

Adaptation Aux Vulnérabilités Du Changement Climatiquesà L'aéroport De Kinshasa-Ndjili

NZUZI NZUZI ANDRE¹, CIMBELA KABONGO JOSEPH², KANIKI MARC³ ET
KABASELE YENGA YENGA ALBERT².

1. Institut Supérieur de Techniques Appliquées (ISTA/Kinshasa), B.P :6593 Kin.31, RD Congo

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

3. Université de Kinshasa (UNIKIN/Kinshasa), B.P :127, Kinshasa XI, RD. Congo

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer les vulnérabilités de changement climatique à l'aéroport de Kinshasa Ndjili et son impact potentiel sur la sécurité des vols.

L'impact du changement climatiques et leurs conséquences sur la sécurité des vols dans nos aéroports doivent devenir une question préoccupante pour la Régie des Voies Aériennes (gestionnaire des aéroports de la RDC) et l'Autorité de l'Aviation Civile de la RD Congo (qui assure la supervision de la sécurité de l'aviation civile en RDC) ; notamment en matière d'évaluation des risques liés aux perturbations des paramètres climatiques.

L'analyse des données climatiques à l'aéroport de Kinshasa Ndjili (sur une période d'observation de 32 ans , 1987 – 2018), nous permettra de faire ressortir d'une part la tendance du régime pluviométrique ,de l'humidité relative de la pression atmosphérique, et d'autre part, la réponse aux conséquences de l'élévation de la température durant la même période afin de proposer des mesures d'acceptabilité ou d'atténuation desdits risques.

Mots clés: changement climatique, vulnérabilités, adaptation, aéroports et environnement.

Date of Submission: 11-08-2020

Date of Acceptance: 06-09-2020

I. Introduction

La connaissance du climat et son évolution dans le temps sont devenues indispensables dans tous les domaines de la vie [Marie-Lee Pelletier,2020,Page 4]

Les efforts d'atténuation et d'adaptation aux vulnérabilités climatiques doivent être étudiés et analysés pour comprendre les impacts du changement climatique dans les aéroports [CMED, 1987].

Il sera question de savoir comment nous pouvons alors réagir de manière informelle aux changements climatique au fur et à mesure qu'ils se produisent ou ils peuvent établir une cohérence quant à l'adaptation aux vulnérabilités , à la mise en œuvre et à l'établissement de priorités en étant proactives, en examinant les risques actuels, en se projetant dans l'avenir et en adaptant les stratégies en conséquence [GIEC,2001].

Ainsi en utilisant les méthodes descriptive et analytique dans cette étude, nous ferons au premier point une brève présentation de cet aéroport, le deuxième point attèlera directement à l'étude de ces phénomènes et le troisième point détaille les méthodes d'adaptation ou d'atténuation par des mesures de précoces d'alerte par télédétection spatiale.

Nous nous proposons dans cette étude d'étudier le comportement de la température, humidité spécifique, pression atmosphérique et de la pluviométrie afin de déterminer leur impact sur la sécurité aérienne.

Revue de la littérature

Le terme vulnérabilité peut être considéré comme la prédisposition de l'exploitation aéronautique affectée par le changement.

Cette vulnérabilité dépend ainsi de trois éléments clés que sont l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation face aux changements climatiques.

Ainsi la vulnérabilité au changement climatique étant définie comme mesure dans laquelle un système est sensible – ou incapable de faire face – aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes[B. Osman-Elasha]. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de l'évolution et de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation.

Cela signifie concrètement qu'une partie de ses impacts du changement climatique est inévitable. Même si l'on a encore du mal à préciser la fréquence, l'intensité et la répartition géographique de ces impacts futurs sur les aéroports [ENAC-Alumni,2020].

Ces derniers vont avoir à faire face à une modification des conditions climatiques et environnementales, lesquelles vont nécessairement remettre en cause la sécurité des vols.

Un aéroport c'est une surface définie sur terre ou sur l'eau destinée à être utilisée, en totalité ou en partie pour les arrivées, les départs et les mouvements (manœuvres) des avions à la surface comprenant des installations nécessaires pour le service administratif, d'exploitation, commerciale, les installations d'entretien, anti-incendie, météorologie, et les services de l'état [OACI, annexe 14,2019]. La circulation et l'exploitation des vols sur les aéroports sont vulnérables aux phénomènes de changement climatiques qui fait que la plupart des accidents et incidents d'aviation ont lieu dans les aéroports pendant leur phase de roulement, de décollage et d'atterrissage.

L'aéroport de Kinshasa Ndjili n'est pas épargné par cette vulnérabilité liée au changement climatique.

Nous observons une augmentation de la température entraînant une augmentation de l'humidité relative (phénomène de brouillard) réduisant ainsi la visibilité verticale et horizontale. Il apparaît aussi d'autres phénomènes tel que :le cisaillement de vent surtout dans l'aire d'approche de la Piste 24 tel que relevé dans plusieurs rapports de sécurité de l'aéroport [BPEA,2019] ; un problème de tourbillon sur l'aire de Traffic exposant les avions à des collisions tel que ceux d'avril 2010 ; l'orage avec toutes leurs conséquences sur l'exploitation de l'aéroport, le brouillard, le départ des terrains, le problème permanent de péril animalier et aussi les lithométéores [AAC/RDC,2019].

Tous ces phénomènes exposent l'aéroport à des conséquences incalculables si on ne prend pas des dispositions adéquates dans le plus bref délai.

Ainsi, notre préoccupation sera de savoir quelle mesure d'adaptation on doit prendre et quelles sont les stratégies qu'il faut pour prévenir en amont les effets de tous ces phénomènes et prendre des mesures idoines pour le résoudre.

L'adaptation entraîne un ajustement aux répercussions des changements climatiques en gérant les risques et en exploitant les possibilités.

II. Milieu, méthode et matériel

2.1.Description du site de l'étude

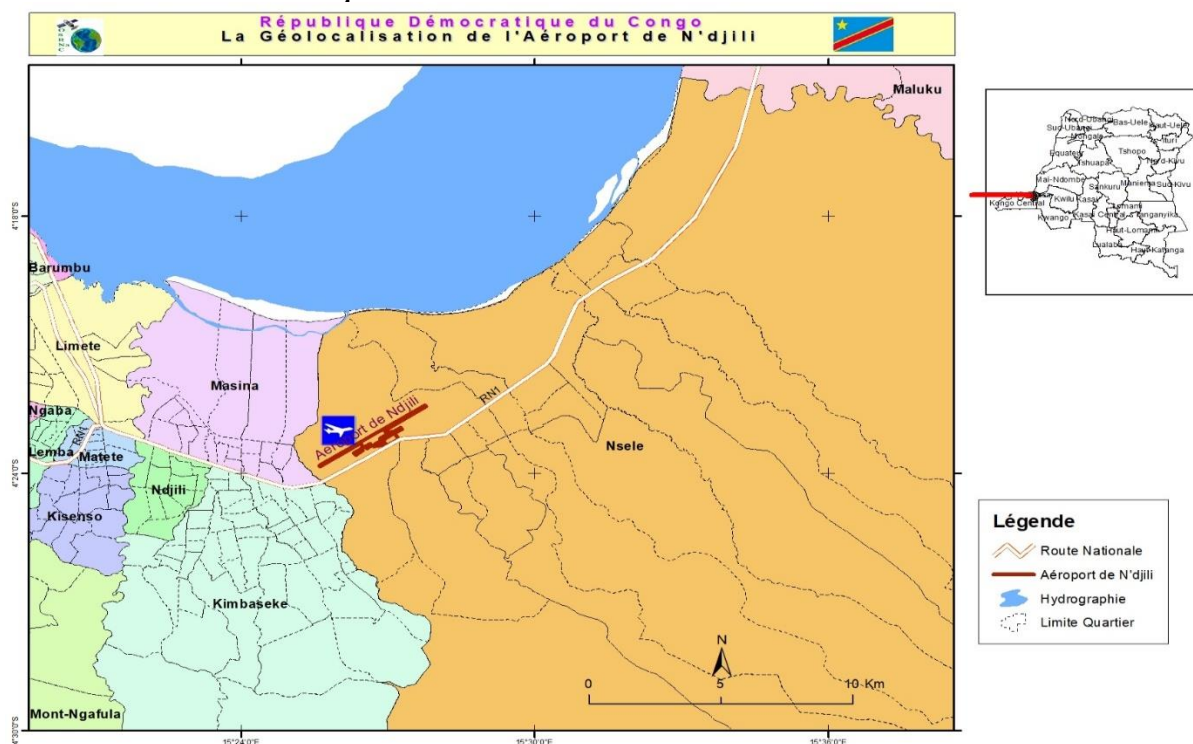
2.1.1.situation géographique

L'aéroport international de Ndjili (code AITA : FIH • code OACI : FZAA) est l'aéroport principal de la ville de Kinshasa en République démocratique du Congo. Il est situé dans la commune de Nsele en bordure du Pool Malebo, à une vingtaine de kilomètres à l'est du centre ville, à laquelle il est relié par le boulevard Lumumba [AIP RVA,2017].

- infrastructures : inaugurées en 1953
- Piste : 3300 X 60 m
- 14 postes de stationnement dont 6 gros porteurs et 8 moyens porteurs.
Les petits porteurs s'intercalent entre les gros et les moyens porteurs.
- 3 Aires de stationnements :

- Aire commerciale : 60 000 m²
- Aire d'entretien et de réparation : 35 000 m²
- Aire militaire : 18 000 m²

2.1.2. Géolocalisation de l'aéroport



Auteur NZUZI André sous logiciel ARC GIS, voir Labo ORSNAC, UPN juin 2020

a) *Position :*

- Latitude : 04°23'08,1180"S
- Longitude : 015°27'40,88432"E

b) *Altitude :* 1027 ft (313 m)

c) *Déclinaison magnétique :* 3,25°

d) *Relief :*

- A l'Est : à 12,5 Nm, altitude 713 m, (hauteur est de 400 m)
- Au sud et Sud – Est, chaîne de collines culminantes à 725 m, (hauteur est de 412 m)

e) *Carburants :* JET A - 1

f) *Type de trafics autorisés :* IFR et VFR

g) *Température référentiel :* 27,5° C

h) *Heure/ouverture :* H 24

i) *Code d'aérodrome :* 4 E

2.1.3. Historique de l'aéroport de Kinshasa ndjili

Inaugurées en 1953, les infrastructures ont été successivement utilisées comme plate-forme de correspondance de la compagnie aérienne belge *Sabena* (période coloniale) et des compagnies Air Congo et Air Zaïre [RVA, AIP 2017]

La piste principale de Ndjili, longue de 4 700 m, a longtemps été la plus longue du monde, au point que les plus grands appareils terminent leur atterrissage et décollent à mi-piste. Le processus de centralisation politique et administrative mis en œuvre par le régime du président Mobutu, fit de cet aéroport la principale porte d'entrée et de sortie du pays et ce, en dépit du fait que des sites aéroportuaires comme ceux de Kisangani et de Lubumbashi bénéficient de capacités d'accueil international (longueur des pistes pour les gros porteurs).

Sous-financé depuis de nombreuses années par les pouvoirs publics, l'opérateur aéroportuaire kinois est dans l'incapacité de mettre en œuvre et de faire respecter toutes les normes internationales en matière de sécurité. Datant de plus d'un demi-siècle, les infrastructures ont bénéficié de si peu de rénovations ou d'améliorations qu'elles sont régulièrement visées par des mesures d'exclusion de la part des autorités de l'OACI (entretien de la piste d'atterrissage, services des pompiers, sécurité des bagages, mesure contre le risque d'attentats terroristes)

2.2. Méthodes

Nous utilisons la méthode de la MODELISATION ANOVA ET ARIMA DES VARIABLES CLIMATIQUES AEROSPATIALES PAR LES MATRICES DES DONNEES ASCII DU SATELLITE NOAA [Albert Kabasele YY,2020] .

Elle présente l'avantage de reprendre toutes les étapes d'une analyse par régression linéaire offrant une corrélation permettant de prédire les événements à partir des aléas des autres paramètres climatiques de l'aéroport. La démarche consiste d'une part, à mener une analyse fine de l'aéroport de Kinshasa Ndjili (ou enjeu) pour en avoir une connaissance exhaustive d'un point de vue « exploitation » (composition de l'enjeu, vulnérabilité avérée en cas de dysfonctionnements connus de type panne, éléments indispensables au bon fonctionnement de l'enjeu...) et d'autre part, de définir des scénarios du changement climatique où l'aléa climatique est clairement identifié et la description de scénario précisée. Toute la complexité de l'analyse de la vulnérabilité au futur climat réside dans l'appréhension d'une situation qui n'existe pas encore.

L'analyse des événements passés, le retour d'expérience sont très importants dans la démarche notamment dans l'appréhension des événements extrêmes et font partie intégrante de l'analyse de vulnérabilité [DGAC,STAC,2013].

La confrontation des deux analyses (enjeu aéroport et aléas climatiques) permet alors de réaliser un tableau à double entrée croisant la probabilité d'occurrence de l'aléa climatique (voir fig 2.1) avec le niveau d'impact de l'aléa sur l'enjeu; la donnée en sortie sera le risque effectif.

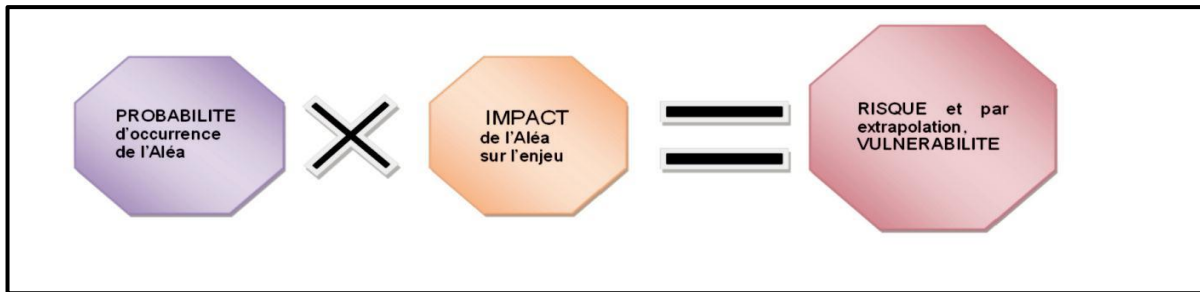


Figure 2.1.la probabilité d'occurrence de l'aléa climatique

La grille d'évaluation de vulnérabilité se présente comme un tableau à double entrée qui regroupe d'une part les aléas climatiques susceptibles d'avoir un impact sur l'aéroport et d'autre part les composantes de l'enjeu aéroport(selon le tableau 1.1ci-dessous).cette grille nous permettre de mesurer les vulnérabilités climatiques à l'aéroport (voir tableau 1.1) et la grille de l'OACI sur la gestion de la sécurité nous permettra de déterminer la matrice de sécurité qui n'est que la conséquence de vulnérabilité de cet aéroport (voir Tableau 1.2.).

Tableau 2.1. La grille d'évaluation de vulnérabilité

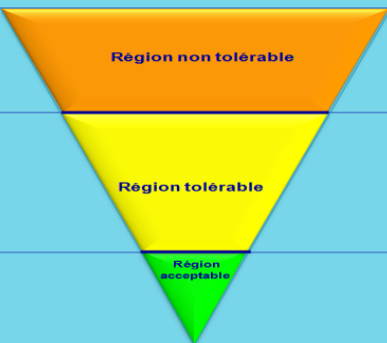
Probabilité d'occurrence de l'aléa climatique			Matrice de vulnérabilité				Niveau de vulnérabilité																					
1	Faible	Il est extrêmement peu probable que l'aléa se produise pour l'aéroport donné. L'aléa ne devrait pas se produire pendant la période de vie de l'infrastructure.	probabilité 3 2 1	Faible (3)	Moyen (6)	Fort (9)	Fort (12)	Nul (vert) L'aérodrome n'est pas vulnérable au changement climatique. Faible (jaune) Le changement climatique ne perturbera pas l'exploitation normale de l'aérodrome. L'aérodrome fonctionnera quelquefois en mode dégradé acceptable du fait des conditions météorologiques. Moyen (orange) Les changements climatiques auront un certain impact sur l'aérodrome, n'empêchant pas son fonctionnement. Toutefois, l'aérodrome fonctionnera souvent en mode dégradé contraignant ou acceptable du fait des conditions climatiques. La vulnérabilité devra être réévaluée régulièrement. Des mesures de protections/préventions pourront être prises afin de rendre l'aérodrome faiblement vulnérable. Fort (rouge) Les changements climatiques affecteront le fonctionnement de l'aérodrome et sans mesures de protection/préventions l'aérodrome pourrait disparaître sous l'effet du changement climatique.																				
2	Moyenne	L'événement est déjà survenu (cf. retour d'expérience). L'événement, compte tenu des projections climatiques, a des chances de survenir sur une période de retour assez faible au cours de la vie de l'infrastructure.		Nul (2)	Faible (4)	Moyen (6)	Fort (8)																					
3	Elevée	L'aléa est déjà survenu plusieurs fois sur l'aéroport. Les projections climatiques prévoient une augmentation de la fréquence et/ou l'intensité du phénomène sur l'enjeu.		Nul (1)	Nul (2)	Faible (3)	Faible (4)																					
			impact 1 2 3 4																									
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Niveau d'impact de l'aléa sur l'enjeu</th> </tr> <tr> <th>Niveau de l'impact</th> <th>Fonctionnalité du système</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Sans gravité</td> <td>Normal ou non dégradé</td> <td>Pas de perturbation du système</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Secondaire</td> <td>Dégradé acceptable</td> <td>Le système est affecté dans son fonctionnement</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Grave</td> <td>Dégradé contraignant</td> <td>Le système dysfonctionne et est mis en danger</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Désastreux</td> <td>Dégradé inacceptable</td> <td>Disparition du système ou dysfonctionnement à long terme du système</td> </tr> </tbody> </table>				Niveau d'impact de l'aléa sur l'enjeu			Niveau de l'impact	Fonctionnalité du système		1	Sans gravité	Normal ou non dégradé	Pas de perturbation du système	2	Secondaire	Dégradé acceptable	Le système est affecté dans son fonctionnement	3	Grave	Dégradé contraignant	Le système dysfonctionne et est mis en danger	4	Désastreux	Dégradé inacceptable	Disparition du système ou dysfonctionnement à long terme du système
Niveau d'impact de l'aléa sur l'enjeu																												
Niveau de l'impact	Fonctionnalité du système																											
1	Sans gravité	Normal ou non dégradé	Pas de perturbation du système																									
2	Secondaire	Dégradé acceptable	Le système est affecté dans son fonctionnement																									
3	Grave	Dégradé contraignant	Le système dysfonctionne et est mis en danger																									
4	Désastreux	Dégradé inacceptable	Disparition du système ou dysfonctionnement à long terme du système																									

Source : DGAC,STAC

Les risques(NS) sont évaluées et catégorisées à l'aide de la matrice d'évaluation de risque [OACI,DOC 9859 AN/474,2013]. Cette matrice est présentée par le tableau ci-dessous :

Tableau 2.2 Matrice d'évaluation de la sécurité [OACI, Annexe 19,2018]

Probabilité de risque	Gravité de risque				
	Catastrophique A	Dangereux B	Majeur C	Mineur D	Négligeable E
Fréquent 5	5 A	5 B	5 C	5 D	5 E
Occasionnel 4	4 A	4 B	4 C	4 D	4 E
Isolé 3	3 A	3 B	3 C	3 D	3 E
Improbable 2	2 A	2 B	2 C	2 D	2 E
Extrêmement improbable 1	1 A	1 B	1 C	1 D	1 E

Gestion du risque	Index d'évaluation du risque	Critère suggéré
 <p>Région non tolérable</p>	<p>5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A</p>	<p>Le risque est inacceptable dans les circonstances existantes</p>
<p>Région tolérable</p>	<p>5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C</p>	<p>Acceptable sur base d'une atténuation du risque. Peut requérir une décision de la direction.</p>
<p>Région acceptable</p>	<p>3E, 2D, 2E, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E</p>	<p>Acceptable</p>

Source :Doc 9859 AN/474,manuel de gestion de la sécurité .Dans ce tableau ,trois cas sont possibles au regard des non-conformités relevées :

- le risque élevé (zone rouge de la matrice)**: question de sécurité immédiate, la mesure corrective doit être exécutée immédiatement pour que l'exploitant puisse poursuivre ses activités ou effectuer l'atténuation de risque prioritaire pour assurer que des contrôles préventifs supplémentaires ou améliorés soient mis en place pour ramener l'indice de risque à la plage de risque modéré à faible.
- le risque modéré (zone jaune de la matrice)** : Correction effectuée dans les 90 jours ou planifier l'exécution d'une évaluation de risque et proposer des mesures d'atténuation pour abaisser l'indice de risque à la plage faible.
- le risque faible (zone verte de la matrice)** : Correction effectuée entre 90 jours et 12 mois ou risque acceptable tel quel.

2.3. Technique

Cette modélisation se fonde sur une régression multiple pas à pas à partir de variables explicatives climatiques. Ces variables sont sélectionnées en fonction de leur corrélation avec la température de l'air ou la pression atmosphérique. Selon l'échelle temporelle d'étude (variant de la moyenne annuelle à l'extrême quotidien), les facteurs explicatifs changent : la modélisation décrivant les variations spatiales de la température n'est donc pas fondée sur des paramètres identiques (ces derniers, intégrés ou estimés par SIG, doivent à la fois inclure les particularités globales, régionales et locales du climat dans l'aéroport)[Albert Kabasele YY,2020].

L'usage des systèmes d'information géographique permet ainsi la création de facteurs explicatifs liés à la pression atmosphérique, le stockage puis le traitement des données : ils sont donc particulièrement utiles dans ce type d'approche climatologique. Les variables établies, dites indépendantes, sont incluses dans un modèle de régression multiple pas à pas ; les résidus à ce modèle sont conservés, interpolés par krigeage et superposés à la première estimation (« *residual kriging* »).

III. Présentation, interprétation et analyse des résultats

3.1. Indications aéroportuaires physico-climatiques

L'aéroport se trouve dans la ville de Kinshasa qui a un climat tropical. les précipitations sont plus importantes en saison de pluie qui dure 9 mois qu'en saison sèche.

Tableau 3.1. Variables climatiques de l'aéroport de Kinshasa Ndjili de 1987 à 2018.

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
KinAero_Patm	32	8,6335	970,1648	978,7983	975,169539	3,2927382
KinAero_TempAir	32	2,5467	28,0283	30,5750	29,266194	,8839554
KinAero_Temp_sol	32	8,6466	23,6453	32,2919	27,598879	1,6681202
KinAero_Temp10_40Cm	32	28,0150	24,170	30,4320	27,645438	4,6450791
KinAero_Wd	32	264,9950	28,0675	293,0625	166,182266	81,6221535
KinAero_Wv	32	,4605	1,3044	1,7649	1,524269	,1559185
KinAero_PPmm	32	6281,2800	53,5680	6334,8480	318,684906	1098,0312811
KinAero_RayNet	32	32630,500	155656,3330	188286,8330	181052,3750	7878,8776822
KinAero_HS	32	,0040	,0140	,0180	,016750	,0012952
Valid N (listwise)	32					

Source : Résultats sous SPSS, NZUZI Juillet 2020

3.2. ANALYSE DES VARIABLES CLIMATIQUES AEROSPATIALES PARANOVA ET ARIMA ET LES MATRICES DES DONNEES ASCII DU SATELLITE NOAA à FZAA

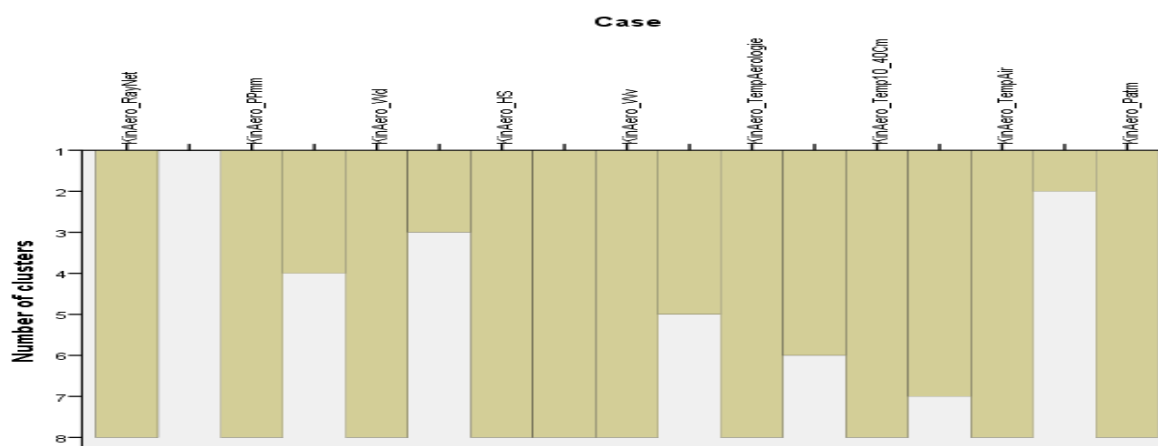


Figure 3.1. cluster de corrélation linéaire des normales climatiques de 1987 à 2018.

La Corrélation Euclidienne en Bâtonnets nous prouve que la Vitesse des Vents sur l'Aéroport de N'DJILI est à 100% Influencée par l'Humidité Spécifique de l'Eau dans l'Air Environnant selon le Ratio 8/8, comme la Température Maximale des Ilots BTP Bâtiments/Végétation Influence à 7/8 la Température Maximale de l'Air Environnant de l'Air Aéroportuaire, etc.

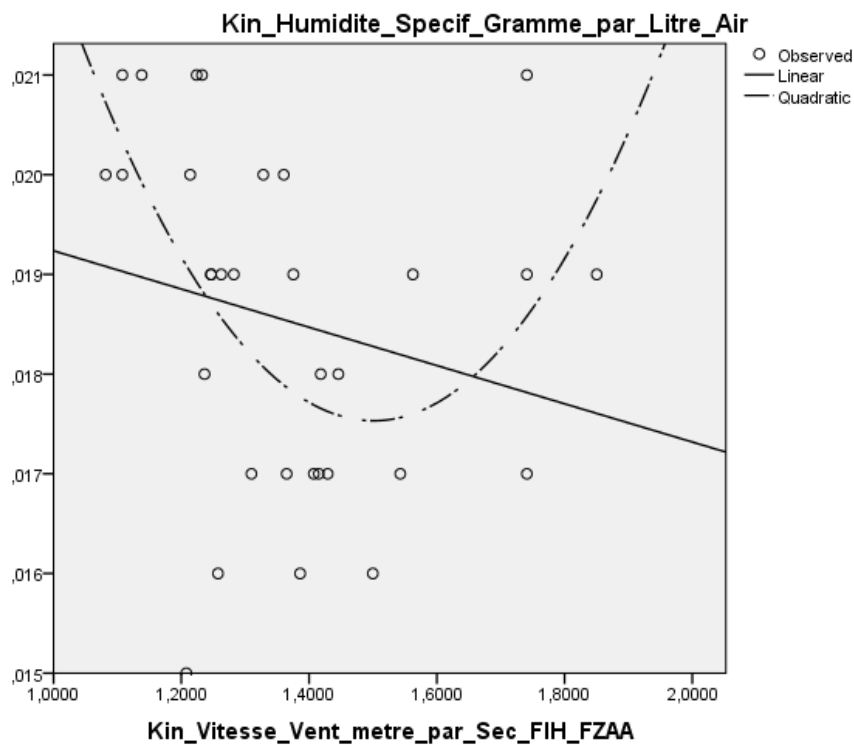


Figure 3.2 relation entre HS et Wv de 1987 à 2018.

Il est clair que la baisse de l'humidité Spécifique de l'air sur l'Aéroport y accélère la Célérité des Vents, et de facto, y accroît les turbulences indigestes des avions à l'atterrissage et au décollage.

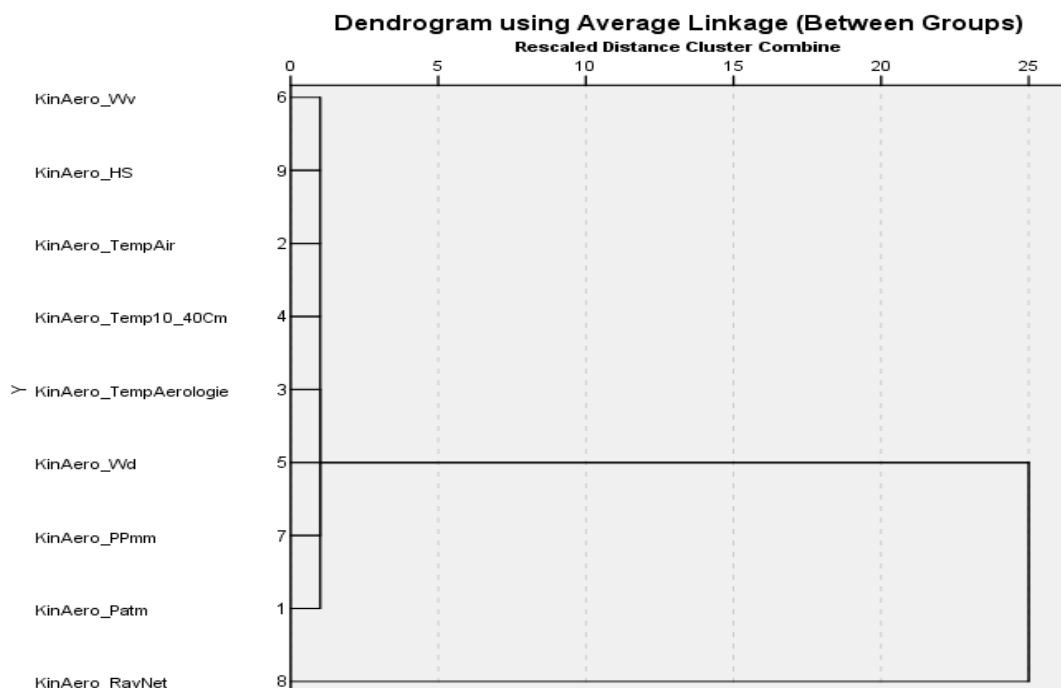


Fig 3.3 :cluster des variables climatiques de FZAAde 1987 à 2018.

Source : Résultat de l'auteur sous SPSS 14.0 .Kinshasa, Aout 2020

Le rayonnement net n'a aucune corrélation avec la direction du vent ; tous les autres variables sont liées.

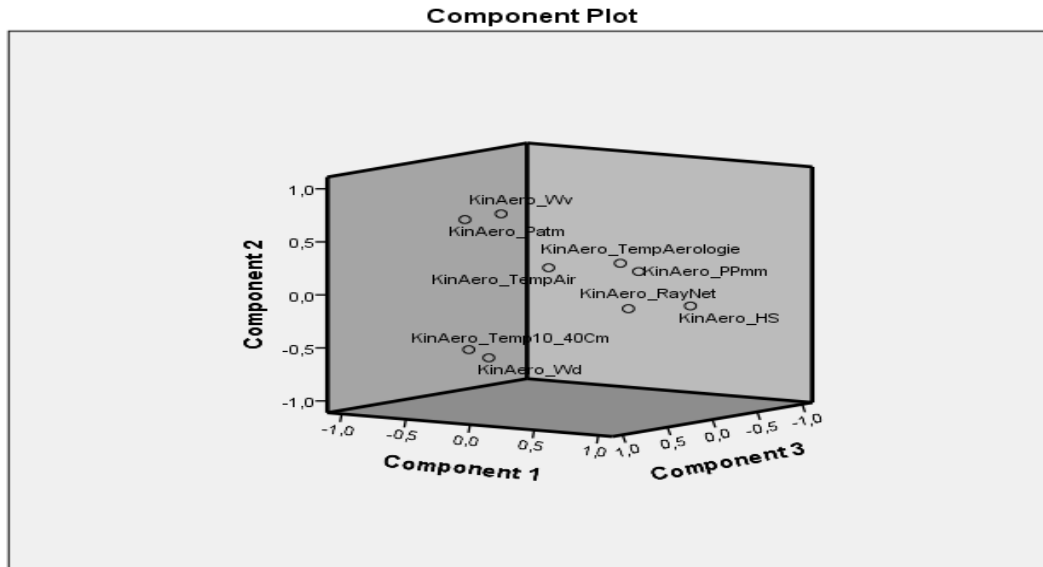


Figure 3.4. .Diagramme spatial :correlation des variables spatiales de l'aéroport de Kinshasa Ndjili de 1987 à 2018.

Source :Resultat de l'auteur sous SPSS 14.0-Kinshasa Aout 2020

Ici nous constatons que tous les paramètres se rapprochent.

3.2.1.La température de l'aéroport.

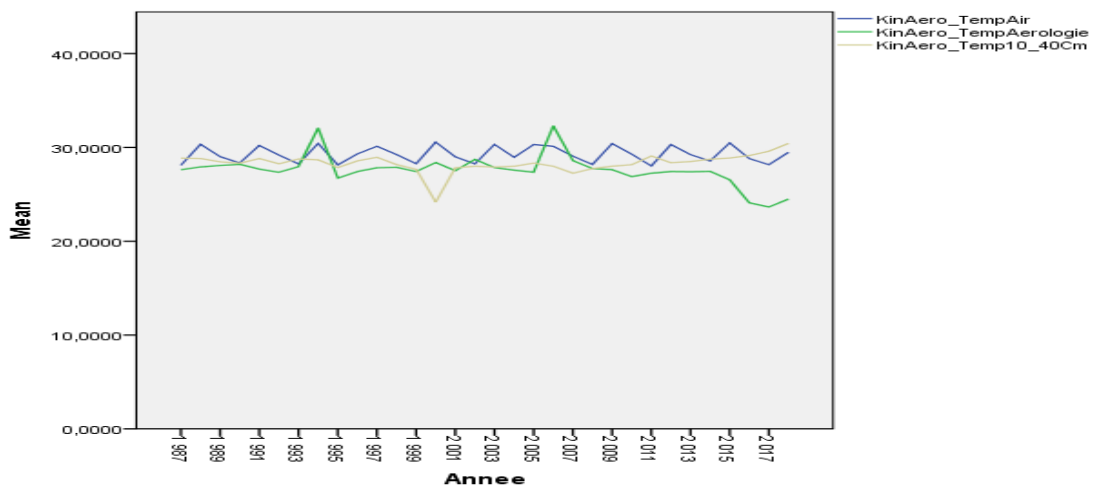


Figure3.5.courbes de variation des températures de l' Air, sous-sol de FZAA de 1987 à 2018.

Les températures autour de la normale climatique à FZAA est instable avec une légère augmentation pour les températures de l'aire de mouvement de l'aéroport et la température de sous-sol .une baisse est constatée à partir de 2014 pour la température de l'air

Tableau 3.2.Coefficients des équations de prédiction

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
	B	Std. Error			
1 (Constant)	-111,185			-1,911	,066
1 KinAero_Temp_sol	8,475	58,184 2,104	,592	4,027	,000

a. Dependent Variable: KinAero_PPmm

Equation de prediction :

$$T^{\circ}_{Sol} = - 111,185 + 8,475 * T^{\circ}_{sol} \tag{1.1}$$

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	t	Sig.
	B	Std. Error			
1 (Constant)	22,518	1,285		17,529	,000
1 KinAero_PPmm	,041	,010	,592	4,027	,000

a. Dependent Variable: KinAero_Temp_sol

$$T^{\circ} Sol = 22,518 + 0,41 * Patm \tag{1.2}$$

3.2.2.la Pression atmosphérique

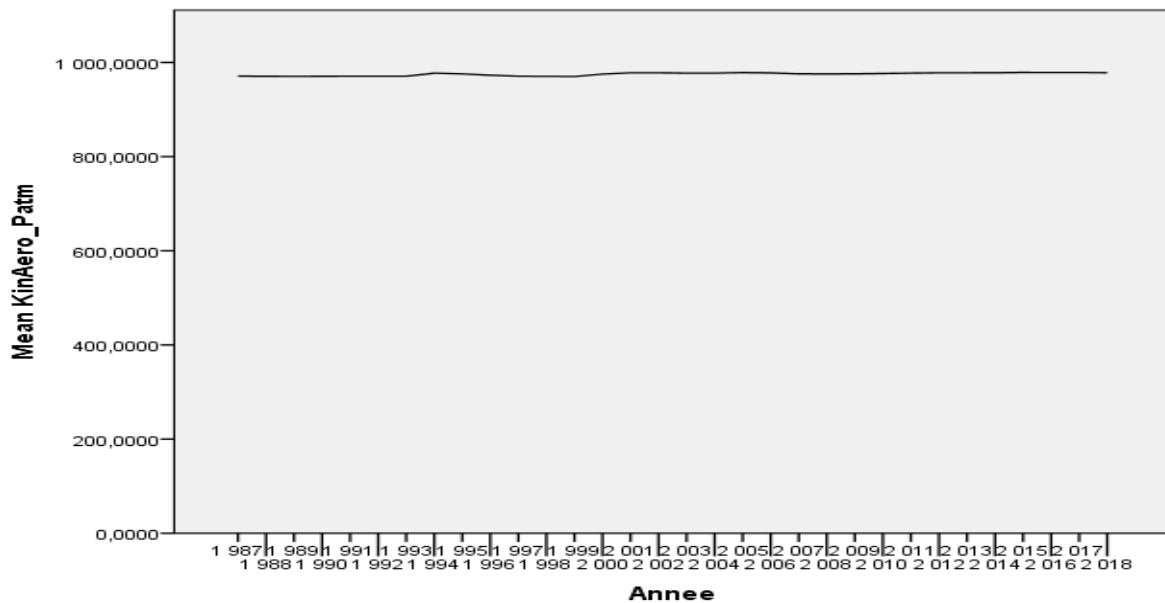


Figure 3.6. évolution de la pression atmosphérique de 1978 à 2018.

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	Sig.
	B	Std. Error		
1 (Constant)	-32,072	8,162		,000
1 KinAero_hPa_FZAA	,034	,008	,599	,000

a. Dependent Variable: KinAeroVitesseVent_FZAA

$$Patm_FIH = (974,6566 \pm 3,4262) \text{ hPa} \tag{1.3}$$

Tableau 4.3.Coefficient de corrélation linéaire ANOVA/SPSS

Model		Coefficients ^a				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error			
1	(Constant)	951,207	3,944		241,171	,000
	KinAero_Wv	15,721	2,575	,744	6,106	,000
2	(Constant)	977,285	6,536		149,534	,000
	KinAero_Wv	11,721	2,192	,555	5,348	,000
	KinAero_HS	-1192,972	263,879	-,469	-4,521	,000
3	(Constant)	954,751	11,549		82,670	,000
	KinAero_Wv	12,055	2,051	,571	5,877	,000
	KinAero_HS	-1209,926	246,436	-,476	-4,910	,000
	KinAero_TempAir	,762	,332	,205	2,298	,029

a. Dependent Variable: KinAero_Patm

Nous pouvons alors predire la pression atmosphérique par les équations de corrélation linéaire ci-après :

$$\text{Patm_KIN_Aéro} = 951,207 + 15,721 * Wv \tag{1.4}$$

$$\text{Patm_KIN_Aéro} = 977,285 + 11,721 * Wv - 1192,972 * HS \tag{1.5}$$

$$\text{Patm_KIN_Aéro} = 954,751 + 12,055 * Wv - 1209,926 * Hs + 0,762 T^{\circ} \text{Air} \tag{1.6}$$

3.2.3. le Vent (direction :Wd et vitesse :Wv)

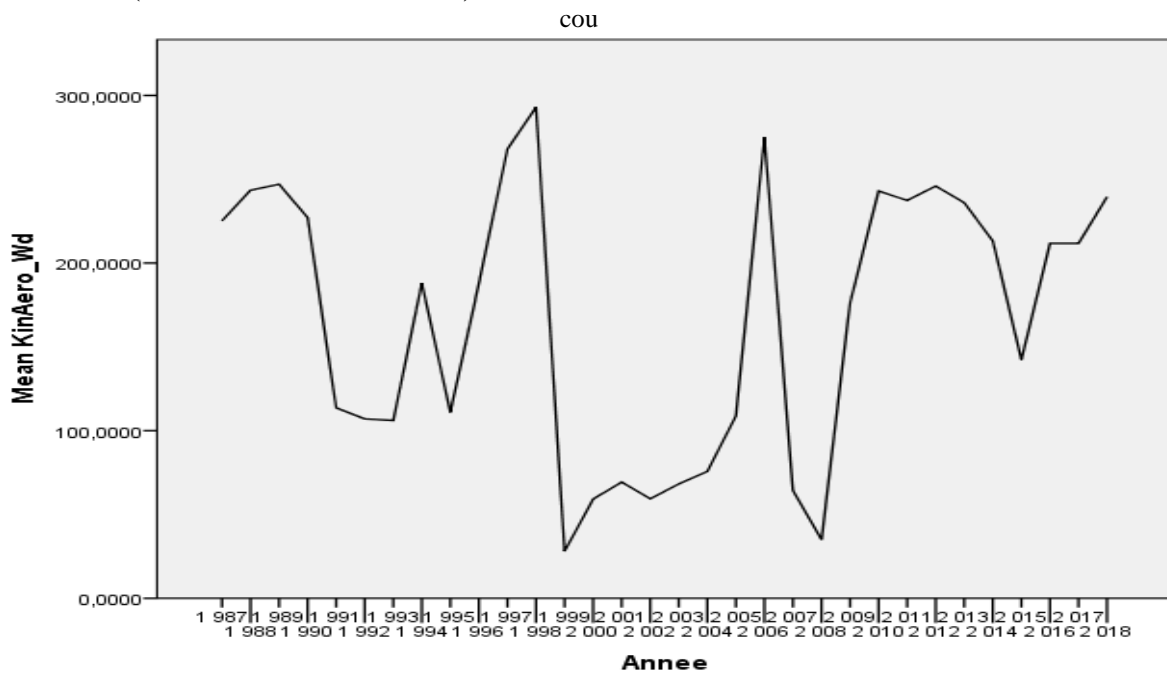


Figure 3.7.courbe de variation de la direction de vent de 1978 à 2018

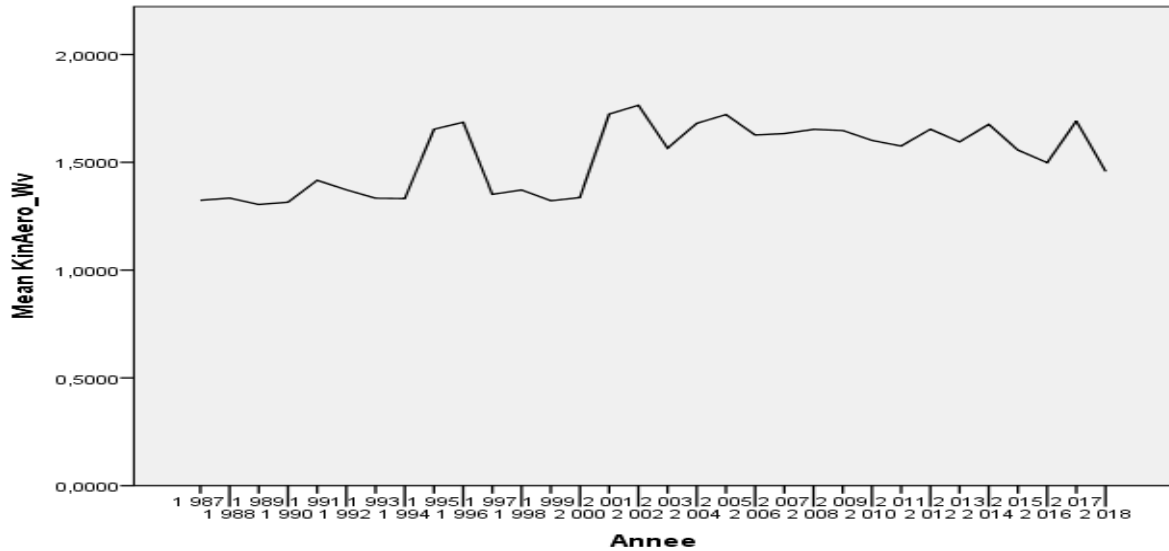


Figure 3.8 .courbes de variation de vent à FZAA de 1987 à 2018.

$$\text{VENT m/Sec} = -28,906 + 0,031 \cdot \text{KinPression_hPa}^a$$

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	-28,906	7,455		,001
	KinPression_Atm_hPa_FI H_FZAA	,031	,008	,596	,000

a. Dependent Variable: Kin_Vitesse_Vent_metre_par_Sec_FIH_FZAA

$$\text{VENT_m/Sec} = -32,072 + 0,034 \cdot \text{Pression_hPa}, \quad (1.7)$$

avec un Baromètre ;

La vitesse du vent est restée autour de la normale climatique avec de très faibles variations

3.2.4. La pluviométrie

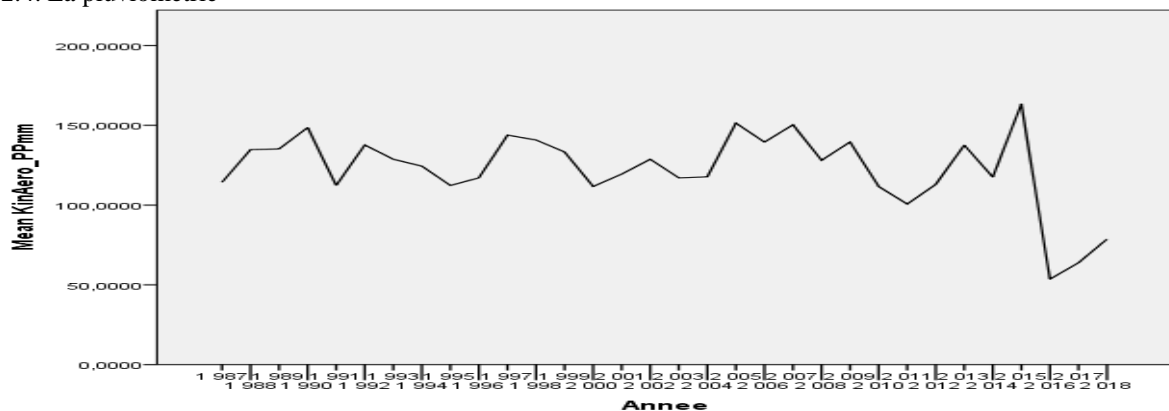


Figure 3.9.courbe de l'évolution de la pluviometrie de 1987 à 2018.

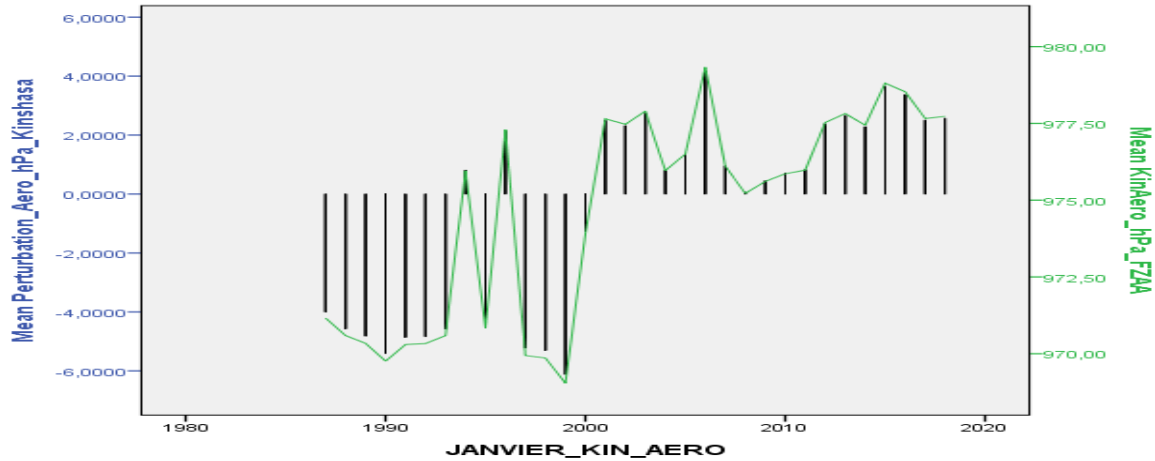


Figure 3.10. courbe de perturbation de la pression atmosphérique du mois de janvier de 1987 à 2018.

Depuis l’an 2000 en Janvier, la Baromètre de l’Aéroport de Kinshasa vire vers des faibles anticyclones avec des vents et des précipitations de plus en plus faibles:

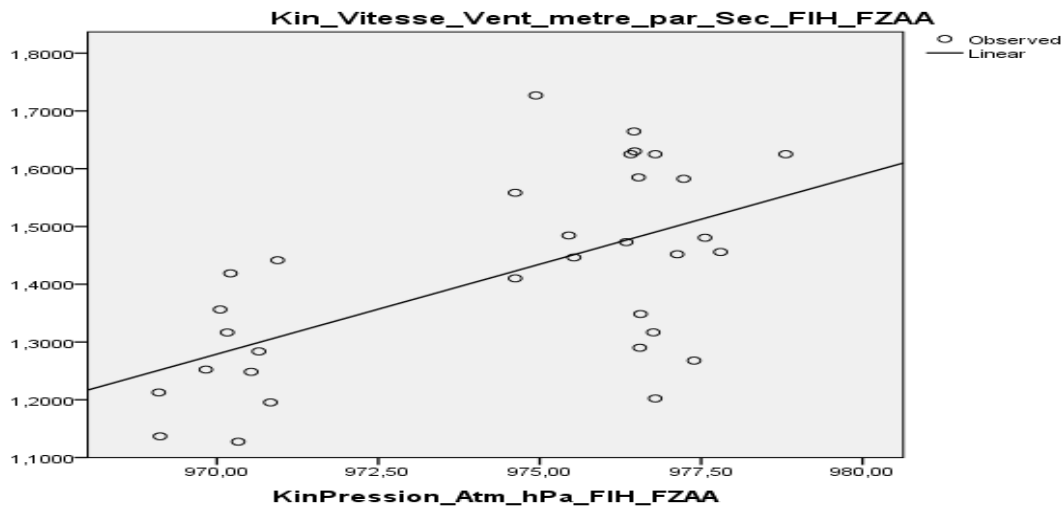
ARIMA(1,0,1) Celerité des Vents sur l’Aéroport de Kinshasa FZAA FIH en Fonction du Baromètre

				Estimate	SE	t	Sig.
KinAeroVitesseVent_FZA	KinAeroVitesseVent_FZA	Square Root	Constant	-27,469	8,080	-3,400	,002
A-Model_1	A		AR Lag 1	,865	,357	2,423	,022
			MA Lag 1	,996	3,350	,297	,768
	KinAero_hPa_FZAA	Square Root	Numerator Lag 0	,917	,259	3,542	,001

Seul le modèle Auto Régressif AR (1, 0,0) est crédible sous la prédiction :

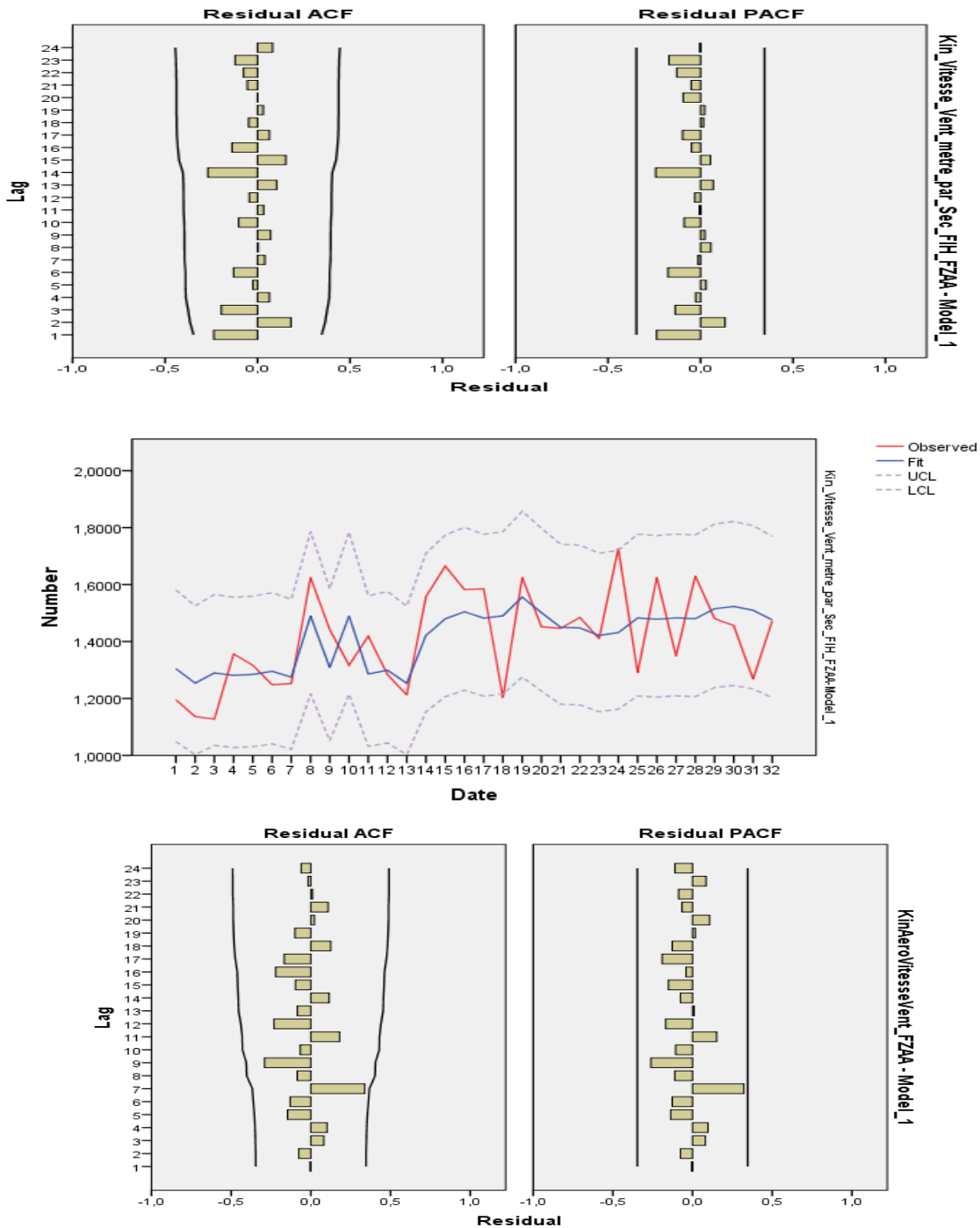
$$\text{Vent (Heure)} = -27,469 + 0,865 * \text{Vent (Heure-1)} + 0,917 * \text{Patm-hPa (Heure)} \quad (1.8)$$

en mètre/sec en Janvier sur l’Aéroport de N’djili;



ARIMA Model Parameters: VENT en m/Sec = -11,675 + 0,013*Kin_Pression_hPa

				Estimate	SE	Sig.
Kin_Vitesse_Vent_metre	Kin_Vitesse_Vent_metre	Square Root	Constant	-11,675	3,130	,001
_par_Sec_FIH_FZAA-	_par_Sec_FIH_FZAA					
Model_1	KinPression_At_m_hPa_FI	No Transformation	Numerator Lag 0	,013	,003	,000
	H_FZAA					



Sous une Direction dominante des Vents de : $(162,2369 \pm 93,065)$ Degré Nord/Est de FZAA N'djili Aéro-FIH. En Janvier, pour l'instant, il n'y a pas risque de voir au fil des années la Célérité des Vents augmenter sur le Tan Marc de N'djili Aéro dans la fourchette de 1 à 1,75 m/Sec:

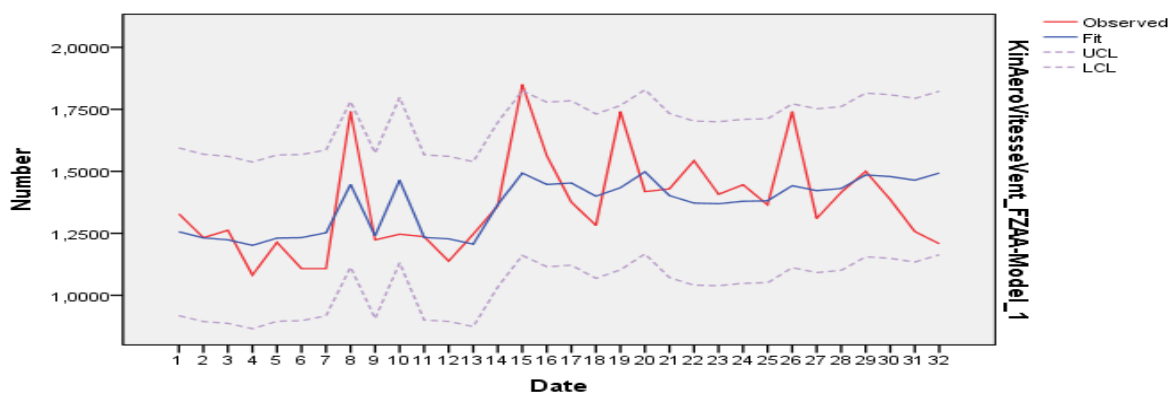
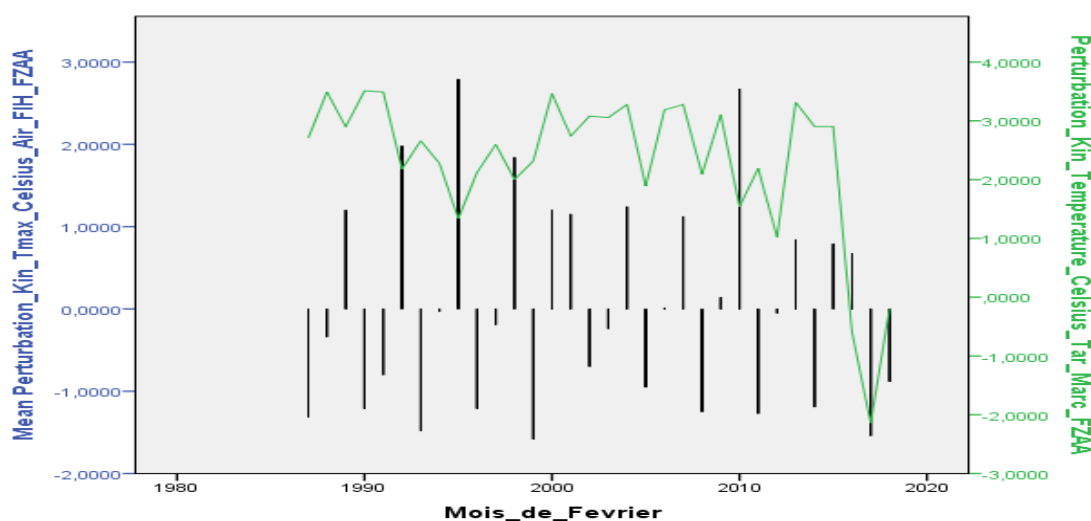


Figure 3.12.anomalie de vent à FZAA du mois de février



L'humidité relative impacte sur la pression atmosphérique .

L'année 2000 est considérée comme l'année où tout a basculé à l'aéroport de Ndjili, l'humidité spécifique baisse sensiblement et l'air de vient chaud ne soutenant plus la masse de l'avion en toute sécurité. Le mois de Janvier et de Mars sont plus critiques où il y a plus des inversions de température créant des zones anticyclonique avec cisaillement de vent.

3.3. Indications sur la Vulnérabilité aéroportuaire

Nous donnons ci-dessous la grille de vulnérabilité de l'aéroport de Ndjili, renseignée avec l'aide de l'exploitant, de l'AAC/RDC et les audits de sécurité de l'OACI permettent de pointer les forces (zones jaune et verte) et faiblesses (zones orange et rouge) de l'aéroport face au changement climatique.

Tableau 3.5.grille de vulnérabilité de l'aéroport de Ndjili

Aléas		Evolution Vent	Evolution de la biodiversité	Evolution de la température	Evolution de Pa	Evolution De la pluviométrie	Evolution de HS	Autres évènements extrêmes
Infrastructure	Accès			6		1		
	Parking			6		1		6
	Piste, système de pistes	9	9	6	6	2	9	9
	Voies de circulation		3	6		2		2
	Aire de trafic	3	3	6		6		6
Aérogares				6		6		

Bati me nts	Liaison entre Aérogare		6		6		
	Bureau et autres bâtiments		6				
	Tour de contrôle		6				
	Caserne anti incendie		6				
	Hangar technique		6				
				6			
Exploitation	Zones de depot carburant		9				
	Zone pompiers SSLIA		6				
	Tracteurs et engins d'assistance		3				
	Capacité de l'aéroport		3				
	Equipements liés à la navigation						
	Personnel d'exploitation		3				

3.4. Indications sur la situation sécuritaire aéroportuaire

Nous décrivons ci-dessous la situation sécuritaire de l'aéroport de Ndjili, sous forme de la matrice de sécurité, renseignée avec l'aide de l'exploitant, de l'AAC/RDC et les audits de sécurité de l'OACI permettent de pointer les forces (zones rouge, jaune et verte).

Tableau 3.7. Matrice de sécurité de l'aéroport de Ndjili

N°	Type d'opération ou d'activité	Danger Générique	indice du risque	
01	Piste : RACD14.3.1.	Nids de poule, pelade, faiçenage de fatigue, désenrobage, fissures...sur les bandes pistes	5B	Red
		Incursions (personnes, véhicules) etc...	4B	
		Péril animalier	4B	
		Défaillance des feux de bord de piste	5B	
		absence d'un plan de maintenance de la chaussée ;	4B	
		insuffisance des NAVAIDs et système de guidage visuel	5C	
		Présences des F.O.Ds	5C	
		La mesure du coefficient de frottement de la piste n'est pas réalisée		
		Insuffisance des marquages	5D	
02	Prolongements Dégagés: RACD 14.4.3	Une partie de la bande de piste doit être nivelée et dégagée de tout obstacle	5D	Yellow
			4B	
03	Balisage diurne sur piste Bretelle Tarmac	-Faible ou absence de marques RACD 14PART 1.3.11	4C	Yellow
		L'absence d'historique, de rapports et valeurs actualisées d'indicateurs sur l'état des chaussées (PCN, CBR, IS, sol supports, etc.)	3C	
04	Coordination vols militaires et civils : RACD 14 PART 1.2.14	Insuffisante	5D	Yellow
05	Documentations RACD14 PART 3.3 RACD PART 1. 14.10.2	AIP, cartes de navigation et procédures d'exploitation non jour et non approuvé par l'AAC	5D	Yellow
		Manuel d'aérodrome :RACD PART3.3.1	5D	
		Absence totale des Manuels : d'entretien, programme d'urgence, manuel sûreté, programme qualité, manuel de maintenance, manuel d'inspection, manuel du SGS	5D	
		L'absence de procédures d'inspection et d'entretien standardisées (chaussée, marquage, bandes, obstacles) ;	2C	
		Absences des documents OACI relatifs à l'exploitation de l'aérodrome	5D	
		Manque de plan d'urgence, plan de masse, carte d'emprise aéroportuaire, relevé topographique de la piste et ses surfaces de dégagements	5D	

06	Personnel d'encadrement	manque de responsable qualité et responsable sécurité	5D	
		Personnel anti-incendie non recyclé	5D	
		Manque des licences ATC,RTC	5C	
07	Aire de trafic RACD 14 PART 1.3.13	Dimension, poste de stationnement et marquage insuffisants	3C	
		Présences des F.O.Ds,des poubelles à ciel ouvert,degradations partielles dans certaines parties du Tarmac	5B	
08	Bretelles RACD 14PART 1.3.11	présence fissures avec départ des matériaux	5B	
09	Bâtiments	-Aérogare linéaire avec insuffisance de modules -Aérogare technique en mauvais état	1B	
10	SSLIA	-insuffisance et mauvais état des véhicules anti-incendie -insuffisance et manque de recyclage du personnel SSLIA	4B	
11	Météorologie	-Manque des avertisseurs de cisaillement des vents - Absence des procédures pour les cyclones, visibilité réduite	5C	
		L'absence d'une base des données climatiques permettant de mesurer la vulnérabilité des perturbations climatiques	3C	
12	Environnement	-il n'y a pas de vide-toilettes aéronefs aménagé selon les règles de l'art - Les sociétés d'assistance en escale déversent les déchets solides et liquides des toilettes des avions dans plusieurs zones adjacentes au parking avion	2C	
		-Présence Les surfaces d'eau stagnante constituent un attrait pour les animaux en général et pour les oiseaux en particulier. L'herbe constitue un attrait pour les animaux en général et pour les oiseaux en particulier.	2 C	
		Aucune étude ornithologique n'a été réalisée ;	4B	
		Aucun processus d'identification des sources constituant un attrait ou un abri pour les animaux n'est établi ;	4B	

IV. Discussion des résultats

a)La Pression Atmosphérique moyenne sur l'Aéroport de Kinshasa est de $(975,169539 \pm 3,2927382) \text{ hPa}$; ceci met l'aéroport dans deux zones :

Une zone cyclonique avant l'an 2000 caractérisée par des fortes pluies et une zone anticyclonique à partir l'an 2000 caractérisé des faibles et diminution sensibles des pluies.

b) les Précipitations moyennes Locales sur l'Aéroport de N'Djili : $(318,68849 \pm 1098,03128) \text{ *Tonne Eau/ Hectare}$.

Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 2 mm seulement. En Novembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 249 mm.

La variation des précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 247 mm. La température moyenne au court de l'année varie de 4.4 °C.

c)la Température moyenne Maximale de l'Air sur l'Aéroport de Kinshasa :

$(29,26 \pm 0,8839) \text{ °Celsius}$. La Température Maximale de l'Air sur l'Aéroport est de :

$(29,4219 \pm 1,486) \text{ °Celsius}$, atteignant par moment jusqu'à +3°C Journalière de Plus sur la Normale ;

Avec une température moyenne de 26.9 °C, le mois d'Avril est le plus chaud de l'année. Juillet est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 22.5 °C à cette période.

d) l'Humidité Spécifique d'Eau dans l'Air sur l'Aéroport de N'djili :

$(0,016750 \pm 0,0012952)$ *mg H₂O/Litre d'air .nous avons remarqué que depuis 2010 l'humidité baisse sensiblement c'est-à-dire la masse l'air devient de plus en plus chaude et légère à des conséquences sur la force de portance au décollage des avions. D'où nécessité pour les exploitants d'avions d'en tenir compte sur le calcul de la masse maximale au décollage des avions (Limitation utile en anglais operationnal take of weighth).le pilote doit en tenir compte sur le braquage de volet pour éviter le décrochage en cas d'une perturbation de cisaillement de vent soit au décollage ou l'atterrissage.

e) la Vitesse de Vent sur l'Aéroport de N'djili :

$(1,524269 \pm 0,1559185)$ *m/Sec .le vent devient à partir de l'année 2000 plus en plus faible mais très turbulente sur la plateforme aéroportuaire.Ces perturbations cinétiques des langues des vents peuvent être bloquées par des coupes vents forestiers à reboiser autour de la Piste.

f) la Température Maximale des Ilots du BTP Béton-Bâtiments/Végétation sur l'Aéroport de N'Djili : $(29,28 \pm 1,3)$ °Celsius , atteignant par moment des ilots de Chaleur de +4°C Journalière de Plus sur la Normale ;
Signe d'un air Chaud suffocant en janvier sur N'djili Aéro, vu la corrélation graphique entre la température maximale de l'air ambiant sur l'aéroport et l'énergie spatiale en milliwatt par mètre-carré des installations au sol, avec comme conséquence :

1) Point de vue infrastructures et Bâtiments des aéroports internationaux

- ✓ Augmentation de la température dans les aéroports et bâtiments techniques (Elément indésirable EI.1)
- ✓ Adhérence de la piste altérée (EI.2)
- ✓ Risque d'incendie de l'aéroport technique (EI.3)
- ✓ Augmentation de la distance de décollage des (EI.4)
- ✓ Vieillesse accélérée des chaussées aéronautiques(EI.5);
- ✓ Fragilisation des sols supports, dégradation des aires de mouvement, phénomène de retrait gonflement des argiles(EI.6);
- ✓ dégradation des sols support(EI.7);
- ✓ Retrait/gonflement des argiles avec fissures des bâtiments(EI.8);
- ✓ Cisaillement de vent constaté au seuil 24 pendant et après un fort orage(EI.9)
- ✓ Présence de FOD dans les aires des manœuvres et de Traffic(EI.11)

2) Point de vue exploitation

- Problèmes de visibilité générés par la brume sèche et brouillard (EI.10)
 - Évolution du type d'oiseaux et de leurs aires de répartition, présence en hausse aux abords des aérodromes, augmentation du péril aviaire (EI.11)
 - Fermeture d'aéroports en cas d'alerte cyclonique, tempête ou suite à une tempête ou un cyclone (EI.12);
- Pour résoudre ce problème, il faut :
- a) Revêtir le béton ilot aéroportuaire d'une peinture thermo réfléchissante très blanche pour réduire l'effet corps noir du Tar Marc !
 - b) Créer des ilots d'évapotranspiration forestière le long de la Piste aéroportuaire pour réduire les anomalies thermiques de l'air-micro climat local, dans le but de restaurer la densité thermique des masses d'air, évitant ainsi aux avions des turbulences à l'atterrissage et au décollage au sol suite aux sillons des vents de plus en plus violents en pleine dépression depuis l'an 2000 :

f) Direction Dominante des Vents sur l'Aéroport de N'djili :

$(166,182 \pm 81,6221)$ Degré Sud/ouest ;

Aussi le vent dominant ayant changé de direction depuis 1990, l'aéroport de FZAA doit être doté de deux pistes orienté:

- 1) 243/63° : Piste 06/24
- 2) 346/166 : piste 16/34

Le baromètre indique une forte fluctuation des ilots de chaleur qui se déplace d'ouest à l'Est ,vers le seuil de piste 24 après orage, pour pallier à cette situation nous recommandons à la RVA d'implanter au seuil de la Piste 24 un détecteur de cisaillement de vent ,à défaut, il est fortement recommandé aux ATC (contrôleur de la circulation aérienne du contrôle d'aérodrome d'utiliser plus la piste 06 avant et après l'orage si le vent indiqué est favorable par rapport aux performances de l'avion.

V. Conclusion

Nous avons étudié l'évolution des variables climatiques au niveau de l'aéroport de Kinshasa Ndjili sur la période de 1987 à 2018. Nous avons constaté une augmentation progressive de la température du sol, sous-sol et de l'air $\pm 1.16^{\circ}\text{C}$. Ceci conduit à l'apparition des micro climats avec des îlots de chaleur aux conséquences néfastes sur l'exploitation technique des avions et aussi sur les infrastructures aéroportuaires.

L'action croisée de plusieurs paramètres biophysiques, climatiques et des particularités opérationnelles et environnementales de l'aéroport détermine en fin de compte la vulnérabilité de cette plateforme aéroportuaire aux aléas climatiques très néfastes.

De plus, dans certaines périodes de l'année, l'aéroport est soumis à des phénomènes indépendants du climat (par incursion de piste, inexpérience des acteurs qui interviennent sur la plateforme et sous qualification du personnel technique, insuffisance ou manque des équipements météorologiques adéquats et modernes adaptés pour la prévision du temps, les immondices attirant les oiseaux).

Il faut également prendre en considération la pollution de l'air, la décharge de carburant dans les aéroports et le CO₂ dégagé par les avions, la présence des champs dans les environs de l'aéroport, construction anarchique dans les aires d'approche et d'atterrissage des avions qui peuvent également influencer par les changements climatiques.

Vu l'incertitude qui entache l'évolution du climat de l'aéroport, il est possible que l'Etat Congolais adopte des mesures d'adaptation et d'alerte précoce telles que proposées dans notre étude, d'autant que certaines pourraient être coûteuses et exigeantes pour une modification des habitudes de comportement et des normes opérationnelles.

En principe, les politiques et programmes de développement qui visent une utilisation durable des ressources techniques, humaines et qui permettraient de réagir efficacement à l'évolution des aléas climatiques et à d'autres changements seraient bénéfiques pour tous les aéroports de la RD Congo, même dans l'éventualité où le climat subit moins de changement.

Bibliographie

- [1]. **Albert KABASELE YENGA YENGA**, Modélisation du Fleuve Congo et Marées Océaniques de Muanda par Climatologie Spatiale, ouvrage édité par la Revue des Géosciences et innovations Spatiale de l'Institut Géographique du Congo, vol III, IGC-KINSHASA, Janvier 2020
- [2]. **Albert KABASELE YENGA YENGA**, la guerre de l'eau, ouvrage édité par la Revue des Géosciences et innovations Spatiale de l'Institut Géographique du Congo, vol III, IGC-KINSHASA, Janvier 2020
- [3]. **Albert KABASELE YENGA YENGA, Sylvain LUSHIKU, Augustin KABAMBA et Idriss RUZINDANA**, Utilisation de la station virtuelle en orbite Héliosynchrone dans l'amélioration et validation de la Modélisation des anomalies climatiques dans la ville Province de Kinshasa dans la revue scientifique Télédétection SIG Modélisation et Géoscience, Vol1. Kinshasa, oct 2017.
- [4]. **GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)**. 2001. Résumé à l'intention des décideurs. Dans *Bilan 2001 des changements climatiques: les éléments scientifiques*. Contribution du Groupe de travail I au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis, Cambridge University Press.
- [5]. **GIEC**. 2007. *Changements climatiques 2007: les éléments scientifiques*. Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis,
- [6]. **B. Osman-Elasha**, Impacts des changements climatiques, adaptation et liens avec le développement durable en Afrique
- [7]. **CMED (Commission mondiale de l'environnement et du développement)**. 1987. *Notre avenir à tous*. Oxford, Royaume-Uni, Oxford University Press.
- [8]. **GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)**. 2007a. *Climate change 2007: the physical science basis*. Contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- [9]. **GIEC**. 2007b. *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution du Groupe de travail II au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.
- [10]. **OACI**, annexe 19 à la convention de Chicago, gestion de la sécurité, 2^{ème} édition, Montréal juillet 2016
- [11]. **OACI**, doc 9859 AN/474, Manuel de gestion de la sécurité, 2^{ème} édition, Montréal 2013.
- [12]. **ENAC-ALUMNI**, Conférence sur l'aéroport de futur, ENAC avril 2020
- [13]. **OACI**, Annexe 14, Conception et exploitation technique des aéroports, 7^{ème} édition, 3^{ème} amendement, novembre 2019.