

Travail de fin d'études[BR]- Travail de recherche personnel[BR]- Travail d'expertise interdisciplinaire

Auteur : Kabore, Harouna

Promoteur(s) : Ozer, Pierre

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes à l'ère de l'Anthropocène

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/20830>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULiège-Faculté des Sciences-Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

**EVALUATION DE L'ALEA INONDATION DANS LA PREFECTURE DE COYAH,
REPUBLICQUE DE GUINEE**



KABORE Harouna

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VU DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER EN GESTION DES RISQUES ET DES CATASTROPHES
A L'ERE DE L'ANTHROPOCENE**

ANNEE ACADEMIQUE 2023-2024

REDIGE SOUS LA DIRECTION DE : PROFESSEUR OZER PIERRE

COMITE DE LECTURE :

PRENOM NOM DU LECTEUR 1 : FLORENCE DE LONGUEVILLE

PRENOM NOM DU LECTEUR 2 : DEOGRATIAS NAHAYO

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège.

*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : KABORE Harouna ;

email : harunkabore75@gmail.com

DEDICACE

Affectueusement:

- A Papa, **Kaboré Koudbi François** qui n'est plus. Qu'Allah le Miséricordieux lui accorde son paradis. **AMIINE** ;
- A maman, **Zoubga Niondogoma** pour son soutien indéfectible ;
- A mon fils, Kaboré **Koudbi Séif-Eddine Mishary Alan** ;

A toute ma famille, à mes proches et amis (es).

REMERCIEMENTS

Au terme de ce cursus académique d'une année, je rends tout d'abord grâce à Allah Soub'hanna Wa'tallah pour ses immenses bienfaits dans ma vie.

Je formule toute ma gratitude :

- A l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) pour avoir financé notre formation;
- A la Fondation Roi Baudoin à travers le Fond Elisabeth et Amélie (FEA) pour le financement des activités du stage ;
- Au Professeur Pierre OZER, Coordonnateur du programme de formation du Master en Gestion des Risques et des Catastrophes à l'ère de l'Anthropocène (Ms-GRCA), et également mon promoteur, pour toutes les facilités qu'il m'a accordées afin de faire cette formation avec succès. Je le remercie également pour avoir accepté de m'encadrer, pour ses conseils, sa simplicité et ses remarques très pertinentes malgré son emploi du temps très chargé ;
- A Monsieur Koufanou Hien, assistant de la formation que j'ai surnommé ici « the special one » pour son appui académique inestimable aux étudiants durant toute l'année, ses conseils très précieux, et surtout ses orientations lors de la rédaction de mon mémoire ;
- Au personnel administratif, au corps professoral du Campus Environnement d'Arlon et du département de Géographie de l'université de Namur, pour les efforts consentis afin de m'assurer un enseignement de qualité et avec appui logistique ;
- A Monsieur Barry, Directeur Général du Centre National de Gestion des Catastrophes et des Urgences Environnementales (CENAGCUE) de la Guinée pour avoir accepté m'accueillir pendant le stage et toutes les facilités qu'il a voulu m'accorder pour le bon déroulement du stage;
- A tout le personnel du CENAGCUE pour leurs appuis techniques et matériels lors du stage;
- A mes pairs de la promotion GRCA, la communauté Burkinabè à Arlon ainsi que les camarades des autres nationalités pour la convivialité;

Que tous ceux qui de loin ou de près ont contribué au bon déroulement de cette formation et dont les noms n'ont pas été cités, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Matériels utilisés	10
Tableau 2: Classification des extrêmes selon Vandiepenbeeck (1997).....	11
Tableau 3: Précipitation maximales journalières pour le calcul des périodes de retour	18
Tableau 4: Résultats de la régression logistique des pratiques endogènes	24
Tableau 5: Critères d'évaluation du Modèle Random Forest.....	28
Tableau 6: Populations dans les zones à risque	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme du CENAGCUE.....	3
Figure 2: Présentation de la zone d'étude.....	7
Figure 3: Schémas des opérations de carte d'occupation de sols.....	13
Figure 4: Elaboration du modèle Random Forest	15
Figure 5: Test d'homogénéité (test de Pettitt)	16
Figure 6: Tendances des indices pluviométriques retenus	17
Figure 7: Périodes de retour des pluies maximales à Coyah	19
Figure 8: Carte d'occupation des sols de 1994 et 2023 à Coyah.....	20
Figure 9 :Pourcentage de types d'occupations de sols de 1994 à 2023 à Coyah.....	21
Figure 10: a)Répartition des enquêtés selon le sexe, b) répartition selon le secteur d'activités, d) répartition des enquêtés par sous-préfectures	23
Figure 11: a) Causes selon les enquêtés b)logique d'installation de la population,	23
Figure 11: Degré d'importance des variables dans le modèle.....	25
Figure 12: Carte de probabilités de l'aléa inondation avec le modèle Random Forest.....	26
Figure 13: Carte du niveau de l'aléa d'inondation dans la préfecture de Coyah avec le modèle Random Forest	27
Figure 14: Superficies occupées par chaque niveau d'inondation à Coyah.....	28
Figure 15: Aire sous la courbe du modèle Random forest	29
Figure 16: Cartographie des éléments à risque et ceux essentiels pour une réponse pré-post aléa	30

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Questionnaire ménage	I
Annexe 2: Question d'entretien avec les autorités.....	III
Annexe 3: Formule pour la validation de l'image classifiée	VI
Annexe 4: Données pour la modélisation Random Forest	VII
Annexe 5 : Variables explicatives	XV
Annexe 6 : Matrice de confusion de l'image classifiée de 2023	XVI
Annexe 7 : Matrice de confusion de l'image classifiée de 1994	XVII
Annexe 8 : Durée d'occupation des terres.....	XVIII
Annexe 9 : a) Information sur le risque imminente d'inondation b) Canal de réception de l'information.....	XVIII
Annexe 10 : Répartition de la connaissance du risque selon le sexe	XIX
Annexe 11 : Répartition des pratiques par communes	XIX
Annexe 12 : a) Perception sur un possible déguerpissement	XX
Annexe 13: Exemples de pratiques d'adaptation face aux inondations.....	XX
Annexe 14 : Source d'approvisionnement en eau en zone inondable.....	XXI

SIGLES ET ABBREVIATIONS

AUC	:	Aire Under Curve
CENAGCUE	:	Centre National de Gestion des Catastrophes et des Urgences Environnementales
CSPRO	:	Census and Survey Processing System
ETCCDMI	:	Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices
GPS	:	Global Positioning System
IFRC	:	International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies
JPC	:	Jour de pluie Consécutif
LULC	:	Land Use Land Cover
MEDD	:	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
MJP	:	Pluie maximales journalières
MNT	:	Modèle Numérique de Terrain
MT SAP – GUINÉE	:	Ministère des Transports Projet SAP – GUINÉE
OCHA	:	Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
PTA	:	Pluie Totale Annuelle
RF	:	Random Forest
ROI	:	Region Of Interest
SCP	:	Plugin Semi-Automatic Classification
SDII	:	Simple day intensity index
SIG	:	Système d'Information Géographique
TWI	:	Indice d'humidité topographique

TABLE DE MATIERES

DEDICACE	ii
REMERCIEMENTS	iii
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES ANNEXES	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vii
TABLE DE MATIERES	viii
RESUME	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCTION	1
1.1. Contexte et justification	1
1.2. Objectifs de recherche.....	2
1.3. Questions de recherche.....	2
1.4. Organisation du travail.....	2
CHAPITRE I : ETATS DE CONNAISSANCE	3
I.1. Brève description du dispositif de Gestion des risques et de Catastrophes en Guinée	3
I.2. Evaluation de l'aléa inondation.....	4
I.2.1. Typologie des inondations	4
I.2.2. Cartographie de l'aléa inondation	4
CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES	7
II.1. Présentation de la zone d'étude.....	7
II.2. Données d'étude.....	8
II.3. Outils	9
II.4. Méthodologie	10
II.4.1. Récurrence des inondations à Coyah.....	10
III.4.1.1. Caractérisation de la variabilité pluviométrique	10

II.4.1.2. Caractérisation des changements d'affectations de sols.....	11
II.4.2. Pratiques endogènes de protection face aux inondations	13
II.4.3. Cartographie des inondations.....	14
Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	16
III.1. Résultats	16
III.1.1. Interrelation entre la variabilité pluviométrique, inondation et changement d'affectation de sols.....	16
III.1.1.1. Variabilité pluviométrique.....	16
III.1.1.2. Changements d'affectation de sols.....	19
III.1.2. Pratiques endogènes individuelles d'adaptations.....	22
III.1.2.1. Caractéristiques socio-démographiques, causes et logiques d'occupation des terres.....	22
III.1.2.2. Mesures d'adaptations	23
III.1.2.2.1. Perception de la population	23
III.1.2.2.2. Protection face aux inondations	24
III.1.2. Cartographie des inondations.....	24
III.1.2.1.Importance du degré des variables	24
III.1.2.2. Cartographie de l'aléa d'inondation	25
III.1.2.3. Performances du modèle.....	28
III.1.2.4. Analyse d'impacts	29
III.2. Discussion	31
III.2.1. Limites.....	33
Conclusion	35
Bibliographie.....	37
ANNEXE.....	I

RESUME

La préfecture de Coyah subit de façon récurrente des inondations, comme la plupart des zones périphériques des villes d'Afrique de l'Ouest. Face aux dégâts humains et matériels causés par ce phénomène, il est nécessaire de connaître les causes réelles et la répartition spatiale des risques qui en découlent. Cette étude a pour objectif d'améliorer la connaissance des risques d'inondation dans la préfecture de Coyah pour contribuer à la réduction de leurs impacts sur les personnes et les biens. Pour ce faire, plusieurs données ont été combinées : enquêtes de 390 ménages, 190 points d'inondations, des données globales (CHIRPS de 1981 à 2023, Landsat 5 TM (1994), Landsat 8 OLI (2023), la texture de sols, l'Indice d'Humidité Topographique (TWI), la densité de drainage, la pente, la densité de population, la distance aux cours d'eau, le MNT, les enjeux, l'Orientation (Aspect), etc.). Les données « Raster » ont d'abord été rééchantillonnées à 30 m pour leurs compatibilités. Une analyse fréquentielle et diachronique a été appliquée respectivement aux données pluviométriques CHIRPS et aux images Landsat. L'efficacité des pratiques endogènes individuelles des ménages face à la probabilité d'inondation a été évaluée à l'aide d'une régression logistique, tandis que la modélisation par « Random Forest » a permis de cartographier l'aléa. Les résultats ont montré que les indices pluviométriques tendent à la baisse à l'exception de PX1J qui montre une tendance à la hausse. Le P99p et P99.5p sont quant à eux, stationnaires. De plus, les événements pluviométriques récents tels que ceux du 2019 (120 mm), de 2020 (154 mm), de 2021 (177 mm), et de 2022 (113 mm) ont des périodes de retour respectives de 1.2 ans, 2 ans, 3.7 ans, et 1.1 an, donc des pluies à caractère « Normal ». Cependant celui de 2011 (283 mm) est qualifié de « Très exceptionnel » et l'évènement pluvieux de 2023 (222mm) de « Très anormal ». Le pourcentage de la superficie occupée par le bâti est passé de 3 % en 1994 à 13 % en 2023, les surfaces agricoles de 0.3 % à 10.3 %, et la végétation dense de 11.4 % en 1994 à 8 % en 2023. Pour l'adaptation aux inondations, les pratiques endogènes telles que les techniques avec les digues de sacs de sable, la surélévation des murs ont été estimés plus efficaces par rapport à celles des canaux de déviation. Les performances du modèle « Random Forest », pour la cartographie de l'aléa inondation, ont été acceptables avec une précision globale de 79 %, une spécificité de 91 % et un AUC de 84 %. Ainsi, 19 % de la zone a été classée à niveau « Très élevé », 18.1 % à « Elevé », 6.7 % à « Très faible », 26.5 % à niveau d'aléa « Faible » et 29.4 % comme « Modéré ». L'analyse des impacts a montré que plusieurs personnes et leurs biens se trouvent dans des zones à risque « Très élevé » et pourraient nécessiter une surveillance accrue. Ainsi, la carte de l'aléa élaborée pourrait être parmi les outils d'aide à la prise de décision en matière d'aménagement du territoire et de gestion des inondations de la préfecture de Coyah.

Mots clés : Aléa d'inondation, Zones périphériques, Random Forest, Coyah, Guinée.

ABSTRACT

The Coyah prefecture recurrently experiences flooding, like most peripheral areas of cities in West Africa. Due to the human and material damage caused by this phenomenon, it is necessary to understand the real causes and the spatial distribution of the resulting risks. This study aims to improve the understanding of flood risks in the Coyah prefecture to contribute to reducing their impacts on people and property. To achieve this, various data were combined: surveys of 390 households, 190 flood points, global data (CHIRPS from 1981 to 2023, Landsat 5 TM (1994), Landsat 8 OLI (2023), soil texture, Topographic Wetness Index (TWI), drainage density, slope, population density, distance to watercourses, DEM, stakes, Aspect, etc.). The "Raster" data were first resampled to 30 m for compatibility. A frequency and diachronic analysis was applied respectively to the CHIRPS rainfall data and Landsat images. The effectiveness of individual endogenous household practices against the probability of flooding was evaluated using logistic regression, while "Random Forest" modeling was used to map the hazard. The results showed that rainfall indices tend to decrease except for PX1J, which shows an increasing trend. The P99p and P99.5p, on the other hand, are stationary. Additionally, recent rainfall events such as those of 2019 (120 mm), 2020 (154 mm), 2021 (177 mm), and 2022 (113 mm) have respective return periods of 1.2 years, 2 years, 3.7 years, and 1.1 years, indicating "Normal" rainfall. However, the event of 2011 (283 mm) is classified as "Very exceptional," and the rainfall event of 2023 (222 mm) as "Very abnormal." The percentage of the area occupied by built-up land increased from 3% in 1994 to 13% in 2023, agricultural land from 0.3% to 10.3%, and dense vegetation from 11.4% in 1994 to 8% in 2023. For flood adaptation, endogenous practices such as techniques using sandbag dikes, and the elevation of walls were estimated to be more effective compared to diversion channels. The performance of the "Random Forest" model for flood hazard mapping was acceptable, with an overall accuracy of 79%, a specificity of 91%, and an AUC of 84%. Thus, 19% of the area was classified as "Very high," 18.1% as "High," 6.7% as "Very low," 26.5% as "Low," and 29.4% as "Moderate" hazard level. Impact analysis showed that many people and their property are in "Very high" risk areas and may require increased monitoring. Thus, the hazard map developed could be among the tools to aid decision-making in land use planning and flood management in the Coyah prefecture.

Keywords: Flood hazard, Peripheral areas, Random Forest, Coyah, Guinea

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte et justification

Les inondations sont parmi les catastrophes naturelles les plus coûteuses au monde qui affectent entre 80 et 110 millions de personnes par an ([Jonkman, 2005](#)). Entre 1987 et 2017, environ 987 cas d'inondations ont été dénombrés en Afrique, touchant des milliers de personnes et occasionnant près de 937 milliards de dollars US de pertes économiques ([Erckmann et al., 2019](#)). Ces dernières décennies, elles sont devenues de plus en plus intenses en Afrique de l'Ouest, rendant plusieurs communautés vulnérables. Ainsi, les inondations ont affecté plus de 600 000 personnes en 2009 dans la sous-région ouest-africaine, allant du Sénégal au Bénin, du Niger à la Sierra Leone, du Burkina Faso à la Guinée ([Office for the Coordination of Humanitarian Affairs \[OCHA\], 2009 ; Gaye, 2009](#)).

Par ailleurs, notons que les inondations sont des processus naturels bénéfiques, du moins lorsque la montée des eaux est lente et que les populations savent s'adapter. C'est le cas par exemple en Egypte, où les crues du Nil étaient attendues comme un « cadeau de Dieu » car elles permettaient de fertiliser les terres agricoles (en apportant du limon et de la matière organique). Cette situation était également identique sur les rives du fleuve Sénégal et du Niger ([Ministère des Transports Projet SAP – GUINÉE \[MT SAP – GUINÉE\], 2020](#)). Cependant elles resteront une menace et donc une préoccupation dans ces zones.

La République de Guinée, à l'instar des autres pays de l'Afrique de l'Ouest, ne reste pas en marge et subit plusieurs risques et catastrophes comme les inondations, les vents violents, les sécheresses, les raz-de-marée, etc. ([MT SAP – GUINÉE, 2020](#)). On estime qu'environ 395 000 personnes ont été touchées par les inondations au cours de la période 1996-2016 ([ADB, 2018](#)). Ces phénomènes restent toujours d'actualité, et plusieurs quartiers sont inondés chaque année de façon récurrente dans le Grand Conakry, notamment dans la préfecture de Coyah.

En effet, une enquête menée par le journal [Guineenews.org](#) ([Millimono, 2021](#)) montre que depuis plus de deux décennies, la préfecture de Coyah connaît, à chaque saison, de graves inondations avec des pertes en biens et vies humaines importantes. La dernière inondation, selon un rapport de la Croix-Rouge guinéenne, date du mois d'août 2023, avec près de trois personnes décédées, 933 blessés, 5 115 familles touchées, 35 809 personnes déplacées et des infrastructures (maisons, routes, etc.) endommagées ou détruites ([International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies \[IFRC\], 2023](#)). Ainsi, une personne sur deux dans cette préfecture a été contrainte de quitter son domicile.

Au-delà des constats des dommages engendrés par les inondations, à notre connaissance, aucune étude n'a clairement identifié les facteurs générateurs de ces inondations ni caractérisé le niveau de risque lié à cet aléa dans la zone d'étude. Certains observateurs pensent que ces inondations sont le fait des précipitations exceptionnelles dues aux effets du changement climatique et combinés à un désintéressement de la population face aux prévisions météorologiques ([Sylla, 2023](#)). D'autres soutiennent que le problème réside dans l'occupation des emprises des ruisseaux de la ville sans qu'une étude scientifique ne le confirme ([Millimono, 2021](#)). De telles situations révèlent une connaissance insuffisante de l'aléa et de ses causes. Pourtant, pour mieux préparer la population à faire face à une éventuelle catastrophe, surtout

dans une approche intégrant des solutions structurelles et non structurelles, un ensemble d'outils préventifs basé sur une cartographie claire et précise de l'aléa semble nécessaire (Ha et al., 2022). C'est dans cette optique que cette étude se propose pour explorer l'ensemble des pistes à travers le thème intitulé : « **Évaluation de l'aléa inondation dans la préfecture de Coyah, République de Guinée** », afin d'approfondir la connaissance des risques d'inondation et fournir un outil d'aide à la décision aux acteurs locaux à l'échelle préfectorale afin de renforcer leur stratégie de lutte contre les risques et catastrophes hydroclimatiques.

Ainsi, cette recherche a pour originalité de coupler l'analyse classique basée sur le traitement de données quantitatives à de nombreuses enquêtes ménages qui tiendront compte des aspirations des populations vivant avec les risques hydroclimatiques, pour mettre en place une cartographie avec les modèles d'apprentissage automatique.

1.2. Objectifs de recherche

L'objectif principal de cette étude est d'améliorer la connaissance des risques d'inondation dans la préfecture de Coyah afin de contribuer à la réduction des impacts sur les personnes et les biens. Spécifiquement, Il s'agit de :

- a. faire ressortir l'interrelation entre la pluviométrie, l'inondation et le changement d'affectation des sols ;
- b. identifier les stratégies endogènes individuelles d'adaptation face aux risques d'inondation à Coyah ;
- c. proposer une cartographie de l'aléa inondation par la méthode Random Forest.

1.3. Questions de recherche

Pour répondre aux objectifs spécifiques ci-haut cités, nous avons utilisé les questions de recherches suivantes :

- a. dans un contexte de variabilité pluviométrique et de changement d'affectation des sols, quels facteurs expliquent la récurrence des inondations à Coyah ?
- b. existe-t-il des pratiques endogènes d'adaptation individuelle face aux inondations à Coyah ? Comment ces mesures influencent-elles la probabilité d'inondation des habitats ?
- c. quel est le niveau de l'aléa inondation dans la préfecture de Coyah ?

1.4. Organisation du travail

Ce projet de recherche est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre présente l'état des connaissances sur la thématique. Le deuxième décrit le matériel et la méthodologie utilisés pour atteindre les objectifs de l'étude. Le troisième chapitre présente les résultats ainsi que les discussions de ces derniers. Et enfin, la conclusion qui propose quelques recommandations pour la bonne gestion des risques d'inondation et l'aménagement du territoire.

CHAPITRE I : ETATS DE CONNAISSANCE

I.1. Brève description du dispositif de Gestion des risques et de Catastrophes en Guinée

La gestion des risques et des catastrophes en Guinée est assurée par le Centre National de Gestion des Catastrophes et des Urgences Environnementales (CENAGCUE). Il a été créé en 2005 par l'Arrêté A/2005/03591/ ME/CAB sous l'autorité du Ministère de l'Environnement, des Eaux et des Forêts (Ministère de l'Environnement et du Développement Durable [MEDD], 2024). Il a pour mission selon cette même source entre autre « de coordonner la prévention et la gestion de toutes les situations de catastrophes et des urgences environnementales d'origine naturelle ou anthropique , d'assurer la coordination de l'élaboration et de la mise en œuvre des plans sectoriels de prévention et de gestion des catastrophes ». Le CENAGCUE comprend trois départements notamment le département Etudes et planification composé de trois cellules, le département Prévention et Opérations d'urgences qui comprend trois cellules également et le département de reconstruction et réhabilitation (Figure 1) et des structures déconcentrées. A travers le Plan Stratégique Nationale pour la Reduction des Risques et des Catastrophes, le CENAGCUE mène des actions d'identifications des zones à risques, d'évaluation des pertes, dégâts et besoins d'urgence suite aux catastrophes. Il est appuyé par ses partenaires nationales et internationales tels que l'Agence Nationale de Gestion des Urgences et Catastrophes Humanitaires (ANGUCH), la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC), la Direction Nationale de Météo (DNM), l'UNICEF, la Croix rouge etc.

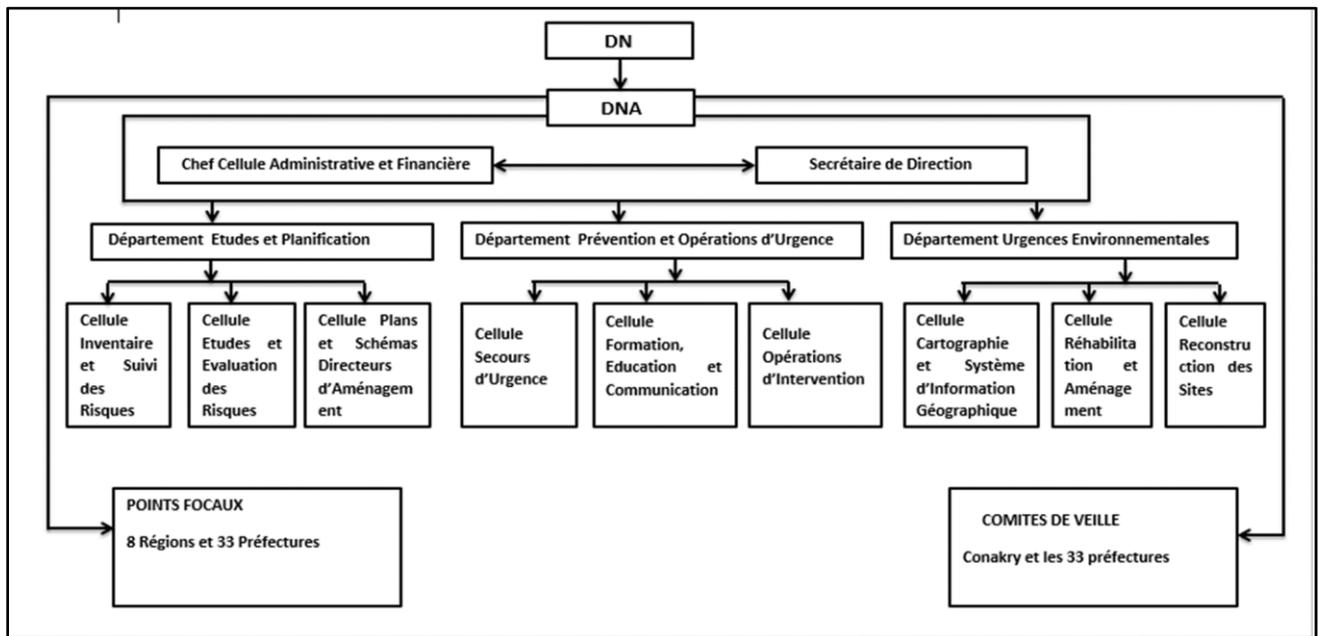


Figure 1: Organigramme du CENAGCUE

I.2. Evaluation de l'aléa inondation

I.2.1. Typologie des inondations

Une inondation est un débordement d'une grande quantité d'eau au-delà de ses limites normales, en particulier sur ce qui est normalement une terre sèche. Les inondations peuvent entraîner des perturbations importantes dans les villes et causer des impacts énormes sur les personnes, l'économie et l'environnement. Ces impacts peuvent être exacerbés par les changements climatiques et socio-économiques (Taylor et al., 2013). On distingue 4 types d'inondations (Lóczy, 2010), et chacun a un impact différent en termes de comment il se produit, comment il est prévu, les dommages qu'il provoque:

- ✚ les inondations fluviales: une inondation fluviale se produit lorsque le niveau d'eau d'une rivière, d'un lac ou d'un ruisseau monte et déborde sur les rives environnantes et les terres avoisinantes.
- ✚ les inondations pluviales : elles se réfèrent aux inondations causées par des précipitations extrêmes. De telles inondations se produisent lorsque le sol ne peut pas absorber efficacement l'eau de pluie ou lorsque les systèmes de drainage urbains sont submergés par un débit d'eau excessif (Solution, 2011).
- ✚ les inondations éclair : elles peuvent être définies sous différents aspects: comme phénomènes hydrométéorologiques ou agents géomorphiques (Lóczy et al., 2012). D'un point de vue hydrométéorologique, les crues soudaines sont mieux décrites comme des événements impliquant «trop d'eau en trop peu de temps» (Grundfest et Ripps, 2000). Du point de vue géomorphologique, les crues soudaines sont des événements de courte durée causés par une augmentation soudaine du débit d'une rivière ou d'un ruisseau, qui peuvent avoir des impacts géomorphiques remarquables par l'érosion et la sédimentation (Reid et al., 1994);
- ✚ les inondations côtières : Ce sont des inondations de terres le long de la côte par l'eau de mer. Les causes communes des inondations côtières sont la marée haute, les tsunamis et les ondes de tempête.

I.2.2. Cartographie de l'aléa inondation

Pour cartographier l'aléa inondation, plusieurs méthodes existent. Par ailleurs, l'ensemble de ces méthodes concourent à une évaluation du niveau de risque d'inondation. Certaines études ont utilisé la modélisation hydrologique et/ou hydraulique, tandis que d'autres se sont servi de la combinaison de la télédétection, des outils de Système d'Information Géographique (SIG) et de l'analyse multicritère basée sur la méthode Analytic Hierarchy Process (AHP) de Saaty (Saaty, 1980) ou encore des modèles de Machine Learning.

Concernant la modélisation hydraulique, l'étude de Hounton et al. (2022) à travers le modèle hydraulique HEC-RAS au Bénin a permis de décrire la propagation des événements pluvieux extrêmes afin d'évaluer les zones de susceptibilité d'inondation. De même, Karrouchi et al. (2016) ont utilisé une modélisation hydrodynamique pour élaborer la carte de l'aléa inondation dans le bassin versant de Martil au nord du Maroc. Ce modèle permet de prédire numériquement l'évolution spatio-temporelle des caractéristiques hydrauliques du cours d'eau. En incluant les récurrences des crues et les valeurs de submersion, la carte de l'aléa a été définie, variant du niveau faible, moyen à élevé, ainsi que la superficie occupée par chaque niveau.

Certaines structures comme le Service Public de Wallonie (SPW, 2020) ont montré l'efficacité des modèles hydrauliques en combinant des statistiques hydrologiques et un Modèle Numérique de Terrain (MNT) pour mettre en place la carte des zones soumises à l'aléa inondation de la Wallonie. Ce type de cartographie offre des résultats très satisfaisants. Cependant, il faut noter que ces modèles nécessitent une grande quantité de données de qualité et sont plus coûteux en termes de temps et de ressources financières (Rebolho, 2019), ce qui les rend difficilement déployables dans notre zone d'étude.

Nombreux, sont les auteurs qui ont largement utilisé la combinaison de la télédétection et la méthode AHP avec des outils SIG pour évaluer le risque d'inondation, surtout avec l'avènement des images satellitaires qui offrent de très bonnes alternatives pour une cartographie rapide (Sawant et al., 2019). Dans le processus de la méthode AHP, il s'agit d'attribuer des poids ou des scores aux différents facteurs déclencheurs de l'aléa (Saaty, 1980). Ces poids sont souvent attribués à travers des avis d'experts ou sur la base de la littérature. Par exemple, les études de Bocar (2019) et Ntouda et al. (2022) ont respectivement utilisé une analyse multicritère et la méthode AHP pour évaluer l'aléa inondation à Yeumbeul Nord à Dakar et dans le bassin versant du Mfoundi à Yaoundé. Le premier auteur a montré qu'en intégrant la science citoyenne, les résultats de la cartographie étaient plus performants, tandis que les seconds ont obtenu des résultats satisfaisants validés par des experts et par des vérifications de terrain.

En Guinée, des tentatives de cartographie nationale existent et définissent les différentes zones à risque d'inondation à l'échelle du pays (SAP – GUINÉE, 2020). Dans le cadre de l'élaboration des cartes sur les risques de catastrophes en Guinée, une carte d'évaluation des zones susceptibles à l'aléa inondation basée sur un processus AHP et des SIG a été mise en œuvre. Cette carte est, à notre connaissance, la seule exploitée par le CNAGCUE. Cependant, malgré les résultats satisfaisants de cette méthode, certains auteurs ont souligné ses limites, notamment sa subjectivité concernant la cotation ou les poids donnés aux différents paramètres basés sur les avis d'experts ou d'individus, qui peuvent surestimer ou sous-estimer ces derniers (Eba et al., 2013).

Pour contourner les limites de ces méthodes dites traditionnelles, plusieurs chercheurs se sont tournés vers des méthodes plus robustes, notamment les modèles de Machine Learning. Ces modèles incluent les machines à vecteurs de support (SVM), les arbres de régression boostés (BRT), les forêts aléatoires ou Random Forest (RF), etc. (Kohansarbaz et al., 2022), dont les résultats ont montré une grande satisfaction. Par exemple, les études de Kia et al. (2012) et Zhao et al. (2018) ont utilisé les réseaux de neurones artificiels dans le bassin de la rivière Johor en Malaisie. Chapi et al. (2017) ont quant à eux utilisé le modèle Random Forest pour évaluer la susceptibilité aux inondations en Iran. Le modèle Random Forest est applicable dans n'importe quelle région du monde. En effet, dans leurs approches sur la modélisation de l'aléa inondation dans le nord de l'Iran, Kohansarbaz et al. (2022) ont appliqué cinq modèles d'apprentissage automatique et ont montré que le RF donnait les meilleurs résultats avec une capacité plus précise de distinction des zones susceptibles aux inondations. Le bassin versant étudié était marqué par des changements d'affectation importants et un relief relativement accidenté, ce qui semble proche de la zone d'étude de ce projet.

Il faut également noter qu'il n'existe pas encore d'études similaires dans la zone. Compte tenu des raisons citées ci-dessus, cette recherche se concentrera sur l'évaluation des risques d'inondation par l'application de la méthode Random Forest.

CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1. Présentation de la zone d'étude

Coyah tirerait son nom de « KODIA », un terme maninka qui signifie "lieu de sel", en raison de sa réputation de zone d'extraction de sel. C'est une localité située en zone périphérique au nord-est de Conakry, à environ 50 km (COGINTA, 2016). Elle est composée de trois sous-préfectures : Coyah centre, Manéah, Wonkifong, et Kouria (Figure 2). Son relief est relativement plat, avec un point culminant à 634 mètres. Sur le plan climatique, la préfecture est caractérisée par une alternance de saisons, sèche (décembre à avril) et pluvieuse (mai à novembre). Selon le Ministère de la Santé [MS] (2015), la pluviométrie moyenne atteint 3000 mm à 4000 mm par an et les températures moyennes oscillent autour de 25°C. Cela offre à la préfecture une hydrographie assez dense, dont les principaux cours d'eau sont le Togueron, la Sarinka, le Kossor, et le Kitima. Ces cours d'eau se jettent à la mer et leurs écoulements sont parfois responsables de fortes inondations. La zone est composée de plusieurs ethnies, notamment les Soso, Malinkés, Peulhs, Dialonkés, Kissi, etc. Les principales activités économiques sont l'agriculture, l'élevage, les mines et carrières, l'artisanat et le commerce (Diallo, 2021).

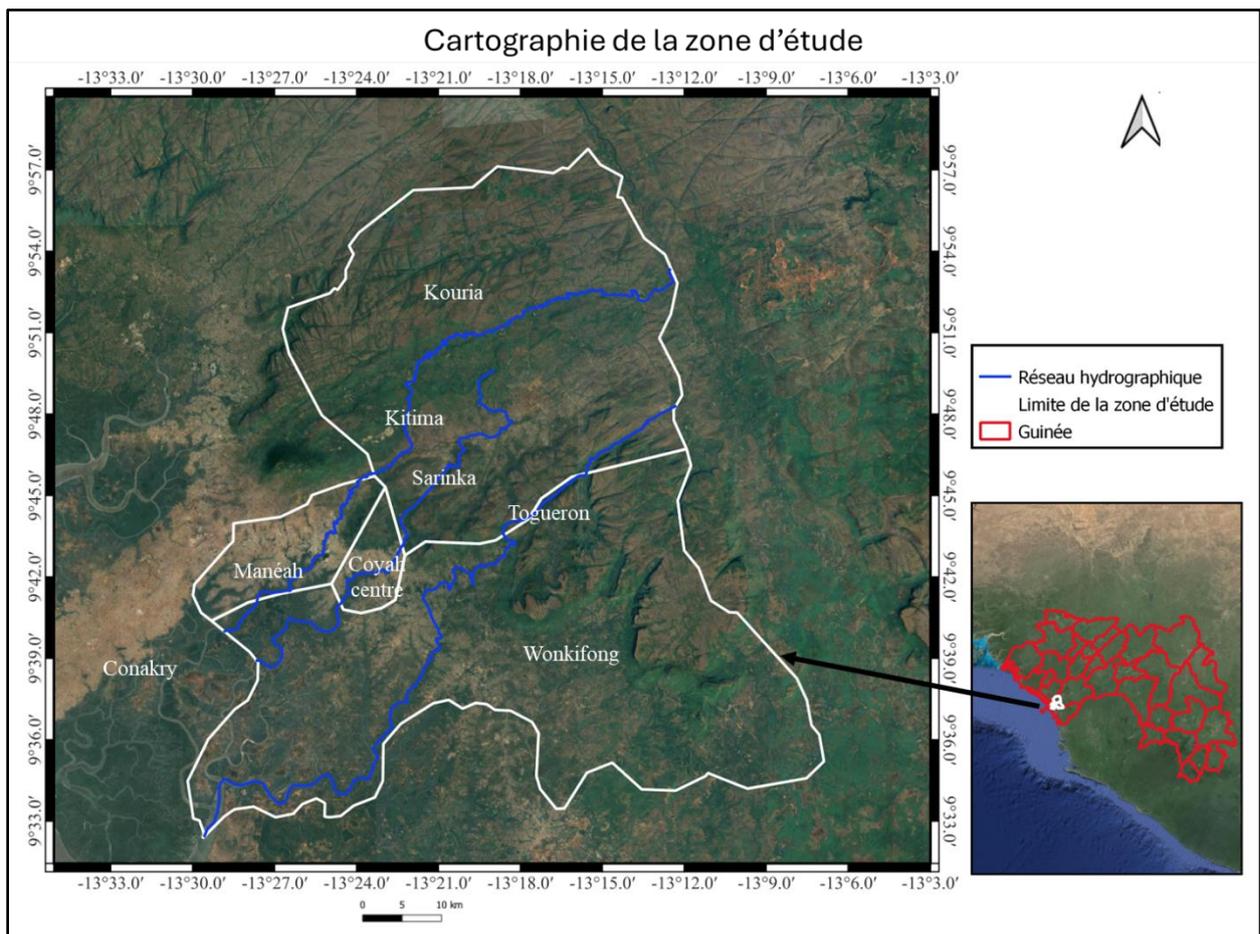


Figure 2: Présentation de la zone d'étude

II.2. Données d'étude

Les données pour cette étude sont essentiellement constituées d'enquêtes ménagères, d'observations de terrain et de données satellitaires.

Les données d'enquête ont principalement concerné les informations sur les pratiques d'adaptation individuelles, la mémoire de la population sur les inondations passées, etc., recueillies à l'aide d'un questionnaire (Annexes 1 et 2). Les données d'observation de terrain ont consisté aux relevés topographiques des zones inondées ou non dans toute la préfecture. Au total, 390 ménages et 190 points (Annexe 3) ont été enquêtés et collectés respectivement sur le terrain. Ces données ont permis de constituer une base de données sur les inondations et de former un fichier pour la variable réponse utilisé dans la modélisation.

Les données globales ont été les facteurs explicatifs (Annexe 4) déclencheurs d'une probable survenue d'inondation ou non. Onze facteurs ont été utilisés en se basant sur la littérature (Wang et al., 2015 ; Mattivi et al., 2019 ; Ullah et al., 2020 ; Goumrassa et al., 2021 ; Yukseler et al., 2023), sur les caractéristiques de la zone d'étude et sur leurs contributions à l'amélioration de la performance du modèle. L'ensemble des données brutes suivantes ont été soigneusement préparées sous le langage de programmation R en utilisant plusieurs packages, dont les principaux sont « *dplyr* », « *sf* », « *terra* », etc. :

- ✚ les précipitations journalières de 1981 à 2023 : il s'agit des données d'estimations CHIRPS de résolution 0.05 degrés, téléchargeables via le site (https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_daily/netcdf/p05/). Ces données ont été préférées en raison de la situation très lacunaire et courte de la série des données pluviométriques sur la station de Coyah fournies par la Direction Générale de la Météorologie de la Guinée. Les valeurs journalières ont été utilisées pour caractériser les événements pluvieux, tandis que le raster des maximales journalières (MJP) a été extrait et utilisé comme facteur explicatif dans le modèle. Ces données sont également largement utilisées par la communauté scientifique notamment (Amon et al., 2021) qui l'ont utilisée sur le district d'Abidjan.
- ✚ l'occupation des terres ou Land Use Land Cover (LULC) de résolution 30 m : il s'agit des données Landsat 8 (OLI-TIRS) de 2023 provenant du site de l'USGS Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>) . Une autre image Landsat 5 TM de 1994 du même site a été utilisée pour comprendre la dynamique d'occupation des terres de 1994 à 2023.
- ✚ le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de résolution 30m, a été acquis via le lien [USGS Explorer](<https://earthexplorer.usgs.gov>) et préparé en suivant la méthode de rupture naturelle. L'élévation du terrain joue un rôle crucial dans la genèse des flux d'eau, et les zones avec une forte élévation ont généralement une faible probabilité d'être inondées par rapport à celles de basses élévations.
- ✚ la texture des sols composée de sable, d'argile et de limon avec une résolution de 250m. Elle influence la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol. Ses différentes composantes ont été téléchargées via le site web [SoilGrids](<https://soilgrids.org/>).
- ✚ la pente (slope) dont la résolution est de 30m: elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration, et

influence directement le débit de pointe lors d'une averse. Elle a été calculée à partir du MNT.

- ✚ l'indice d'humidité topographique (TWI) (30m*30m): il permet d'estimer où l'eau s'accumulera en fonction des différences d'altitude. Il a été extrait à partir du modèle numérique de terrain et constitue une variable indépendante pour la survenue des inondations.
- ✚ la densité de drainage : « elle a une relation étroite avec les inondations et est définie comme étant le rapport de la longueur totale des canaux du bassin versant à la superficie totale du bassin » Ullah *et al.* (2020). Le raster de la densité de drainage a été extrait à partir du réseau hydrographique et du modèle numérique de terrain.
- ✚ la distance par rapport à une rivière : elle a été extraite à partir du MNT sous R par la méthode de la distance euclidienne.
- ✚ l'aspect (30m*30m): il se réfère à l'orientation de la pente ou d'une surface par rapport aux points cardinaux (nord, sud, est, ouest). L'aspect est exprimé en termes de direction azimutale, mesurée en degrés allant de 0 à 360, où 0° correspond au nord, 90° à l'est, 180° au sud et 270° à l'ouest. Il a été obtenu à partir du MNT en utilisant la fonction « *terrain* » sous le langage R. Dans cette étude, les valeurs des angles extraits ont été converties en directions cardinales telles que : 0° - 22,5° : Nord (N) ; 22,5° - 67,5° : Nord-Est (NE) ; 67,5° - 112,5° : Est (E) ; 112,5° - 157,5° : Sud-Est (SE) ; 157,5° - 202,5° : Sud (S) ; 202,5° - 247,5° : Sud-Ouest (SW) ; 247,5° - 292,5° : Ouest (W) ; 292,5° - 337,5° : Nord-Ouest (NW) ; 337,5° - 360° : Nord (N).
- ✚ la densité de la population, projection de 2020, téléchargée sur WorldPop via le lien (<https://hub.worldpop.org/geodata/listing?id=77>) avec une résolution de 1km pour l'analyse des populations dans les zones à risque.
- ✚ les données sur les enjeux, notamment les voies de transport, les centres de santé, les points de prélèvements d'eau, les écoles, les lieux de prières, etc., proviennent de OpenStreetmap via le lien (<https://www.openstreetmap.org/#map=14/9.7235/-13.3983&layers=HG>) pour l'analyse des impacts et les interventions humanitaires.

II.3. Outils

Pour la conduite, l'analyse et la mise en forme des résultats de cette étude, différents outils et logiciels (Tableau 1) ont été utilisés.

Tableau 1: Matériels utilisés

<i>Outils</i>	<i>Utilités</i>
R version 4.1.3	Elaboration des scripts d'analyse des données et la modélisation ; cartographie
World 2023	Traitement de texte
QGIS 3.28.11	Réalisation des cartes
GPS	Collecte des données de position
Appareil photo	Prise de vue
CSPRO	Pour la collecte numérique des données ménages

II.4. Méthodologie

Dans cette étude, nous avons utilisé plusieurs données de type « Raster » de résolutions différentes. Pour cela, la première étape de toutes les sections qui ont nécessité l'utilisation de ces types de données a été, l'harmonisation des résolutions de tous les « Raster » ou rééchantillonnage. Selon [Zhu \(2017\)](#), « le rééchantillonnage est un processus de transfert d'un jeu de données raster existant vers un nouveau jeu de données raster du même type de données ». Ainsi, nous avons utilisé la fonction « *project* » et « *resample* » du package « *terra* » du langage de programmation R. La première fonction a permis d'assurer l'alignement spatial des « Raster » tandis que la deuxième a été utilisée pour harmoniser les résolutions à 30m qui était la plus petite des résolutions des données utilisées. La méthode de rééchantillonnage par interpolation bilinéaire a été appliquée aux données continues comme la précipitation, et celle du plus proche voisin aux données catégorielles comme l'occupation des sols.

II.4.1. Récurrence des inondations à Coyah

III.4.1.1. Caractérisation de la variabilité pluviométrique

Cette section a pour objectif d'analyser l'évolution des différents indices pluviométriques et de déterminer s'ils sont les facteurs responsables de la récurrence des inondations dans la zone d'étude. La méthodologie adoptée a déjà été appliquée par plusieurs chercheurs et a donné des résultats satisfaisants ([Griffiths et al., 2003](#); [Aguilar et al., 2009](#); [Hountondji et al., 2011](#); [Sahani, 2012](#); [Ozer et al., 2014](#); [Hangnon et al., 2015](#)). Huit indices pluviométriques issus des recommandations du « *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation* » élaboré par le groupe d'experts ETCCDMI (*Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices*), en collaboration avec l'Organisation Météorologique Mondiale, ont été retenus ([WMO, 2009](#)).

D'abord, une analyse fréquentielle a été appliquée sur les données pluviométriques de 1981 à 2023. Ainsi, les tests non paramétriques de Pettitt et Buishand ont été appliqués en vue de détecter d'éventuelles ruptures ou non. Également dans l'optique de caractériser l'existence d'une tendance monotone en croissance ou en décroissance, le test de Mann-kendall a été utilisé. L'application de ces tests s'est faite avec les packages « *trend* et *kendall* » sous R. Après cela, une caractérisation des indices, tels que: les précipitations totales annuelles (PTA), la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie (SDII), les précipitations maximales quotidiennes (Px1J), le nombre de jours avec des précipitations \geq 95e percentile sur la période 1981-2023 (P95p), le nombre de jours avec précipitation \geq 99e percentile (P99p), le nombre de jours avec précipitation \geq 99,5e percentile (P99.5p), le nombre maximal de jours consécutifs de pluie (JPC) et le nombre de jours de pluie à Coyah (>1 mm) a été faite en vue d'analyser leur évolution temporelle.

Ensuite, une régression linéaire a été effectuée entre les indices pour comprendre leurs tendances. Quatre catégories de classes ont été définies pour regrouper les valeurs des pentes calculées afin de montrer les variations des tendances significatives. Pour tester l'hypothèse d'une pente égale à zéro, nous avons utilisé le test de student, ce qui a permis de définir les bornes des différentes classes. Ainsi si la p-value est inférieure à 0,05, la tendance est significative, sinon elle ne l'est pas.

En outre, nous avons ajusté les valeurs maximales des précipitations journalières de 1981 à 2023 avec la loi de Gumbel afin de caractériser leurs périodes de retour.

Enfin, la classification des événements en « normal, anormal, exceptionnel, très exceptionnel » (Tableau 2) selon leurs périodes de retour a été réalisée selon le seuil de classification internationale des événements extrêmes de (Vandiepenbeeck, 1997).

Tableau 2: Classification des extrêmes selon Vandiepenbeeck (1997)

Période de retour (T)	Attribution
$T \geq 100$	Très exceptionnel
$30 \leq T < 100$	Exceptionnel
$10 \leq T < 30$	Très anormal
$6 \leq T < 10$	Anormal
$T < 6$	Normal

II.4.1.2. Caractérisation des changements d'affectations de sols

La méthodologie adoptée à ce niveau, a consisté à utiliser les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection pour analyser l'évolution spatiale et temporelle de l'occupation des terres dans la zone du projet. La première étape a été le choix des images. En effet, le choix s'est porté sur des images à haute résolution Landsat 5 TM 1994 et Landsat 8 (OLI) 2023, qui sont gratuites. Les périodes ont été choisies juste avant la saison des pluies afin de réduire l'effet des nuages sur les images notamment le 05 Avril 1994 et le 09 Avril 2023. C'est ainsi que les années 1994 et 2023 ont été retenues pour la suite du travail.

Pour la classification de l'évolution des occupations de sols, deux grandes étapes ont été nécessaires : le prétraitement des images et le traitement proprement dit ([Figure 3](#)). Le prétraitement a consisté, entre autres, à la correction atmosphérique (DOS1) des images via le plugin Semi-Automatic Classification (SCP), au découpage spatial, au rééchantillonnage des images, et à l'assemblage des bandes après leur importation dans l'environnement QGIS. Pour le traitement, il a été d'abord question d'une photo-interprétation de l'image combinée puis à une identification des classes de sols. Cette identification s'est basée sur la connaissance de la zone d'étude mais aussi sur une interprétation des composites colorés « vraies couleurs » ou « fausses couleurs » avec l'amélioration des contrastes.

Ensuite, une sélection des aires d'entraînement ou « ROI – Region Of Interest » de calibration pour chaque classe a été faite. La méthode de calibration entreprise est celle du maximum de vraisemblance. C'est une méthode statistique qui utilise les probabilités. Pour chaque pixel, le calcul de la probabilité qu'il appartienne à chacune des classes d'occupation des sols est fait, en utilisant les moyennes et les covariances des classes. Le pixel est classé dans la classe pour laquelle il a la plus haute probabilité ([Sorokoby, 2021](#)). En outre, les indices de séparabilité tels que le Bray Curtis similarity, la distance euclidienne et l'angle spectral ont été utilisés pour apprécier la séparabilité spectrale ([Lafleur, 2015](#)).

Par ailleurs, une validation de la classification par la méthode d'échantillonnage stratifié de cent (100) points a été réalisée suivant la formule de détermination du nombre de points de validation ([Annexe 5](#)). Pour évaluer la validation et l'interpréter, une matrice de confusion a été élaborée. Les points de validation ont également été relevés lors des enquêtes de terrain à l'aide de Global Positioning System (GPS). Une fois les deux images classifiées, un calcul des superficies a été effectué afin de comparer les superficies des changements d'affectation des sols au fil des années. Un focus a été mis sur l'étalement des zones de « bâti » susceptibles d'occuper les emprises des cours d'eau, ainsi que sur l'augmentation des classes de sols imperméables pouvant accroître le coefficient de ruissellement des eaux et provoquer d'éventuelles inondations.

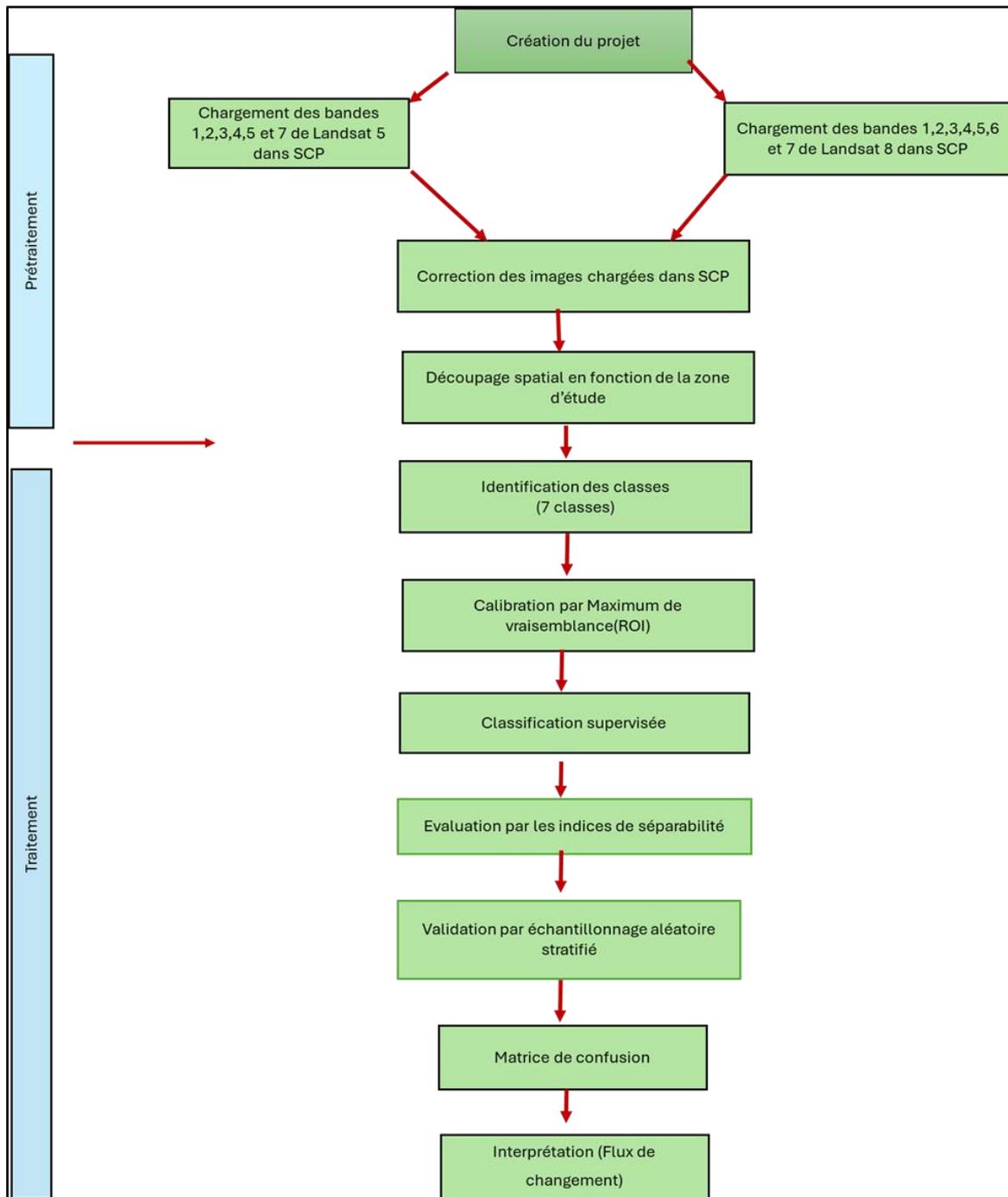


Figure 3: Schémas des opérations de carte d'occupation de sols

II.4.2. Pratiques endogènes de protection face aux inondations

En vue d'atteindre cet objectif, une enquête sur 390 ménages (Equation) répartis dans les quatre sous-préfectures a été réalisée avec le logiciel de collecte de données numériques, Census and Survey Processing System (CSPro), suivie d'entretiens avec les autorités communales et coutumières. Cet échantillonnage a suivi la formule proposée par Yamane (1976) et révisée par Adam (2020). Le nombre de ménage dans la zone est estimé à 15281 (Bah et Bangoura, 2017). Ces échanges ont porté essentiellement sur les aspects socio-démographiques, les causes des inondations et les pratiques mises en œuvre pour réduire la

vulnérabilité aux inondations et les logiques d'occupation des terres. Les données recueillies ont été traitées avec le langage de programmation R.

Pour analyser l'influence des pratiques individuelles mise en œuvre sur la probabilité d'inondation des habitats, une analyse descriptive a été effectuée afin d'obtenir des tableaux sur les différentes pratiques. Ensuite, une régression logistique binaire a été appliquée aux données à travers la fonction *glm* (modèle linéaire généralisé) du package de base de R (stats). Les p-values ont été obtenues en faisant un résumé du modèle (*summary* dans R). Enfin, le package *questionr* a été utilisé pour calculer les odds ratios à partir des coefficients de la régression. Ce package se base sur le calcul de l'exponentiel des coefficients.

Equation :

$$n = \frac{N}{1+N*d^2} = \frac{15281}{1+15281*0.05*0.05} = 390 \text{ ménages}$$

n :la taille de l'échantillon ; N :la taille de la population d'étude. d :la marge d'erreur considérée (0.05)

II.4.3. Cartographie des inondations

Cette section a été consacrée à l'application de la méthode d'apprentissage automatique, notamment le modèle Random Forest, pour la cartographie des inondations. L'objectif a été de déterminer la susceptibilité à l'inondation et de chercher le lien entre la zone inondée ou non (variable dépendante) et les facteurs explicatifs ou déclencheurs (Yukseler et al., 2023). Et enfin nous avons procédé à une analyse d'impact des enjeux.

Les principales étapes ont été le prétraitement des données, la construction du modèle et l'analyse des impacts probables (Figure 4). Pour le prétraitement, il s'agissait de la sélection des facteurs basée sur la littérature et la connaissance de la zone du projet, de la gestion des projections, du rééchantillonnage (30m*30m) des différents paramètres, de la transformation des rasters, de l'extraction des valeurs aux points d'inondation, suivies de leur nettoyage par l'extraction des valeurs aberrantes et manquantes. Ensuite, il a été question de la construction du modèle à l'aide du package « *RandomForest* ». D'autres packages tels que « *caret*, *dplyr*, *terra* », etc., ont également été nécessaires pour la manipulation et l'analyse des rasters.

Concrètement, la construction du modèle a consisté à partitionner l'échantillon de manière aléatoire en deux parties : 70 % des données ont été utilisées pour l'entraînement du modèle et 30 % pour la validation comme l'ont préconisé (Ullah et al., 2019) . Plusieurs itérations d'arbres différents ont été effectuées, et à chaque fois, le taux d'erreur a été observé afin de retenir le modèle avec le bon nombre d'arbres. L'importance de chaque paramètre a été déterminée par la fonction « *varImpPlot* ou *importance* » de R afin d'apprécier la contribution de chaque variable à la performance du modèle. Ainsi, les facteurs ayant une importance inférieure au seuil de 0.5 % ont été éliminés suivant les prescriptions de (Ha et al., 2022). Le paramètre supprimé ici a été la courbure.

Nous avons par la suite reconstruit le modèle avec les paramètres restants avant de procéder à la prédiction et à la cartographie des inondations. Afin d'évaluer les performances du modèle

Random Forest, des critères tels que la précision globale (accuracy), l'indice kappa, l'aire sous la courbe (AUC), la sensibilité et la spécificité déjà utilisés par (Omar & Ivriissimtzis, 2019) ont été calculés. Par ailleurs, selon ces mêmes auteurs, le modèle est estimé acceptable lorsque ces critères sont supérieurs ou égaux à 65 %. La carte d'inondation ainsi obtenue a été catégorisée en fonction de la probabilité d'inondation, de « Très faible à niveau Très élevé » .

L'analyse des impacts a consisté à croiser la carte d'inondation avec les différents enjeux afin d'identifier les éléments à risque (population, écoles, mosquées, hameaux, etc.) et les éléments essentiels pour une réponse avant et après l'aléa (routes pour évacuations, hôpitaux, pharmacies, etc.). Pour déterminer la population en situation d'urgence en fonction des niveaux de risque, les fonctions « *calc()*, *extract()*, et *cellStats()* » du package raster ont été nécessaires. D'abord, il a fallu calculer et extraire la population vulnérable par pixel et par seuil de risque, puis croiser ces données avec celles de la population (WorldPop), et enfin évaluer la population en situation d'urgence par entité administrative. Les autres enjeux ont été superposés pour une photo-interprétation.

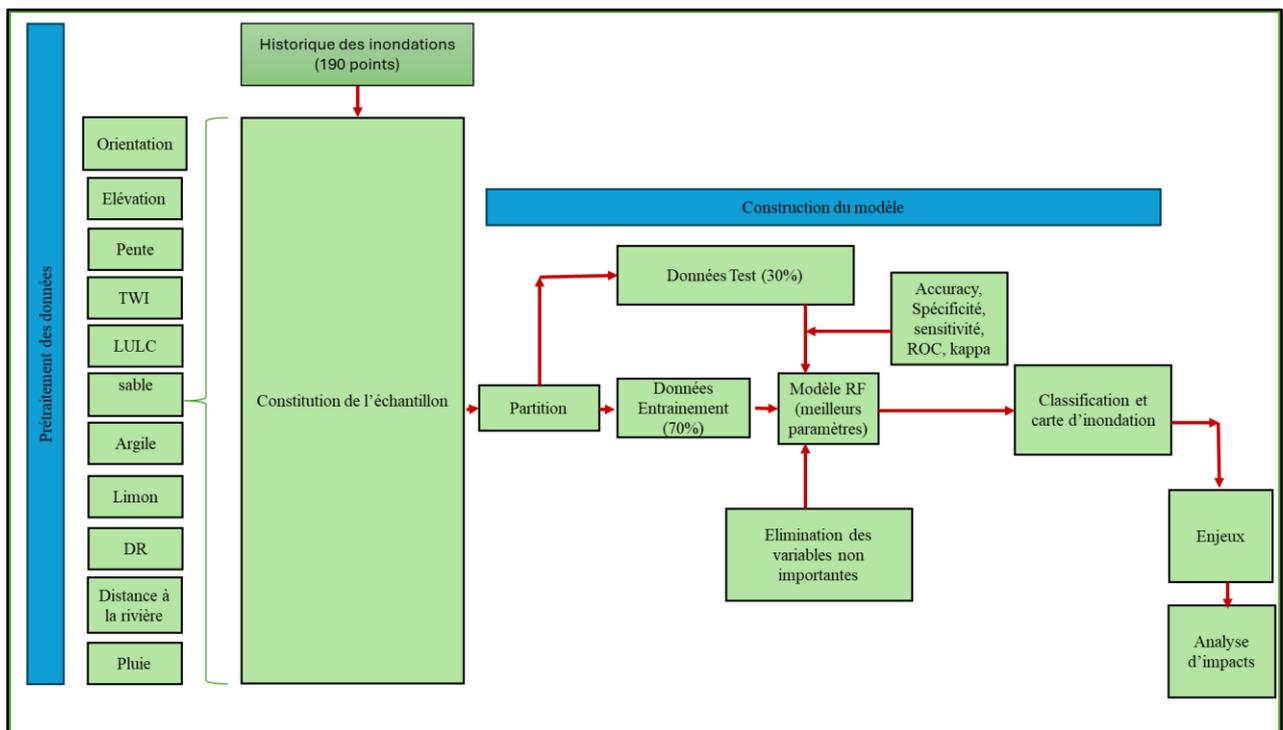


Figure 4: Elaboration du modèle Random Forest

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats

III.1.1. Interrelation entre la variabilité pluviométrique, inondation et changement d'affectation de sols

III.1.1.1. Variabilité pluviométrique

L'application des tests d'homogénéité a révélé de façon générale une absence de rupture et de monotonie dans la série chronologique. Cependant, il existe une probable rupture en 1997 (Figure 5), statistiquement non significative. En effet, les tests de Pettitt et Buishand ont indiqué des p-values respectives de 0.07 et de 0.1 au seuil de 95%, ce qui est statistiquement non significatif. De plus, le test de Mann-Kendall a montré une très légère tendance à la baisse des précipitations, avec une valeur de tau de -0.14 et une p-value non significative de 0.1 au seuil de 95%.

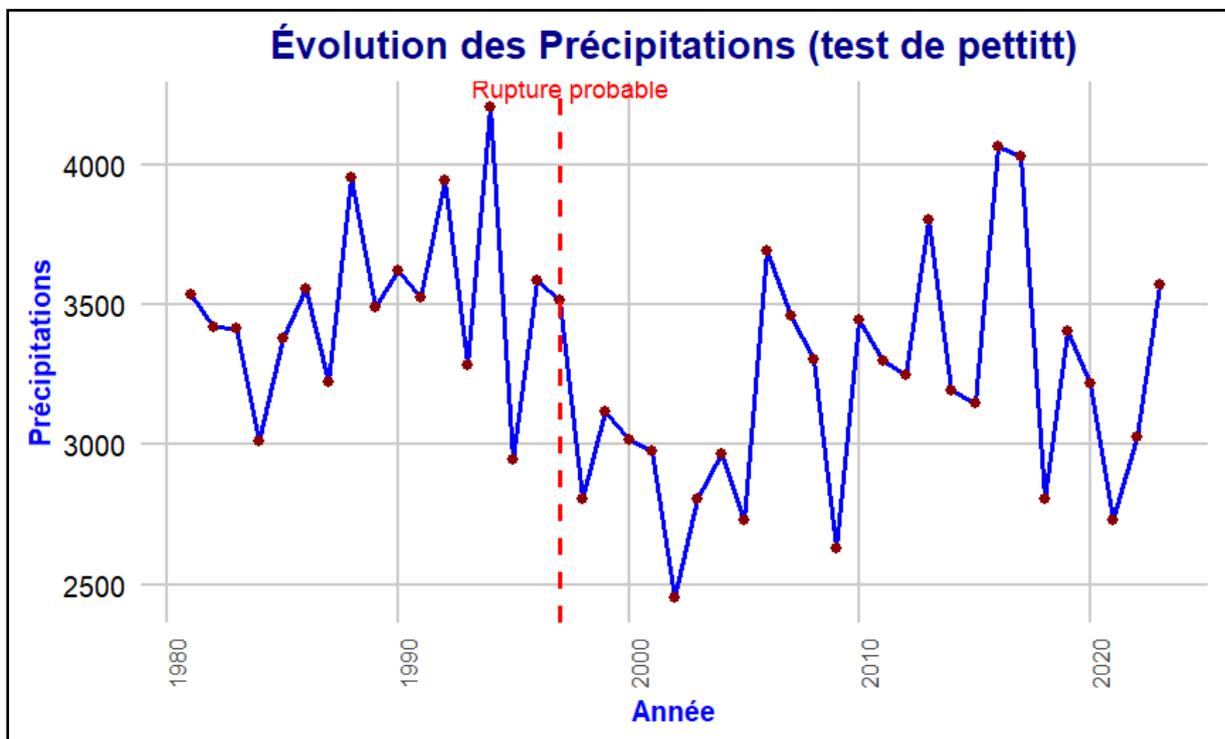


Figure 5: Test d'homogénéité (test de Pettitt)

En ce qui concerne les indices pluviométriques, il est à noter que : la lame d'eau maximale précipitée par jour (SDII) signalée est de 34 mm (Figure 6a), le maximum annuel des précipitations de la série est de 4205 mm en 1994 et le minimum est de 2453 mm en 2002 (Figure 6b). Aussi, la précipitation quotidienne maximale enregistrée est de 283 mm (Figure 6c), le nombre maximal de jours de pluie consécutifs supérieurs à 1 mm est de 26 jours, et le nombre maximal de jours humides est de 147 jours (Figure 6d, e). Les pluies intenses, extrêmes et très extrêmes ont été définies à partir des seuils respectifs de 48mm, 104 mm, et 126 mm suivant la série de 1981 à 2023. Le maximum des jours pour les événements pluviométriques intenses est de 28, tandis que celui des extrêmes est de 8 et de 5 pour les très extrêmes (Figure

6f, g, h). L'analyse de la tendance de ces indices a révélé que cinq des huit indices présentent une tendance à la baisse sauf le Px1J. Le P99p et le P99.5p montrent une tendance stationnaire mais aucune de ces tendances n'est statistiquement significative.

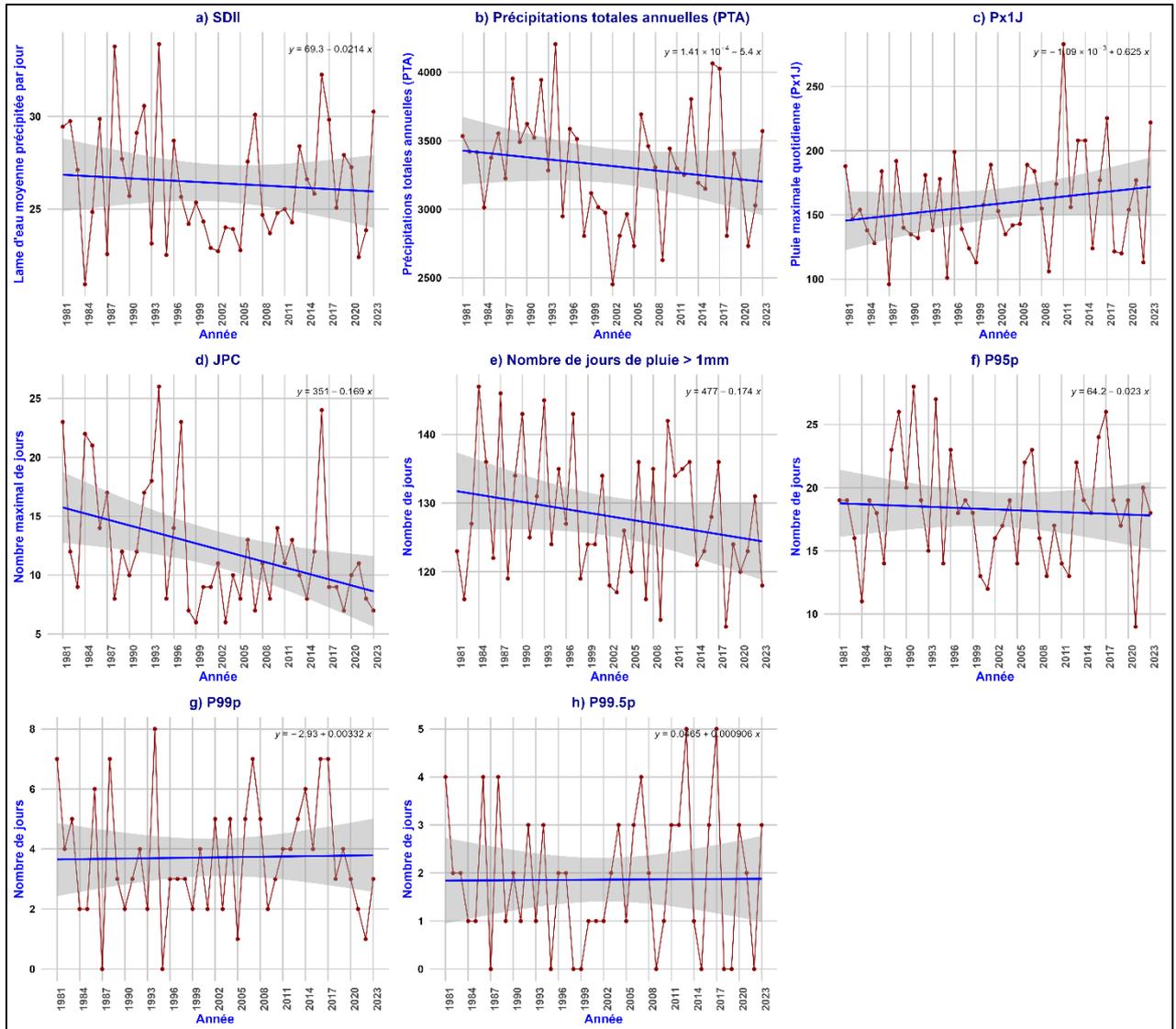


Figure 6: Tendances des indices pluviométriques retenus

Par ailleurs, l'ajustement des précipitations maximales journalières (Tableau 3) à la loi de Gumbel, appliqué au seuil de classification de Vandiepenbeeck, a montré que les pluies de 2019 (120 mm), de 2020 (154 mm), de 2021 (177 mm) et de 2022 (113 mm) ont des périodes de retour respectives de 1,2 an, 2 ans, 3,7 ans et 1,1 an. Ces années ont été mentionnées lors des enquêtes par les ménages comme faisant partie des années ayant enregistré des inondations avec des dégâts. Ces pluies sont considérées comme ayant un caractère « normal », car les périodes de retour sont inférieures à 6 ans ($T < 6$ ans). En revanche, en 2011, la préfecture a été fortement touchée par une inondation avec une pluie de 283 mm, dont la période de retour est estimée à 149,8 ans. Il s'agissait d'une pluie qualifiée de « très exceptionnelle ». De plus, la toute dernière inondation en date, survenue en 2023 avec une précipitation de 222 mm qui a causé de nombreux dommages, est dite « très anormale ». Sa période de retour a été estimée à 15,6 ans (Figure 7)

Tableau 3: Précipitation maximales journalières pour le calcul des périodes de retour

Année	Px1J_max	Période de retour	Année	Px1J_max	Période de retour
1981	188	5.1	2003	135	1.4
1982	147	1.8	2004	142	1.6
1983	154	2.0	2005	143	1.6
1984	138	1.5	2006	189	5.3
1985	128	1.3	2007	184	4.5
1986	184	4.5	2008	155	2.1
1987	96	1.0	2009	106	1.0
1988	192	5.8	2010	174	3.4
1989	140	1.5	2011	283	149.8
1990	135	1.4	2012	156	2.1
1991	132	1.3	2013	208	9.7
1992	181	4.1	2014	208	9.7
1993	138	1.5	2015	124	1.2
1994	178	3.8	2016	177	3.7
1995	101	1.0	2017	225.4	17.5
1996	199	7.2	2018	121.6	1.2
1997	139	1.5	2019	120	1.2
1998	124	1.2	2020	154	2.0
1999	113	1.1	2021	177	3.7
2000	158	2.2	2022	113	1.1
2001	189	5.3	2023	222	15.6
2002	153	2.0			

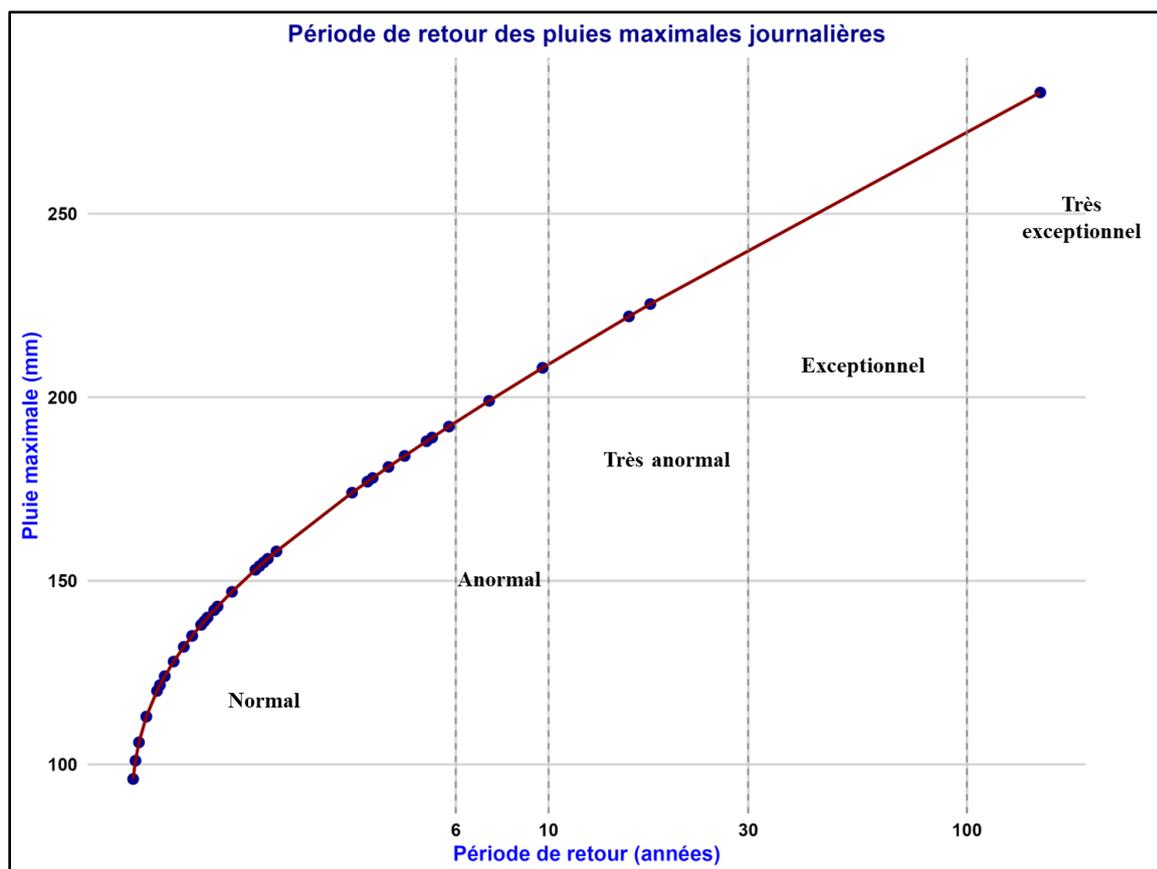


Figure 7: Périodes de retour des pluies maximales à Coyah

III.1.1.2. Changements d'affectation de sols

Sept classes d'occupation des sols ont été observées suite à l'analyse des deux images dans la zone du projet : « Bâti », « Sols nus », « Agriculture », « Végétation dense », « Rivières », « Mangrove » et « Savane » (Figure 8). Dans cette étude, les sols nus regroupent l'ensemble des zones de montagnes ainsi que les zones d'exploitation des mines et carrières. La savane, quant à elle, est constituée de formations arbustives, herbeuses et d'espaces ouverts avec peu de végétation. La végétation dense, dans notre cas, rassemble les types de végétation se présentant sous forme de petites parcelles bien denses et de grande hauteur, généralement situées dans les vallons entre les lignes de crêtes. Les performances de la réalisation des cartes ont été jugées satisfaisantes, avec une précision globale de 75 % pour la carte de 2023 et de 69 % pour celle de 1994 (Annexes 6 et 7). Un changement général dans l'ensemble des états d'occupation des sols a également été observé entre 1994 et 2023 (Figure 9). La superficie des zones bâties, qui représentait 3 % de la superficie totale, est passée à 13 % en 2023. De plus, les surfaces agricoles, qui ne représentaient que 0,3 %, occupent désormais 10,3 % de la superficie totale. Les zones de végétation dense, qui représentaient 11,4 %, ont été défrichées et ne représentent plus que 8 % de la superficie totale en 2023.

Cartographie de l'évolution de types occupations de sols

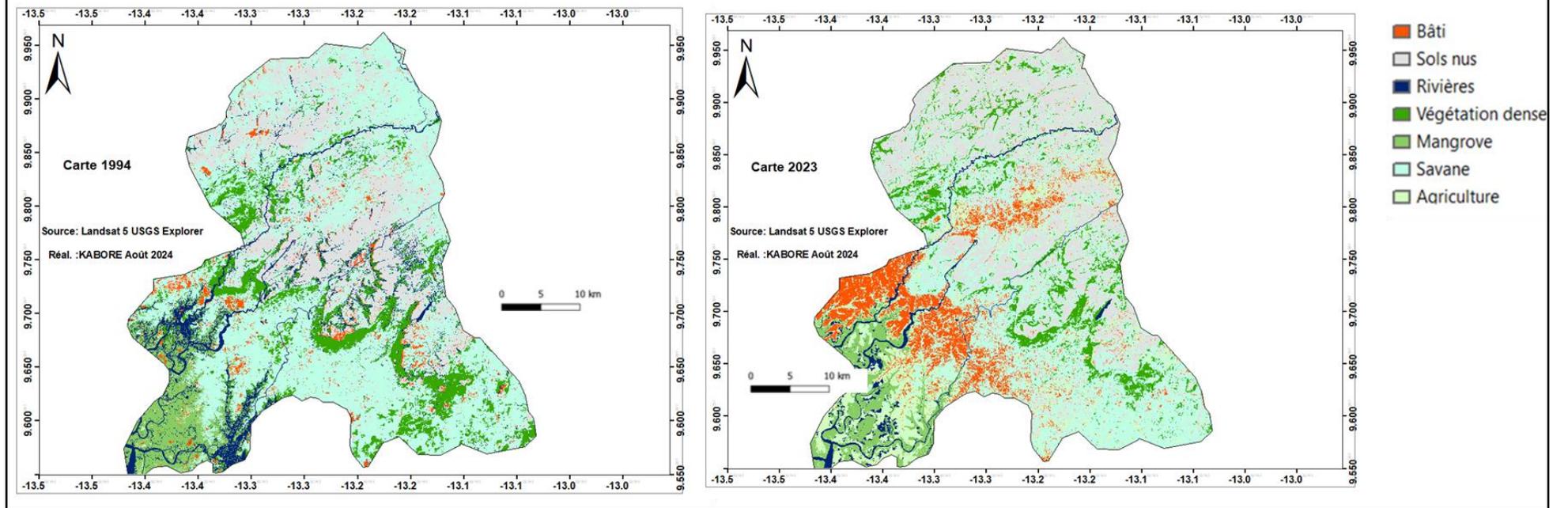


Figure 8: Carte d'occupation des sols de 1994 et 2023 à Coyah

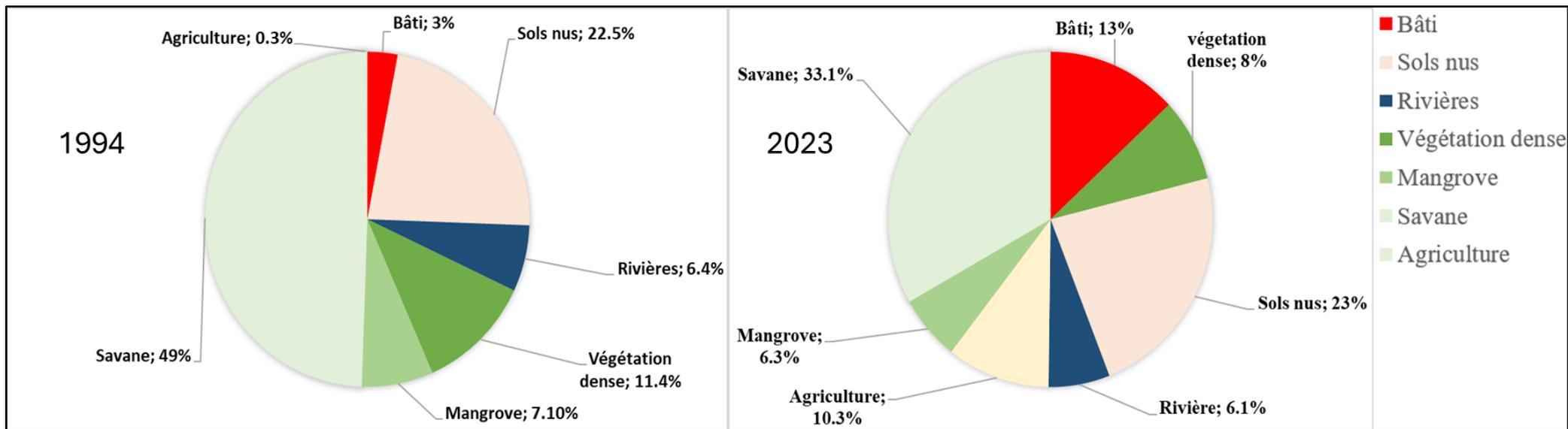


Figure 9 :Pourcentage de types d'occupations de sols de 1994 à 2023 à Coyah

III.1.2. Pratiques endogènes individuelles d'adaptations

III.1.2.1. Caractéristiques socio-démographiques, causes et logiques d'occupation des terres

La plupart des chefs de ménage enquêtés sont de sexe masculin, représentant 80% de l'échantillon contre 20% de personnes de sexe féminin (Figure 10a). Les principales activités de la population, selon l'échantillon, sont les services tels que la couture, la mécanique, l'artisanat, etc. (31.7%), et le commerce (30.7%). Les travailleurs du secteur public et privé représentent 19%, tandis que les activités de transformation comme la fabrication de savons, généralement effectuées par des femmes, correspondent à 9% (Figure 10b). Les ménages enquêtés sont composés de 53.8% à Manéah, 25.9% à Coyah (centre), 13.5% à Wonkifong, et 6.9% à Kouria (Figure 10d). Selon notre échantillon, 73.2% de la population pensent que les inondations sont dues aux changements climatiques, 10.7% estiment que les inondations sont la manifestation de la colère des divinités, et 16% ont indiqué qu'elles tirent leurs origines de la mauvaise urbanisation (Figure 11a). De plus, les principales raisons de l'occupation des zones inondables sont essentiellement le manque de moyens financiers (74,4 %) et la proximité de leurs lieux de travail (25,6 %) (Figure 11b). Parmi ces occupants, 96,9 % se sont installés dans ces zones au cours des 20 dernières années et 3,1 % y vivent depuis plus de 20 ans (Annexe 8). En ce qui concerne la réception d'informations sur un risque imminent d'inondation, 84,6 % des ménages déclarent ne pas être informés, tandis que 15,4 % affirment recevoir ces informations (Annexe 9a). Parmi ces derniers, 41,7 % reçoivent l'information par la radio, 30 % par la télévision et 28,3 % via les réseaux sociaux (Annexe 9b). En considérant la connaissance du risque selon le sexe, la majorité d'entre eux n'en a pas connaissance : seuls 4,1 % des hommes sont informés, tandis qu'aucune des femmes ne l'est (Annexe 10). Les pratiques varient selon les communes. La pratique la plus courante est la surélévation des murs (Annexe 11).

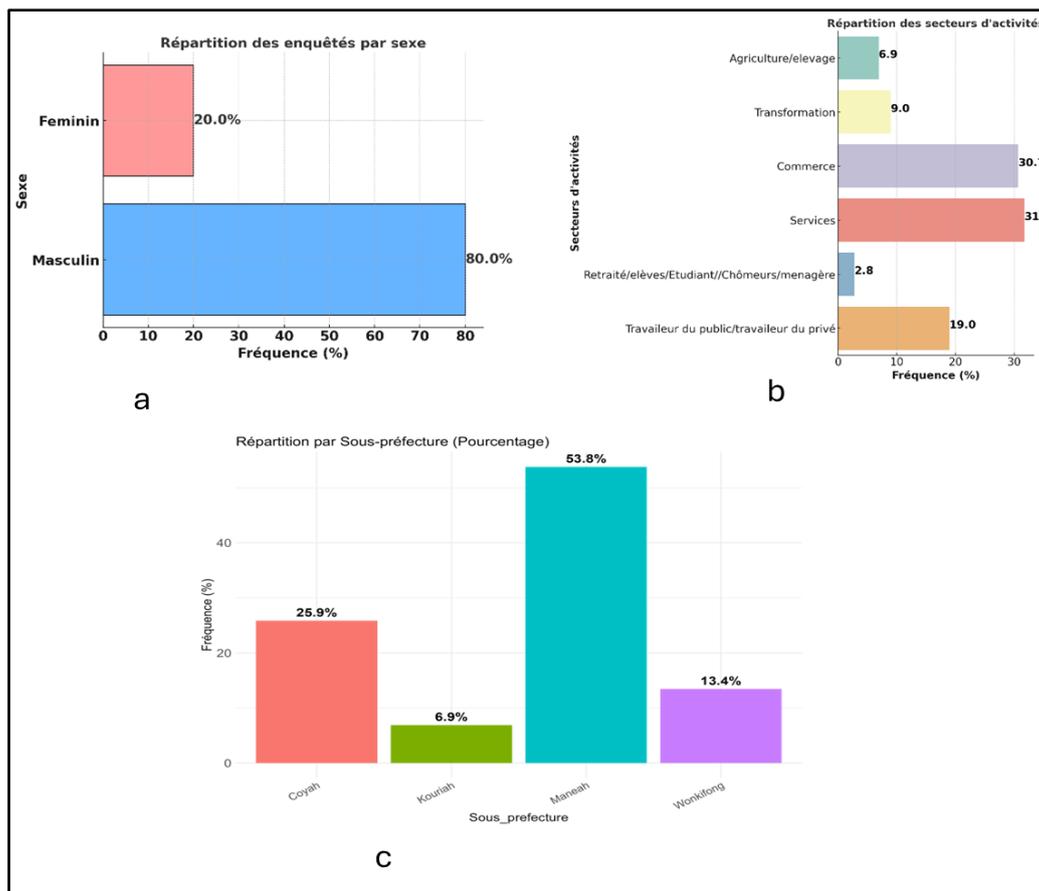


Figure 10: a) Répartition des enquêtés selon le sexe, b) répartition selon le secteur d'activités, d) répartition des enquêtés par sous-préfectures

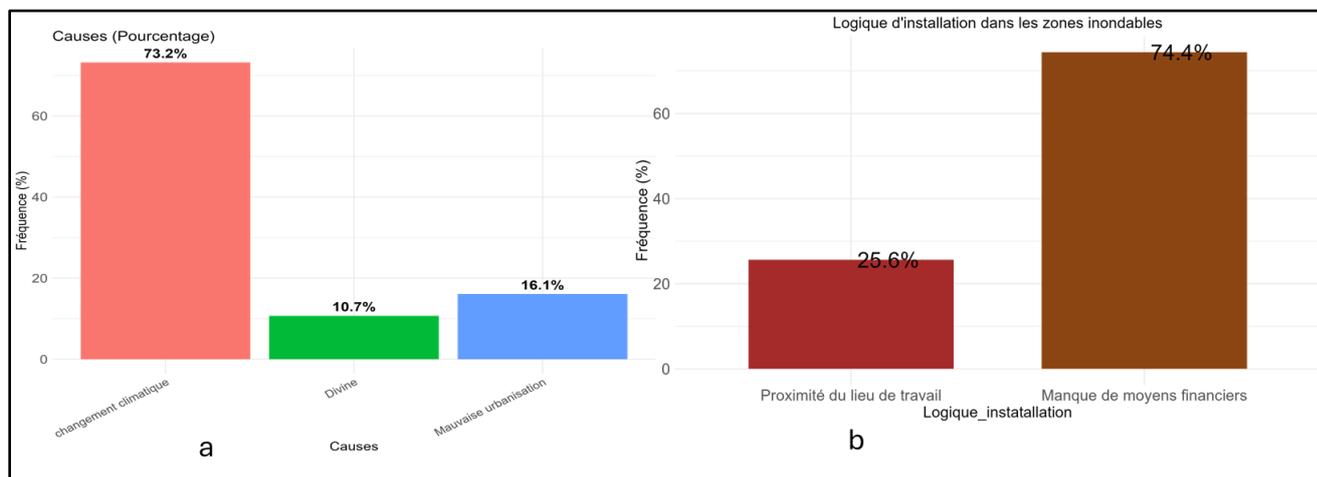


Figure 11: a) Causes selon les enquêtés b) logique d'installation de la population,

III.1.2.2. Mesures d'adaptations

III.1.2.2.1. Perception de la population

Plusieurs mesures pourraient être mises en place afin de réduire l'impact des inondations dans la préfecture de Coyah. L'une de ces mesures est le déguerpissement des zones inondables. Compte tenu des inquiétudes concernant l'évolution future des inondations, 97,4 % des

personnes interrogées estiment que les inondations augmenteront dans les prochaines années, tandis que 2,6 % pensent qu'il y aura une diminution des risques d'inondations (Annexe 12a). Par ailleurs, 55,6 % se déclarent favorables au déguerpissement s'il est accompagné d'une relocalisation et d'un soutien de l'État. Néanmoins, la plupart d'entre eux, soit 92,3 %, sont angoissés à l'idée d'être déguerpis sans accompagnement adéquat (Annexe 12b).

III.1.2.2.2. Protection face aux inondations

Pour faire face aux inondations, l'analyse des données a révélé que les pratiques de protection les plus utilisées dans la préfecture de Coyah sont, entre autres, les diguettes de sacs de sable, la surélévation des murs de clôture, ainsi que les canaux de déviation de l'eau (Annexe 13). En effet, les sacs de sable sont des sacs remplis de sable, dressés les uns après les autres pour former une digue et faire barrage à l'eau. De plus, certains ménages creusent des tranchées de manière traditionnelle autour de leurs concessions pour faciliter l'écoulement de l'eau en cas de pluies. Cette pratique est appelée "canaux de déviation" dans ce document. Enfin, une autre pratique observée est la construction des murs de clôture beaucoup plus, en hauteur.

L'analyse statistique a montré que les pratiques telles que les sacs de sable et la surélévation des murs de clôture réduisent la probabilité d'inondation de leurs habitations, avec des p-values et des odds ratios respectifs de 0.006 et 0.4 pour les sacs de sable, et de 9.05E-11 et 0.1 pour surélévation des murs de clôture. En revanche, le système sur les canaux de déviation pour le passage de l'eau semble inefficace contre les inondations dont l'analyse statistique a été non significative (Tableau 4).

Tableau 4: Résultats de la régression logistique des pratiques endogènes

Pratiques endogènes	Odds Ratio	P_Value	Significativité
sacs de sable	0.4	0.006	**
Surélévation de murs de clôtures	0.1	9.05E-11	***
canaux de déviation	0.9	0.8	

III.1.2. Cartographie des inondations

III.1.2.1. Importance du degré des variables

Les analyses ont montré que les variables les plus importantes (seuil > 0.5) pour le modèle dans cette étude sont essentiellement l'élévation (MNT), la densité de drainage, l'indice d'humidité topographique (TWI), la proximité aux rivières, les précipitations (MJP), les couvertures de sols (Nom_classe), la pente (slope), l'orientation (aspect), et la texture des sols (sable, limon, argile). L'altitude, la densité de drainage, l'indice d'humidité topographique, la distance aux rivières, et les précipitations constituent les facteurs les plus influents dans la prédiction des inondations à Coyah (Figure 11). En effet, les zones en altitude sont moins sujettes aux inondations, tandis que la construction d'habitations dans les lits de rivières ou à leur proximité, comme c'est le cas à Coyah, augmente le risque d'inondation.

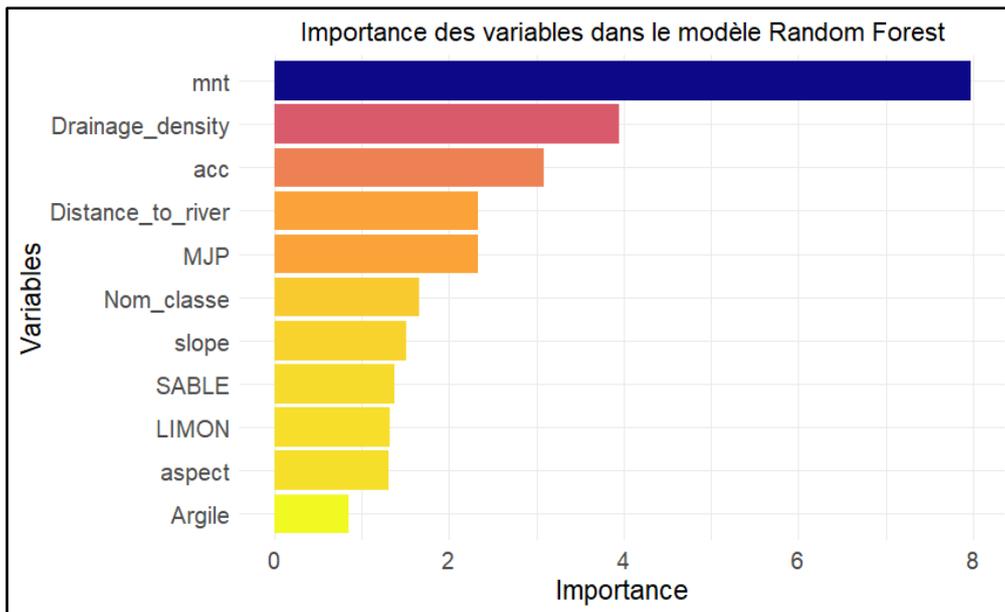


Figure 12: Degré d'importance des variables dans le modèle

III.1.2.2. Cartographie de l'aléa d'inondation

La carte de l'aléa inondation a été réalisée en termes de probabilité, puis classés en cinq niveaux suivant l'intervalle, de 0 à 1 : « Très faible, Faible, Modéré, Élevé, Très élevé » (Figures 12 et 13). Ainsi, la partie sud et sud-ouest de la préfecture de Coyah présente un niveau d'inondation très élevé par rapport aux autres zones. Au niveau de la sous-préfecture de Coyah centre, c'est la partie sud qui est la plus susceptible d'être inondée. La majeure partie de Manéah se trouve dans une zone dont la susceptibilité est élevée, surtout dans sa partie sud et ouest. Cela s'explique par la présence de l'important cours d'eau Kitima, dont presque toutes les berges sont occupées par des habitations. Le niveau de susceptibilité est faible à Wonkifong centre et au nord, tandis que les zones plus basses vers la mer à l'ouest et à l'est, traversées par le cours d'eau Togueron, présentent une probabilité élevée d'inondation. La sous-préfecture de Kouria se situe de façon globale dans une zone de niveau « Très faible à Élevé ».

Par ailleurs, les zones de niveau d'aléa « élevé à très élevé », occupent respectivement des superficies de 210 km² (soit 19 % de la superficie) et 200 km² (18,1 %). En revanche, la plus grande partie se situe dans une zone dont le niveau est « très faible à modéré », avec des superficies respectives de 74 km² (6,7 %), 292 km² (26,5 %) et 324 km² (29,4 %) (Figure 14).

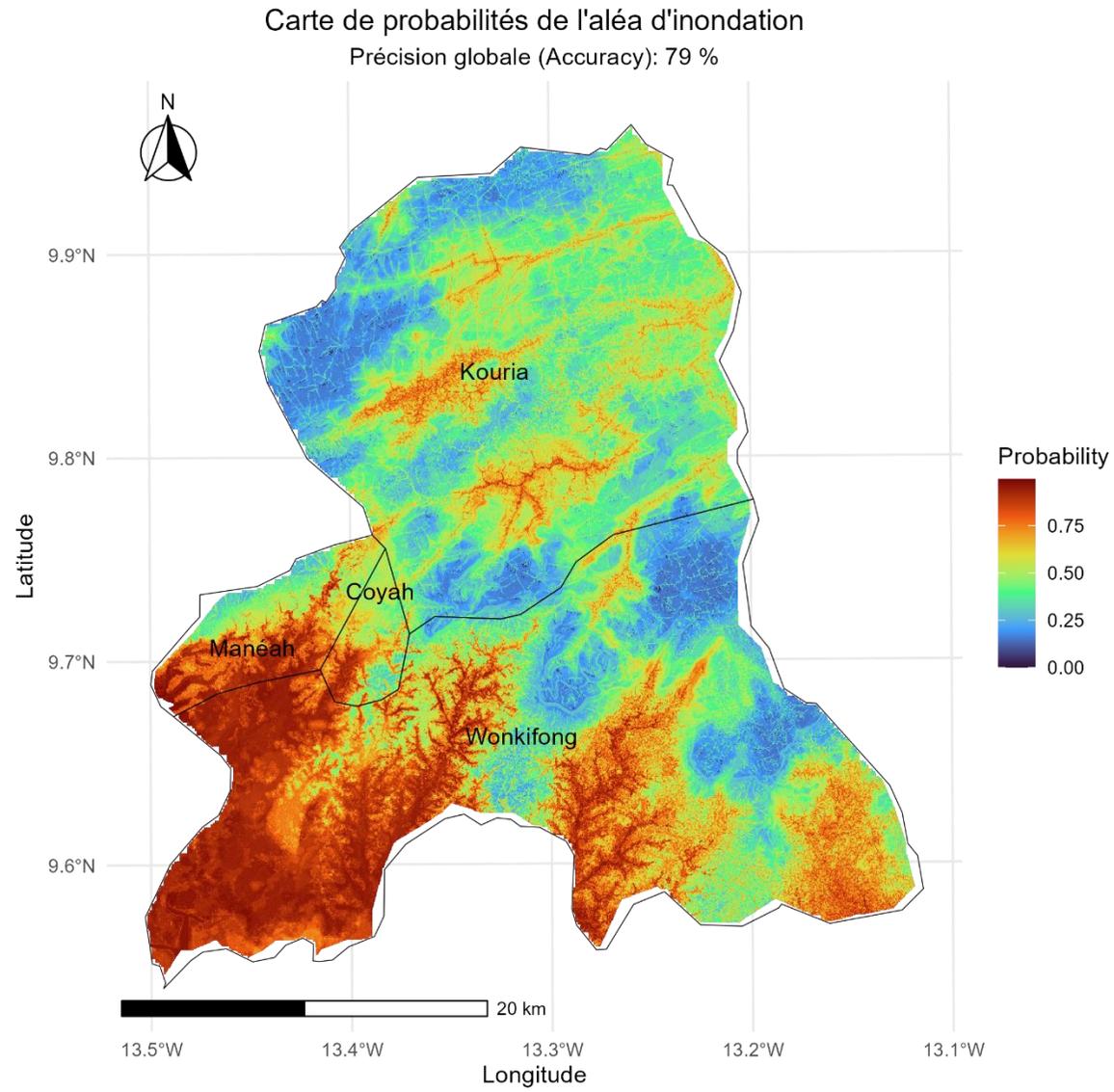


Figure 13: Carte de probabilités de l'aléa inondation avec le modèle Random Forest

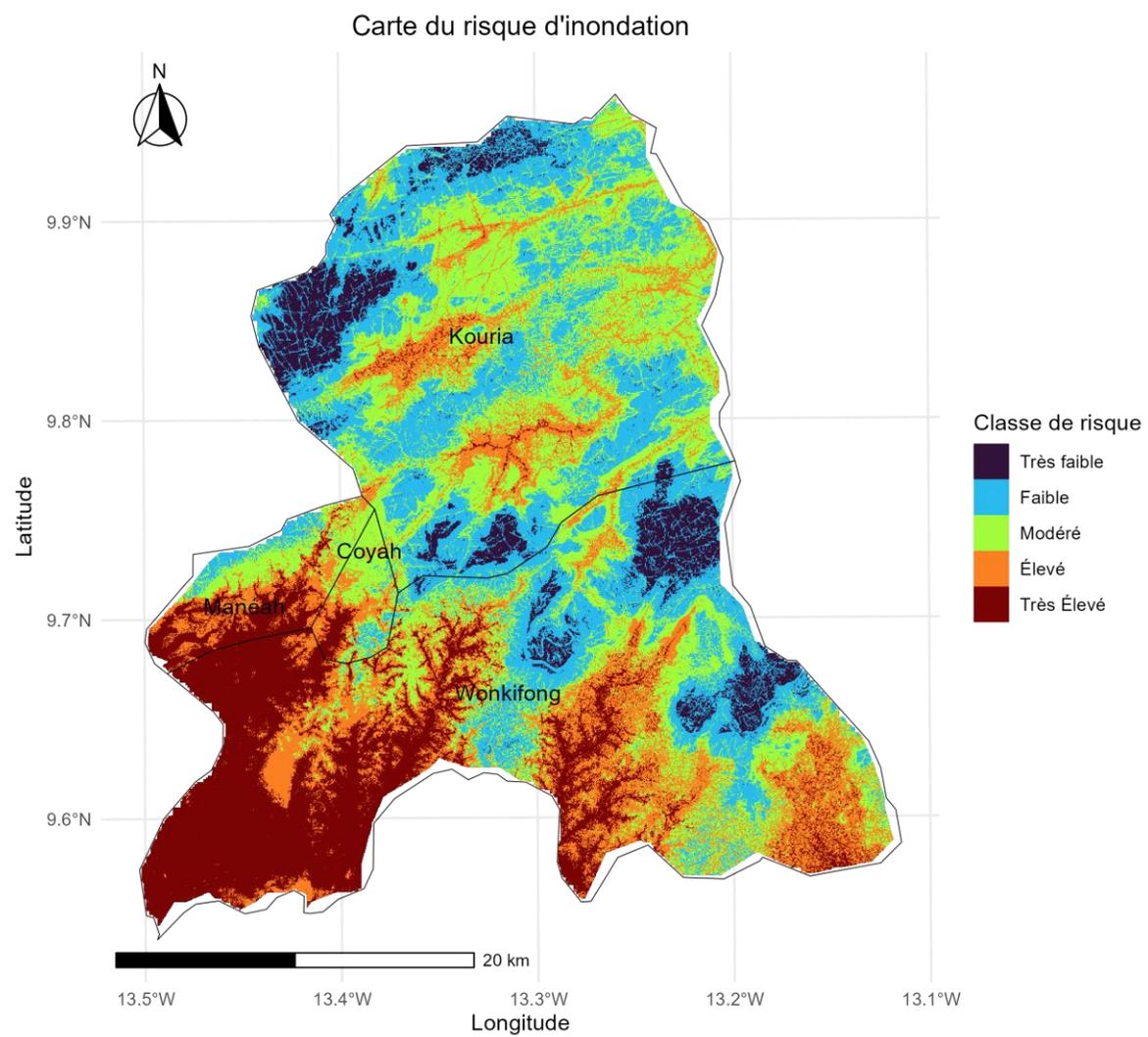


Figure 14: Carte du niveau de l'aléa d'inondation dans la préfecture de Coyah avec le modèle Random Forest

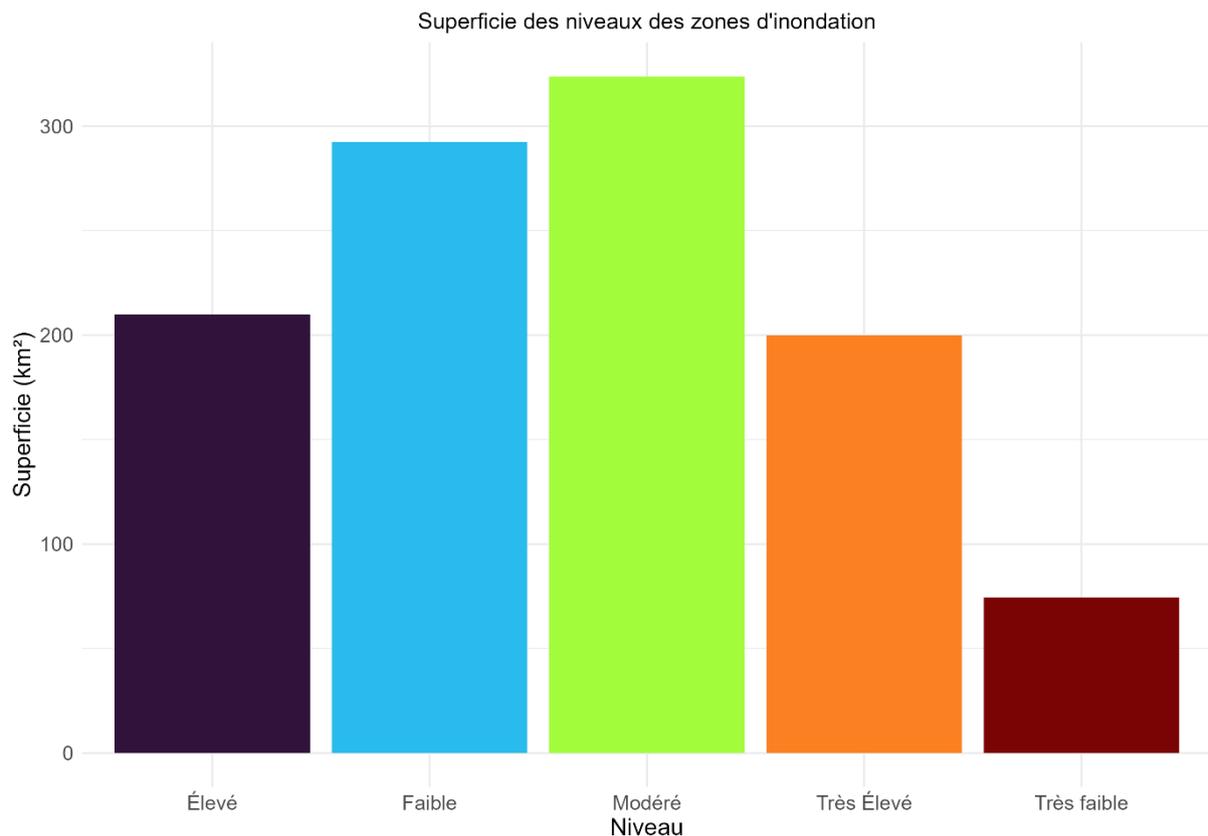


Figure 15: Superficies occupées par chaque niveau d'inondation à Coyah

III.1.2.3. Performances du modèle

De façon globale, le modèle a été jugé acceptable selon les critères de performance (Tableau 5) et adapté à la prédiction des inondations dans la préfecture de Coyah. Ainsi, le modèle a été entraîné et validé avec 500 arbres aléatoires, indiquant une précision globale de 79% (accuracy), un indice kappa de 0.6, une sensibilité de 0.6, une spécificité de 0.9 et une erreur "out of bag" (OOB) de 21%. De plus, la courbe ROC est située dans le triangle supérieur, prouvant que le modèle est adapté à la prédiction des zones inondables dans la zone du projet (Figure 15). La valeur de l'AUC (Area Under the Curve) a été estimée à 84% pour les données d'entraînement (datatrain) et 99% pour les données de test (datatest). Cependant, il faut noter que la courbe comporte de nombreux rebonds rapides dont nous ignorons les causes.

Tableau 5: Critères d'évaluation du Modèle Random Forest

INDICE	VALEUR
ACCURACY	79%
KAPPA	0.6
SPÉCIFICITÉ	0.9
SENTIVITÉ	0.6
OOB	21%

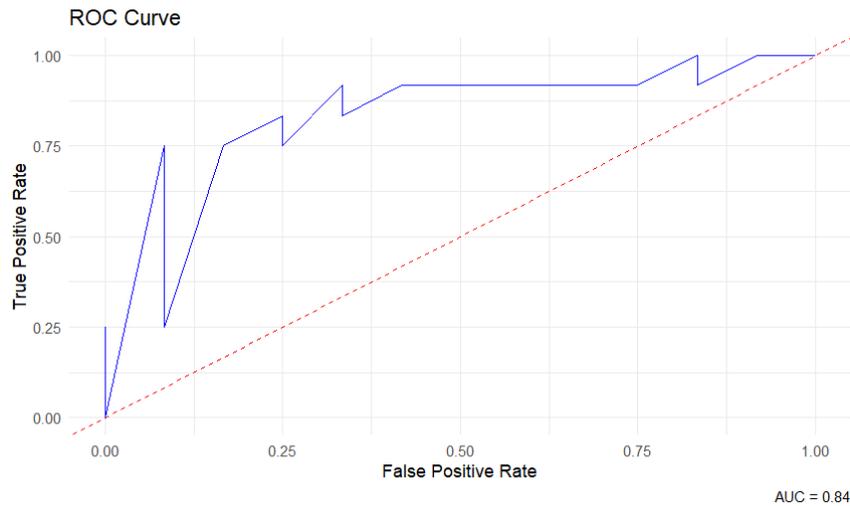


Figure 16: Aire sous la courbe du modèle Random forest

III.1.2.4. Analyse d'impacts

L'analyse des impacts probables en cas d'inondations a montré qu'un grand nombre de personnes se retrouveraient en état d'urgence dans la préfecture de Coyah. Ainsi, 94 personnes se trouvent en zone à très haut risque à Coyah centre, 104 personnes à Manéah, 94 à Kouria et 89 personnes à Wonkifong. Concernant les zones à risque élevé, 2064 personnes ont été identifiées à Coyah centre, 11213 à Manéah, 203 à Kouria et 676 à Wonkifong (Tableau 6). Le reste de la population est installé dans des zones de niveau « Modéré, faible à très faible ».

De plus, la synthèse des éléments à risque et des éléments essentiels pour les interventions humanitaires a indiqué 16 écoles, 18 mosquées, 17 sources d'approvisionnement en eau (puits et forages), 45 villages et hameaux, 5 structures de santé, 5 pharmacies, 2 routes principales qui relient les 4 sous-préfectures, ainsi que des routes secondaires et tertiaires (Figure 16).

Tableau 6: Populations dans les zones à risque

SOUS PREFECTURES	POPULATION À ZONE RISQUE TRÈS ELEVÉ	POPULATION À ZONE RISQUE ELEVÉ
COYAH CENTRE	94	2064
MANÉAH	104	11213
KOURIA	94	203
WONKIFONG	89	676

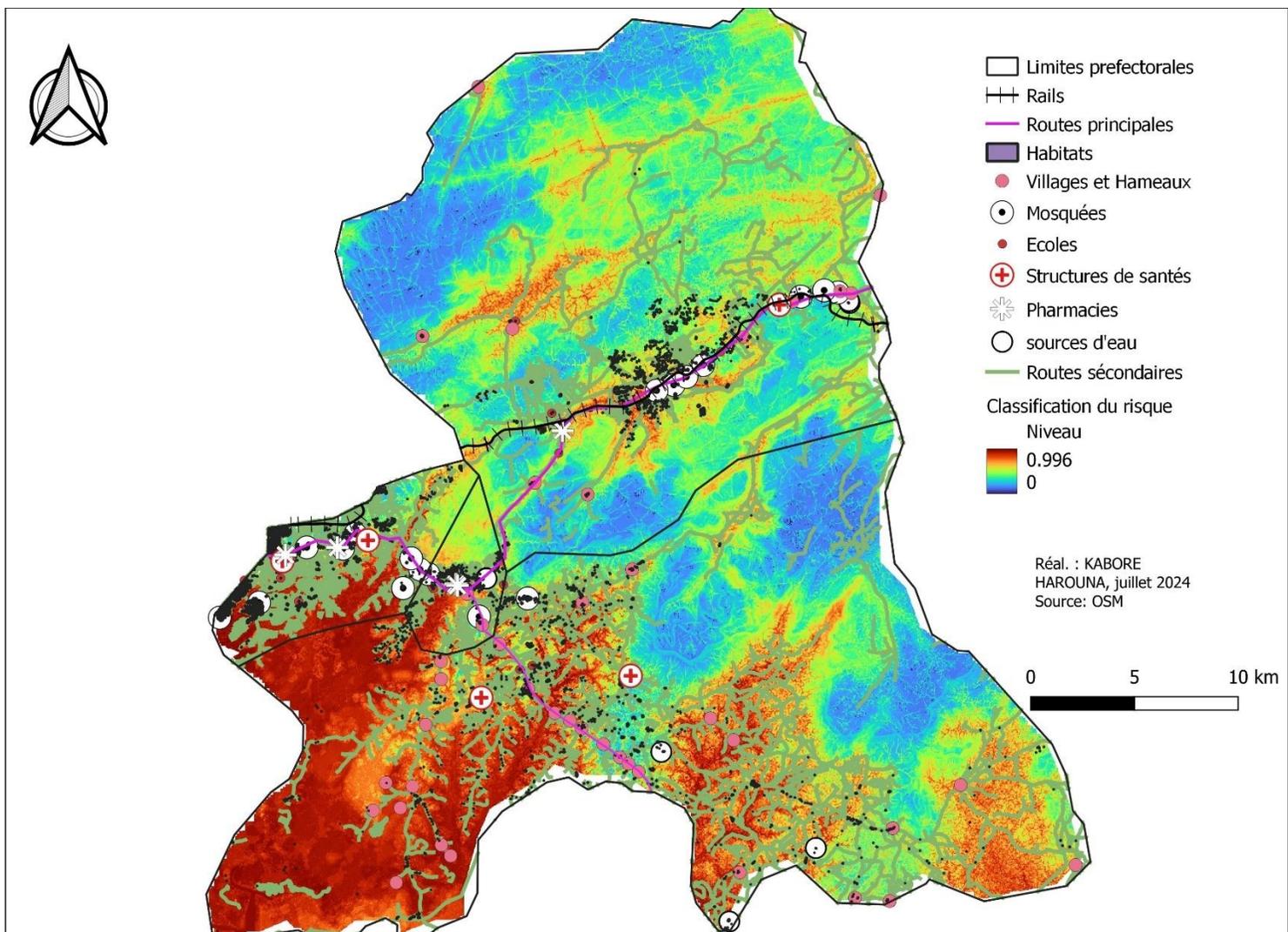


Figure 17: Cartographie des éléments à risque et ceux essentiels pour une réponse pré-post aléa

III.2. Discussion

L'analyse des interrelations entre les événements pluvieux, les inondations et les changements d'affectation des sols a permis de mieux comprendre l'origine de la récurrence des inondations dans les zones périphériques de Conakry, notamment à Coyah. En effet, la plupart des indices pluviométriques ont montré une tendance générale à la baisse, en particulier en ce qui concerne les pluies intenses. Les études d'[Aguilar et al. \(2009\)](#) en Guinée Conakry indiquaient une diminution de ces indices, à l'exception des périodes de sécheresse dans leur série de données. Cependant, [Amoussou et al. \(2020\)](#) ont plutôt prédit une hausse significative des précipitations intenses d'ici 2050 en Afrique de l'Ouest, notamment au Togo et au Bénin.

De plus, l'analyse statistique des périodes de retour a révélé que les inondations récentes ayant causé des dégâts à Coyah, à l'exception de celles de 2011, 2017 et 2023, sont le reflet de pluies dites « normales » avec des périodes de retour inférieures à 6 ans. Cela montre que, dans cette zone, les inondations se sont produites lors de pluies de faible récurrence. La survenue de ces inondations semble être plus influencée par d'autres facteurs. Ces inondations pourraient être donc le résultat d'une vulnérabilité aggravée par les changements d'affectation des sols comme l'ont observé aussi [SENE et Ozer \(2002\)](#) dans leurs études. En effet, ces auteurs avaient également montré lors de leurs études sur « l'évolution pluviométrique et la relation inondations-événements pluvieux au Sénégal », un pays voisin qui partage une partie du même climat avec la Guinée, que les inondations récurrentes au Sénégal, dans le Sahel et dans d'autres régions du globe illustrent une transformation dans la relation entre l'homme et son environnement. Une situation qui a été exacerbée par des années de faibles précipitations. Le constat sur le terrain est alarmant. En effet, certains lits de rivières sont soit occupés par des habitations, soit transformés en zones de dépotoirs pour toutes sortes de déchets. Ces déchets entraînent le blocage des canaux d'évacuation des eaux de ruissellement ainsi que la déviation des rivières de leurs lits naturels.

L'analyse des changements d'affectation des sols entre 1994 et 2023 a révélé une augmentation des habitations, souvent spontanées et anarchiques. Il est important de noter que la majeure partie de ces installations s'est effectuée au cours des 20 dernières années, selon les résultats de nos enquêtes. Le recensement général de la population en Guinée indique que la population de la préfecture est passée de 85 148 habitants en 1996 à environ 264 000 en 2014, date du dernier recensement ([Institut National de la Statistique \[INS\], 1996 ; INS, 2014](#)). Nos résultats ont montré que la superficie des zones bâties est passée de 3 % en 1994 à environ 13 % en 2023, ce qui indique qu'à Coyah, la relation entre l'accroissement de la population et l'extension urbaine semble linéaire. Ces résultats sont en accord avec ceux du rapport de la [Banque Africaine de Développement \[BAD\] en 2021](#) sur le « Diagnostic urbain de Conakry, Guinée », qui avait souligné : « La forte croissance démographique dans ces zones se manifeste par une urbanisation rapide et incontrôlée, accompagnée d'une consommation progressive des surfaces périurbaines ». La population a presque triplé en 30 ans. Nous sommes donc dans une zone en plein « boom » démographique, où la tendance à l'extension urbaine devrait se renforcer dans les années à venir. Ainsi, une surveillance accrue de ces zones pourrait s'avérer nécessaire.

Par ailleurs, ce qui est surprenant, c'est que l'extension des zones bâties se fait principalement vers les zones à risque. Grâce au croisement de nos données d'enquête, la raison qui semble

expliquer cela est que ces terres sont non seulement financièrement accessibles mais également favorables aux activités lucratives telles que les cultures maraîchères.

Cependant, l'étalement urbain dans cette direction, plutôt que vers les hautes terres, pourrait cacher une autre réalité que nous n'avons pas encore que nous n'avons pas pu identifier.

L'occupation anarchique des berges des rivières augmente la vulnérabilité liée aux inondations à Coyah, tandis que la dégradation des forêts et l'augmentation des surfaces cultivables influent sur le coefficient de ruissellement. Ainsi, cette situation couplée à des précipitations à caractère « normal » favorisent cette récurrence d'inondation dans la préfecture. Ces résultats concordent avec ceux de [Sahani \(2012\)](#) qui avait indiqué lors de ses recherches au Burundi que la dégradation des états de surface par l'homme, qu'elle soit transformée en bâti ou en surface cultivable, pourrait conduire à une augmentation du coefficient de ruissellement et ainsi faciliter la montée rapide des eaux. Dans le même ordre d'idée, [Lokossou \(2012\)](#) montrait que les habitats dispersés à Cotonou obstruent le passage de l'eau et de ce fait engendrent des inondations. Ce type de concessions contribue à un coefficient de ruissellement compris entre 0,25 et 0,40 selon le même auteur.

La plupart des ménages enquêtés affirment ne pas avoir été informés d'un risque imminent d'inondation, à l'exception de 4,1 % des répondants, qui sont tous des hommes. Ces derniers ont acquis l'information via la radio et la télévision (41,7 % et 30 % respectivement). Les avis sont partagés, ce qui pourrait résulter d'une inadéquation de la stratégie de communication des informations météorologiques ou d'erreurs de prévision, entraînant un manque de confiance dans les informations fournies par les services météorologiques. À ce sujet, un répondant homme dans la commune au secteur 2 déclare : « *Je ne suis plus les informations météo, il y a plusieurs fois où ils nous ont dit qu'il y aurait de grosses pluies, nous avons attendu, mais Dieu merci, rien ne s'est passé. Et c'est lorsqu'on ne s'y attend pas qu'on se réveille parfois sous les eaux* ». Cet état de fait a été mentionné également lors d'une interview accordée à [Guineenews.org](#) au cours des inondations d'août 2023 par un agent de la météorologie. Ce dernier avait soutenu : « *La population ne semble pas accorder d'importance aux prévisions météorologiques. Nous diffusons régulièrement les informations météorologiques, matin et soir, à la fois sur la RTG et sur les réseaux sociaux, dans le but d'alerter la population. Cependant, les gens ont tendance à minimiser nos avertissements dès lors que nos prévisions ne se concrétisent pas* » ([Sylla, 2023](#)).

En ce qui concerne les stratégies d'adaptation, les résultats ont montré qu'elles varient d'une commune à l'autre. Cependant, la pratique la plus couramment observée est la construction par « surélévation des murs » (52,3 % à Coyah centre, 40 % à Kouria, 43,5 % à Manéah, et 50 % à Wonkifong). En plus de cela, la population a également adopté des techniques temporaires telles que la construction de digues de sable, ainsi que le creusement et le curage de canaux de déviation des eaux de ruissellement. Si les deux premières pratiques peuvent atténuer les risques d'inondation, la dernière présente des défaillances selon notre échantillon d'analyse. Cela pourrait être dû au fait que ces ouvrages traditionnels, construits à la main, ne soient pas adaptés à l'évacuation normale des eaux, en raison notamment du sous-dimensionnement, du mauvais nivellement du plancher (pente), etc. Par ailleurs, il est déjà encourageant que les populations entreprennent des mesures individuelles pour réduire la vulnérabilité aux risques d'inondation

des biens et des personnes, ce qui révèle une prise de conscience du risque. Les mesures d'adaptations aux inondations atténuent les risques mais ne jamais complètement éliminées. Un risque résiduel existe en raison de la défaillance possible des structures de gestion telles que les techniques adoptées par les populations. Les résultats d'Ogouwale (2012) sur la « protection de la Communauté Urbaine de Grand Cotonou face aux changements climatiques » avaient indiqué que les pratiques d'adaptation variaient d'une région à l'autre. L'une des pratiques individuelles observées pour la réduction des risques d'inondation était le creusage de tranchées pour drainer l'eau. Cependant, l'auteur a précisé que ces mesures individuelles étaient accompagnées de pratiques collectives telles que le curage régulier et la sensibilisation sur les bonnes pratiques de gestion des déchets. Ce type de pratique n'a pas été abordé dans la présente étude.

La cartographie des inondations par le modèle Random Forest a permis de catégoriser le niveau de l'aléa dans la zone de Coyah. Les zones à risque « Très élevé et élevé » sont essentiellement les berges des rivières, qui sont malheureusement occupées par des habitations. Ce type d'occupation aggrave leur vulnérabilité en cas de fortes pluies. Dans cette étude, les fortes probabilités d'inondation sont principalement influencées par l'altitude, la densité de drainage, l'indice d'humidité topographique, la proximité des rivières, les précipitations et les changements d'affectation des sols. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de Wang et al. (2015) dans le bassin versant de Dongjiang en Chine, et d'Ullah et al. (2020) dans le bassin de la rivière Panjkora à l'est de l'Hindu Kush au Pakistan. Les premiers avaient identifié la précipitation, le ruissellement, l'élévation et le TWI comme facteurs principaux, tandis que les seconds avaient également mentionné la densité de drainage. Les sorties du modèle ont été jugées acceptables compte tenu de la bonne performance des critères d'évaluation. Cela témoigne que le modèle Random Forest est bien adapté à la prédiction des inondations dans des régions avec peu de données comme Coyah. Cet état de fait va de pair avec les recherches de Kohansarbaz et al. (2022) qui avaient, à travers l'application de plusieurs modèles de Machine Learning au nord de l'Iran, montré que le Random Forest était le modèle qui pouvait être déployé dans n'importe quelle partie du monde par rapport aux autres modèles.

Par ailleurs, les zones à haut risque comme Manéah et Wonkifong abritent plusieurs infrastructures critiques telles que des structures de santé et des habitations. Les inondations à ce niveau pourraient entraîner des déplacements de population, des dommages aux infrastructures et une interruption des services de santé. Ainsi, l'accès aux soins pourrait être difficile en période de crise. Les zones à risque élevé à modéré à Coyah centre et à Kouria contiennent des routes secondaires, des écoles, des mosquées et des sources d'approvisionnement en eau. Les inondations pourraient perturber le transport et l'accès aux services éducatifs et religieux. De plus, les puits et les forages d'eau pourraient être contaminés ou endommagés, affectant la santé publique. Il est important de noter que la plupart des puits d'eau observés sur le terrain et réalisés au niveau des lits des rivières ne possèdent pas de couverture hermétique (Annexe 14).

III.2.1. Limites

Bien que les données CHIRPS soient en quantité suffisante, en accès libre et largement utilisées par la communauté scientifique, elles pourraient présenter, comme toutes les données

d'estimation par satellite, des biais, notamment systématiques, comme l'ont indiqué [Amon et al. \(2021\)](#). En effet, les données CHIRPS dans cette étude n'ont pas subi de correction. Elles peuvent donc avoir une tendance à la sous-estimation ou à la surestimation.

De plus, la résolution des images Landsat, bien que de 30 mètres, demeure trop élevée pour des besoins de classification des sols plus précis. Des erreurs de classification dans certaines classes de sols peuvent donc persister.

Il est également important de noter que la période de l'enquête a coïncidé avec une période où un certain nombre de ménages venaient de subir une frustration à la suite des inondations d'août 2023. Ces derniers estiment avoir été lésés par les autorités lors de l'octroi de l'aide humanitaire par les organismes concernés. Cet état émotionnel à l'égard des autorités pourrait introduire des biais dans leurs réponses, malgré toutes les précautions prises.

Enfin, la carte des zones d'inondation élaborée reste de nature macro, c'est-à-dire à l'échelle des sous-préfectures. En effet, nous n'avons pas eu accès à la subdivision des unités administratives à l'échelle des quartiers, ce qui aurait permis de mieux détailler la carte.

Conclusion

Les inondations font partie des catastrophes naturelles les plus récurrentes à Coyah. Cette étude, à travers l'analyse de la variabilité pluviométrique et des changements d'affectation des sols, a permis de démontrer que la récurrence des inondations est due aux changements d'affectation des sols combinés à des pluies de caractère « normal ». Les changements d'affectation des sols sont marqués par une expansion urbaine mal maîtrisée ces dernières années et par l'augmentation des surfaces imperméables. Cette situation a entraîné une réduction de la capacité d'infiltration des sols et, par conséquent, une augmentation du coefficient de ruissellement. L'occupation de ces zones inondables est souvent justifiée par l'insuffisance des moyens financiers pour une grande partie de la population, bien que cela ne puisse pas expliquer de manière exhaustive la persistance de l'étalement urbain vers ces zones.

L'impact des inondations pourrait s'aggraver dans les prochaines années en raison de l'accroissement rapide de la population. Une grande partie de la population n'a pas une connaissance suffisante des risques d'inondation. Cela semble être lié à l'inefficacité du système de communication des services météorologiques, utilisant des canaux tels que la télévision, la radio et les réseaux sociaux, ainsi qu'au désintérêt des populations pour les prévisions météorologiques, en raison de prévisions parfois erronées.

Les pratiques endogènes d'adaptation, telles que la « surélévation des murs », les digues de sacs de sable et les canaux de déviation, bien que variées et appliquées différemment selon les communes, montrent des résultats mitigés. Pour évaluer la distribution spatiale du risque d'inondation résultant de facteurs aléatoires, le modèle Random Forest a été utilisé. Les résultats des prédictions ont démontré son efficacité avec une précision globale de 79 % et une aire sous la courbe (AUC) de 84 %. La carte de susceptibilité obtenue pourrait servir d'outil précieux pour les décideurs communaux afin de mieux planifier et gérer les risques d'inondation.

En tenant compte des conclusions de cette étude et des échanges avec les parties prenantes, nous formulons les recommandations suivantes :

À l'attention de l'État guinéen :

- ✚ mettre en place une politique d'urbanisation durable pour réduire le risque d'inondation;
- ✚ investir dans la construction de logements sociaux dans des zones moins à risque pour offrir des alternatives abordables aux populations vulnérables ; ces logements sociaux permettraient de délocaliser les populations des zones à haut risque ;
- ✚ construire et entretenir des infrastructures de drainage efficaces pour réduire les risques d'inondation. Ces infrastructures devraient prendre en compte la quantité d'eau qui tombe pour faciliter l'évacuation de l'eau ;
- ✚ Former et sensibiliser la population sur les questions liées à la prévision météorologique ;
- ✚ Envisager la communication par proximité pour les cas de risque imminent d'inondation. Les crieurs publics pourraient contribuer à véhiculer les messages.

À l'attention des autorités préfectorales :

- ✚ renforcer la surveillance des constructions dans les zones à risque et veiller à l'application des règlements d'urbanisme ;
- ✚ démolir tout début de construction illégale qui entrave le drainage naturel de l'eau ;

À l'attention de la population :

- ✚ développer des initiatives collectives au-delà des pratiques individuelles. Ces initiatives peuvent inclure le curage collectif des caniveaux, la création de groupements pour demander un appui technique et financier aux autorités lors de la réalisation des canaux de déviation, et la collaboration avec les personnes dans les zones à faible risque pour des déménagements temporaires en cas d'annonce de fortes averses ;
- ✚ faire confiance aux prévisions météorologiques.

Dans la continuité de l'étude recherche-action, une étude prenant en compte les ouvrages hydrauliques et les écoulements de surface pourrait estimer les hauteurs d'eau de submersion et proposer un plan stratégique de gestion des inondations dans la préfecture de Coyah.

Bibliographie

- Adam, A. M. (2020). Sample size determination in survey research. *Journal of Scientific Research & Reports*, 26(5), 9. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2020/v26i530263>
- Aguilar, E., Barry, A. A., Brunet, M., Ekan, L., Fernandes, A., Massoukina, M., Mbah, J., Mhanda, A., do Nascimento, D. J., Peterson, T. C., Umba, T. O., Tomou, M., & Zhang, X. (2009). Changements dans les extrêmes de température et de précipitations en Afrique centrale occidentale, en Guinée Conakry et au Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of Geophysical Research*, 114, D02115. <https://doi.org/10.1029/2008JD011010>
- Aguilar, E., Peterson, T., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J., Solera, M., Soley, J., García, I. G., Araujo, R., & Santos, A. R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D23), D23107. <https://doi.org/10.1029/2005JD006119>
- Amon, O. H., Dibi-Anoh, P. A., & N'da, K. C. (2021). Exploitation de données CHIRPS et TERRACLIMATE pour l'étude des pluies urbaines sur le district autonome d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Éditions Francophones Universitaires d'Afrique*, 30.
- Amoussou, E., Awoye, H., Vodounon, T. S. H., Obahoundje, S., Camberlin, P., Diedhiou, A., Kouadio, K., Mahé, G., Houndénou, C., & Boko, M. (2020). Climat et événements pluviométriques extrêmes dans le bassin du fleuve Mono (Afrique de l'Ouest) : étude des changements futurs à l'aide de modèles climatiques régionaux. *Eau*, 12(833). <https://doi.org/10.3390/W12030833>
- Bah, M. C., & Bangoura, M. A. (2017). Rapport d'analyse des données du recensement général de la population et de l'habitation. Institut National de la Statistique/ République de Guinée, 122.
- Bruckmann, L., Amanejieu, A., Moffo, M. O. Z., & Ozer, P. (2019). Analyse géohistorique de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondation et de sa gestion dans la zone urbaine de Douala (Cameroun). *Physio-Géo. Géographie Physique et Environnement*, 13, 91–113. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.6489>
- Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T., & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environmental Modelling & Software*, 95, 229–245. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012>
- Diallo, M. B. (2021). Gouvernance foncière dans la préfecture de Coyah (Mémoire de master de recherche en Espace-Temps-Société, Université General Lassana Conté, Conakry, Guinée). 28.
- Goumrassa, A., Guendouz, M., Guettouche, M. S., & Belaroui, A. (2021). Flood hazard susceptibility assessment in Chiffa wadi watershed and along the first section of Algeria North-South highway using GIS and AHP method. *Applied Geomatics*, 565–585. <https://doi.org/10.1007/s12518-021-00381-4>

- Griffiths, G., Salinger, M., & Leleu, I. (2003). Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, 23(8), 847–869. <https://doi.org/10.1002/joc.923>
- Grundfest, E., & Ripps, A. (2000). Flash floods. In *Routledge* (Vol. 1, pp. 377–390). London and New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203009759>
- Ha, J., & Kang, J. E. (2022). Assessment of flood risk areas using random forest techniques: Busan Metropolitan City. *Natural Hazards*, 111(3), 2407–2429. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05142-5>
- Hangnon, H., De Longueville, F., & Ozer, P. (2015). Précipitations “extrêmes” et inondations à Ouagadougou ; quand le développement urbain est mal maîtrisé. In *Actes du 28e Colloque International de l’Association Internationale de Climatologie* (pp. 497–502). Université de Liège.
- Hountondji, Y., De Longueville, F., & Ozer, P. (2011). Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. In *Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change*. <hdl.handle.net/2268/96112>
- IFRC. (2023). Plan d’action d’urgence (EPoA) Guinée : Inondations à Coyah. 8.
- INS. (1996). République de Guinée. Deuxième Recensement Général de la Population et de l’Habitat (RGPH3).
- INS. (2014). République de Guinée. Troisième Recensement Général de la Population et de l’Habitat (RGPH3).
- Jonkman, S. N. (2005). Global perspectives on loss of human life caused by floods. In *Natural Hazards* (pp. 151–175).
- Karrouchi, M., Mohammed, O. T., Mostafa, O., & Mimoun, C. (2021). Cartographie des zones à risque d’inondation dans la région Tanger-Tétouan: Cas du bassin versant de Martil (Nord du Maroc). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 14(4), 1019–1035. <https://doi.org/10.1016/j.ijias.2016.04.001>
- Kia, M. B., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mahmud, A. R., Sulaiman, W. N. A., & Moradi, A. (2012). An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin. *Environmental Earth Sciences*, 67(1), 251–264. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1499-1>
- Lóczy, D., Czigány, S., & Pirkhoffer, E. (2012). Flash flood hazards. In *Institute of Environmental Sciences, University of Pécs, Hungary*.
- Lokossou, C. (2012). Cadastre et inondations cycliques dans la ville de Cotonou (Mémoire pour l’obtention du diplôme d’études approfondies (DEA), option : gestion de l’environnement, Université d’Abomey Calavi, Bénin).
- Mattivi, P., Franci, F., Lambertini, A., & Bitelli, G. (2019). TWI computation: A comparison of different open source GISs. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 4(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40965-019-0066-y>

- MEDD. (2024). Rapport du plan stratégique CENAGCUE 2024-2030. 32.
- MS. (2015). Rapport du Plan National de Développement (PNDS 2015-2024). 127.
- MT SAP-GUINÉE. (2020). Renforcement des systèmes d'informations climatiques et d'alertes précoces pour un développement résilient et l'adaptation au changement climatique en Guinée (SAP - GUINÉE) : Rapport final de l'élaboration de cartes sur les risques de catastrophes en Guinée. Ministère de Transport. 49.
- OCHA. (2009). Afrique de l'Ouest : Inondations 2009 rapport de situation no 2 - 9 Sep 2009. Bulletin d'information. <https://www.unocha.org/afrique-de-louest-inondations-2009-rapport-de-situation-no-2-9-sep-2009>
- Omar, L., & Ivrisimtzis, I. (2019). Using theoretical ROC curves for analysing machine learning binary classifiers. *Pattern Recognition Letters*, 128, 447–451. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2019.10.004>
- Ozer, P., Hountondji, Y. C., Gassani, J., Djaby, B., & De Longueville, F. (2014). Evolution récente des extrêmes pluviométriques en Mauritanie (1933-2010). In *Actes du 27e Colloque International de l'Association Internationale de Climatologie* (pp. 394–400). Université de Bourgogne.
- Rebolho, C. (2019). Modélisation conceptuelle de l'aléa inondation à l'échelle du bassin versant (Thèse de doctorat en Hydrologie, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris).
- Reid, I., Gourion, B., Powel, M., & Garcia, C. (1994). Flash flood in desert rivers: Studying the unexpected. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 75(39), 452.
- Sahani, M. (2012). Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu / RDC) (Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique).
- Sawant, S., Mohite, J., Sakkan, M., & Pappula, S. (2019). Near real-time crop loss estimation using remote sensing observations. In *8th International Conference on Agro-Geoinformatics*. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820217>
- Sene, S., & Ozer, P. (2002). Évolution pluviométrique et relation inondations – événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 42, 27–33.
- Solution, D. H. I. (2011). Evaluating impacts of extreme rain events and managing urban surface runoff. *Journal of Water Resources Planning and Management*.
- Sorokoby, V. M., Mbiafeu, J. A. C., Youan, T. M., Assoma, T. V., Adja, M. G., & Jourda, J. P. (2021). Dynamique d'occupation du sol du bassin versant de la Volta, par la méthode de l'arbre de décision, à partir des images multispectrales de la génération Landsat de 1990 à 2020. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 45.
- Taylor, P., Hammond, M. J., Chen, A. S., Djordjevi, S., Butler, D., & Mark, O. (n.d.). Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Journal of Hydrology*, 37, 37–41. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.857421>

Ullah, K., & Zhang, J. (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of Panjkora River Basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. *PloS ONE*, 15(3), e0229153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>

Vandiepenbeeck, M. (1997). Bilan climatologique saisonnier. Hiver 1997 : Une période de froid remarquable. *Ciel et Terre*, 113, 65–66.

Wang, Z., Lai, C., Chen, X., Yang, B., Zhao, S., & Bai, X. (2015). Flood hazard risk assessment model based on random forest. *Journal of Hydrology*, 527, 1130–1141. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.027>

Zhu, A. X. (2017). Resampling, raster. In *The International Encyclopedia of Geography* (pp. 1–5). University of Wisconsin, USA. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0878>

Webographie

Millimono, J. (2021). Coyah: l'occupation anarchique des emprises du fleuve Sarinka, un véritable danger environnemental. *Guineenews.org*. <https://www.guineenews.org/coyah-loccupation-anarchique-des-emprises-du-fleuve-sarinka-un-veritable-danger-environnemental/> Consulté le 27/04/2024

Sylla, M. (2023). Inondations à Coyah : un météorologue explique le phénomène et alerte sur de nouveaux cas. <https://guineenews.org/inondations-a-coyah-un-meteorologue-explique-le-phenomene-et-alerte-sur-de-nouveaux-cas/> Consulté le 10/08/2024

ANNEXE

Annexe 1: Questionnaire ménage

QUESTIONNAIRE

SECTION I : IDENTIFICATION DE L'ENQUÊTEUR

Nom et prénom de l'enquêteur

N° de la fiche

Nom de la préfecture (ou sous-préfecture/ Quartier/ :/...../.....

SECTION II : CARACTERISTIQUES SOCIO-DEMOGRAPHIQUES DU MENAGE

II.1. Coordonnées GPS : Long : / Lat :
/Alt.....m

II.2. Genre de l'enquêté : A. Homme B. Femme

II.3. Quelle est votre occupation principale ?

SECTION III : CAUSES ET CONSEQUENCES DES INONDATIONS

III.1. Quelles sont les conséquences des inondations selon vous ?

1.dégats infrastructurelles ; 2. Perte en vie humaines ; 3. Pollution des eaux et des sols ; 4. Prolifération des maladies hydriques ; 5. Déplacement des populations ; 6.Pertes agricoles ; 7. Perturbations économique ; 8. Autres (à préciser)

III.2. Votre cour a-t-elle déjà été inondée ? 1. Oui / ___ / 2. Non / ___ /

III.3. Combien d'inondation avez-vous déjà vécu ? (Préciser les années pour chaque inondation et celle qui vous ont causé plus de dégâts).

.....
.....
.....

III.4. Selon vous, quelles sont les causes des inondations ?

.....
.....
.....

III.5. Etes-vous informés d'un risque imminent d'inondation ?

1.Oui 2.Non

III.6. Comment êtes-vous informés sur une possible survenue d'inondation ?

.....
.....

SECTION IV : OCCUPATION DU SOL

IV.1. Depuis combien de temps êtes-vous installés ici ?

.....

IV.2. Quelles sont les raisons qui vous ont poussé à vous installer dans cette zone?

.....
.....
.....

SECTION V : MESURES D'ADAPTATIONS

V.1. Quelles sont les mesures mises en place dans les quartiers pour protéger la population contre les inondations ?

.....
.....

V.2. Qu'est-ce que vous faites pour vous protéger des inondations ? est-ce que vous êtes déjà conseillés ?

.....
.....
.....

V.3. Comment voyez-vous l'évolution future des inondations ?

.....
.....
.....

V.4. Comment voyez-vous le déguerpissement ? si c'est accompagné d'une relocalisation ? est-ce que ça vous angoisse ?

.....
.....
.....
.....

Annexe 2: Question d'entretien avec les autorités

1. Généralités

- ✓ Nom et Prénom :
- ✓ Institution :
- ✓ Fonction :

Quels sont les problèmes majeurs auxquels font face la communauté en ce qui concerne les risques et catastrophes ? Ces problèmes sont-ils récents ?

.....
.....
.....
.....

En parlant du risque d'inondation, comment le qualifieriez-vous ? Avez-vous déjà été particulièrement affecté ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Mémoires sur les inondations

Quels sont les quartiers les plus fréquemment inondés de la préfecture ?

.....
.....
.....

Des statistiques ou des données historiques sur les inondations existent-ils ? Si oui, pouvons-nous en avoir accès ? Laquelle des inondations vous a causé plus de dommages ?

.....
.....
.....
.....

Quelles sont les causes des inondations selon vous ?

.....
.....
.....

3. Solutions

Quelles sont les mesures, les stratégies, et les outils qui ont été et qui sont mis en œuvre dans le cadre de la régulation d'occupation des sols d'une part et de la lutte contre les inondations d'autre part ?

.....
.....
.....
.....

Si ces stratégies existent, comment sont-elles appliquées dans un environnement déjà construit ? comment gérez-vous les constructions anarchiques dans ce type de stratégies ?

.....
.....
.....
.....

Quels sont les futurs défis et enjeux en ce qui concerne la gestion des inondations dans la préfecture ?

.....
.....
.....

Des zones sont-elles déclarées non constructibles. Si oui, est-ce que c'est bien respecté par les populations. Et comment le respect des normes (si elles existent) sont suivies par les autorités (et par qui : police ? administration ? autres ?).

.....
.....
.....
.....

Est-ce qu'une cartographie des zones inondables existent ? (si oui, est-ce que je peux y avoir accès ?)

.....
.....
.....

Dans la cartographie que je veux faire, est-ce que vous avez des points d'attentions que vous souhaitez que je prenne en compte ? Autrement dit, comment cette cartographie pourrait-elle vous être utile ?

.....
.....
.....
.....

Si une cartographie du risque d'inondation est disponible à l'échelle de la préfecture, seriez-vous prêts à la prendre en compte dans vos approches de gestion des inondations ? De même, pour l'aménagement du territoire.

.....
.....

Annexe 3: Formule pour la validation de l'image classifiée

$$N_i = \left(\frac{\frac{N}{c} + N * W_i}{2} \right)$$

Où :

- **N_i est le nombre de point de validation d'une classe i donnée**
- N est le nombre de points de validation total
- c le nombre de macro-classes à valider
- W_i le pourcentage surfacique de chaque classe dans l'image classifiée

N_i correspond à la valeur moyenne entre une distribution égale du nombre de points entre chaque classe (N/c) et une distribution directement proportionnelle à la superficie de chaque classe ($N*W_i$).

Annexe 4: Données pour la modélisation Random Forest

Elevation	Pente	Aspect	Argile	SABLE	LIMON	TWI	MJP	LULC	Drainage_density	Distance_to_river	Type Inondation
3	0.94	S	0.00	0.00	0.00	8.63	253.71	Agricultures	81.26	0.005	oui
2	0.33	SW	335.67	176.13	377.07	8.54	253.17	Agricultures	78.73	0.004	oui
5	0.74	W	320.93	325.31	356.08	7.74	255.38	Mangrove	53.09	0.007	oui
4	0.99	NW	323.07	350.82	336.22	7.49	257.16	Agricultures	51.24	0.020	oui
14	5.90	W	320.06	358.68	344.35	7.09	257.91	Sols nus	34.31	0.010	oui
511	4.97	NE	223.60	466.22	308.91	7.17	234.30	Savane	24.94	0.015	non
569	4.91	NE	232.33	441.34	326.86	9.45	242.34	Sols nus	13.57	0.021	non
12	2.22	N	293.19	408.55	301.36	10.44	251.05	Savane	32.17	0.000	oui
15	4.95	S	0.00	0.00	0.00	6.93	256.57	Bâti	26.39	0.001	oui
16	3.12	N	0.00	0.00	0.00	8.02	255.39	Bâti	46.27	0.003	oui
17	2.52	E	54.55	283.17	51.94	6.99	254.99	Bâti	41.29	0.003	oui
461	2.67	S	228.15	449.00	323.09	7.65	240.32	Sols nus	20.94	0.015	non
372	3.37	NE	225.77	469.27	309.81	7.00	224.62	Savane	18.23	0.015	non
313	16.69	N	227.99	457.69	313.53	7.39	211.49	Agricultures	47.42	0.004	non
243	15.82	SE	201.76	482.71	318.73	6.27	205.58	Savane	42.83	0.012	non
291	31.42	SW	235.51	438.95	332.43	4.36	240.27	Agricultures	43.61	0.005	oui
532	14.87	N	238.35	466.24	291.93	6.31	250.81	Savane	13.03	0.024	non
347	13.66	S	247.05	434.59	313.77	4.89	244.97	Sols nus	18.26	0.004	non
150	1.78	NE	228.33	441.18	337.07	8.92	234.88	Savane	46.71	0.000	oui
148	10.44	N	305.93	400.70	292.20	6.56	206.36	Sols nus	43.83	0.006	non
341	17.27	S	300.06	402.11	301.36	5.50	205.87	Vegetation dense	23.82	0.018	non
22	1.87	W	278.14	418.99	304.75	8.56	245.93	Savane	49.96	0.004	oui
45	1.19	N	266.95	430.91	299.01	7.98	237.14	Savane	22.42	0.021	oui

Elevation	Pente	Aspect	Argile	SABLE	LIMON	TWI	MJP	LULC	Drainage_density	Distance_to_river	Type Inondation
597	1.36	NW	248.25	454.98	299.90	7.04	227.99	Agricultures	20.39	0.013	non
186	3.64	NW	242.48	422.16	339.78	7.03	244.78	Bâti	34.32	0.007	oui
3	0.47	E	319.75	347.74	337.11	11.13	257.25	Agricultures	31.85	0.001	oui
302	30.65	S	247.08	450.32	300.31	5.49	237.84	Savane	23.53	0.004	non
58	9.99	W	288.39	404.03	314.67	5.59	254.95	Savane	37.51	0.005	oui
69	4.14	N	147.53	391.16	152.78	6.36	254.90	Bâti	36.78	0.007	oui
15	1.87	N	308.70	402.25	302.22	8.97	254.62	Savane	26.63	0.001	oui
443	18.97	S	236.36	443.53	326.68	5.18	243.31	Sols nus	17.35	0.020	non
177	5.70	SE	240.17	423.67	336.23	7.56	242.43	Agricultures	30.42	0.003	non
180	5.97	SE	250.20	421.26	330.05	8.14	241.47	Agricultures	29.96	0.006	non
160	4.49	SW	231.19	427.32	348.20	7.05	239.55	Agricultures	28.28	0.001	oui
239	2.96	S	217.62	437.01	342.04	9.96	245.73	Bâti	21.99	0.014	non
25	3.45	NE	303.89	394.70	301.79	6.91	254.30	Savane	24.92	0.002	oui
229	6.27	SE	274.93	430.62	291.50	6.19	251.28	Bâti	24.33	0.012	non
15	5.38	E	234.60	353.24	218.13	7.32	254.86	Savane	30.44	0.000	oui
61	2.67	SE	314.20	384.96	302.31	8.96	254.69	Bâti	30.14	0.005	non
14	1.36	SW	326.96	388.89	305.87	9.05	254.66	Savane	27.13	0.001	oui
152	3.70	S	255.42	412.82	346.16	6.66	223.46	Bâti	36.88	0.011	non
148	2.09	SE	278.93	388.86	334.39	10.72	223.27	Sols nus	35.62	0.006	oui
159	2.09	NE	246.65	437.47	313.03	6.73	228.38	Agricultures	40.42	0.004	non
230	33.67	W	251.70	438.53	310.63	4.88	237.02	Vegetation dense	36.71	0.006	oui
313	10.35	SE	265.87	409.28	326.07	5.02	232.02	Sols nus	35.96	0.008	non
19	1.05	NW	275.85	406.18	318.46	7.58	253.40	Savane	29.82	0.008	oui
31	2.34	E	293.19	408.05	299.02	6.71	252.54	Bâti	28.75	0.011	non

Elevation	Pente	Aspect	Argile	SABLE	LIMON	TWI	MJP	LULC	Drainage_density	Distance_to_river	Type Inondation
26	1.19	N	292.48	421.19	292.06	10.31	251.12	Agricultures	19.42	0.022	oui
589	4.23	N	235.75	439.57	323.02	6.03	242.51	Savane	17.58	0.025	non
18	4.70	W	325.55	388.17	285.95	9.33	258.10	Savane	29.83	0.010	oui
15	3.64	SE	35.06	262.31	33.87	7.69	254.92	Bâti	32.86	0.001	non
9	0.99	SW	0.00	216.83	0.00	9.86	255.05	Agricultures	35.51	0.001	oui
13	0.99	NE	0.00	0.00	0.00	8.62	255.19	Bâti	41.35	0.003	non
4	1.66	E	0.00	9.26	0.00	11.50	255.10	Bâti	38.95	0.000	oui
53	11.72	SE	119.13	11.76	142.40	6.33	255.09	Bâti	37.33	0.005	non
17	2.67	W	0.00	20.29	0.00	11.42	254.85	Bâti	25.74	0.005	oui
109	3.14	SE	55.19	383.12	80.95	6.42	254.61	Bâti	18.36	0.021	non
13	5.76	SW	96.02	85.56	108.85	7.31	255.15	Savane	47.85	0.006	oui
18	1.87	S	51.74	213.01	63.75	6.93	256.60	Bâti	22.54	0.001	non
15	0.74	W	0.00	140.71	0.00	7.90	256.18	Bâti	22.43	0.001	oui
27	2.73	NE	36.83	0.00	45.78	6.48	256.58	Bâti	21.43	0.003	non
23	2.34	W	284.37	402.08	302.80	9.31	254.18	Rivière	35.87	0.016	oui
344	21.13	S	247.36	434.80	317.43	4.89	247.63	Sols nus	28.46	0.018	non
35	3.12	S	307.99	390.15	299.53	7.33	253.16	Bâti	17.90	0.018	non
29	5.46	S	288.93	409.52	299.92	6.01	252.91	Bâti	18.27	0.021	oui
39	1.99	SE	290.66	409.54	299.82	6.83	252.26	Agricultures	15.58	0.022	non
30	0.74	N	304.89	397.72	296.93	11.03	249.32	Agricultures	24.78	0.012	non
530	4.14	E	265.38	452.98	284.86	6.11	224.23	Sols nus	22.09	0.012	non
44	3.70	S	268.24	445.62	282.56	9.08	227.26	Savane	46.70	0.021	oui
463	21.30	SE	238.53	452.12	307.83	4.87	236.96	Savane	26.26	0.008	non
28	0.74	S	323.34	378.38	292.56	7.15	259.75	Bâti	26.11	0.004	non

Elevation	Pente	Aspect	Argile	SABLE	LIMON	TWI	MJP	LULC	Drainage_density	Distance_to_river	Type Inondation
18	2.32	SE	314.00	407.44	283.61	6.61	257.65	Savane	34.37	0.016	oui
159	3.05	SW	254.21	405.17	350.71	6.38	220.91	Agricultures	35.97	0.006	non
449	6.07	SE	212.68	473.64	315.38	7.24	220.42	Savane	26.92	0.012	non
3	1.69	SE	0.00	0.00	0.00	6.95	253.52	Agricultures	81.14	0.002	oui
260	6.95	NE	312.10	386.58	299.31	5.71	211.01	Sols nus	34.99	0.007	non
239	32.78	W	233.54	415.40	330.14	5.69	227.32	Savane	38.74	0.001	oui
15	7.74	NW	291.04	396.06	308.70	6.29	254.31	Savane	31.23	0.001	oui
443	18.78	SE	213.51	477.03	302.26	6.46	219.55	Sols nus	31.14	0.022	non
2	0.00	E	0.00	0.00	0.00	14.50	253.56	Rivière	81.97	0.000	oui
2	0.00	E	0.00	0.00	0.00	13.34	253.69	Rivière	75.75	0.000	oui
162	1.93	W	239.78	421.78	341.11	8.51	245.22	Savane	24.38	0.006	oui
161	0.74	W	239.32	423.27	339.28	11.77	244.82	Savane	24.58	0.005	oui
165	0.94	S	244.97	425.02	327.79	7.63	244.11	Savane	31.22	0.003	oui
165	7.31	S	245.63	426.31	324.50	6.10	243.55	Savane	32.79	0.002	oui
161	5.49	N	241.05	420.87	337.21	8.48	243.28	Savane	30.91	0.000	non
162	2.41	NW	243.20	420.72	335.04	8.70	243.59	Agricultures	30.22	0.000	non
163	3.98	SW	240.06	421.14	337.96	7.46	243.09	Savane	30.92	0.001	oui
159	5.65	SE	240.00	423.30	336.58	6.53	242.90	Sols nus	31.92	0.000	oui
159	4.44	S	240.00	424.46	334.60	6.24	242.59	Savane	32.51	0.001	non
160	4.18	SW	243.27	425.89	330.73	6.86	242.21	Savane	33.17	0.001	oui
155	3.05	SE	246.30	428.78	324.89	7.94	241.47	Savane	35.42	0.001	oui
155	3.56	SE	245.63	430.77	324.45	8.59	241.02	Sols nus	35.22	0.001	non
154	2.83	NW	245.71	430.26	324.15	8.13	241.25	Sols nus	36.55	0.000	non
158	6.67	NW	246.18	430.06	324.53	7.32	241.50	Savane	37.00	0.000	non

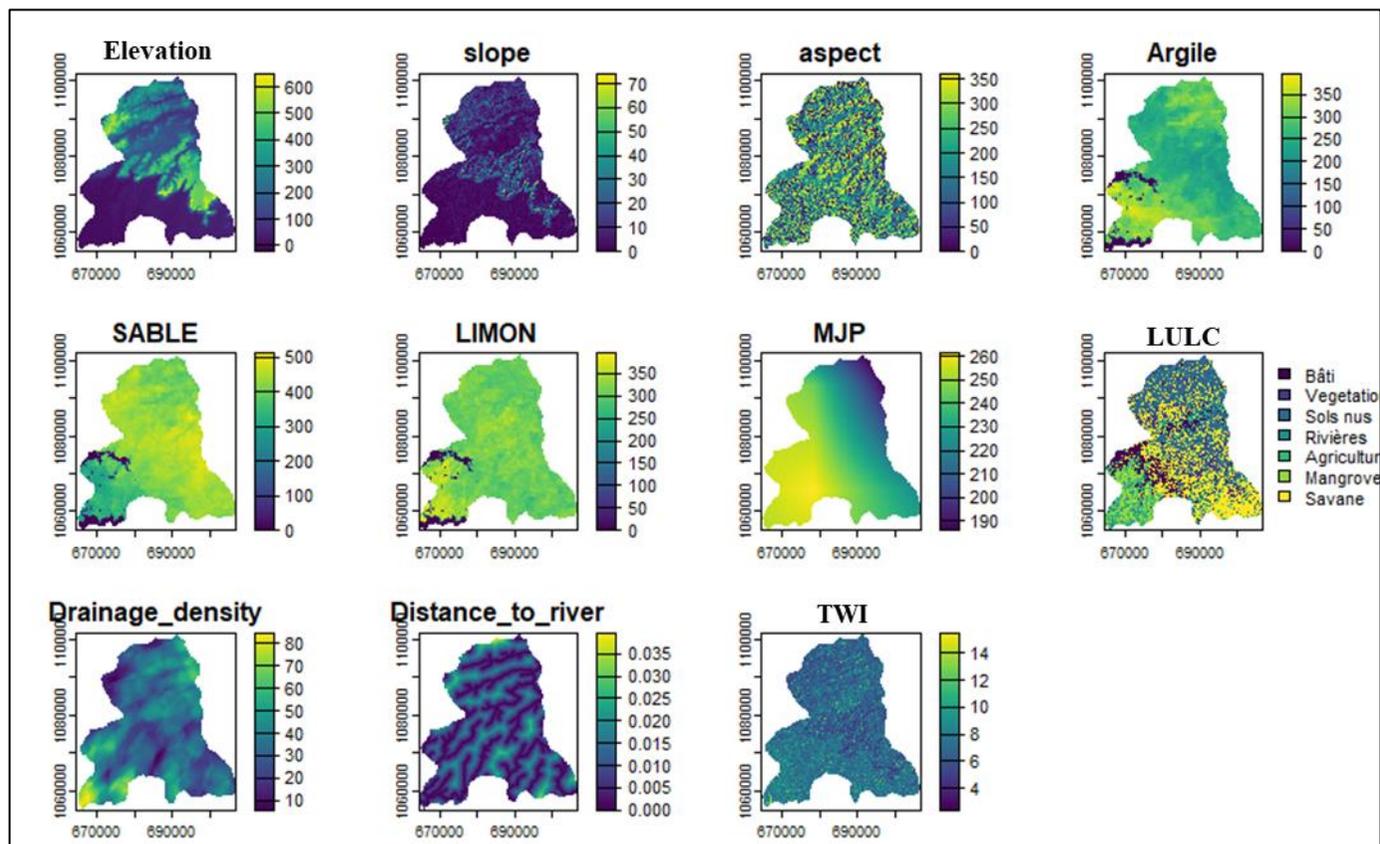
Elevation	Pente	Aspect	Argile	SABLE	LIMON	TWI	MJP	LULC	Drainage_density	Distance_to_river	Type Inondation
157	6.06	NW	246.30	429.63	324.90	6.72	241.57	Agricultures	36.65	0.000	oui
156	2.12	N	249.00	427.54	326.04	8.15	242.05	Agricultures	35.46	0.001	oui
158	2.01	NW	243.03	425.79	330.71	7.55	242.38	Agricultures	34.08	0.000	oui
163	2.81	N	244.42	426.12	324.70	7.45	242.69	Savane	34.41	0.001	oui
164	5.70	NW	245.55	428.44	323.36	6.64	243.03	Agricultures	33.84	0.002	non
161	7.74	NW	246.44	429.55	321.76	7.17	243.22	Savane	33.90	0.003	oui
165	3.56	NW	246.00	431.17	323.05	6.22	243.34	Savane	34.29	0.003	oui
165	0.47	E	245.59	430.08	326.43	8.03	243.86	Bâti	33.37	0.003	non
165	4.31	N	242.69	424.76	334.36	9.15	244.66	Agricultures	28.00	0.004	non
165	2.96	W	238.68	422.52	341.55	7.51	245.08	Sols nus	24.73	0.006	non
168	0.66	SE	242.00	421.15	340.00	10.08	245.32	Savane	27.71	0.007	oui
162	4.88	E	242.11	418.20	339.61	7.15	245.90	Sols nus	27.63	0.009	oui
149	3.12	E	242.52	434.19	322.46	6.82	230.48	Agricultures	41.22	0.001	oui
147	0.94	S	243.60	433.64	320.72	8.23	230.37	Bâti	41.10	0.001	oui
148	1.36	SW	242.97	433.24	322.04	6.98	230.34	Savane	40.93	0.000	oui
151	3.45	NW	246.11	432.05	320.69	7.15	229.86	Agricultures	40.97	0.000	non
148	5.14	N	245.89	427.10	322.21	8.52	229.47	Bâti	41.81	0.000	non
149	3.70	NW	243.89	421.72	326.86	6.77	228.81	Savane	43.81	0.000	non
146	3.56	NE	241.66	415.64	337.56	7.43	228.48	Sols nus	44.09	0.000	oui
149	1.87	E	242.00	420.00	331.82	7.29	228.36	Bâti	44.46	0.000	oui
152	3.41	W	245.69	432.29	318.92	6.34	230.15	Bâti	40.89	0.001	non
146	3.12	W	238.92	431.80	320.52	9.22	230.21	Agricultures	40.84	0.002	oui
150	4.67	NW	235.12	434.75	321.38	6.25	230.28	Sols nus	40.87	0.003	non
147	0.74	E	239.92	434.07	321.64	11.01	230.43	Bâti	41.27	0.002	oui

Elevation	Pente	Aspect	Argile	SABLE	LIMON	TWI	MJP	LULC	Drainage_density	Distance_to_river	Type Inondation
4	2.34	SE	305.33	375.47	317.31	8.33	256.36	Agricultures	30.54	0.001	oui
19	3.70	S	305.48	372.55	316.88	6.24	256.08	Savane	32.15	0.002	non
11	6.30	SE	307.28	377.65	319.77	5.72	255.74	Bâti	31.60	0.001	non
11	5.22	SE	303.73	380.59	311.27	7.20	255.34	Bâti	32.29	0.001	oui
6	3.31	SE	294.97	386.86	310.71	6.45	255.15	Bâti	31.65	0.000	non
19	5.61	NE	302.57	395.66	309.21	5.79	255.22	Bâti	32.72	0.001	non
16	4.59	E	302.98	390.33	306.15	5.91	255.14	Savane	33.11	0.001	non
21	3.05	E	303.96	391.91	303.09	6.32	255.02	Savane	33.32	0.002	non
18	7.47	E	302.94	392.01	304.32	6.56	254.98	Savane	33.16	0.001	non
11	2.52	S	293.85	394.32	309.17	6.59	254.47	Savane	32.37	0.000	non
15	4.02	SW	296.64	390.61	307.42	6.67	254.31	Savane	31.95	0.001	oui
10	6.37	SE	297.45	388.00	309.30	6.58	254.21	Savane	31.43	0.000	oui
17	9.19	NW	291.77	394.59	308.54	6.38	254.19	Sols nus	31.28	0.001	non
8	2.67	NW	293.07	398.54	311.02	8.36	254.50	Savane	31.39	0.001	oui
10	5.60	W	297.06	396.50	315.25	6.76	254.89	Bâti	32.06	0.000	oui
14	9.26	N	307.24	383.86	317.03	6.03	255.51	Savane	30.69	0.000	non
23	3.32	NE	307.17	390.98	309.93	6.23	255.33	Savane	30.16	0.001	non
16	2.67	N	301.21	397.71	310.70	9.16	255.14	Savane	30.09	0.002	non
23	4.45	W	295.94	399.00	311.97	6.06	254.96	Agricultures	30.45	0.002	non
19	5.95	NW	300.07	383.00	321.20	6.60	255.81	Bâti	29.99	0.000	non
6	4.31	W	300.70	380.99	316.18	7.63	256.02	Savane	29.29	0.001	non
15	2.83	SW	298.45	373.25	316.65	7.99	256.24	Savane	32.72	0.003	non
18	6.13	S	294.24	386.21	315.55	6.37	256.38	Bâti	33.44	0.005	oui
18	2.85	S	295.51	390.15	313.86	7.42	256.56	Savane	33.37	0.006	oui

Elevation	Pente	Aspect	Argile	SABLE	LIMON	TWI	MJP	LULC	Drainage_density	Distance_to_river	Type Inondation
20	1.66	E	296.13	389.84	314.89	7.31	256.38	Bâti	34.10	0.006	non
24	3.31	NE	264.77	388.55	269.09	7.42	256.61	Bâti	34.43	0.008	non
17	3.41	E	312.42	392.20	290.96	6.46	254.63	Bâti	33.16	0.003	non
12	7.04	SE	61.07	0.00	59.74	8.11	255.00	Bâti	36.07	0.001	non
3	1.19	N	0.00	0.17	0.00	11.96	255.11	Bâti	39.03	0.000	non
8	10.46	SE	71.94	0.00	71.93	6.23	255.20	Bâti	41.10	0.002	oui
5	5.22	E	184.51	252.84	203.45	7.43	255.37	Savane	44.70	0.001	non
6	4.81	NE	301.60	337.91	355.73	7.01	255.52	Bâti	48.08	0.001	oui
11	2.65	SE	298.10	338.27	360.60	6.49	255.53	Bâti	48.26	0.001	non
9	5.29	SE	296.92	337.78	360.79	6.39	255.54	Bâti	48.45	0.001	non
16	6.22	N	0.00	0.00	0.00	5.89	255.10	Agricultures	38.98	0.001	non
15	6.63	W	0.00	0.00	0.00	6.29	255.21	Savane	41.61	0.000	non
7	7.40	W	0.00	0.00	0.00	7.25	255.26	Agricultures	42.69	0.000	oui
5	5.32	SW	61.81	129.17	71.14	6.42	255.39	Bâti	45.19	0.000	oui
5	3.05	SW	157.83	91.17	181.64	6.52	255.44	Bâti	46.61	0.001	oui
13	6.63	NW	0.00	0.00	0.00	6.20	256.83	Savane	22.93	0.003	oui
12	4.67	NW	279.44	273.04	265.29	7.52	256.95	Savane	23.50	0.004	oui
10	6.40	NE	158.60	349.39	148.24	6.22	256.82	Savane	24.25	0.002	non
14	3.12	N	0.00	0.00	0.00	8.50	255.06	Bâti	37.80	0.000	oui
9	4.23	N	0.00	0.00	0.00	7.10	255.04	Bâti	37.16	0.000	oui
8	3.65	SE	0.00	0.00	0.00	7.23	254.98	Bâti	35.65	0.000	oui
7	4.09	SE	26.19	210.60	25.30	7.43	254.97	Bâti	34.26	0.000	oui
17	5.32	E	213.80	354.13	200.52	6.43	254.87	Savane	30.84	0.000	oui
17	6.68	E	286.51	354.67	261.63	7.38	254.82	Bâti	29.58	0.000	non

Elevation	Pente	Aspect	Argile	SABLE	LIMON	TWI	MJP	LULC	Drainage_density	Distance_to_river	Type Inondation
12	4.30	E	335.56	351.72	307.90	8.23	254.74	Savane	28.47	0.001	oui
11	3.45	NW	339.32	359.40	305.99	7.59	254.79	Savane	28.29	0.000	oui
12	2.12	N	336.82	358.22	306.98	7.02	254.74	Savane	27.80	0.000	oui
11	1.65	S	337.81	364.70	307.99	8.35	254.70	Savane	27.58	0.000	oui
17	0.94	S	311.36	391.77	305.16	10.40	254.53	Savane	26.34	0.000	oui
21	0.74	N	309.95	390.47	304.02	8.04	254.49	Savane	26.11	0.000	oui
17	1.69	SE	313.49	389.11	305.77	9.74	254.51	Savane	26.32	0.001	oui
17	2.85	E	307.05	385.79	307.16	8.56	254.43	Savane	25.80	0.000	oui
25	4.81	SE	302.77	392.63	308.50	6.05	254.35	Savane	25.29	0.001	non
25	1.19	E	302.25	397.58	297.86	7.36	254.26	Bâti	24.63	0.000	oui
21	1.66	NE	303.88	394.70	297.87	9.33	254.26	Savane	24.62	0.001	oui
11	2.12	E	305.29	398.52	301.93	9.58	254.55	Savane	26.36	0.000	oui
15	1.36	NW	311.33	402.73	303.36	8.81	254.64	Bâti	26.69	0.001	non
18	7.09	NW	326.19	389.64	306.77	7.15	254.69	Bâti	27.45	0.001	oui
13	2.34	NW	338.85	369.09	305.53	7.23	254.70	Bâti	27.59	0.000	oui
14	1.19	S	335.85	364.66	304.30	7.26	254.81	Savane	28.30	0.000	oui
11	3.26	S	126.21	354.65	121.69	7.17	254.98	Bâti	33.32	0.001	oui
11	3.58	N	0.00	39.97	0.00	10.12	255.13	Savane	38.64	0.003	oui
13	2.96	N	0.00	0.00	0.00	6.65	255.07	Bâti	37.64	0.001	oui
7	2.09	NE	0.00	0.00	0.00	8.57	256.72	Bâti	23.08	0.002	oui
10	1.69	NW	0.00	0.00	0.00	7.18	256.65	Bâti	23.30	0.000	oui
16	1.93	S	67.16	53.10	220.88	7.36	256.73	Savane	22.75	0.002	oui
13	2.83	SW	263.52	377.88	336.52	7.00	256.70	Bâti	22.59	0.001	oui

Annexe 5 : Variables explicatives



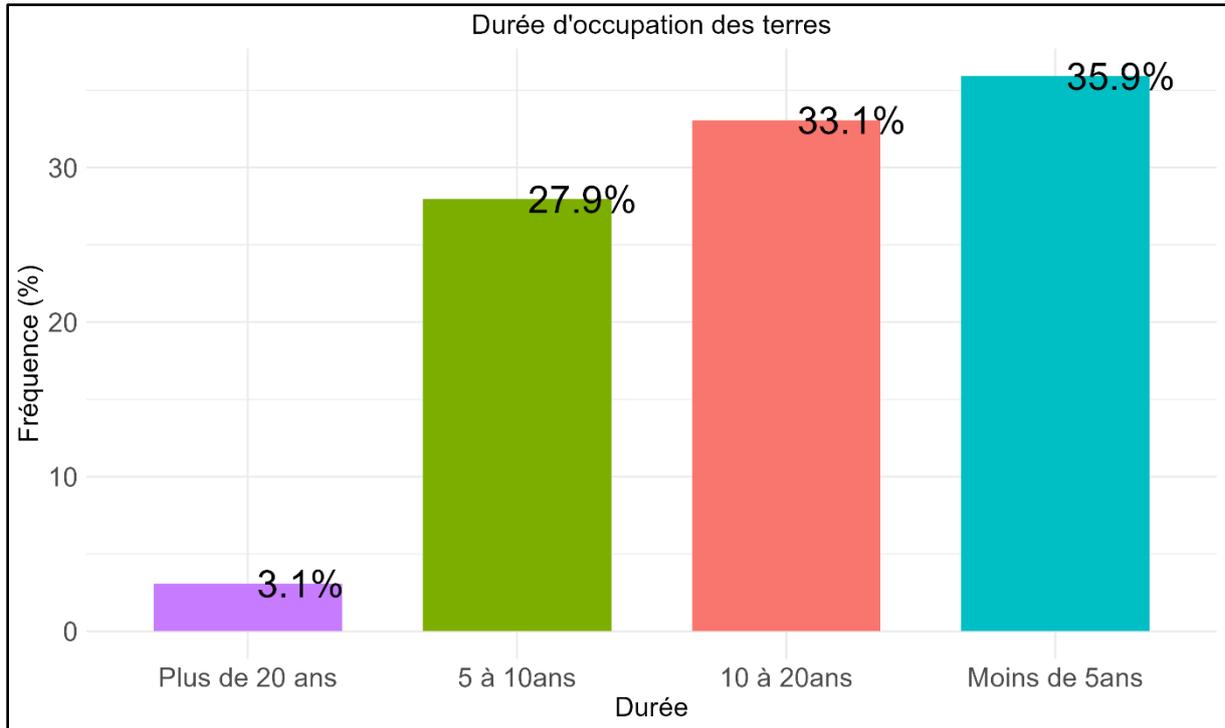
Annexe 6 : Matrice de confusion de l'image classifiée de 2023

		Zone de validation										
Classification	Classe	Bâti	Végétation dense	Sols nus	Rivières	Agriculture	Mangrove	Savane	Total	Erreurs de commission	Précision d'utilisation	
	Bâti	13	0	0	0	0	0	0	0	13	0/13	13/13
	Végétation dense	0	4	0	0	0	0	5	9	5/9	4/9	
	Sols nus	1	0	9	0	0	0	0	10	1/10	9/10	
	Rivières	0	0	0	11	0	0	0	11	0/11	11/11	
	Agriculture	3	0	2	1	8	4	3	21	13/21	8/21	
	Mangrove	0	0	0	1	2	13	0	16	3/16	13/16	
	Savane	2	0	0	0	1	0	18	21	3/21	18/21	
	Total	19	4	11	13	11	17	26		Erreurs globale	Précision globale	
	Erreurs d'omission	6/19 31%	0/4 0%	2/11 18%	2/13 15%	3/11 27%	4/17 23%	8/26 31%		25%	75%	
Précision de production	13/19 69%	4/4 100%	9/11 82%	11/13 85%	8/11 73%	13/17 77%	18/26 69%					

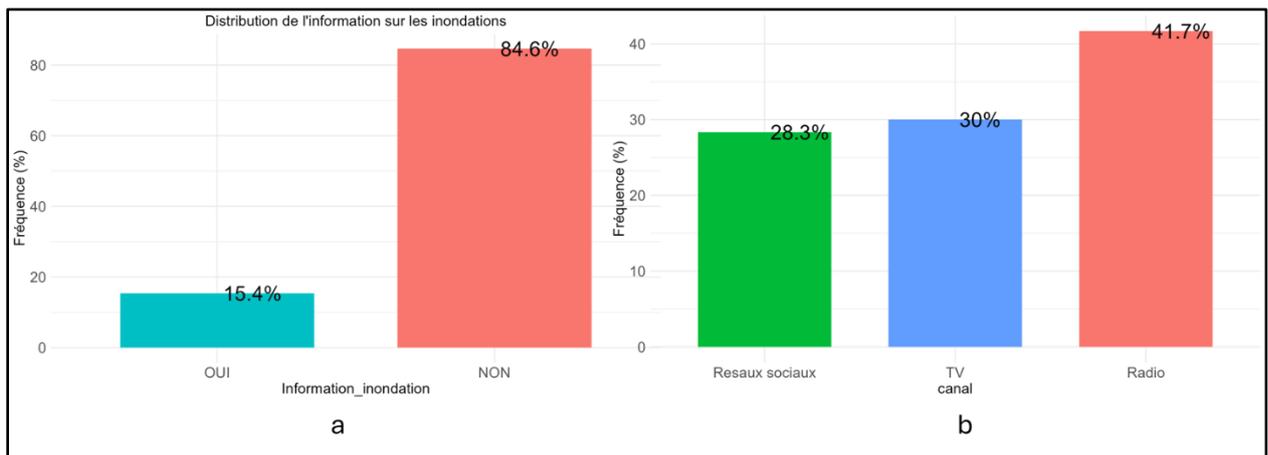
Annexe 7 : Matrice de confusion de l'image classifiée de 1994

		Zone de validation									
Classification	Classe	Bâti	Sols nus	Rivières	Végétation dense	Mangrove	Savane	Agriculture	Total	Erreurs de commission	Précision d'utilisation
	Bâti	6	0	0	0	0	0	0	6	0/6	6/6
	Sols nus	2	12	2	0	0	5	1	22	10/22	12/22
	Rivières	0	0	5	0	0	0	0	5	0/5	5/5
	Végétation dense	0	0	2	10	0	2	0	14	4/14	10/14
	Mangrove	0	0	2	0	9	1	0	12	3/12	9/12
	Savane	1	7	0	3	2	24	0	37	15/37	22/37
	Agriculture	0	0	0	0	0	0	6	6	0/6	6/6
	Total	9	19	11	13	11	32	7		Erreurs globale	Précision globale
	Erreurs d'omission	3/9	7/19	6/11	3/13	2/11	8/32	1/7		31%	69%
	Précision de production	33%	37%	54%	23%	18%	25%	14%			
		6/9	12/19	5/11	10/13	9/11	24/32	6/7			
	67%	63%	46%	77%	82%	75%	86%				

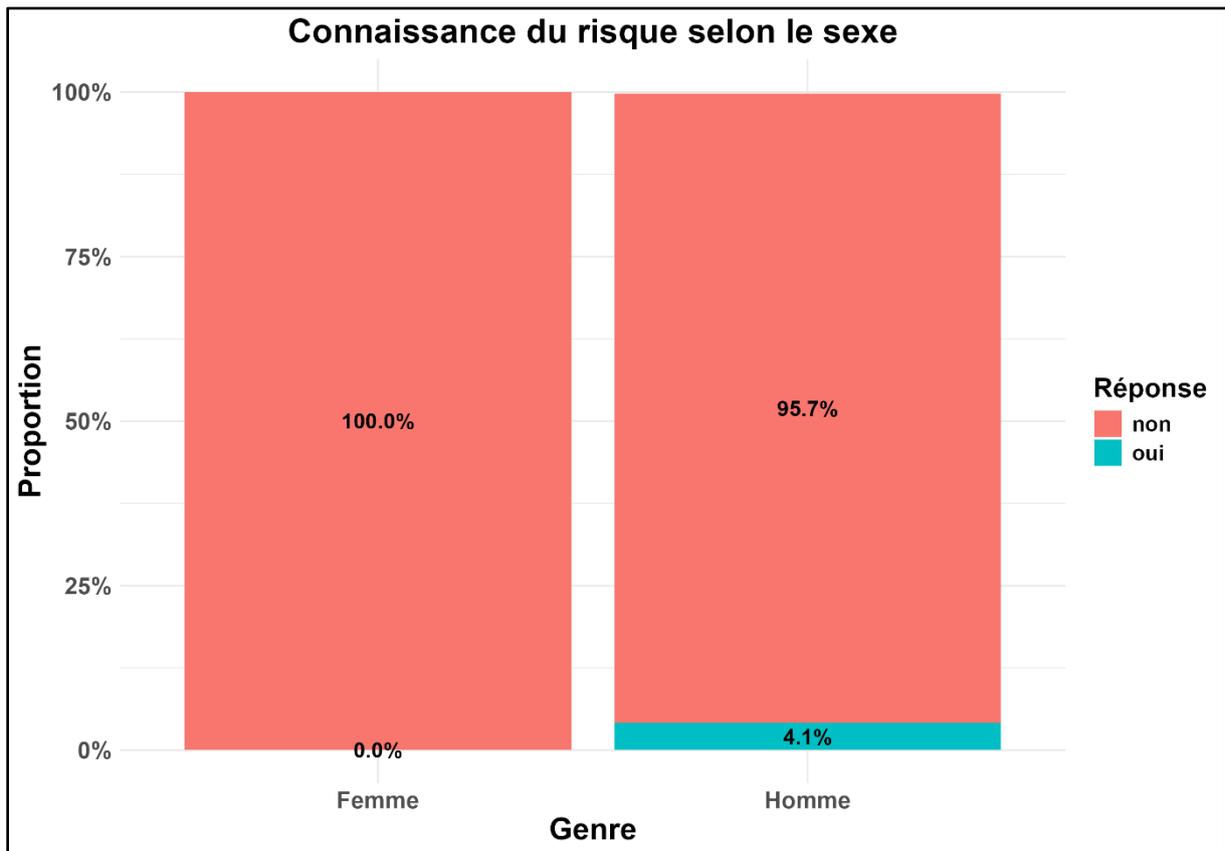
Annexe 8 : Durée d'occupation des terres



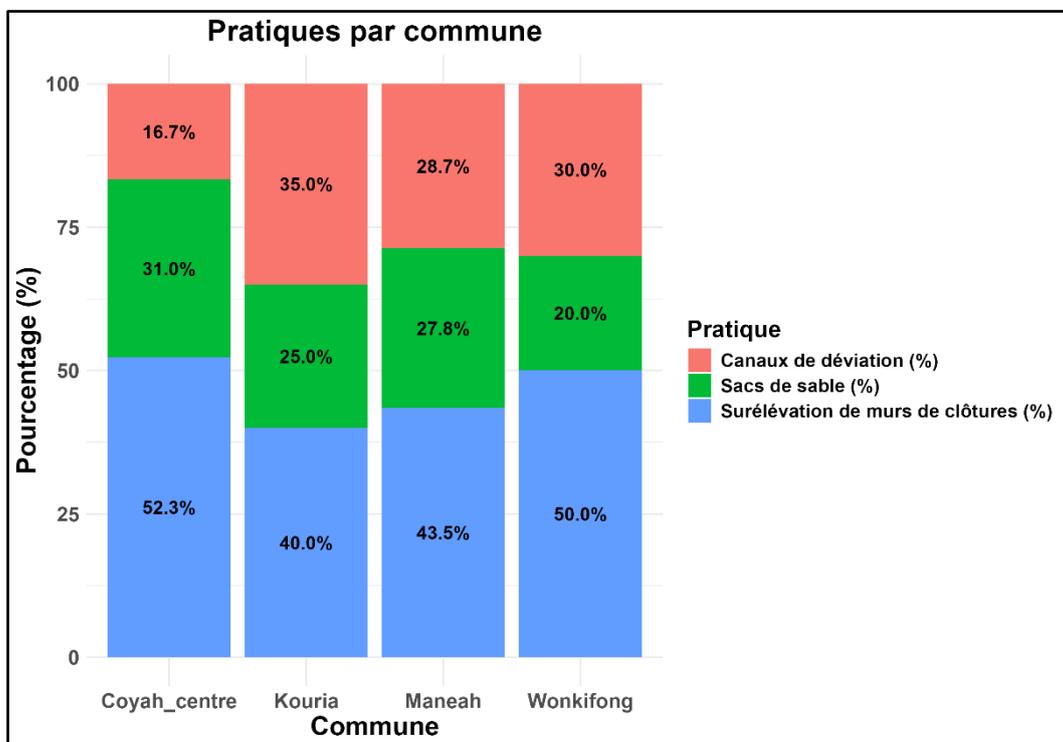
Annexe 9 : a) Information sur le risque imminent d'inondation b) Canal de réception de l'information



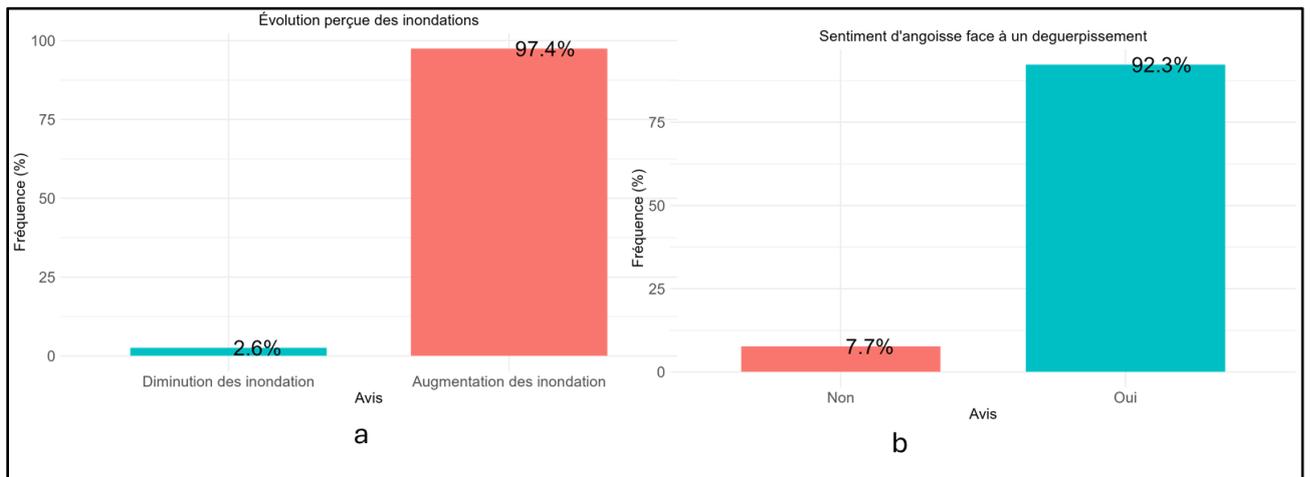
Annexe 10 : Répartition de la connaissance du risque selon le sexe



Annexe 11 : Répartition des pratiques par communes



Annexe 12 : a) Perception sur un possible déguerpissement



Annexe 13: Exemples de pratiques d'adaptation face aux inondations



Annexe 14 : Source d'approvisionnement en eau en zone inondable



Puits d'eau dans le lit de la rivière à Kouria

Puits d'eau dans le lit de la rivière à Sarinka à Coyah Centre