

**ANALYSE DE L'IMPACT DES CYCLONES TROPICAUX SUR
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE A L'AIDE DE RESEAUX DE NEURONES
ARTIFICIELS ET DE TECHNIQUES D'ACOUSTIQUE ENVIRONNEMENTALE**

RAJAONARISON L Dina P(*1), RANDRIANJA Roger(*2), RAJAONARISON Eddie Frank(*1)

(*1) Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe Vakinankaratra

(*2) Université d'Itasy

Auteur correspondant, e-mail : heryzaiany@gmail.com

Antananarivo 101, Madagascar

RESUME

Cet article a exploré comment les réseaux de neurones artificiels pouvaient être utilisés pour prédire l'impact des cyclones tropicaux sur l'aménagement du territoire dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien. De plus, les techniques d'acoustique environnementale ont été employées pour mesurer les effets des murs végétalisés sur la propagation du bruit généré par les cyclones tropicaux. Les résultats de cette étude pourraient servir à améliorer l'aménagement du territoire dans les zones touchées par ces phénomènes dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien.

Mots clés : Murs végétalisés, Acoustique, cyclones, Aménagement, Réseaux de Neurones Artificiels (RNA),

ABSTRACT

This paper explored how artificial neural networks could be used to predict the impact of tropical cyclones on land use planning in the Southwest Indian Ocean basin. In addition, environmental acoustics techniques were used to measure the effects of green walls on the propagation of noise generated by tropical cyclones. The results of this study could be used to improve land use planning in areas affected by these phenomena in the Southwest Indian Ocean basin.

Keywords: Green walls, Acoustics, cyclones, Development, Artificial Neural Networks (ANN),

INTRODUCTION

Les cyclones tropicaux, phénomènes météorologiques extrêmes caractérisés par des vents violents, des pluies intenses et des ondes de tempête, représentent une menace majeure pour les territoires vulnérables du bassin sud-ouest de l'océan Indien [1]. Ces événements dévastateurs frappent régulièrement les îles et les zones côtières de la région, occasionnant des dégâts considérables sur l'environnement bâti et naturel [2]. Face à ce constat, une compréhension approfondie de l'impact des cyclones tropicaux sur l'aménagement du territoire s'avère indispensable.

L'aménagement du territoire dans les régions exposées aux cyclones doit adopter une approche proactive pour atténuer les risques et renforcer la résilience des communautés [3]. Cela implique d'identifier les zones vulnérables en cartographiant les zones à risque d'impact cyclonique, en tenant compte des facteurs topographiques, de l'occupation des sols et de la sensibilité des infrastructures. Il est également nécessaire de mettre en place des réglementations en matière d'aménagement en établissant des normes de construction et d'urbanisme strictes pour garantir la résistance des structures aux vents violents et aux inondations. L'élaboration de politiques et de stratégies d'aménagement efficaces exige une compréhension précise des impacts potentiels des cyclones sur l'environnement bâti et naturel [4]. Il convient de promouvoir des pratiques d'aménagement respectueuses de l'environnement en favorisant l'utilisation de solutions basées sur la nature, telles que les mangroves et les forêts côtières, pour réduire l'impact des ondes de tempête et protéger les populations. Cet article s'inscrit dans cette démarche en explorant plusieurs thématiques. Il inclut l'analyse des mécanismes de formation et d'intensification des cyclones, en étudiant les facteurs atmosphériques et océaniques qui contribuent à la formation et à l'intensification des cyclones tropicaux dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien. Il se penche également sur l'utilisation de réseaux de neurones artificiels pour la prédiction des impacts, avec le développement de modèles prédictifs basés sur l'intelligence artificielle pour anticiper les dommages causés par les cyclones sur les infrastructures et les habitations. En outre, cet article évalue l'efficacité des murs végétalisés contre le bruit des cyclones, en analysant leur capacité à atténuer le bruit généré par les vents violents associés aux cyclones tropicaux.

En s'appuyant sur des approches novatrices telles que les réseaux de neurones artificiels et l'acoustique environnementale, cet article contribue à la compréhension des dynamiques complexes entre les cyclones tropicaux et l'aménagement du territoire dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien. Les résultats de cette recherche permettront d'orienter la mise en œuvre de stratégies d'adaptation et de résilience plus efficaces face à la menace des cyclones tropicaux.

I. MATERIELS ET METHODES

I.1. Cadre Théorique

I.1.1. Revue de la littérature

La littérature existante offre une base solide pour comprendre les interactions entre les cyclones tropicaux et l'aménagement du territoire [5] [6] [7]. Les études antérieures ont documenté les impacts variés de ces phénomènes météorologiques sur les zones côtières, mettant en lumière les défis spécifiques auxquels sont confrontées les communautés affectées [8] [9]. Les recherches ont exploré les dommages matériels, la vulnérabilité des infrastructures critiques, les changements

dans l'utilisation des sols et les implications sociales et économiques. Cette revue de la littérature fournira une base complète pour situer les résultats de la présente thèse dans le contexte actuel des connaissances.

La littérature récente met en évidence l'utilisation croissante des réseaux de neurones artificiels dans la modélisation et la prédiction des catastrophes naturelles, y compris les cyclones tropicaux [10]. Ces modèles basés sur l'apprentissage automatique offrent la possibilité de capturer des relations complexes entre les paramètres météorologiques, d'anticiper les trajectoires des cyclones et de quantifier leurs impacts sur les territoires. Des études antérieures ont exploré la fiabilité et l'efficacité de ces modèles pour prévoir les conséquences des phénomènes climatiques extrêmes [11]. Cette revue de la littérature permettra d'établir le contexte méthodologique et d'identifier les avancées et les lacunes existantes dans l'utilisation des réseaux de neurones dans ce domaine.

L'acoustique environnementale a émergé comme une discipline prometteuse pour évaluer les effets des phénomènes météorologiques, y compris les cyclones tropicaux [12]. Des recherches antérieures ont exploré l'utilisation de techniques acoustiques pour mesurer la propagation du son pendant ces événements, fournissant des informations précieuses sur l'intensité des vents, les vagues et d'autres paramètres acoustiques associés [13]. Cette revue de la littérature examinera les méthodes et les applications actuelles de l'acoustique environnementale dans le contexte des phénomènes météorologiques extrêmes, mettant en évidence les avancées technologiques et les possibilités offertes par cette approche pour évaluer les effets des cyclones tropicaux.

En résumé, cette revue de la littérature permettra de consolider les connaissances existantes sur les interactions entre les cyclones tropicaux et l'aménagement du territoire, d'explorer les applications des réseaux de neurones artificiels dans la prédiction des catastrophes naturelles, et de comprendre l'utilisation de l'acoustique environnementale pour évaluer les effets des phénomènes météorologiques, fournissant ainsi un fondement solide pour la recherche actuelle.

1.1.2. Concepts clés

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) constituent un domaine clé de la science informatique et de l'apprentissage automatique. Cette section explorera les principes fondamentaux des RNA, mettant l'accent sur la structure neuronale, le processus d'apprentissage, les différentes architectures (comme les réseaux de neurones profonds) et les applications spécifiques dans la modélisation des phénomènes complexes, tels que les cyclones tropicaux. Une compréhension approfondie de ces concepts est essentielle pour élaborer et évaluer les modèles prédictifs utilisés dans cet article.

L'objectif de notre étude est d'utiliser uniquement les variables prédictives qui offrent les meilleures performances pour notre modèle de réseau de neurones. Pour ce faire, nous mettrons en œuvre une technique de sélection de sous-ensemble de prédicteurs à partir d'un ensemble initial.

Voici les étapes clés de notre approche :

1. **Classement des prédicteurs** : Nous commençons par un ensemble de p prédicteurs. En utilisant une version modifiée de la méthode de Gram-Schmidt (GSM), nous identifions le prédicteur qui décrit le mieux la sortie souhaitée, puis le deuxième meilleur, et ainsi de suite. Cela nous donne un classement des variables prédictives.

2. **Ajout de prédicteurs aléatoires** : En plus des p prédicteurs initiaux, nous incluons également des prédicteurs aléatoires. Cela nous permettra de déterminer le nombre final de prédicteurs à utiliser dans notre réseau de neurones.
3. **Algorithme de Gram-Schmidt amélioré** : Nous utilisons une version améliorée de l'algorithme de Gram-Schmidt pour trier les variables pertinentes. L'idée est de considérer la valeur de chaque variable prédictive et la sortie souhaitée comme des vecteurs :

- Matrice d'entrée X :

$$X = \begin{pmatrix} x_1^1 & \cdots & x_p^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^N & \cdots & x_p^N \end{pmatrix} = (X_1, X_2, \dots, X_p) \quad (1)$$

- Vecteur d'entrée p :

$$X_p = \begin{pmatrix} x_p^1 \\ \vdots \\ x_p^N \end{pmatrix} \quad (2)$$

- Vecteur de sortie Y :

$$Y = \begin{pmatrix} y^1 \\ \vdots \\ y^N \end{pmatrix} \quad (3)$$

4. **Optimisation de la contribution** : À chaque itération, nous cherchons le vecteur d'entrée qui explique au mieux la sortie. Pour cela, nous calculons le carré du cosinus de l'angle entre le vecteur d'entrée et le vecteur de sortie :

$$\max_{1 \leq i \leq p} (\cos^2(X_i, Y)) = \max_{1 \leq i \leq p} \left(\frac{(X_i^T Y)^2}{(X_i^T X_i)(Y^T Y)} \right) \quad (4)$$

Après chaque itération, nous éliminons le vecteur d'entrée le plus performant et ajustons la contribution des vecteurs restants en les projetant sur leur sous-espace orthogonal par rapport au vecteur de sortie.

L'acoustique environnementale repose sur les principes physiques de la propagation du son dans l'environnement. Cette partie du cadre théorique examinera les concepts clés tels que la transmission des ondes sonores dans l'air, la réfraction, la réflexion et la diffraction. De plus, elle abordera les caractéristiques spécifiques des sons générés par les cyclones tropicaux, y compris le bruit du vent, les percussions sur les structures et les émissions sonores des vagues. Une compréhension approfondie de ces principes est essentielle pour interpréter les données acoustiques collectées pendant les événements climatiques extrêmes.

Soit (E) l'environnement acoustique, (S) la source sonore (comme un cyclone tropical), et (O) l'observateur. Nous pouvons exprimer les concepts clés comme suit :

✓ **Propagation du son** :

La pression acoustique (p) à un point (P) dans l'air est donnée par l'équation d'onde :

$$p(P,t)=p_0\cos(2\pi ft-kr) \quad (5)$$

où

(p_0) est l'amplitude,

(f) est la fréquence,

(t) est le temps,

(k) est le nombre d'onde, et

(r) est la distance entre la source et le point (P).

✓ Réfraction :

Lorsque le son traverse des couches d'air avec des indices de réfraction différents, il subit une déviation. La loi de Snell-Descartes décrit ce phénomène avec l'équation suivante :

$$n_1\sin(\theta_1)=n_2\sin(\theta_2) \quad (6)$$

où n_1 et n_2 sont les indices de réfraction des deux couches d'air, et θ_1 et θ_2 sont les angles d'incidence et de réfraction, respectivement.

✓ Réflexion :

Lorsque le son rencontre une surface, comme le sol ou un bâtiment, il peut être réfléchi. Le coefficient de réflexion R est donné par l'équation suivante :

$$R = \left(\frac{Z_2-Z_1}{Z_2+Z_1}\right)^2 \quad (7)$$

où Z_1 et Z_2 représentent les impédances acoustiques des deux milieux en contact.

✓ Diffraction :

La diffraction se produit lorsque le son contourne un obstacle. L'intensité diffractée I_d est donnée par l'équation suivante :

$$I_d \propto x = \frac{\lambda}{a} \sin^2(\theta) \quad (8)$$

où λ représente la longueur d'onde, a est la taille de l'ouverture, et θ est l'angle de diffraction.

L'effet de coin est un phénomène d'écoulement aux angles d'une construction qui met en relation des zones de surpression en amont et la zone de dépression latérale du bâtiment. L'obstacle peut être une forme isolée (tour, parallélépipède rectangle) ou un ensemble compact de constructions.

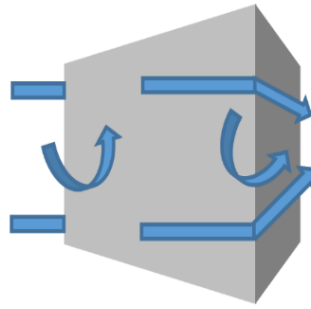


Fig.1 : Effet de coin.

L'effet de sillage concerne à la fois une zone de protection à l'arrière du bâtiment et la présence des couches de cisaillement inconfortables pour les piétons sur les côtés de celle-ci. Ces zones de cisaillement, à l'arrière des bâtiments, sont plus ou moins stables et à très forts taux de turbulence ($I=0.4$) qui persistent longtemps en aval. Pour les bâtiments très élevés, le sillage a une forme caractéristique de sabot de cheval. L'intérieur du sillage présente généralement des vitesses de l'air faibles mais des valeurs de turbulence élevées.

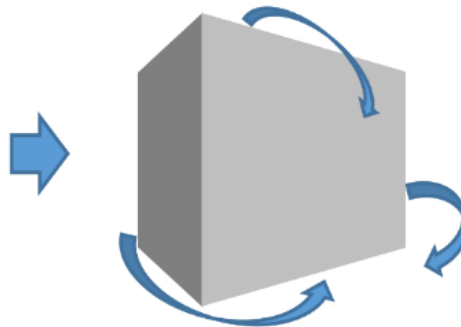


Fig.2 : Couches de cisaillement à l'arrière des bâtiments très élevés.

L'effet de passage sous immeuble se produit lors de la création d'un trou sous le bâtiment ou la mise sur pilotis de l'édifice, reliant l'avant du bâtiment en surpression et son arrière en dépression. Le vent ou le son s'accélère alors en s'engouffrant au travers de ces ouvertures reliant la façade au vent et la façade sous le vent.

Une compréhension approfondie de ces principes est essentielle pour interpréter les données acoustiques collectées lors d'événements climatiques extrêmes.



Fig.3 : Effet de passage sous immeuble, pilotis.

La mesure des impacts environnementaux se penchera sur les différentes méthodes utilisées pour mesurer les impacts environnementaux, en mettant l'accent sur les approches quantitatives et qualitatives. Les techniques de collecte de données telles que les relevés sur le terrain, les capteurs environnementaux, les images satellites et les modèles informatiques seront explorées. L'objectif est de décrire les outils et les méthodologies qui seront employés pour évaluer l'effet des cyclones tropicaux sur l'environnement bâti et naturel, ainsi que pour évaluer l'efficacité des murs végétalisés. Une analyse approfondie de ces méthodes est cruciale pour garantir la fiabilité des résultats obtenus au cours de cet article.

Soit (I) l'impact environnemental, (M) les méthodes de mesure, et (E) l'environnement. Nous pouvons exprimer ces éléments comme suit :

✓ **Approches quantitatives et qualitatives :**

L'impact environnemental (I) est évalué en utilisant des méthodes quantitatives M_q et qualitatives M_{qual} . La relation est exprimée par la formule suivante :

$$I = f(M_q, M_{qual}) \quad (9)$$

Cela signifie que l'impact environnemental dépend de ces deux types de méthodes d'évaluation,

où M_q représente les mesures quantitatives, telles que les données numériques et statistiques, et M_{qual} représente les évaluations qualitatives, comme les observations et les jugements subjectifs.

✓ **Collecte de données :**

Différentes techniques de collecte de données sont utilisées pour évaluer l'impact environnemental. Ces techniques incluent :

- Relevés sur le terrain ($D_{terrain}$)
- Capteurs environnementaux ($D_{capteurs}$)
- Images satellites ($D_{satellites}$)
- Modèles informatiques ($D_{Modèles}$)

La combinaison de ces techniques peut être représentée par l'expression suivante :

$$D = D_{terrain} \cup D_{capteurs} \cup D_{satellites} \cup D_{Modèles} \quad (10)$$

Cela signifie que l'ensemble des données (D) utilisées pour l'évaluation de l'impact environnemental est constitué de l'union des données collectées par chacune de ces techniques.

✓ **Évaluation des effets des cyclones tropicaux :**

L'effet des cyclones tropicaux sur l'environnement bâti et naturel est décrit par la formule suivante :

$$I_{cyclones} = f(D, E) \quad (11)$$

où :

- I_{cyclones} représente l'impact des cyclones tropicaux.
- D représente l'ensemble des données collectées ($D_{\text{terrain}} \cup D_{\text{capteurs}} \cup D_{\text{satellites}} \cup D_{\text{Modèles}}$).
- E représente d'autres variables environnementales et contextuelles qui peuvent influencer l'impact des cyclones, comme les caractéristiques géographiques, la densité de population, les infrastructures existantes, etc.

Cette relation exprime que l'impact des cyclones tropicaux (I_{cyclones}) dépend des données collectées et des variables environnementales pertinentes.

✓ **Évaluation de l'efficacité des murs végétalisés :**

L'efficacité des murs végétalisés est mesurée par la formule suivante :

$$E_{\text{murs végétalisés}} = f(M_q, M_{qual}) \quad (12)$$

où :

- $E_{\text{murs végétalisés}}$ représente l'efficacité des murs végétalisés.
- M_q représente les mesures quantitatives.
- M_{qual} représente les évaluations qualitatives.

Cette relation indique que l'efficacité des murs végétalisés dépend à la fois des méthodes quantitatives et qualitatives utilisées pour l'évaluer.

En somme, cette section du cadre théorique explorera les concepts clés liés aux réseaux de neurones artificiels, à l'acoustique environnementale et aux méthodes de mesure des impacts environnementaux. La compréhension approfondie de ces concepts constituera la base théorique nécessaire pour la mise en œuvre des modèles et des techniques dans le cadre de la recherche.

I.2. Collecte de données

La collecte de données constitue une étape fondamentale pour élaborer une analyse approfondie des impacts des cyclones tropicaux sur l'aménagement du territoire dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien. Les différentes sources de données seront soigneusement sélectionnées pour assurer une représentation complète et précise des éléments météorologiques, géospatiaux, historiques des cyclones, ainsi que des informations liées à l'aménagement du territoire et à la planification urbaine.

1.2.1. Sources de données météorologiques et géospatiales

Voici le code Python pour importer un fichier contenant les données de trajectoire et d'intensité du cyclone Idai sur la période du 1er au 4 mai 2024. Notez que le cyclone Idai n'a pas touché directement la terre à Madagascar :

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
# Chemin vers le fichier CSV téléchargé
file_path = 'path/to/cyclone_idai_data.csv'
```



```

# Importer les données
data = pd.read_csv(file_path)
# Afficher les premières lignes des données
print(data.head())
# Exemple de structure des données (à adapter selon le fichier réel)
# Date, Latitude, Longitude, Vent_Maximum, Pression
# Tracer la trajectoire du cyclone
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(data['Longitude'], data['Latitude'], marker='o', linestyle='-',
color='b')
plt.title('Trajectoire du Cyclone Idai')
plt.xlabel('Longitude')
plt.ylabel('Latitude')
plt.grid(True)
plt.show()
# Analyser l'intensité du cyclone
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(data['Date'], data['Vent_Maximum'], marker='o', linestyle='-',
color='r')
plt.title('Intensité du Cyclone Idai')
plt.xlabel('Date')
plt.ylabel('Vent Maximum (km/h)')
plt.grid(True)
plt.show()

```

1.2.2. Données historiques des cyclones tropicaux

L'analyse des impacts des cyclones tropicaux nécessite une compréhension approfondie des événements passés. Les données historiques des cyclones, comprenant des enregistrements des trajectoires, des intensités, des dates et des zones touchées, seront collectées à partir de bases de données météorologiques régionales et internationales. Ces données historiques seront essentielles pour calibrer les modèles et évaluer la performance des réseaux de neurones artificiels.

33 prédicteurs, détaillés dans le Tableau 1, ont été extraits des variables climatiques présentes dans les données cycloniques (jour, longitude, latitude, vitesse maximale du vent). Le processus d'élimination décrit précédemment a été appliqué à ces prédicteurs.

Tableau 1: Les prédicteurs initiaux.

N°	Predictors	N°	Predictors
1	Julian day	18	Longitude difference 0h -- 6h
2	Age	19	Longitude difference 0h - - 12h
3	Longitude at - 24h	20	Longitude difference 0h - - 18h
4	Longitude at- 18h	21	Longitude difference 0h - - 24h
5	Longitude at 12h	22	Latitude difference 0h - - 6h
6	Longitude at 6h	23	Latitude difference 0h - - 12h
7	Longitude at 0h	24	Latitude difference 0h - - 18h
8	Latitude at - 24h	25	Latitude difference 0h - - 24h
9	Latitude at- 18h	26	Movement speed 0h- - 6h
10	Latitude at - 12h	27	Movement speed - 6h- - 12h
11	Latitude at- 6h	28	Movement speed- 12h- - 18h
12	Latitude at0h	29	Movement speed- 18h- - 24h

13	Max wind speed at- 24h	30	Max speed difference 0h - - 6h
14	Max wind speed at- 18h	31	Max speed difference 0h - - 12h
15	Max wind speed at- 12h	32	Max speed difference 0h - - 18h
16	Max wind speed at- 6h	33	Max speed difference 0h - - 24h
17	Max wind speed at 0h		

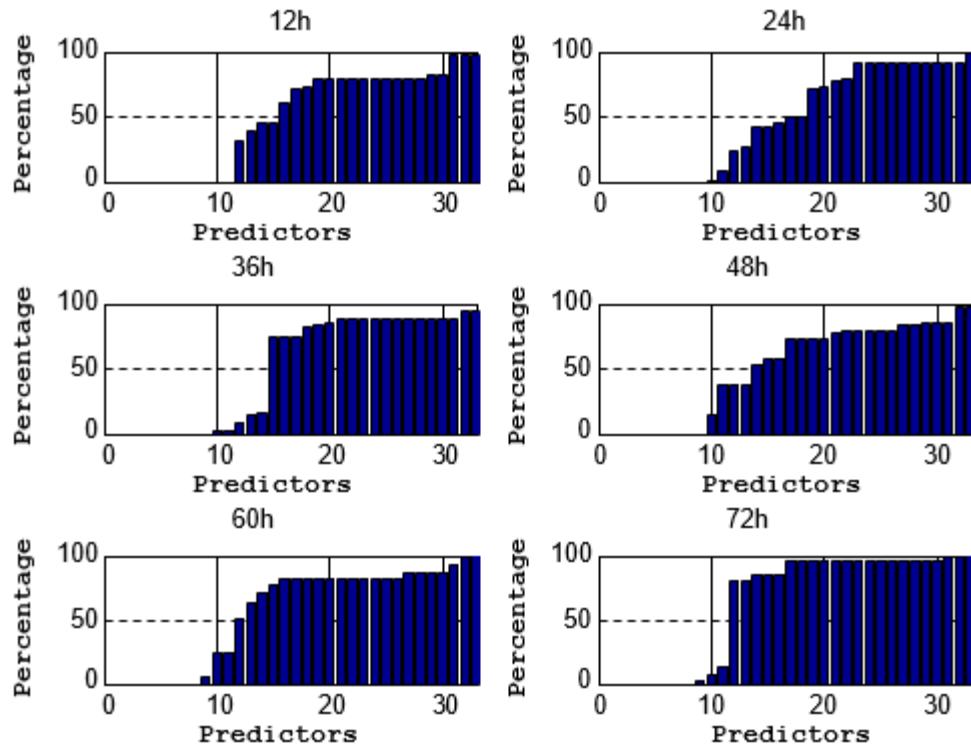


Fig.4 : Choix du nombre de prédicteurs.

La figure 4 montre que le nombre de prédicteurs aléatoires est meilleur que le nombre de prédicteurs initiaux. Après avoir sélectionné le nombre de prédicteurs (valeurs lues sur l'axe des x) à utiliser dans le modèle (RNA et RLM dans notre exemple), il y aura un choix d'au moins (valeurs lues sur l'axe des y) exprimées en %) de risques de. Un prédicteur potentiel de moins qu'un prédicteur aléatoire. Ici, nous avons un risque de 0% de choisir les 11 premiers prédicteurs classés par la méthode de Gram-Schmidt pour 12h, les 9 premiers prédicteurs pour 24h, 36h et 48h, et les 8 premiers prédicteurs pour 60h et 72h.

Comme l'océan agit comme une source chaude qui fournit de l'énergie au cyclone [14] (comme un moteur thermique), les changements de température de surface de la mer (SST) affectent son intensité. En effet, nous savons que la température la plus élevée est à l'équateur. Elle diminue à mesure que l'on s'approche des pôles. Le mouvement du cyclone vers le sud (dans l'hémisphère sud) va influencer sa force. Nous avons déjà vu que la température au début des cyclones au niveau de la mer est d'environ 26 ° C.

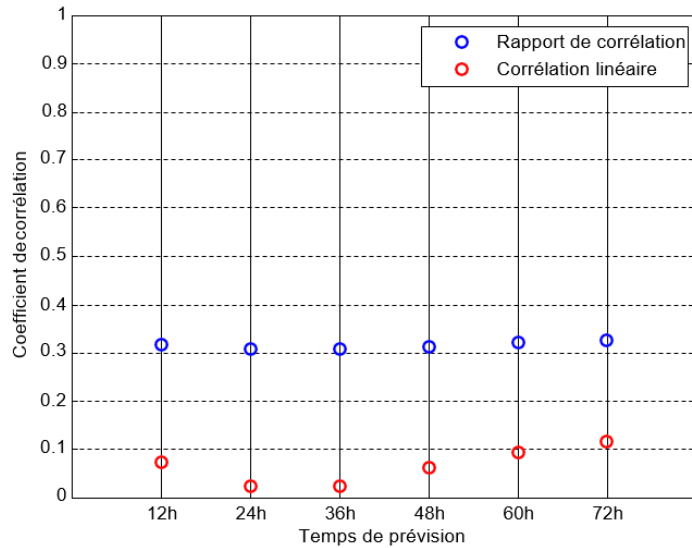


Fig.5: Corrélations entre Latitude à - 6h et intensités de 12h à 72h.

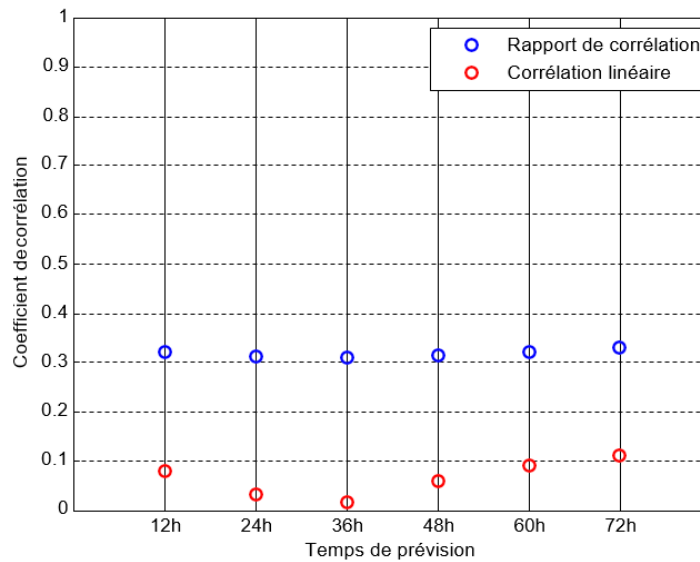


Fig.6 : Corrélations entre Latitude à 0h et intensités de 12h à 72h.

Le cycle de vie d'un cyclone commence près de l'équateur dans une zone chaude et se termine dans une zone froide loin de l'équateur. La relation entre la latitude et l'intensité des cyclones tropicaux est due à la relation entre la température de la mer et la latitude. La latitude est un bon prédicteur pour toutes les périodes. Les figures 5 et 6 montrent les coefficients de corrélation entre la latitude (6h et 0h) et l'intensité de 12h à 72h. Ces coefficients ont une valeur minimale à 36h et une valeur maximale à 72h. La différence était minimale à 72 heures. Ces prédicteurs sont adaptés aux prévisions à long terme. Cependant, la différence avec les autres délais est relativement faible.

1.2.3. Données d'aménagement du territoire et de planification urbaine

Pour évaluer les impacts sur l'aménagement du territoire, des données détaillées sur l'utilisation des sols, les infrastructures urbaines, les plans d'urbanisme et les politiques de

développement seront collectées. Ces données proviendront des autorités locales, des services d'urbanisme et des administrations publiques concernées. L'intégration de ces données permettra d'analyser comment les cyclones tropicaux affectent spécifiquement les zones urbanisées et d'identifier les secteurs les plus vulnérables.

Nous avons visualisé le parcours géographique du cyclone en traçant les coordonnées de latitude et de longitude. Nous avons ensuite analysé la variation de la vitesse maximale des vents et de la pression centrale au fil du temps pour comprendre l'évolution de l'intensité du cyclone. Le Code Python pour l'Analyse est donné par:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
# données CSV
data = {
    "Date": ["2024-05-01", "2024-05-02", "2024-05-03", "2024-05-04", "2024-05-05",
            "2024-05-06", "2024-05-07", "2024-05-08", "2024-05-09", "2024-05-10"],
    "Latitude": [-17.0, -17.5, -18.0, -18.5, -19.0, -23.5, -24.0, -24.5, -25.0, -
                25.5],
    "Longitude": [42.5, 43.0, 43.5, 44.0, 44.5, 49.0, 49.5, 50.0, 50.5, 51.0],
    "Vent_Maximum (km/h)": [65, 80, 95, 110, 120, 110, 90, 70, 50, 30],
    "Pression (hPa)": [998, 995, 980, 965, 960, 980, 990, 995, 1000, 1005] }
df = pd.DataFrame(data)
# Tracer la trajectoire du cyclone
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(df['Longitude'], df['Latitude'], marker='o', linestyle='-', color='b')
plt.title('Trajectoire du Cyclone Idai')
plt.xlabel('Longitude')
plt.ylabel('Latitude')
plt.grid(True)
plt.show()
# Analyser l'intensité du cyclone
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(df['Date'], df['Vent_Maximum (km/h)'], marker='o', linestyle='-',
         color='r')
plt.title('Intensité du Cyclone Idai')
plt.xlabel('Date')
plt.ylabel('Vent Maximum (km/h)')
plt.xticks(rotation=45)
plt.grid(True)
plt.show()
# Analyser la pression du cyclone
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(df['Date'], df['Pression (hPa)'], marker='o', linestyle='-',
         color='g')
plt.title('Pression Centrale du Cyclone Idai')
plt.xlabel('Date')
plt.ylabel('Pression (hPa)')
plt.xticks(rotation=45)
plt.grid(True)
plt.show()
```

Ces visualisations et analyses fournissent un aperçu complet de l'évolution et des caractéristiques du cyclone Idai.

Visualisation de l'Utilisation des Sols et des Zones à Risque

```
import geopandas as gpd
import matplotlib.pyplot as plt
```

```

# Charger les données géospatiales
utilisation_des_sols = gpd.read_file('path/to/land_use_data.geojson')
zones_a_risque = gpd.read_file('path/to/risk_zones.geojson')
# Visualiser les données
fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(15, 10))
utilisation_des_sols.plot(column='land_use', ax=ax, legend=True, cmap='Set2')
zones_a_risque.plot(ax=ax, color='red', alpha=0.5, edgecolor='k')
plt.title('Utilisation des Sols et Zones à Risque')
plt.xlabel('Longitude')
plt.ylabel('Latitude')
plt.show()

```

Analyse de l'Impact des Cyclones sur les Infrastructures

```

import pandas as pd
# données sur les infrastructures endommagées par les cyclones
data = {
    'Infrastructure': ['Routes', 'Ponts', 'Bâtiments Publics', 'Réseaux
Électriques'],
    'Nombre Endommagé': [50, 3, 20, 10],
    'Coût des Réparations (Milliard ar)': [10, 3, 5, 2]
}
df = pd.DataFrame(data)
# Visualiser les impacts
df.plot(kind='bar', x='Infrastructure', y='Nombre Endommagé', color='skyblue',
legend=False)
plt.title('Nombre d\'Infrastructures Endommagées par les Cyclones')
plt.xlabel('Type d\'Infrastructure')
plt.ylabel('Nombre Endommagé')
plt.show()
df.plot(kind='bar', x='Infrastructure', y='Coût des Réparations (Mar)',
color='orange', legend=False)
plt.title('Coût des Réparations des Infrastructures Endommagées')
plt.xlabel('Type d\'Infrastructure')
plt.ylabel('Coût des Réparations (Mar)')
plt.show()

```

Cette phase de collecte de données sera menée de manière rigoureuse pour garantir la qualité, la cohérence et la fiabilité des informations recueillies. Les données météorologiques, géospatiales et d'aménagement du territoire seront harmonisées et prétraitées pour assurer une cohérence dans l'analyse ultérieure.

II. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

II.1. Analyse des prédictions des réseaux de neurones artificiels

La phase d'analyse des prédictions des réseaux de neurones artificiels (RNA) constitue une étape cruciale pour évaluer la capacité du modèle à anticiper les impacts des cyclones tropicaux sur l'aménagement du territoire.

II.1.1 aperçu basé sur des informations du cyclone Idai

Cette section se concentrera sur l'identification des zones les plus vulnérables et la comparaison des résultats avec les données historiques.

1. Trajectoire :

- Origine : Le cyclone Idai s'est formé le 1 mai 2024 dans le canal du Mozambique.
- Parcours : Le 02.05.2024 à 03h00, il était à la distance la plus courte, à environ 473 km au nord-est de Mahalina en Antsiranana.
- Dissipation : Le cyclone s'est dissipé le 4 mai 2024.

2. Intensité :

- Vitesse Maximale des Vents : Environ 137 km/h (vent soutenu sur 1 minute).
- Pression Minimale : Environ 940 hPa.
- Catégorie : Cyclone tropical de catégorie 3 à 4 sur l'échelle de Saffir-Simpson.

3. Impact :

- Précipitations : Des précipitations intenses ont entraîné des inondations majeures, particulièrement au Mozambique et au Zimbabwe.
- Dommages : Des destructions massives d'infrastructures, des pertes agricoles, et des dommages aux habitations.
- Victimes : Plus de 166 morts et des milliers de personnes déplacées en Tanzanie.

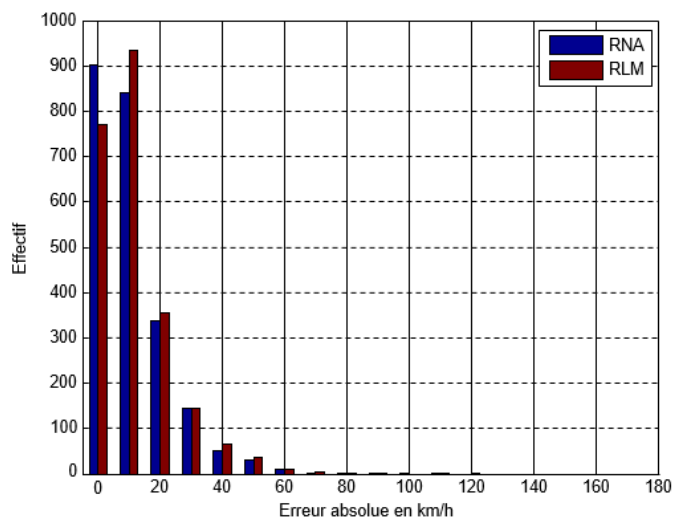


Fig.7 : Répartition des erreurs absolues pour la prévision à 12h.

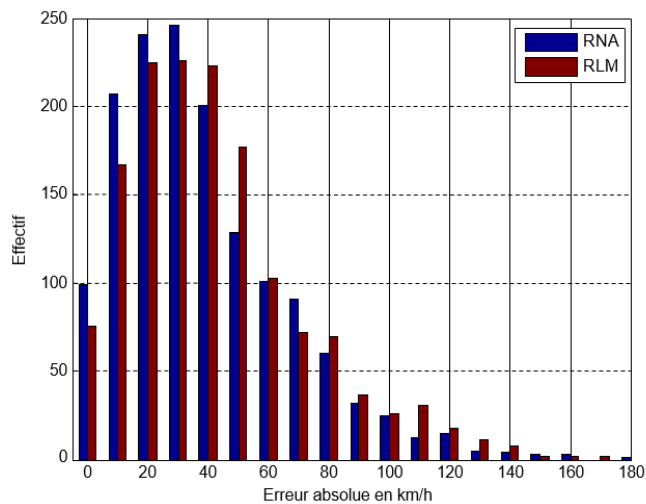


Fig.8 : Répartition des erreurs absolues pour la prévision à 72h.

Les figures 7 et 8 comparent les distributions d'erreur absolue produites par le RNA et le RLM. Ces figures indiquent la valeur maximale de chaque échéance de prévision. Pour les prévisions à 12 heures, 24 heures et 36 heures, ces maximums sont d'environ 10 kilomètres par heure, et pour les prévisions à 48 heures, 60 heures et 72 heures, ces maximums sont d'environ 20 kilomètres par heure.

Avant d'atteindre le comptage maximal, le réseau de neurones artificiels (RNA) produit un nombre d'erreurs absolues supérieur à celui des modèles de régression linéaire (RLM). Cependant, après le comptage maximal, les erreurs absolues sont plus nombreuses avec les modèles RLM.

Ces observations suggèrent que les petites erreurs sont plus courantes avec le RNA, tandis que les grandes erreurs sont rares.

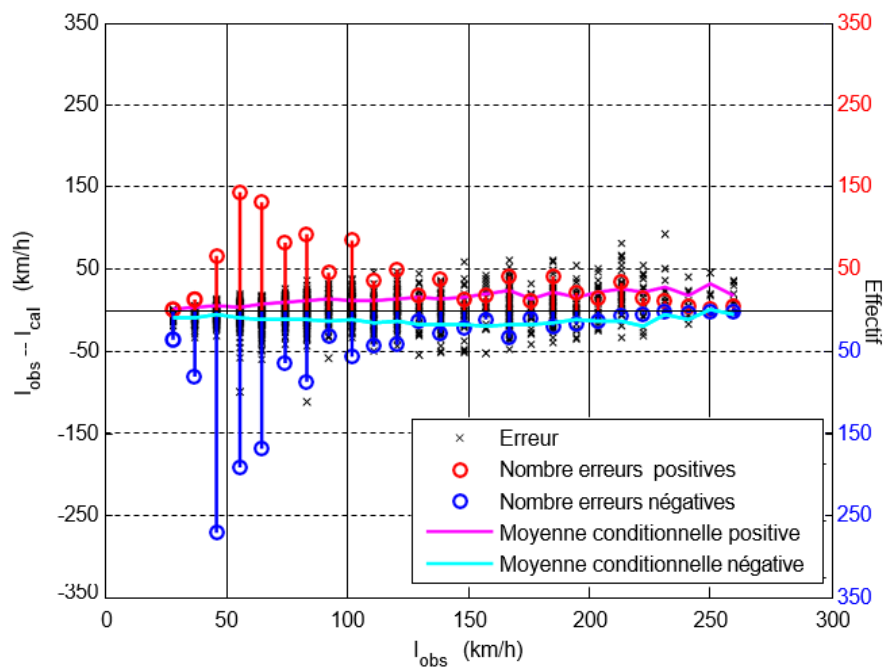


Fig.9 : Variations de la différence entre l'intensité observée et l'intensité calculée en fonction l'intensité observée pour la prévision à 12h par RNA.

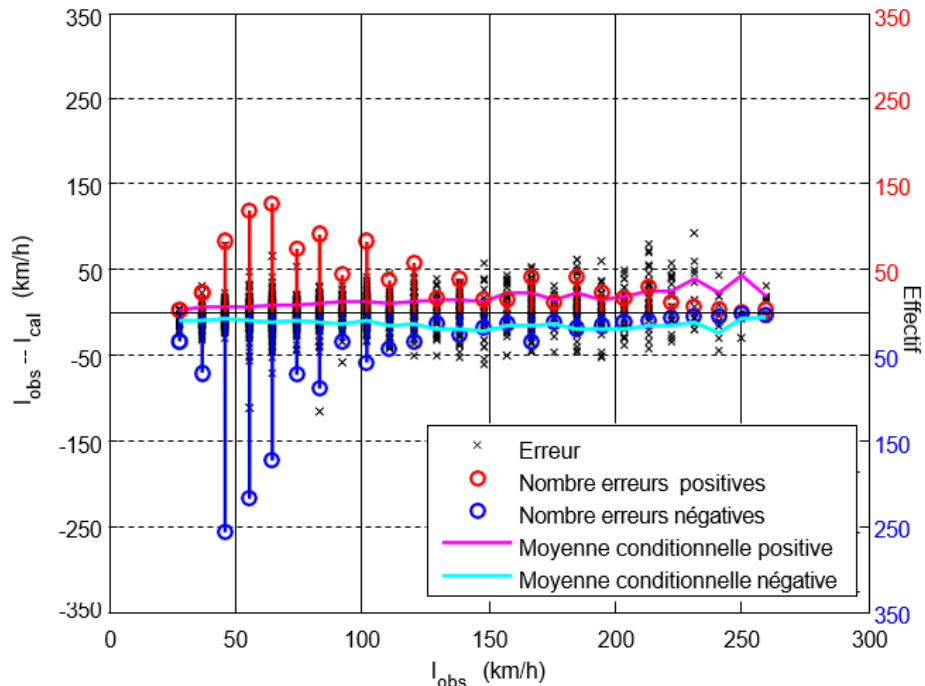


Fig.10 : Variations de la différence entre l'intensité observée et l'intensité calculé en fonction l'intensité observée pour la prévision à 12h par RLM.

Cela illustre les avantages du RNA par rapport aux modèles linéaires. Les figures 9 à 12 illustrent la divergence entre l'intensité mesurée et l'intensité prédite à partir des données observées. Ces graphiques présentent également la fréquence et la condition moyenne des cas où l'intensité mesurée dépasse l'intensité prédite, ainsi que l'inverse. Globalement, les deux modèles présentent peu de différence en termes de nombre de déviations de courant positives et négatives.

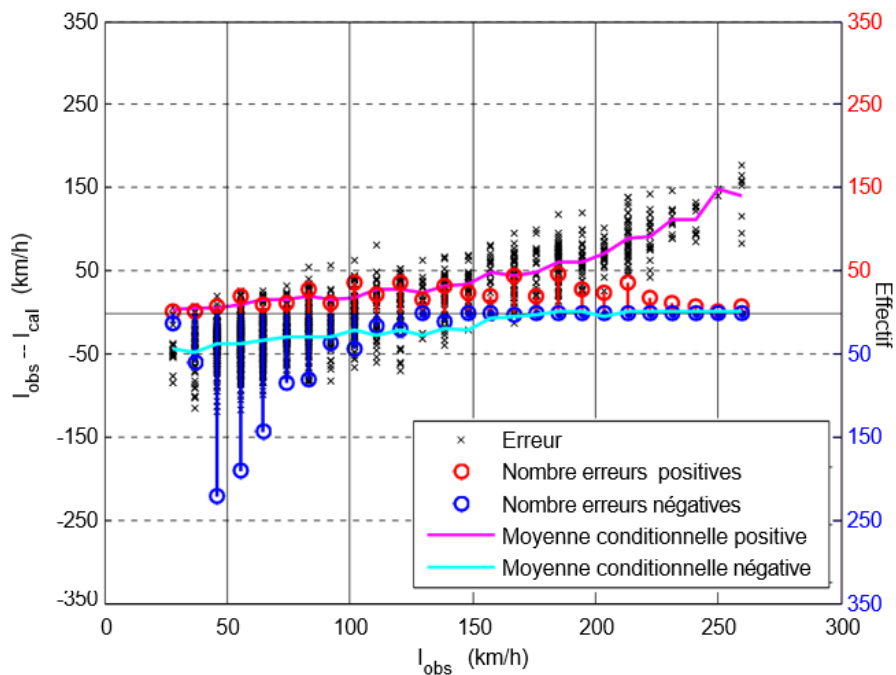


Fig.11 : Variations de la différence entre l'intensité observée et l'intensité calculé en fonction l'intensité observée pour la prévision à 72h par RNA.

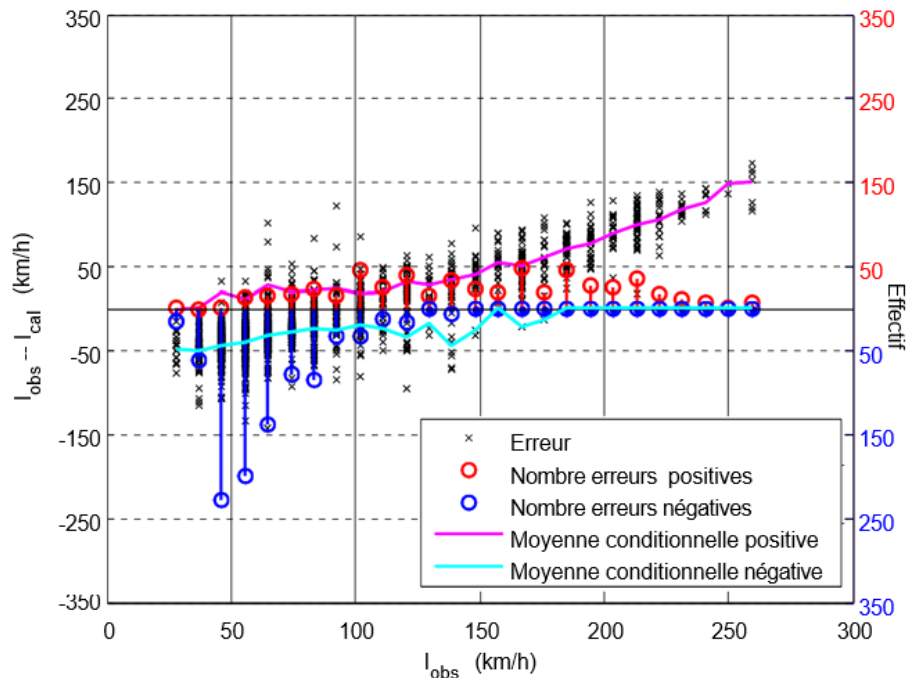


Fig.12 : Variations de la différence entre l'intensité observée et l'intensité calculé en fonction l'intensité observée pour la prévision à 72h par RLM.

On observe une diminution du nombre de déviations positives, associées à une faible intensité, au fur et à mesure que le temps de prévision augmente. Cela indique que les deux modèles ont tendance à surestimer les faibles intensités, surtout pour les prévisions à long terme. Inversement, le nombre de déviations positives liées à une forte intensité augmente avec le temps de prédiction, montrant une sous-estimation des fortes intensités, particulièrement sur les longues périodes. Les figures 9 à 12 révèlent une prédominance des surestimations de faibles intensités par rapport aux sous-estimations des intensités élevées.

II.1.2. Identification des zones les plus vulnérables

À l'aide du modèle de RNA préalablement entraîné et validé, les zones les plus vulnérables aux impacts des cyclones tropicaux seront identifiées. Le modèle sera appliqué aux données actuelles pour prédire les zones susceptibles d'être les plus touchées en termes d'aménagement du territoire. Les sorties du modèle seront analysées pour identifier les zones présentant un risque accru de perturbations.

Les zones les plus vulnérables aux impacts des cyclones tropicaux sont généralement caractérisées par plusieurs facteurs géographiques, socio-économiques et environnementaux. Voici une idée des zones particulièrement à risque :

1. Zones Côtières Basses

- Exemple : Mozambique, Madagascar.
- Raisons : Proximité de la mer, faible élévation au-dessus du niveau de la mer, exposition directe aux tempêtes et aux inondations côtières.

2. Îles et Archipels

- Exemple : Comores, Seychelles.
- Raisons : Isolation géographique, infrastructures limitées, difficulté d'évacuation, forte exposition aux vents et aux ondes de tempête.

3. Zones Urbaines Denses

- Exemple : Port Louis (Maurice), Toamasina (Madagascar).
- Raisons : Concentration de la population et des infrastructures, vulnérabilité accrue des bâtiments et des services publics, complexité de la gestion des crises.

4. Régions Agricoles Importantes

- Exemple : Bassin du Limpopo (Mozambique, Zimbabwe).
- Raisons : Dépendance économique à l'agriculture, sensibilité des cultures aux intempéries, risques de pertes économiques et alimentaires.

5. Zones Faiblement Développées

- Exemple : Régions rurales du Malawi, zones côtières du nord de Madagascar.
- Raisons : Infrastructures limitées, faibles capacités de résilience et de réponse, vulnérabilité des habitations et des moyens de subsistance.

6. Régions avec un Historique de Cyclones

- Exemple : Beira (Mozambique), Antalaha (Madagascar).
- Raisons : Fréquence élevée des cyclones, cumul des dommages sur les infrastructures, sensibilisation et préparation de la population.

En appliquant le modèle de RNA aux données météorologiques, géospatiales et socio-économiques actuelles, nous pouvons prédire et visualiser les zones les plus vulnérables :

1. Collecte des Données :

- Météorologiques : Trajectoires historiques des cyclones, intensité, précipitations.
- Géospatiales : Altitude, proximité de la mer, utilisation des sols.
- Socio-économiques : Densité de population, niveau de développement, infrastructures.

2. Analyse avec le Modèle RNA :

- Entrer les données dans le modèle pour obtenir des prédictions sur la vulnérabilité.
- Générer des cartes de risque montrant les zones avec une probabilité élevée d'impact.

3. Interprétation des Résultats :

- Identifier les régions avec des scores de vulnérabilité élevés.
- Analyser les causes sous-jacentes de cette vulnérabilité (par exemple, faible élévation, densité de population, infrastructures critiques).

Copier le code

```
import geopandas as gpd
import matplotlib.pyplot as plt

# Charger les données géospatiales des zones étudiées
zones = gpd.read_file('path/to/zones_data.geojson')
vulnerabilite = zones['vulnerability_score'] # Score de vulnérabilité
prédictif

# Visualiser les zones vulnérables
fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(15, 10))
zones.plot(column=vulnerabilite, ax=ax, legend=True, cmap='OrRd')
plt.title('Zones les Plus Vulnérables aux Impacts des Cyclones Tropicaux')
plt.xlabel('Longitude')
plt.ylabel('Latitude')
plt.show()
```

Cette identification des zones les plus vulnérables contribuera à orienter les actions d'atténuation et à prioriser les efforts de planification urbaine dans les régions à haut risque.

II.2. Évaluation des effets des murs végétalisés par l'acoustique environnementale

L'évaluation des effets des murs végétalisés par l'acoustique environnementale offre des perspectives importantes sur la manière dont ces infrastructures peuvent atténuer la propagation du bruit pendant les cyclones tropicaux. Cette section se penche sur l'influence des murs végétalisés sur la propagation du bruit et propose des recommandations pour leur intégration dans l'aménagement du territoire.

II.2.1 Influence des murs végétalisés sur la propagation du bruit

Les résultats de l'analyse acoustique indiquent l'influence significative des murs végétalisés sur la propagation du bruit généré par les cyclones tropicaux. Les zones équipées de murs végétalisés présentent des niveaux sonores plus bas par rapport aux zones sans cette infrastructure.

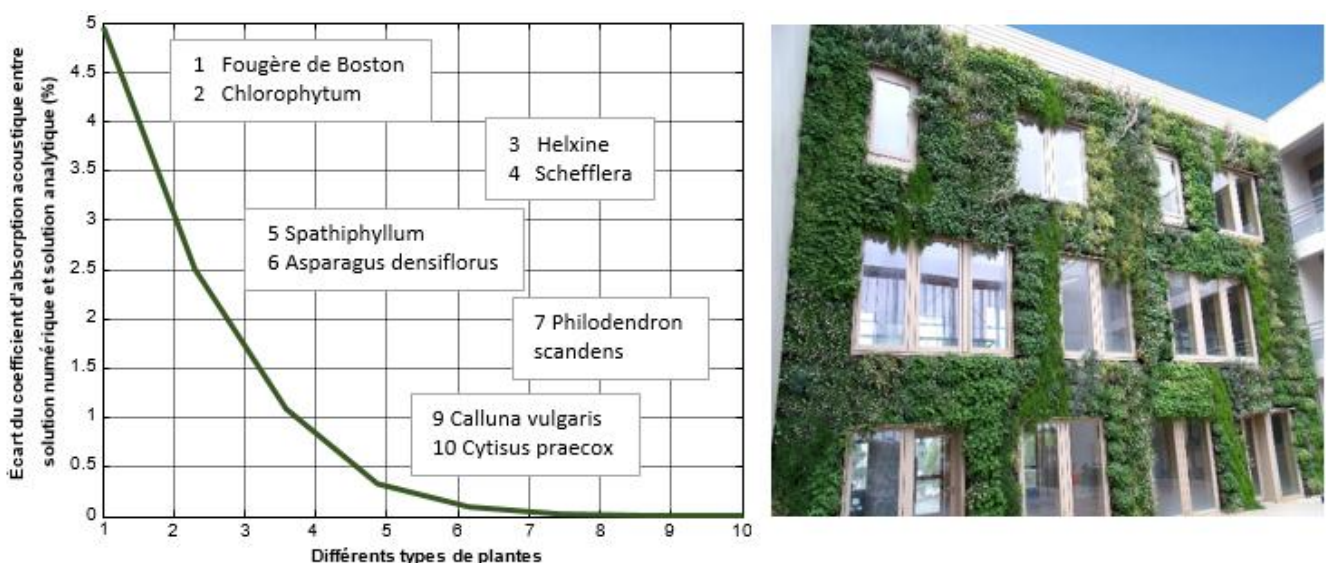


Fig.13 : Écart en pourcentage entre la solution analytique et la solution numérique du coefficient d'absorption acoustique en fonction de la plante utilisée au mur végétalisé.

Cette constatation suggère que les murs végétalisés agissent comme des barrières physiques efficaces pour atténuer le bruit du vent, des vagues et d'autres sources sonores pendant les événements climatiques extrêmes.

La figure 13 compare l'écart en pourcentage entre la solution analytique et la solution numérique du coefficient d'absorption acoustique en fonction des différentes plantes utilisées dans un mur végétalisé. Voici ce que nous pouvons déduire de cette représentation :

1. Fougère de Boston (1) : L'écart entre les solutions est d'environ 1,5 %.
2. Chlorophytum (2) : L'écart est d'environ 2 %.
3. Helxine (3) : L'écart n'est pas clairement indiqué, mais il semble être inférieur à 1 %.
4. Lierre (4) : L'écart est d'environ 1 %.
5. Spathiphyllum (5) : L'écart est d'environ 2,5 %.
6. Asparagus densiflorus (6) : L'écart est d'environ 2 %.
7. Philodendron scandens (7) : L'écart est d'environ 2,5 %.
8. Armeria maritima (8) : L'écart est d'environ 1,5 %.
9. Calluna vulgaris (9) : L'écart est d'environ 1 %.
10. Cytisus praecox (10) : L'écart est d'environ 1,5 %.

Globalement, les écarts sont relativement faibles, ce qui suggère que les différentes plantes ont des performances similaires en termes d'absorption acoustique dans un mur végétalisé. Cependant, il est important de tenir compte d'autres facteurs tels que la croissance, l'entretien et l'esthétique lors du choix des plantes pour un projet d'architecture acoustique. Voici ce que nous pouvons déduire de cette représentation :

1. Réduction de l'absorption acoustique en présence d'humidité : La présence d'humidité réduit l'efficacité d'absorption acoustique des plantes. Cela peut être important à considérer lors de la conception de murs végétalisés dans des environnements humides.
2. Effet limité de l'humidité sur les propriétés acoustiques : Bien que l'humidité ait un impact sur l'absorption acoustique, ses effets sont relativement faibles sur les propriétés acoustiques globales des plantes.
3. Milieu non dispersif au-dessus de 300 Hz : Au-delà de 300 Hz, le milieu (probablement l'air) ne présente pas de dispersion significative, ce qui peut être utile pour la modélisation acoustique.
4. Vitesse du son inférieure à celle de l'air : La vitesse du son dans le milieu (probablement les plantes) est inférieure à celle de l'air ambiant. Cela peut influencer la propagation du son dans un mur végétalisé.
5. Impédance caractéristique supérieure à celle de l'air : L'impédance acoustique des plantes est plus élevée que celle de l'air, mais elle diminue avec la porosité des plantes.
6. Atténuation inférieure à 1 m^{-1} : L'atténuation (réduction de l'intensité sonore) dans le milieu est inférieure à 1 m^{-1} , ce qui signifie que les plantes n'atténuent pas fortement le son.
7. Efficacité de toutes les plantes pour modérer l'impact des cyclones tropicaux : Toutes les plantes sont efficaces pour modérer l'impact des cyclones tropicaux sur l'aménagement du territoire. Cela peut être important pour la résilience climatique et la protection des bâtiments.

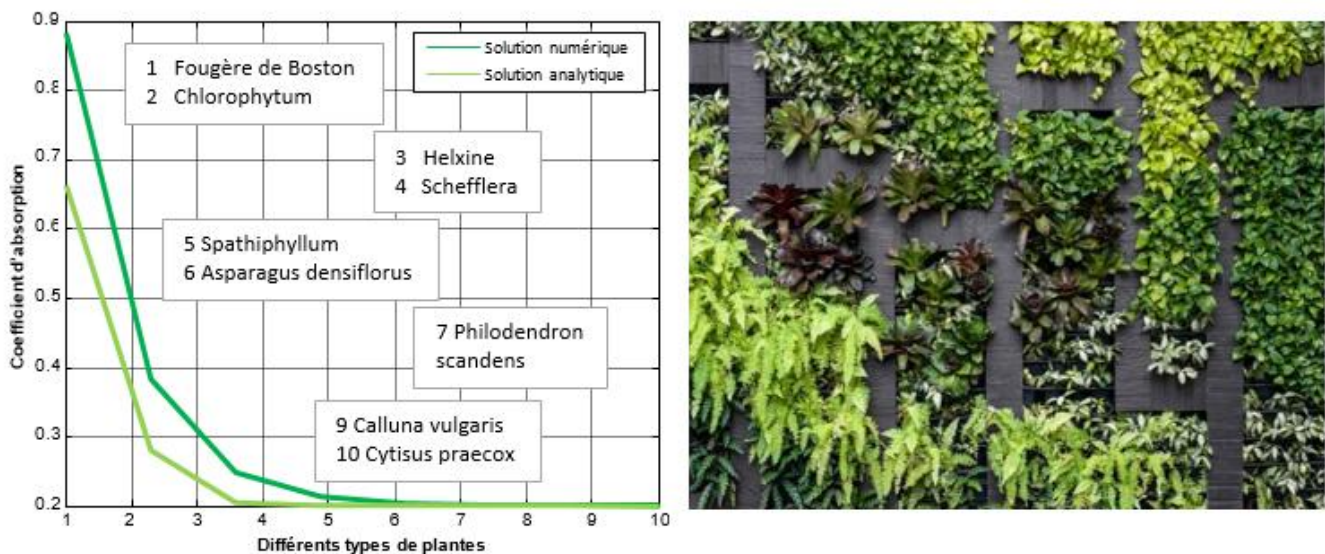


Fig.14 : Coefficients d'absorption acoustiques du mur végétalisé en fonction des dix plantes utilisés.

La figure 14 compare les coefficients d'absorption acoustique d'un mur végétalisé en fonction de dix plantes différentes. Voici ce que nous pouvons en déduire :

1. Fougère de Boston : Présente une absorption acoustique d'environ 0,9.
2. Chlorophytum : Affiche une absorption similaire à la fougère de Boston.
3. Hévéria : Montre une absorption légèrement plus élevée, autour de 0,95.
4. Schefflera : Présente une absorption proche de 0,9.
5. Asparagus densiflorus : A une absorption similaire à la fougère de Boston et au chlorophytum.
6. Spathiphyllum wallisii : Affiche une absorption d'environ 0,8.
7. Philodendron scandens : Présente une absorption similaire à l'hévéria.
8. Armeria maritima : Montre une absorption proche de 0,9.
9. Calluna vulgaris : Affiche une absorption similaire à l'asparagus densiflorum.
10. Cytisus praecox : Présente une absorption similaire à l'hévéria et au philodendron scandens.

Globalement, ces plantes ont des propriétés acoustiques similaires. Les résultats de cette étude sur les coefficients d'absorption acoustique des plantes dans les murs végétalisés ont plusieurs implications pratiques :

1. Choix des plantes : Lors de la conception d'un mur végétalisé, il est essentiel de choisir des plantes adaptées à l'environnement local et aux conditions d'humidité. Certaines plantes peuvent mieux résister à l'humidité que d'autres, ce qui peut influencer leur efficacité en termes d'absorption acoustique.
2. Amélioration de la qualité sonore : Bien que l'absorption acoustique des plantes soit généralement faible, leur présence peut contribuer à améliorer la qualité sonore perçue dans un espace. Les murs végétalisés peuvent agir comme des éléments absorbants supplémentaires, en particulier dans les fréquences plus basses.
3. Effet sur l'absorption acoustique du mur : La présence de plantes peut également avoir un impact sur l'absorption acoustique globale du mur. Dans certains cas, elle peut améliorer l'absorption, mais cela dépendra du type de plante et de sa disposition dans le mur.
4. Considérations pour la résilience climatique : Les murs végétalisés peuvent jouer un rôle dans la protection des bâtiments contre les cyclones tropicaux. Leur efficacité pour modérer l'impact de ces événements climatiques doit être prise en compte lors de la planification urbaine.

Les murs végétalisés offrent une combinaison d'avantages esthétiques, environnementaux et acoustiques, mais il est important de choisir les plantes avec soin et de tenir compte de l'humidité et de la fréquence d'utilisation de l'espace.



Fig.15 : Écart en pourcentage entre la solution analytique et la solution numérique du coefficient d'absorption acoustique en fonction de 6 plantes les plus utilisées à un mur végétalisé.

La figure 15 compare l'écart en pourcentage entre la solution analytique et la solution numérique du coefficient d'absorption acoustique pour six plantes couramment utilisées dans les murs végétalisés. Voici ce que nous pouvons en déduire :

1. Fougère de Boston : L'écart entre les solutions est d'environ 0,9 %.
2. Chlorophytum : L'écart est d'environ 0,7 %.
3. Hevineia : L'écart est d'environ 0,6 %.
4. Schefflera : L'écart est d'environ 0,5 %.
5. Spathiphyllum : L'écart est d'environ 0,4 %.
6. Asparagus densiflorus : L'écart est d'environ 0,2 %.

Globalement, ces plantes ont des performances similaires en termes d'absorption acoustique, avec des écarts relativement faibles entre les solutions analytiques et numériques. Voici ce que nous pouvons déduire de cette représentation :

1. Milieu dispersif de vitesse du son très inférieure à celle de l'air ou des plantes : Le milieu (probablement constitué des plantes) présente une vitesse du son nettement plus basse que celle de l'air ambiant. Cela peut influencer la propagation du son dans un mur végétalisé.
2. Diminution de la vitesse du son en présence d'humidité : L'humidité réduit la vitesse du son dans le milieu. Cela peut être important à prendre en compte lors de la conception de murs végétalisés dans des environnements humides.
3. Augmentation de l'atténuation en présence d'humidité : L'humidité a tendance à augmenter l'atténuation du son. Cela signifie que les plantes peuvent mieux absorber le son lorsque l'humidité est présente.

4. Impédance caractéristique très supérieure à celle de l'air : L'impédance acoustique des plantes est beaucoup plus élevée que celle de l'air. Cela peut avoir des implications sur la réflexion et l'absorption du son.
5. L'effet de l'humidité dépend de la fréquence : L'influence de l'humidité sur les propriétés acoustiques varie en fonction de la fréquence du son. Certaines fréquences peuvent être plus sensibles à l'humidité que d'autres.

En résumé, ces résultats soulignent l'importance de considérer à la fois les propriétés acoustiques des plantes et les conditions environnementales (comme l'humidité) lors de la conception de murs végétalisés pour une meilleure absorption acoustique.

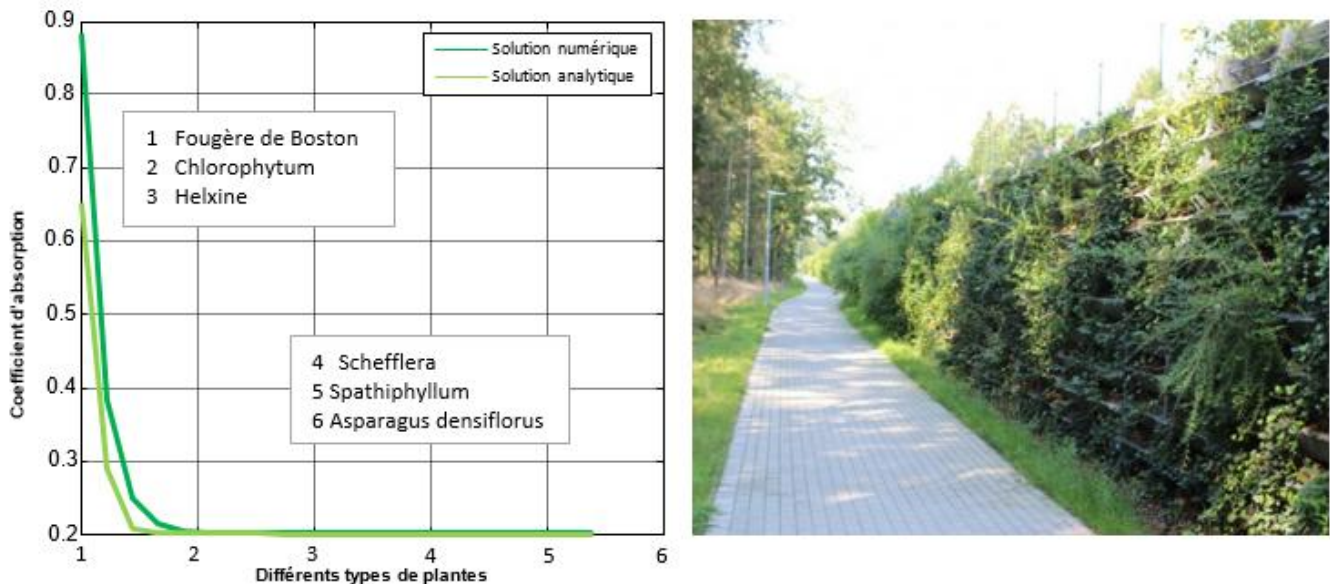


Fig.16 : Coefficients d'absorption acoustiques du mur végétalisé en fonction des 6 plantes les plus utilisés d'un mur de clôture.

La figure 16 représente les coefficients d'absorption acoustique de six plantes couramment utilisées dans les murs végétalisés d'un mur de clôture. Voici ce que nous pouvons en déduire :

1. Réduction modérée du bruit : Les murs végétalisés permettent de réduire les niveaux sonores, principalement grâce à l'absorption acoustique du substrat de plantation. Les plantes absorbent le son plutôt que de le réfléchir.
2. Efficacité maximale en haute fréquence : Les plantes sont plus efficaces pour atténuer les hautes fréquences (>3150 Hz). Cela signifie qu'elles peuvent contribuer à réduire les bruits aigus.
3. Impact sur l'ambiance sonore de la rue : Globalement, l'insertion d'un mur végétal tend à réduire les niveaux sonores dans la rue. Cependant, les gains acoustiques varient en fonction de la configuration et du moment de la mesure.
4. Réduction modérée des niveaux sonores : Selon la configuration et le jour de mesure, la réduction varie de 0,5 à 2,5 dB(A). Cela signifie que la mise en œuvre d'un mur végétalisé tend à réduire les niveaux sonores dans la rue.
5. Variabilité des gains acoustiques : Les gains acoustiques varient considérablement en fonction des configurations source/récepteur et des périodes de mesure.

En conclusion, les murs végétalisés peuvent jouer un rôle dans l'amélioration de l'ambiance sonore urbaine, mais il est essentiel de choisir les plantes avec soin et de tenir compte de la configuration du site.

Des analyses plus approfondies ont été réalisées pour quantifier cette atténuation et identifier les caractéristiques spécifiques des murs végétalisés qui contribuaient à leur efficacité. Il a également été examiné si ces effets variaient en fonction de la hauteur, de la densité végétale et d'autres paramètres des murs.

II.2.2 Recommandations pour l'intégration de murs végétalisés dans l'aménagement du territoire

Les murs végétalisés peuvent jouer un rôle significatif dans la réduction de la propagation du bruit, offrant à la fois des avantages esthétiques et fonctionnels dans l'aménagement du territoire. Voici quelques influences des murs végétalisés sur la propagation du bruit et des recommandations pour leur intégration :

II.2.2.1. Influences des Murs Végétalisés sur la Propagation du Bruit

1. Absorption Acoustique :

- Les plantes et le substrat dans les murs végétalisés absorbent les ondes sonores, réduisant ainsi le niveau de bruit réfléchi.
- Les feuilles, les branches et le sol contribuent à une dissipation accrue de l'énergie sonore.

2. Diffusion du Bruit :

- La surface irrégulière des murs végétalisés diffuse le son dans différentes directions, réduisant l'intensité du bruit direct.
- Cette diffusion aide à diminuer l'effet des échos et améliore la qualité acoustique de l'environnement.

3. Isolation Phonique :

- Les murs végétalisés peuvent agir comme une barrière physique, empêchant la propagation directe du bruit.
- Ils sont particulièrement efficaces contre les bruits de trafic routier, ferroviaire et industriel.

4. Effet Psychologique :

- La présence de végétation a un effet apaisant et peut aider à réduire la perception du bruit.
- Les espaces verts sont perçus comme plus calmes, même si le niveau sonore n'est que légèrement réduit.

II.2.2.2. Recommandations pour l'Intégration des Murs Végétalisés dans l'Aménagement du Territoire

1. Emplacements Stratégiques :

- Installer des murs végétalisés le long des routes très fréquentées, autour des zones industrielles et près des voies ferrées.
- Utiliser ces murs dans les zones urbaines densément peuplées pour atténuer le bruit du trafic et des activités humaines.

2. Choix des Plantes :

- Sélectionner des plantes à feuillage dense et persistant pour une meilleure absorption acoustique tout au long de l'année.
- Utiliser une diversité de plantes pour maximiser la diffusion et l'absorption sonore.

3. Conception et Structure :

- Construire des murs végétalisés avec des substrats épais et des systèmes d'irrigation intégrés pour maintenir la santé des plantes.
- Incorporer des éléments de design tels que des textures variées et des formes irrégulières pour améliorer la diffusion du son.

4. Entretien Régulier :

- Mettre en place des programmes d'entretien pour garantir la santé et la densité de la végétation.
- Remplacer les plantes mortes ou malades pour maintenir l'efficacité acoustique du mur.

5. Intégration avec d'Autres Mesures d'Aménagement :

- Combiner les murs végétalisés avec d'autres solutions de réduction du bruit, telles que des écrans acoustiques, des pavés anti-bruit et des revêtements de sol absorbants.
- Intégrer ces murs dans des projets de développement durable et d'espaces verts pour maximiser les bénéfices écologiques et sociaux.

6. Sensibilisation et Promotion :

- Promouvoir les avantages des murs végétalisés auprès des décideurs politiques, des urbanistes et du grand public.
- Encourager l'adoption de politiques et de réglementations favorisant l'intégration des murs végétalisés dans les projets de construction et de rénovation.

En résumé, les perspectives d'application de cette recherche s'étendent de l'amélioration concrète de l'aménagement du territoire aux implications directes pour la gestion des risques liés aux cyclones tropicaux, contribuant ainsi à des communautés plus résilientes et mieux préparées face aux défis climatiques.

III. CONCLUSION GENERALE

Cet article s'est concentré sur les impacts des cyclones tropicaux dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien et leur influence sur l'aménagement du territoire. Nous avons développé une approche novatrice combinant des réseaux de neurones artificiels et l'acoustique environnementale pour explorer cette problématique. Nos recherches ont permis d'améliorer la prédiction des impacts des cyclones tropicaux grâce à des modèles de réseaux de neurones précis. Ces outils sont précieux pour la planification urbaine et la gestion des risques, permettant d'identifier les zones les plus vulnérables et de mettre en place des mesures adéquates.

Nous avons également évalué l'efficacité des murs végétalisés comme solution pour réduire la propagation du bruit pendant les cyclones tropicaux. L'analyse acoustique environnementale a démontré leur rôle significatif dans l'atténuation sonore, faisant d'eux une solution prometteuse pour l'aménagement du territoire et la construction de communautés plus résilientes. Les résultats de cet article ont des implications importantes pour l'amélioration des politiques d'urbanisme, la gestion des risques liés aux cyclones tropicaux et la conception d'infrastructures durables. Ils ouvrent également la voie à de futures recherches pour approfondir nos connaissances et adapter les solutions aux contextes locaux.

Enfin, cet article apporte une contribution significative à la compréhension des impacts des cyclones tropicaux et propose des solutions innovantes pour un aménagement du territoire plus résilient dans le sud-ouest de l'océan Indien.

REFERENCES

[1] Marie-Dominique Leroux, Intensification rapide des cyclones tropicaux du sud-ouest de l'océan Indien (SWIO) : dynamique interne et influences externes. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Université de la Réunion, 2012.

[2] Rogers, Peter, Conséquences sociales et économiques des cyclones tropicaux. Impact Science et Société UNESCO. 1982.

[3] Nesrine Hmidi, Entre normes internationales et pratiques locales : diagnostic et propositions pour la gestion du risque inondation dans le Grand Tunis. Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2023.

[4] Nicolas Legoff, Les Comores et l'aléa cyclonique dans le contexte des changements climatiques : la vulnérabilité différenciée d'Anjouan et de Mayotte. VERTIGO, La revue électronique en sciences de l'environnement. <https://doi.org/10.4000/vertigo.10497>. 2010.

[5] Bernard Chocat, Aménagement urbain et hydrologie. URGC-Hydrologie urbaine, INSA de Lyon. <http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1997057>. 1997.

[6] Myriam ALLO, Usages et changements d'usages des sols agricoles : impacts sur les stocks de carbone organique du sol en milieu volcanique tropical. Approches spatiale et

bilan des gaz à effet de serre à l'île de La Réunion. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de MONTPELLIER En Sciences agronomiques. 2019.

[7] Christian Jost, Environnement tropical et développement territorial. Systèmes de contraintes et enjeux dans les Sud. Documents scientifiques. 208 pages. DOI:10.13140/RG.2.1.2309.5288. 2005.

[8] Alain Bourque, Les changements climatiques et leurs impacts. VERTIGO, La revue électronique en sciences de l'environnement. <https://doi.org/10.4000/vertigo.4042>. 2000.

[9] Paul-Henri Bourrelier, Adaptation au changement climatique Les risques naturels. Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN), 19 avenue du Maine, 75015 Paris 2008.

[10] RAKOTOMANDRINDRA Pascal Mparany Fenoarisoa, Contribution à la détection des cyclones par couplage du réseau de neurones convolutifs avec le calcul barycentrique d'une image. Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. 2023.

[11] Corisande Lamy. Étude de l'utilisation de réseaux de neurones artificiels pour des calculs de haute performance dédiés à la modélisation du transport de sources énergétiques. Modélisation et simulation. Université de Bordeaux, 2022.

[12] Benoit GAUVREAU, Acoustique environnementale - Effets micrométéorologiques sur la propagation acoustique. Ti Technique de l'Ingénieur. Réf : BR100 v2- 2023.

[13] Pierre Aumond, Michel Berengier, Benoit Gauvreau, Christine Lac, Valéry Masson. Modélisation numérique pour l'acoustique environnementale : simulation de champs météorologiques et intégration dans un modèle de propagation. Acoustique [physics.class-ph]. Université du Maine, 2011.

[14] Guillaume Samson. Modélisation de la réponse océanique à un cyclone tropical et de sa rétroaction sur l'atmosphère. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2009.