*\text{TP}(-4) + C(1,83)*\text{TP}(-5) + \\ & C(1,84)*\text{TP}(-6) + C(1,85)*\text{TP}(-7) + C(1,86)*\text{TP}(-8) + C(1,87)*\text{TP}(-9) + C(1,88)*\text{TP}(-10) + C(1,89)*\text{TP}(-11) + \\ & C(1,90)*\text{TP}(-12) + C(1,91)*\text{TP}(-13) + C(1,92)*\text{TP}(-14) + C(1,93)*\text{TP}(-15) + C(1,94)*\text{TP}(-16) + C(1,95)*\text{TP}(-17) + \\ & C(1,96)*\text{TP}(-18) + C(1,97)*\text{TP}(-19) + C(1,98)*\text{TP}(-20) + C(1,99)*\text{TP}(-21) + C(1,100)*\text{TP}(-22) + C(1,101)*\text{TP}(-23) + \\ & C(1,102)*\text{TP}(-24) + C(1,103)*\text{TP}(-25) + C(1,104)*\text{TP}(-26) + C(1,105). \end{aligned}$$

4-2-2. Équation de l'évaporation en fonction des autres variables exogènes dont les coefficients varient de C (2,1) au C (2,105)

$$\begin{aligned} \text{EV} = & C(2,1)*\text{PRE}(-1) + C(2,2)*\text{PRE}(-2) + C(2,3)*\text{PRE}(-3) + C(2,4)*\text{PRE}(-4) + C(2,5)*\text{PRE}(-5) + C(2,6)*\text{PRE}(-6) + \\ & C(2,7)*\text{PRE}(-7) + C(2,8)*\text{PRE}(-8) + C(2,9)*\text{PRE}(-9) + C(2,10)*\text{PRE}(-10) + C(2,11)*\text{PRE}(-11) + C(2,12)*\text{PRE}(-12) + \\ & C(2,13)*\text{PRE}(-13) + C(2,14)*\text{PRE}(-14) + C(2,15)*\text{PRE}(-15) + C(2,16)*\text{PRE}(-16) + C(2,17)*\text{PRE}(-17) + C(2,18)*\text{PRE}(-18) + \\ & C(2,19)*\text{PRE}(-19) + C(2,20)*\text{PRE}(-20) + C(2,21)*\text{PRE}(-21) + C(2,22)*\text{PRE}(-22) + C(2,23)*\text{PRE}(-23) + \\ & C(2,24)*\text{PRE}(-24) + C(2,25)*\text{PRE}(-25) + C(2,26)*\text{PRE}(-26) + C(2,27)*\text{EV}(-1) + C(2,28)*\text{EV}(-2) + C(2,29)*\text{EV}(-3) + \\ & C(2,30)*\text{EV}(-4) + C(2,31)*\text{EV}(-5) + C(2,32)*\text{EV}(-6) + C(2,33)*\text{EV}(-7) + C(2,34)*\text{EV}(-8) + C(2,35)*\text{EV}(-9) + \\ & C(2,36)*\text{EV}(-10) + C(2,37)*\text{EV}(-11) + C(2,38)*\text{EV}(-12) + C(2,39)*\text{EV}(-13) + C(2,40)*\text{EV}(-14) + C(2,41)*\text{EV}(-15) + \\ & C(2,42)*\text{EV}(-16) + C(2,43)*\text{EV}(-17) + C(2,44)*\text{EV}(-18) + C(2,45)*\text{EV}(-19) + C(2,46)*\text{EV}(-20) + C(2,47)*\text{EV}(-21) + \\ & C(2,48)*\text{EV}(-22) + C(2,49)*\text{EV}(-23) + C(2,50)*\text{EV}(-24) + C(2,51)*\text{EV}(-25) + C(2,52)*\text{EV}(-26) + C(2,53)*\text{HU}(-1) + \\ & C(2,54)*\text{HU}(-2) + C(2,55)*\text{HU}(-3) + C(2,56)*\text{HU}(-4) + C(2,57)*\text{HU}(-5) + C(2,58)*\text{HU}(-6) + C(2,59)*\text{HU}(-7) + \\ & C(2,60)*\text{HU}(-8) + C(2,61)*\text{HU}(-9) + C(2,62)*\text{HU}(-10) + C(2,63)*\text{HU}(-11) + C(2,64)*\text{HU}(-12) + C(2,65)*\text{HU}(-13) + \\ & C(2,66)*\text{HU}(-14) + C(2,67)*\text{HU}(-15) + C(2,68)*\text{HU}(-16) + C(2,69)*\text{HU}(-17) + C(2,70)*\text{HU}(-18) + C(2,71)*\text{HU}(-19) + \\ & C(2,72)*\text{HU}(-20) + C(2,73)*\text{HU}(-21) + C(2,74)*\text{HU}(-22) + C(2,75)*\text{HU}(-23) + C(2,76)*\text{HU}(-24) + C(2,77)*\text{HU}(-25) + \\ & C(2,78)*\text{HU}(-26) + C(2,79)*\text{TP}(-1) + C(2,80)*\text{TP}(-2) + C(2,81)*\text{TP}(-3) + C(2,82)*\text{TP}(-4) + C(2,83)*\text{TP}(-5) + \\ & C(2,84)*\text{TP}(-6) + C(2,85)*\text{TP}(-7) + C(2,86)*\text{TP}(-8) + C(2,87)*\text{TP}(-9) + C(2,88)*\text{TP}(-10) + C(2,89)*\text{TP}(-11) + \\ & C(2,90)*\text{TP}(-12) + C(2,91)*\text{TP}(-13) + C(2,92)*\text{TP}(-14) + C(2,93)*\text{TP}(-15) + C(2,94)*\text{TP}(-16) + C(2,95)*\text{TP}(-17) + \\ & C(2,96)*\text{TP}(-18) + C(2,97)*\text{TP}(-19) + C(2,98)*\text{TP}(-20) + C(2,99)*\text{TP}(-21) + C(2,100)*\text{TP}(-22) + C(2,101)*\text{TP}(-23) + \\ & C(2,102)*\text{TP}(-24) + C(2,103)*\text{TP}(-25) + C(2,104)*\text{TP}(-26) + C(2,105). \end{aligned}$$

4-2-3. Coefficients des variables Humidité spécifique en fonction des variables exogènes variant de C(2,1) au C(2,105)

$$\begin{aligned} HU = & C(3,1)*PRE(-1) + C(3,2)*PRE(-2) + C(3,3)*PRE(-3) + C(3,4)*PRE(-4) + C(3,5)*PRE(-5) + C(3,6)*PRE(-6) + \\ & C(3,7)*PRE(-7) + C(3,8)*PRE(-8) + C(3,9)*PRE(-9) + C(3,10)*PRE(-10) + C(3,11)*PRE(-11) + C(3,12)*PRE(-12) + \\ & C(3,13)*PRE(-13) + C(3,14)*PRE(-14) + C(3,15)*PRE(-15) + C(3,16)*PRE(-16) + C(3,17)*PRE(-17) + C(3,18)*PRE(-18) + \\ & C(3,19)*PRE(-19) + C(3,20)*PRE(-20) + C(3,21)*PRE(-21) + C(3,22)*PRE(-22) + C(3,23)*PRE(-23) + \\ & C(3,24)*PRE(-24) + C(3,25)*PRE(-25) + C(3,26)*PRE(-26) + C(3,27)*EV(-1) + C(3,28)*EV(-2) + C(3,29)*EV(-3) + \\ & C(3,30)*EV(-4) + C(3,31)*EV(-5) + C(3,32)*EV(-6) + C(3,33)*EV(-7) + C(3,34)*EV(-8) + C(3,35)*EV(-9) + \\ & C(3,36)*EV(-10) + C(3,37)*EV(-11) + C(3,38)*EV(-12) + C(3,39)*EV(-13) + C(3,40)*EV(-14) + C(3,41)*EV(-15) + \\ & C(3,42)*EV(-16) + C(3,43)*EV(-17) + C(3,44)*EV(-18) + C(3,45)*EV(-19) + C(3,46)*EV(-20) + C(3,47)*EV(-21) + \\ & C(3,48)*EV(-22) + C(3,49)*EV(-23) + C(3,50)*EV(-24) + C(3,51)*EV(-25) + C(3,52)*EV(-26) + C(3,53)*HU(-1) + \\ & C(3,54)*HU(-2) + C(3,55)*HU(-3) + C(3,56)*HU(-4) + C(3,57)*HU(-5) + C(3,58)*HU(-6) + C(3,59)*HU(-7) + \\ & C(3,60)*HU(-8) + C(3,61)*HU(-9) + C(3,62)*HU(-10) + C(3,63)*HU(-11) + C(3,64)*HU(-12) + C(3,65)*HU(-13) + \\ & C(3,66)*HU(-14) + C(3,67)*HU(-15) + C(3,68)*HU(-16) + C(3,69)*HU(-17) + C(3,70)*HU(-18) + C(3,71)*HU(-19) + \\ & C(3,72)*HU(-20) + C(3,73)*HU(-21) + C(3,74)*HU(-22) + C(3,75)*HU(-23) + C(3,76)*HU(-24) + C(3,77)*HU(-25) + \\ & C(3,78)*HU(-26) + C(3,79)*TP(-1) + C(3,80)*TP(-2) + C(3,81)*TP(-3) + C(3,82)*TP(-4) + C(3,83)*TP(-5) + \\ & C(3,84)*TP(-6) + C(3,85)*TP(-7) + C(3,86)*TP(-8) + C(3,87)*TP(-9) + C(3,88)*TP(-10) + C(3,89)*TP(-11) + \\ & C(3,90)*TP(-12) + C(3,91)*TP(-13) + C(3,92)*TP(-14) + C(3,93)*TP(-15) + C(3,94)*TP(-16) + C(3,95)*TP(-17) + \\ & C(3,96)*TP(-18) + C(3,97)*TP(-19) + C(3,98)*TP(-20) + C(3,99)*TP(-21) + C(3,100)*TP(-22) + C(3,101)*TP(-23) + \\ & C(3,102)*TP(-24) + C(3,103)*TP(-25) + C(3,104)*TP(-26) + C(3,105). \end{aligned}$$

4-2-4. Coefficients de la variable température, variant de C(4,1) au C(4,105)

$$\begin{aligned} TP = & C(4,1)*PRE(-1) + C(4,2)*PRE(-2) + C(4,3)*PRE(-3) + C(4,4)*PRE(-4) + C(4,5)*PRE(-5) + C(4,6)*PRE(-6) + \\ & C(4,7)*PRE(-7) + C(4,8)*PRE(-8) + C(4,9)*PRE(-9) + C(4,10)*PRE(-10) + C(4,11)*PRE(-11) + C(4,12)*PRE(-12) + \\ & C(4,13)*PRE(-13) + C(4,14)*PRE(-14) + C(4,15)*PRE(-15) + C(4,16)*PRE(-16) + C(4,17)*PRE(-17) + C(4,18)*PRE(-18) + \\ & C(4,19)*PRE(-19) + C(4,20)*PRE(-20) + C(4,21)*PRE(-21) + C(4,22)*PRE(-22) + C(4,23)*PRE(-23) + \\ & C(4,24)*PRE(-24) + C(4,25)*PRE(-25) + C(4,26)*PRE(-26) + C(4,27)*EV(-1) + C(4,28)*EV(-2) + C(4,29)*EV(-3) + \\ & C(4,30)*EV(-4) + C(4,31)*EV(-5) + C(4,32)*EV(-6) + C(4,33)*EV(-7) + C(4,34)*EV(-8) + C(4,35)*EV(-9) + \\ & C(4,36)*EV(-10) + C(4,37)*EV(-11) + C(4,38)*EV(-12) + C(4,39)*EV(-13) + C(4,40)*EV(-14) + C(4,41)*EV(-15) + \\ & C(4,42)*EV(-16) + C(4,43)*EV(-17) + C(4,44)*EV(-18) + C(4,45)*EV(-19) + C(4,46)*EV(-20) + C(4,47)*EV(-21) + \\ & C(4,48)*EV(-22) + C(4,49)*EV(-23) + C(4,50)*EV(-24) + C(4,51)*EV(-25) + C(4,52)*EV(-26) + C(4,53)*HU(-1) + \\ & C(4,54)*HU(-2) + C(4,55)*HU(-3) + C(4,56)*HU(-4) + C(4,57)*HU(-5) + C(4,58)*HU(-6) + C(4,59)*HU(-7) + \\ & C(4,60)*HU(-8) + C(4,61)*HU(-9) + C(4,62)*HU(-10) + C(4,63)*HU(-11) + C(4,64)*HU(-12) + C(4,65)*HU(-13) + \\ & C(4,66)*HU(-14) + C(4,67)*HU(-15) + C(4,68)*HU(-16) + C(4,69)*HU(-17) + C(4,70)*HU(-18) + C(4,71)*HU(-19) + \\ & C(4,72)*HU(-20) + C(4,73)*HU(-21) + C(4,74)*HU(-22) + C(4,75)*HU(-23) + C(4,76)*HU(-24) + C(4,77)*HU(-25) + \\ & C(4,78)*HU(-26) + C(4,79)*TP(-1) + C(4,80)*TP(-2) + C(4,81)*TP(-3) + C(4,82)*TP(-4) + C(4,83)*TP(-5) + \\ & C(4,84)*TP(-6) + C(4,85)*TP(-7) + C(4,86)*TP(-8) + C(4,87)*TP(-9) + C(4,88)*TP(-10) + C(4,89)*TP(-11) + \\ & C(4,90)*TP(-12) + C(4,91)*TP(-13) + C(4,92)*TP(-14) + C(4,93)*TP(-15) + C(4,94)*TP(-16) + C(4,95)*TP(-17) + \\ & C(4,96)*TP(-18) + C(4,97)*TP(-19) + C(4,98)*TP(-20) + C(4,99)*TP(-21) + C(4,100)*TP(-22) + C(4,101)*TP(-23) + \\ & C(4,102)*TP(-24) + C(4,103)*TP(-25) + C(4,104)*TP(-26) + C(4,105). \end{aligned}$$

4-3. Modèle VAR après substitutions des coefficients

4-3-1. Variable Précipitation

Les valeurs numériques des coefficients pour chaque variable sont données par les équations ci-dessous et vérifiant le **Tableau 7** conditionnées par l'hypothèse H0 et H1 précédente. Prenons la valeur de la PRE = 0,341618372867 qui marque le premier coefficient de la variable précipitation PRE, ce nombre est marqué également sur le **Tableau 7** précédent mais limité six chiffres après virgule, alors d'après le **Tableau 7** nous avons 0,341618.

$$\begin{aligned} &===== \\ PRE = & 0.341618372867*PRE(-1) + 0.0220367566467*PRE(-2) + 0.0414078527616*PRE(-3) + 0.00233357004156*PRE \\ &(-4) + 0.029275418977*PRE(-5) - 0.00287249861953*PRE(-6) + 0.0678979615915*PRE(-7) + 0.0163941790822*PRE(- \\ &8) - 0.0341798938301*PRE(-9) + 0.018693282184*PRE(-10) + 0.0030705523642*PRE(-11) + 0.0136893779761*PRE(- \\ &12) + 0.0118021886597*PRE(-13) - 0.000745789116733*PRE(-14) + 0.00208578537978*PRE(-15) + \\ &0.00210843752512*PRE(-16) + 0.0142566784075*PRE(-17) - 0.00356951215279*PRE(-18) + 0.0207656593908*PRE(- \\ &19) - 0.00266372995015*PRE(-20) + 0.00109027927011*PRE(-21) + 0.0274431733606*PRE(-22) - \\ &0.00162023482062*PRE(-23) + 0.0117204589738*PRE(-24) - 0.0014429472428*PRE(-25) + 0.0217822670382*PRE(-26) \\ &- 0.402813735967*EV(-1) + 0.172343567016*EV(-2) - 0.113580662384*EV(-3) + 0.0770889596108*EV(-4) - \\ &0.0536000157712*EV(-5) + 0.0849579248699*EV(-6) + 0.0318334201981*EV(-7) - 0.0021910322626*EV(-8) + \\ &0.00413415306046*EV(-9) + 0.0312811734443*EV(-10) - 0.0308582255719*EV(-11) + 0.00845180869346*EV(-12) + \\ &0.0288592859782*EV(-13) - 0.00476002200615*EV(-14) + 0.00207838950759*EV(-15) - 0.000473791617928*EV(-16) + \\ &0.0928082363601*EV(-17) - 0.0986394127827*EV(-18) + 0.0764197609024*EV(-19) - 0.0717175191187*EV(-20) + \\ &0.0495705893828*EV(-21) + 0.0114373137562*EV(-22) - 0.0475174943137*EV(-23) + 0.0537265289056*EV(-24) - \\ &0.0639546906395*EV(-25) + 0.0374440273273*EV(-26) + 0.0767638758978*HU(-1) + 0.00843662467478*HU(-2) - \\ &0.00931937411625*HU(-3) + 0.000108100152346*HU(-4) + 0.0129752942508*HU(-5) - 0.00320677260276*HU(-6) + \\ &0.00149637056482*HU(-7) - 0.00888517733927*HU(-8) + 0.0142260593727*HU(-9) - 0.00715507726146*HU(-10) + \\ &0.00609531245113*HU(-11) + 0.00601412996057*HU(-12) - 0.0105350643292*HU(-13) + 0.0094299840318*HU(-14) \\ &+ 0.00060112620628*HU(-15) + 0.00141777915188*HU(-16) - 0.00600937019482*HU(-17) + \\ &0.00683755635242*HU(-18) + 0.00112907477232*HU(-19) - 0.0071443921979*HU(-20) + 0.000391646220748*HU(- \\ &21) + 0.00335702266723*HU(-22) - 0.00387362667602*HU(-23) + 0.00133224926044*HU(-24) + \\ &0.00884481218959*HU(-25) - 0.0093043378985*HU(-26) - 0.000267137256475*TP(-1) + 0.0230234227681*TP(-2) + \\ &0.00812246710895*TP(-3) - 0.00312928541111*TP(-4) - 0.0137779648074*TP(-5) - 0.00632933351203*TP(-6) + \\ &0.0033867653499*TP(-7) - 0.00499292492852*TP(-8) - 0.00407590237113*TP(-9) + 0.00910191502504*TP(-10) - \\ &0.00730300011574*TP(-11) + 0.0156936835268*TP(-12) - 0.0264162454244*TP(-13) + 0.00108916338768*TP(-14) - \\ &0.00589409972998*TP(-15) - 0.00143424013747*TP(-16) + 0.0252766928558*TP(-17) - 0.00298977938529*TP(-18) + \\ &0.00261264466623*TP(-19) - 0.01540095904*TP(-20) + 0.0196625408593*TP(-21) + 0.00314614994895*TP(-22) - \\ &0.00446203487485*TP(-23) + 0.00124438286223*TP(-24) - 0.0109260982031*TP(-25) + 0.00701583302742*TP(-26) - \\ &0.283828554668. \end{aligned}$$

4-3-2. Variable évaporation

$$\begin{aligned} EV = & - 0.0169799385086*PRE(-1) + 0.00382492584731*PRE(-2) + 0.000161522729042*PRE(-3) + \\ & 0.00207236575475*PRE(-4) + 0.000681758990787*PRE(-5) + 0.00261673060962*PRE(-6) + \\ & 0.000507655544687*PRE(-7) + 0.00207491162175*PRE(-8) + 0.000323579682539*PRE(-9) - \\ & 0.000366144514694*PRE(-10) + 0.00267624967983*PRE(-11) + 0.00102798607914*PRE(-12) - \\ & 0.000665380021962*PRE(-13) + 0.00181477389187*PRE(-14) - 0.000190705553674*PRE(-15) + \\ & 0.00266437608945*PRE(-16) - 0.000554469257199*PRE(-17) - 1.09464803955e-05*PRE(-18) - \\ & 0.000417529296936*PRE(-19) + 0.00125166833583*PRE(-20) - 0.00196625353542*PRE(-21) + \\ & 0.00352588123222*PRE(-22) + 0.000305929252549*PRE(-23) + 0.000854044318009*PRE(-24) - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 4.46069381311e-05*PRE(-25) - 0.00129347802166*PRE(-26) + \mathbf{0.62978857298*EV(-1)-} \\
& \mathbf{0.160592598861*EV(-2)} + \mathbf{0.0565964671655*EV(-3)} + 0.00375415919905*EV(-4) + \\
& 0.0056652591848*EV(-5) + 0.00106992417819*EV(-6) + 0.00814121078979*EV(-7) + \\
& 0.00660750188206*EV(-8) + 0.000195615454728*EV(-9) - 0.0145950622782*EV(-10) + \\
& 0.00418199821074*EV(-11) + 0.0263984410715*EV(-12) + 0.00242410497489*EV(-13) - \\
& 0.00136023020312*EV(-14) + 0.0120850577313*EV(-15) + 0.0154246741625*EV(-16) + \\
& 0.00739704968845*EV(-17) + 0.00829418955568*EV(-18) + 0.0156807115888*EV(-19) - \\
& 0.00111583309528*EV(-20) + 0.00914359089997*EV(-21) - 0.00829982520255*EV(-22) + \\
& 0.0333443731316*EV(-23) + 0.00210515345384*EV(-24) + 0.0246049081596*EV(-25) + \\
& 0.0110982277145*EV(-26) - 0.000667038916336*HU(-1) - 0.000609650608504*HU(-2) + \\
& 0.00227712387336*HU(-3) - 0.000363146124534*HU(-4) + 0.00105883703845*HU(-5) - \\
& 0.000760988660488*HU(-6) - 0.00110163377983*HU(-7) + 0.000367020216531*HU(-8) + \\
& 0.00103184710862*HU(-9) + 0.000484799724741*HU(-10) + 0.00105842138115*HU(-11) - \\
& 0.000613893216646*HU(-12) + 0.00192819818955*HU(-13) - 0.000440265680222*HU(-14) + \\
& 0.000158329260283*HU(-15) + 0.000559820033463*HU(-16) - 0.00236397685521*HU(-17) + \\
& 0.00415693301681*HU(-18) - 0.0024827428123*HU(-19) + 0.00236424006801*HU(-20) - \\
& 0.000531794188302*HU(-21) + 0.00011749775666*HU(-22) - 0.000307905564919*HU(-23) + \\
& 0.00161111511225*HU(-24) + 0.000259478319456*HU(-25) - 0.000393284759317*HU(-26) + \\
& 0.0134957072219*TP(-1) + 0.000229265389066*TP(-2) - 0.00203960047146*TP(-3) + \\
& 0.00145140441117*TP(-4) + 0.00181161962568*TP(-5) + 0.000939186990969*TP(-6) + \\
& 0.00136312485869*TP(-7) - 0.00082998600805*TP(-8) + 0.000819804527831*TP(-9) - \\
& 0.000390904557671*TP(-10) - 0.000157115329993*TP(-11) - 0.00282450064935*TP(-12) + \\
& 0.000905081702385*TP(-13) - 0.00305984021182*TP(-14) - 0.00269523845845*TP(-15) + \\
& 0.00360937761025*TP(-16) - 0.00277479807112*TP(-17) - 0.0025057299365*TP(-18) - 0.0025688813616*TP \\
& (-19) - 0.00246397179467*TP(-20) - 0.00275410729325*TP(-21) - 0.00110742237347*TP(-22) - \\
& 0.00274303015946*TP(-23) - 5.24217717052e-05*TP(-24) - 0.0032988635091*TP(-25) - \\
& 0.00222087569005*TP(-26) + 0.85095608575.
\end{aligned}$$

4-3-3. Variable Humidité spécifique

$$\begin{aligned}
HU = & 0.0316152758072*PRE(-1) - 0.0110327750405*PRE(-2) + 0.0247865656963*PRE(-3) - \\
& 0.0117439561076*PRE(-4) + 0.00301948135343*PRE(-5) - 0.00779792470651*PRE(-6) + \\
& 0.027505303536*PRE(-7) + 0.00702754446849*PRE(-8) + 0.00831716660967*PRE(-9) - \\
& 0.00142393881426*PRE(-10) + 0.0173434556476*PRE(-11) + 0.0114601401344*PRE(-12) + \\
& 0.00376303155902*PRE(-13) + 0.00432913080747*PRE(-14) + 0.0187859804994*PRE(-15) + \\
& 0.0217299967116*PRE(-16) - 0.00312320314735*PRE(-17) + 0.0175124001474*PRE(-18) - \\
& 0.0095546186573*PRE(-19) + 0.00804928726641*PRE(-20) + 7.04109483329e-05*PRE(-21) + \\
& 0.0122229797123*PRE(-22) - 0.0107174414251*PRE(-23) - 0.00257505821494*PRE(-24) - \\
& 0.00203291414182*PRE(-25) + 0.0173821228577*PRE(-26) + 0.225820800963*EV(-1) - \\
& 0.0102700565347*EV(-2) + 0.11719850809*EV(-3) + 0.162611907184*EV(-4) - 0.092553102188*EV(-5) + \\
& 0.0834927954207*EV(-6) - 0.0985188813651*EV(-7) + 0.0694460838848*EV(-8) + 0.0139804007182*EV(-9) + \\
& 0.124966502986*EV(-10) + 0.0244448541145*EV(-11) + 0.0352504180978*EV(-12) + \\
& 0.00532059455134*EV(-13) + 0.0688320809533*EV(-14) - 0.00499605749865*EV(-15) + \\
& 0.0930232873431*EV(-16) + 0.0830008054159*EV(-17) + 0.0225964219717*EV(-18) + \\
& 0.0580435964667*EV(-19) + 0.000645815411798*EV(-20) + 0.00338194998512*EV(-21) - \\
& 0.0185630935627*EV(-22) + 0.10384134784*EV(-23) + 0.0461868818781*EV(-24) - 0.153436320909*EV(-25) \\
& + 0.217845149852*EV(-26) + 0.871366448415*HU(-1) - 0.284013394144*HU(-2) + 0.109260612668*HU(-3) -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &0.0240041744854*HU(-4) + 0.0350303295369*HU(-5) + 0.00811456677325*HU(-6) - 0.0221989650126*HU(-7) + \\
 &0.0179562841666*HU(-8) - 0.00288226095726*HU(-9) + 0.0012360063078*HU(-10) + \\
 &0.00845501806921*HU(-11) + 0.0252881257256*HU(-12) - 0.0120981091677*HU(-13) + \\
 &0.00426290872407*HU(-14) - 0.00653227756181*HU(-15) + 0.0133203338214*HU(-16) - \\
 &0.0133558938082*HU(-17) + 0.025479556473*HU(-18) - 0.00245296213737*HU(-19) + \\
 &0.000571571562558*HU(-20) + 0.00112319333532*HU(-21) + 0.00870888443966*HU(-22) - \\
 &0.000581351146637*HU(-23) + 0.0220082763531*HU(-24) - 0.00547167648218*HU(-25) + \\
 &0.00547977817419*HU(-26) + 0.0423283971178*TP(-1) - 0.0214699981722*TP(-2) + 0.00291349083595*TP(-3) + \\
 &0.00888200893235*TP(-4) + 0.00622779284532*TP(-5) + 0.00644663467155*TP(-6) + \\
 &0.0183950406121*TP(-7) - 0.00833689156606*TP(-8) + 0.0264122107721*TP(-9) - 0.00972219105063*TP(-10) + \\
 &0.0242908604205*TP(-11) + 0.0191059880536*TP(-12) + 0.00506405430572*TP(-13) - \\
 &0.026159953475*TP(-14) + 0.00738285680113*TP(-15) - 0.0156611122724*TP(-16) + 0.010976991691*TP(-17) - \\
 &0.0151288920024*TP(-18) + 0.014855713993*TP(-19) - 0.0204569834649*TP(-20) + \\
 &0.00367702611043*TP(-21) - 0.00543576616674*TP(-22) + 0.00533499414161*TP(-23) - \\
 &0.00324351034863*TP(-24) + 0.000254000743397*TP(-25) + 0.0060104302298*TP(-26) - 3.63934763007.
 \end{aligned}$$

4-3-4. Variable Température

$$\begin{aligned}
 TP = &- 0.0220318074878*PRE(-1) + 0.0180813247032*PRE(-2) + 0.00582338365162*PRE(-3) - \\
 &0.00199821619887*PRE(-4) - 0.00817208908375*PRE(-5) + 0.00508659921474*PRE(-6) - 0.00413799246481*PRE \\
 &(-7) - 0.00559554332098*PRE(-8) + 0.00118144719236*PRE(-9) - 0.000350869150383*PRE(-10) + \\
 &0.00857194696076*PRE(-11) + 0.0043223398967*PRE(-12) - 0.000348155596003*PRE(-13) + \\
 &0.0143447635915*PRE(-14) - 0.00103747320883*PRE(-15) + 0.00350434128623*PRE(-16) - \\
 &0.0044113489317*PRE(-17) + 0.00716653802688*PRE(-18) + 0.00198881858393*PRE(-19) + \\
 &0.00177026261481*PRE(-20) - 0.00421791927892*PRE(-21) - 0.0128580656956*PRE(-22) - \\
 &0.00277320500996*PRE(-23) + 0.00414130661492*PRE(-24) - 0.00344736713513*PRE(-25) + \\
 &0.0121536670439*PRE(-26) + 0.5134871377*EV(-1) + 0.182344548973*EV(-2) + 0.113525849897*EV(-3) + \\
 &0.0384516523586*EV(-4) - 0.0403410419906*EV(-5) + 0.107592474829*EV(-6) - 0.0196251088577*EV(-7) + \\
 &0.0118410899035*EV(-8) + 0.106341853297*EV(-9) + 0.0339544323681*EV(-10) + 0.0247564587591*EV(-11) - \\
 &0.0217715581402*EV(-12) + 0.0839993059015*EV(-13) - 0.018444155537*EV(-14) + 0.0483108518572*EV(-15) - \\
 &0.0562377645553*EV(-16) + 0.0668749861716*EV(-17) - 0.0110601715155*EV(-18) - 0.0132890197329*EV(-19) + \\
 &0.0121964667127*EV(-20) + 0.0375471962936*EV(-21) + 0.0141509838776*EV(-22) + 0.0571491629623*EV(-23) + \\
 &0.0195910428414*EV(-24) + 0.0292247676676*EV(-25) + 0.000193771353634*EV(-26) + \\
 &0.0821559240451*HU(-1) - 0.0513523352045*HU(-2) + 0.00604558671802*HU(-3) - 0.00482621632182*HU(-4) + \\
 &0.00501092914282*HU(-5) + 0.0048055061618*HU(-6) - 0.0109106693738*HU(-7) + 0.0133928029576*HU(-8) - \\
 &0.0178267168227*HU(-9) + 0.009104992303*HU(-10) + 0.00589861161502*HU(-11) + 0.00448295512613*HU \\
 &(-12) - 0.0179479417901*HU(-13) + 0.00947683851861*HU(-14) - 0.00945565022031*HU(-15) + \\
 &0.00295060341969*HU(-16) - 0.0103159062593*HU(-17) + 0.00976793129556*HU(-18) - 0.00715762678005*HU \\
 &(-19) + 0.00384645413965*HU(-20) - 0.00149881596458*HU(-21) + 0.00410023871551*HU(-22) - \\
 &0.00731438571806*HU(-23) + 0.015507951501*HU(-24) - 0.0022040250955*HU(-25) - 0.00566690991445*HU(-26) \\
 &+ 0.535951890157*TP(-1) + 0.0391423394021*TP(-2) + 0.013976671115*TP(-3) + 0.0453697622262*TP(-4) + \\
 &0.0266194191894*TP(-5) + 0.0271631599569*TP(-6) + 0.0399756700203*TP(-7) + 0.00853982431424*TP(-8) + \\
 &0.0229373531297*TP(-9) + 0.00847854070283*TP(-10) + 0.0227804298482*TP(-11) + 7.8586542242e-05*TP \\
 &(-12) + 0.0452600985044*TP(-13) + 0.0081222869564*TP(-14) + 0.0177130981013*TP(-15) + \\
 &0.0144350228225*TP(-16) + 0.0219280529985*TP(-17) - 0.00476941751111*TP(-18) + 0.00867436305635*TP \\
 &(-19) + 0.0197202135416*TP(-20) - 0.00595293053831*TP(-21) - 0.00512583350885*TP(-22) + \\
 &0.0208677902632*TP(-23) - 0.0238098872441*TP(-24) + 0.0284040498531*TP(-25) + 0.0176174131866*TP(-26) - \\
 &1.84517817996.
 \end{aligned}$$

4-4. Choc Impulsionnel [33]

La fonction de réponse impulsionnelle est une fonction qui analyse un choc entre les deux variables Y1 et Y2 et leurs variations en fonctions du temps. La **Figure 5** suivante représente les fonctions de réponse impulsionnelle des quatre variables de notre travail, et l'effet du choc pendant une période de 10 jours [34]. Elle explique également la courbe d'une variable par rapport à ses retards en fonction de l'information contenue dans d'autres variables pertinentes. La première ligne représente le choc d'EV, qui impacte sur les trois autres variables HU, PRE et TP. Dans la **Figure 5**, la première ligne qui se trouve sur la première colonne illustrent l'effet du choc sur lui-même, admettant initialement l'allure d'une droite de pente négatif jusqu'à un point minimum négatif, et après quoi la courbe suivi d'une stabilisation proche de zéro. Cela indique que l'évaporation peut afficher une valeur négative dans les 8 jours avant d'atteindre un état stable. [35] En outre l'impact de EV sur HU est caractérisé par une valeur constante proche de zéro localisée dans la première colonne et la deuxième ligne sur la même figure. De manière analogue, l'impact de l'EV sur la pluviométrie PRE et la TP, présente également une valeur constante proche de zéro, à l'exception d'un point particulier de la deuxième journée, où l'on observe un pic négatif similaire (3^{ème} ligne 1^{ère} colonne), tout comme pour la variable TP. (3^{ème} ligne 3^{ème} colonne). Donc il n'a été aucune influence significative de la variable évaporation VE sur les autres variables étudiées. La 2^{ème} ligne nous montre aussi que l'effet d'humidité HU sur les autres variables est presque constant et proche de zéro sauf l'effet sur lui-même admettant de valeur maximum, puis diminue lentement jusqu'à l'axe du temps. Ce qui montre que l'humidité n'exerce pas d'effet significatif au cours d'une journée. On a remarqué que l'effet de la précipitation PRE sur HU, c'est-à-dire la 2^{ème} colonne de la 3^{ème} ligne montre des effets positifs, ce qui montre que l'évaporation augmente le taux d'humidité dans l'atmosphère pendant une journée. L'effet de la température TP de la 4^{ème} ligne de la 1^{ère} colonne et la 2^{ème} colonne sur EV et HU donnent aussi des pics positifs, alors la température est donc la source de l'évaporation puis l'humidité atmosphérique pendant la période de 10 jours environs. Inversement l'influence de la température journalière sur la précipitation donne des valeurs négatives et tend vers zéro dans la partie négative des axes temporels, indiquant une absence d'influence significative de la température sur la l'intensité de précipitation, mais contribue à leur stabilité. La composante propre à chacune des quatre variables est généralement marquée par un amortissement suivi d'une décroissance progressive pendant une période de 10 jours. Ce phénomène est illustré sur la **Figure 5**. En revanche l'effet de choc propre de l'évaporation sur lui-même adopte un comportement distinct des autres variables.

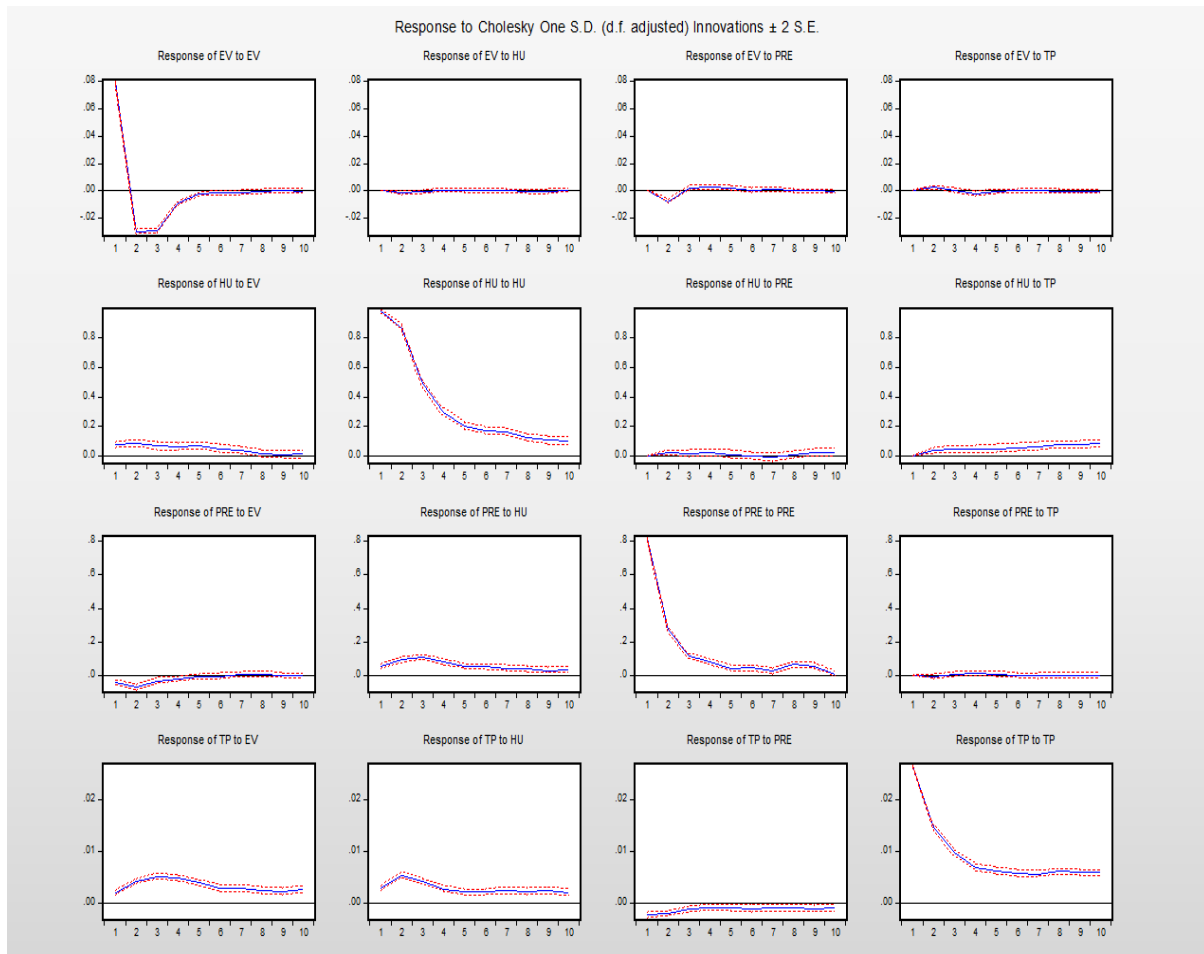


Figure 5 : *Réponses impulsionnelles des quatre variables climatiques journalières*

5. Conclusion

L'étude statistique de la relation causale entre les quatre variables climatiques journalières : Température, précipitation, humidité spécifique et évaporation dans la région Melaky, sur la côte ouest de Madagascar, a révélé que ces variables ne sont pas indépendantes. Elles présentent une certaine liaison entre elles. La méthode de Granger permet d'analyser la relation de causalité entre ces quatre variables climatiques. On a constaté que ces variables sont interdépendantes et que leurs relations sont significatives à un niveau inférieur à 5 %. De plus ces variables présentent une cohérence, et à chaque variable endogène est liée aux variables exogènes par des coefficients non nuls variant de C(1) à C(36). La température journalière (TP) à la hausse peut être considérée comme une source de l'augmentation de l'évaporation journalière (EV). De même, la précipitation (PRE) est responsable de l'humidité spécifique (HU). Chaque variable a un impact aux autres variables climatiques dans une période donnée, ce qui signifie que l'analyse climatique est étroitement liée à l'analyse météorologique. De plus, on a observé que la relation causale entre les quatre variables journalières est plus accentuée que celles des variables mensuelles qu'on a analysées précédemment (*Afrique SCIENCE* 22(4) (2023) 122 - 138 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>). En conclusion plus l'intervalle de temps est court plus les variables sont fortement liées

Références

- [1] - FREDERIC ELIE, « Humidité atmosphérique et précipitations », (2010)
- [2] - CHRISTIAN P. ROBERT, « Le choix bayésien Principes et pratique », (2006)
- [3] - ARTHUR CHARPENTIER, « Cours de séries temporelles, Théorie et applications », Vol. 1, (2003)
- [4] - GILBERT SAPORTA, « Probabilité analyse des Données et statistiques » 2^{ème} Edition, (2006)
- [5] - CARLO GAETAN XAVIER GUYON, « Modélisation et statistique spatiales », (2011)
- [6] - DAMODAR N. GUJARATI, "Basic Econometrics", (2004)
- [7] - ROMAN KOZHAN, "Financial Econometrics with Eviews", (2010)
- [8] - EVA MONTEIRO, « Météorologie physique : microphysique des nuages », (2007)
- [9] - ARTHUR CHARPENTIER, « Modèles linéaires multivariés » : VAR et cointégration Introduction aux modèles ARCH et GARCH, Vol. 2, (2003)
- [10] - BOURAS NASSIMA FEKIR, HAMZA, « Question de causalité entre l développement financier et la croissance économique » : Cas de l'Algérie (1980-2017) Revue DIRASSAT Numéro Economique (ISSN :2676-2013) -Vol 11. N°02-Juin 2020.Université de Laghouat
- [11] - REGIS BOURBONNAIS, « Econométrie, Cours et exercices corrigés » 9e édition Dunod, 5 rue Laromiguière, 75005 Paris, (2015)
- [12] - ALLAL, N. & BENILLES, B., "Question of Causality Between Financial Development and Economic Growth": The case of Algeria (1980-2017), *Dirassat Journal Economic Issue*, 11 (2) (2020) 473 - 489 p.
- [13] - C. W. J. GRANGER, "Some Aspects of Causal Relationships", *Journal of Econometrics*, 112 (2003) 69 - 71 p.
- [14] - P. UGO, « La finance et le développement économique », International Development Policy, *Revue internationale de politique de développement, World Development*, 23 (3) (2012) 443 - 448 p.
- [15] - O. HEMCHE & B. BENALLAL, « L'effet du développement financier sur la croissance économique » : Cas de l'Algérie (1994-2014) - Etude économétrique, *Revue Nour des études économiques*, Vol. 01 (2015) 121 - 139 p.
- [16] - RICHARD STARTZ, "Eviews Illustrated", (2015)
- [17] - J-M. DUFOUR et E. RENAULT, 'Short-run and long-run causality in time series: Theory', *Econometrica* 66, (1998) 1099 - 1125
- [18] - CHRISTOPHE HURLIN, « Econométrie Appliquée Séries Temporelles » Representation VAR et Cointégration, (2002)
- [19] - BARNETT, LIONEL and SETH, K. ANIL, "The MVGC multivariate Granger causality toolbox": a new approach to Granger-causal inference. *Journal of Neuroscience Methods*, 223 (2014) 50 - 68 p. ISSN 0165-0270
- [20] - WILLIAM H. GREENE AUGUST, "ECONOMETRIC ANALYSIS", (2010)
- [21] - WILLIAM H. GREENE, "ECONOMETRIC Analysis New York University International », (2012)
- [22] - ROMAN KOZHAN, "Financial Econometrics With Eviews", (2010)
- [23] - JEOREY M. WOOLDRIDGE, "Econometric Analysis of Cross Section Panel Data", (1994)
- [24] - JEOREY M. WOOLDRIDGE, « Introduction à l'Econométrie une approche moderne », (2013)
- [25] - ROBERT H. SHUMWAY and DAVID S. STOFFE, "Time Series Analysis and Its Applications", (2010)
- [26] - JOSHUA M. TEBBS, "Forecasting and time series", (2013)
- [27] - F. MORINA, E. HYSYA, U. ERGUN & al., "The Effect of Exchange Rate Volatility on Economic Growth" : Case of the CEE Countries. *Journa of Risk and Financial Management*, (2020) 1 - 131
- [28] - V. COUTO & J. TEIXEIRA, "Index of Macroeconomic Performance for a Subset of Countries": A Kaldorian Analysis from the Magic Square Approach Focusing on Brazilian Economy in the Period 1997-2012. *Panoeconomicus*, (2014) 527 - 542
- [29] - JEREY M. WOOLDRIDGE, "Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data", (1991)
- [30] - C. EL RHZAOUI & M. KHARISS, « Étude de la relation de Causalité entre l'inflation et les dépenses publiques Cas du Maroc », *Revue Française d'Economie et de Gestion*, Vol. 2, N° 1 (2021) 52 - 69 p.

- [31] - A. CHATRI & A. MAARUF, "Cointegration and causality between financial development and economic growth": Evidence from Morocco, *Indonesian Capital market review*, VI (1) (2014) 6 p.
- [32] - S. OULIARIS, A. R. PAGAN and J. RESTREPO, (September 19), 2016E "Quantitative Macroeconomic Modeling with Structural Vector Autoregressions" (An EViews Implementation)
- [33] - C. D. ROMER and D. H. ROMER, « The Macroeconomic Effects of Tax Changes : Estimates Based on a New Measure of Fiscal Shocks », *American Economic Review*, 100 (2010) 763 - 801
- [34] - NANSHA, KEVIN, "Interaction between economic growth, inflation and exchange rate in Kenya", Online at https://mpira.ub.uni-muenchen.de/109299/MPRA_Paper_No._109299, posted 22 Aug 2021 11:44 UTC, (2021)
- [35] - JONAS KIBALA KUMA, « Le Modèle VAR Structurel » : Éléments de théorie et pratiques sur logiciels, (2018)