

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

**Auteur** : Yameogo, Nassirou

**Promoteur(s)** : Djaby, Bakary

**Faculté** : Faculté des Sciences

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

**Année académique** : 2022-2023

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/18659>

---

*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 DES DEGATS CYCLONIQUES SUR  
L'AGRICULTURE A MADAGASCAR DANS LA COMMUNE  
DE MANANJARY**

**NASSIROU YAMEOGO**

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

**ANNEE ACADEMIQUE 2022.-2023.**

**REDIGE SOUS LA DIRECTION DU DOCTEUR BAKARY DJABY**

**COMITE DE LECTURE :**

**PRENOM NOM DU LECTEUR 1 : PIERRE OZER**

**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 : YAMEOGO Nassirou ; adresse email : [yameogo.nassirou21@gmail.com](mailto:yameogo.nassirou21@gmail.com)

## Dédicace

*Je dédie ce travail à toutes ces personnes qui souffrent des effets des changements climatiques dans le monde*

## Remerciement

Au moment où nous approchons de la conclusion de notre formation, nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Tout d'abord, nous adressons nos vifs remerciements **au Docteur Bakary Djaby**, notre promoteur, pour avoir généreusement accepté de diriger ce travail malgré ses multiples engagements et pour nous avoir fait bénéficier de son expérience et de ses conseils précieux.

Nous sommes reconnaissants envers **l'Université de Liège** pour avoir financé cette formation de Master de spécialisation en gestion des risques et catastrophes à l'ère de l'Anthropocène (MS-GRCA) à notre profit, nous permettant ainsi d'acquérir de nouvelles compétences.

Notre profonde reconnaissance va au **Professeur Pierre STASSART**, Directeur du Campus Environnement de Arlon, ainsi qu'à ses **collaborateurs**, qui ont travaillé sans relâche pour nous offrir un cadre de travail optimal. Nos remerciements particuliers s'adressent au **Professeur Pierre OZER**, Coordonnateur du master GRCA, et à son assistant monsieur **HIEN Koufanou**, pour leur soutien indéfectible tant sur le plan académique que social.

Nous exprimons également notre gratitude envers monsieur **Ravelonjatovo Donatien RATENONY**, Directeur du Centre d'Application de la Géoinformatique au Développement Rural (CGARD), ainsi qu'à ses collaborateurs, pour l'accueil chaleureux qui nous a été réservé durant notre stage. Nous remercions particulièrement monsieur **Ramahatra** et monsieur **Maheryandrian** pour leur précieuse collaboration. Nous tenons à remercier chaleureusement madame **Tahiana RAJOSARIMALALA**, pour son accompagnement tout au long de notre séjour au Centre d'Application de la Géoinformatique au Développement Rural. Malgré ses nombreuses tâches, elle a toujours été disponible pour nous soutenir et répondre à toutes nos interrogations.

Nos sincères remerciements vont également à madame **Adéline RAJOEL**, responsable sécurité alimentaire et moyen de subsistance du MINAE, à madame, **Joceline SOLONITOMPOARINONY** responsable de la statistique agricole, à monsieur le **Directeur de l'Office du Développement du riz**, ainsi qu'à madame la **Directrice régionale de l'agriculture et de l'élevage** à Vatovavy pour avoir accepté de nous accorder des entretiens. Nous exprimons notre gratitude à monsieur **Elie**, responsable du service de l'agriculture et de l'élevage de Mananjary, pour son précieux accompagnement durant la phase terrain.

Nos remerciements vont à mesdames **RAKOTOMANGA Zolalaina Rebecca** et **Randrianandrasana Lila Norolalaina**, ainsi qu'à leurs époux respectifs et à monsieur Tahiana **RAJAONERA**, pour l'accueil chaleureux qui nous a été réservé, nous faisant nous sentir comme chez nous.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à l'ensemble des camarades de la **promotion MS-GRCA 2022-2023**, pour le climat jovial, amical et le partage d'expériences qui ont prévalu tout au long de la formation.

## Sigles et abréviations

|         |   |
|---------|---|
| BM :    | Banque Mondiale   |
| BNGRC : | Bureau National de Gestion des Risques et des Catastrophes    |
| CC :    | Changements Climatiques                                       |
| CGARD : | Center for Geo-Informatics Applications in Rural Development  |
| DIAS    | Data and Information Access Services                          |
| CRF :   | Croix Rouge Française   |
| ESA     | European Space Agency   |
| GEE     | Google Earth Engine   |
| ERM :   | Evaluation Rapide Multisectorielle                            |
| EVI :   | Indice de Végétation Amélioré                                 |
| FAO :   | Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et la Faim |
| Fpar :  | Fraction de Couverture Végétale                               |
| GIEC :  | Groupe Inter-gouvernemental pour l'Evolution du Climat        |
| IPCC :  | Intergovernmental Panel on Climate Change                     |
| MINAE : | Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage                    |
| NDVI :  | Indice de Végétation par Différence Normalisée                |
| NDWI :  | Normalized Difference Water Index                             |
| NIR :   | Near Infrared   |
| OCHA :  | Office for the Coordination of Humanitarian Affairs           |
| OMM :   | Organisation Météorologique Mondiale                          |
| PAM :   | Programme Alimentaire Mondial                                 |
| RSO :   | Radar à Synthèse d'Ouverture                                  |
| SAR :   | Synthetic Aperture Radar                                      |
| SWIR :  | Short-Wave Infrared   |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Dispositif de gestion des risques et catastrophe à Madagascar .....                       | 5  |
| Figure 2 : Carte de la commune de Mananjary .....  | 8  |
| Figure 3 : Schémas des opérations images Sentinel 1 .....  | 12 |
| Figure 4 : Schémas des opérations images Sentinel 2.....   | 16 |
| Figure 5 : Carte de l'occupation des sols .....  | 18 |
| Figure 6 : Inondation après les cyclones Batsirai (A) et Emnati (B) .....                            | 19 |
| Figure 7 : Indice NDVI avant les cyclones (J), Après les cycles (K) et Différence NDVI (L).<br>..... | 20 |
| Figure 8 : NDWI avant les cyclones (M), Après les cyclones (N) et Différence NDWI (O) ..             | 20 |
| Figure 9 : Taux d'utilisation des pratiques endogènes résilientes.....                               | 23 |
| Figure 10 : Importance des types de pratiques .....  | 23 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : Caractéristiques des images RSO Sentinel 1.....                             | 9  |
| Tableau 2 : Caractéristiques de la collection d'images Sentinel 2 pré-cyclonique.....   | 10 |
| Tableau 3 : Caractéristiques de la collection d'images Sentinel 2 post-cycloniques..... | 13 |
| Tableau 4 : Vulnérabilité des cultures à l'inondation.....                              | 21 |
| Tableau 5 : Vulnérabilité des cultures au vent.....                                     | 22 |

## Liste des annexes

|  |   |
|--|---|
| Annexe 1 : Matrice de confusion .....                            | I |
| Annexe 2 : Estimation des superficies rizicoles endommagées..... | I |
| Annexe 3 : Questionnaire.....                                    | I |



## Table des matières

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Dédicace.....</b>  | <b>i</b>    |
| <b>Remerciement .....</b>   | <b>ii</b>   |
| <b>Sigles et abréviations .....</b>   | <b>iii</b>  |
| <b>Liste des figures .....</b>  | <b>iv</b>   |
| <b>Liste des tableaux .....</b>   | <b>v</b>    |
| <b>Liste des annexes .....</b>  | <b>v</b>    |
| <b>Résumé : .....</b>   | <b>viii</b> |
| <b>Abstract : .....</b>   | <b>ix</b>   |
| <b>Introduction .....</b>   | <b>1</b>    |
| 1.1. Contexte et justification.....   | 1           |
| 1.2. Questions, objectifs et hypothèses de recherche.....                         | 3           |
| 1.2.1. Questions de recherche.....  | 3           |
| 1.2.2. Objectifs de Recherche .....   | 3           |
| 1.2.3. Hypothèses de Recherche .....  | 4           |
| <b>Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.....</b>                                 | <b>5</b>    |
| 1.1. Brève description du dispositif gestion des risques et des catastrophes..... | 5           |
| 1.2. Cartographies des inondations et des dommages des cultures .....             | 6           |
| 1.2.3. Cartographie des inondations de cultures .....                             | 6           |
| 1.2.2. Cartographie des dommages des cultures .....                               | 7           |
| <b>Chapitre 2 : Zone d'étude, matériel et méthodes .....</b>                      | <b>8</b>    |
| 2.1. Milieu d'étude.....  | 8           |
| 2.2. Cartographie des inondations dans les rizières après les cyclones .....      | 9           |
| 2.2.1. Matériel .....   | 9           |
| 2.2.2. Méthodes de traitement.....  | 10          |
| 2.3. Estimation des dommages des cultures du riz après les cyclones .....         | 13          |
| 2.3.1. Matériel .....   | 13          |
| 2.3.2. Méthodes.....  | 14          |
| 2.4. Pratiques agricoles endogènes résilientes .....                              | 17          |
| 2.4.1. Matériel .....   | 17          |
| 2.4.2. Méthode de collecte .....  | 17          |
| 2.4.3. Méthodes de traitement.....  | 17          |
| <b>Chapitre 3 : Résultats et discussion .....</b>                                 | <b>18</b>   |
| 3.1. Résultats.....   | 18          |
| 3.1.1. Cartographie des inondations dans les rizières après les cyclones .....    | 18          |
| 3.1.2. Estimation des dommages des cultures du riz après les cyclones.....        | 19          |
| 3.1.3. Pratiques agricoles endogènes résilientes .....                            | 23          |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2. Discussion des résultats .....  | 24        |
| 3.2.1. Cartographie des inondations dans les rizières après les cyclones ..... | 24        |
| 3.2.2. Estimation des dommages des cultures du riz après les cyclones.....     | 24        |
| 3.2.3. Pratiques agricoles endogènes résilientes .....                         | 26        |
| 3.3. Limites de l'étude .....  | 26        |
| <b>Conclusion, recommandations et perspectives .....</b>                       | <b>27</b> |
| <b>Références bibliographiques .....</b>                                       | <b>28</b> |
| <b>Annexes .....</b>   | <b>I</b>  |

## Résumé :

Cette étude a été menée dans la commune de Mananjary à Madagascar, suite à l'impact de deux cyclones en février 2022. Son objectif est l'évaluation quantitative des surfaces de cultures de riz inondées, des dommages causés par les cyclones à l'aide des données d'observation de la terre et identifier des pratiques agricoles résilientes. De plus, elle visait à identifier des pratiques agricoles endogènes résilientes face à ces événements climatiques. Pour atteindre ces objectifs, nous avons utilisé des images satellitaires de Sentinel 1 et 2, couvrant les périodes avant et après les cyclones. Ces images ont été traitées et comparées pour mettre en évidence les changements causés par les cyclones. En parallèle, nous avons mené une enquête auprès de 198 agriculteurs pour analyser la sensibilité de leurs cultures et plantations aux inondations et aux vents violents accompagnant les cyclones. Cette enquête nous a également permis d'identifier des pratiques agricoles endogènes résilientes. Les résultats de l'étude ont indiqué que le cyclone Batsirai a entraîné l'inondation d'environ 193 hectares, représentant ainsi 23,55% des cultures de riz, tandis que le cyclone Emnati a provoqué l'inondation de 83 hectares, soit environ 9,77%. En ce qui concerne les dommages, environ 437,37 hectares de cultures de riz ont été touchés, allant de dommages légers à exceptionnels. Les autres cultures vivrières, les cultures maraichères, la patate douce et en plus du riz se sont avérées particulièrement affectés par les inondations, tandis que les plantations telles que le bananier, le fruit à pain, le giroflier, le vanillier et le litchi sont plus susceptibles aux vents violents. Cependant, deux agriculteurs sur cinq ont adopté des pratiques agricoles endogènes résilientes pour faire face aux effets dévastateurs des cyclones. Parmi ces pratiques, la récolte précoce est la plus couramment utilisée par les agriculteurs. D'autres pratiques telles que la conservation des sols, l'utilisation de variétés résistantes, la plantation de haies, l'implantation de canaux de drainage et le recepage ont également été identifiées comme des stratégies résilientes.

Mots clés : Cyclone, inondations, dommages, pratiques agricoles résilientes.

## Abstract :

This study was conducted in the commune of Mananjary, Madagascar, following the impact of two cyclones in February 2022. Its objectives were to quantify the areas of flooded rice crops, assess the damages caused by cyclones using remote sensing, and analyze the sensitivity of crops and plantations. Additionally, it aimed to identify indigenous agricultural practices resilient to these climatic events. To achieve these objectives, freely available Sentinel 1 and 2 images covering the periods before and after the cyclones were used. These images were processed and compared to highlight the changes caused by the cyclones. In parallel, we conducted a survey with 198 farmers to analyze the sensitivity of their crops and plantations to floods and strong winds accompanying cyclones. This survey also allowed us to identify resilient indigenous agricultural practices. The study results revealed that nearly 193 hectares of rice crops were flooded following Cyclone Batsirai, and 83 hectares after Cyclone Emnati. Regarding damages, approximately 437.37 hectares of rice crops were affected, ranging from slight to exceptional damages. Crops such as other food crops, vegetables, sweet potatoes, and rice were particularly sensitive to floods, while plantations such as bananas, breadfruit, cloves, vanilla, and lychee were more susceptible to strong winds. However, two out of five farmers adopted resilient indigenous agricultural practices to cope with the devastating effects of cyclones. Among these practices, early harvesting was the most commonly used by farmers. Other practices such as soil conservation, use of resistant varieties, hedge planting, drainage channel establishment, and pruning were also identified as resilient strategies.

Keywords : Cyclone, flood, damages, resilient agricultural practices.

## 1.1. Contexte et justification

Le changement climatique (CC) représente l'un des sujets les plus discutés à l'échelle mondiale concernant les enjeux environnementaux. Il est étroitement lié aux risques et aux catastrophes naturelles qui ont un impact sur le bien-être social et économique de nombreuses populations (Kabir et al., 2016). Actuellement, le CC entraîne une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, tels que les inondations, les vagues de chaleur, les cyclones tropicaux et les sécheresses, à l'échelle mondiale (Huq et al., 2015). Ces événements extrêmes ont des conséquences négatives sur la biodiversité, les ressources en eau et les moyens de subsistance des populations (Huq et al., 2015).

Parmi ces événements extrêmes, les cyclones tropicaux, également connus sous le nom de typhons ou ouragans selon la zone géographique, figurent parmi les catastrophes naturelles les plus dévastatrices à l'échelle mondiale (Kunze, 2021 ; Singh & Chudasama, 2017). Sous l'effet du CC, du moins dans certains bassins océaniques et en particulier dans les grandes agglomérations urbaines proches des océans, les dommages causés par les cyclones tropicaux et le nombre de personnes touchées ont augmenté depuis les années 1970 (Mendelsohn et al., 2012 ; Elsner et al., 2008). Des études révèlent qu'entre 1980 et 2018, les cyclones tropicaux ont été responsables d'environ la moitié des pertes liées aux catastrophes naturelles dans le monde, avec des dégâts s'élevant à un total de 2111 milliards de dollars (Kunze, 2021). Selon les statistiques de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), sur une période de 50 ans (1970-2019), 1 945 catastrophes imputables aux cyclones tropicaux ont entraîné 779 324 décès (OMM, 2021).

Les régions du monde les plus touchées par les cyclones tropicaux se situent principalement en Asie, en Amérique du Nord, en Amérique Centrale, dans les Caraïbes et dans le Pacifique Sud-Ouest (OMM, 2021). Ces phénomènes cycloniques ont un impact considérable sur l'agriculture et les infrastructures, notamment les abris, les systèmes d'assainissement, l'approvisionnement en eau potable, l'électricité et les services de transport (Chikodzi & Nhamo, 2021). Ils causent également d'énormes dégâts aux moyens de subsistance et aux infrastructures telles que les routes rurales, les barrages, les digues et les bâtiments agricoles (Hossain et al., 2008 ; OMM, 2001).

Le continent africain à l'image du reste du monde est vulnérable aux cyclones tropicaux. Entre 1970 et 2019, le continent a connu 135 catastrophes liées aux cyclones tropicaux, entraînant la perte de 5 419 vies humaines et des dommages économiques estimés à environ 11,4 milliards de dollars US (OMM, 2021). Selon l'auteur précédent, les pays les plus touchés par ces cyclones en Afrique se trouvent principalement en Afrique australe, le long du Canal de Mozambique et dans le bassin sud-ouest de l'océan Indien. Selon Nash et al. (2015), ces cyclones tropicaux représentent un risque naturel majeur et potentiellement mortel pour les populations de cette région.

Tous les secteurs d'activités dans les pays touchés par les cyclones tropicaux sont affectés, mais le secteur agricole demeure particulièrement vulnérable face à ce risque. De nombreuses études

ont mis en évidence les impacts négatifs des cyclones tropicaux sur la production des cultures (Parida et al., 2018 ; Vu et al., 2017 ; Rakotobe et al., 2016). Par exemple, en Inde, la production de riz a connu une baisse de 57 %, atteignant même 70 % dans certains districts gravement touchés (Parida et al., 2018). Aux Philippines, une diminution significative de la production de riz a été observée dans les systèmes irrigués et pluviaux suite aux cyclones tropicaux (Vu et al., 2017).

Madagascar, situé dans le sud-ouest de l’océan Indien, séparé de la côte sud-est de l’Afrique par le canal de Mozambique (BNGRC, 2011), est l’un des pays du bassin de l’océan Indien les plus exposés aux cyclones tropicaux (Ghosh et al., 2022 ; BM, 2016). Chaque année, en moyenne, 3 à 4 cyclones tropicaux frappent Madagascar pendant la saison cyclonique qui s’étend de novembre à avril (BNGRC, 2011). Des modèles climatiques prévoient des changements majeurs à Madagascar d’ici 2050, avec une augmentation des précipitations durant l’été austral (janvier-avril) et des hivers austraux plus secs (juillet-septembre) dans la région du Sud-Est de Madagascar (Dunham et al., 2011 ; Metcalfe et al., 2008). Ces catastrophes naturelles ont affecté plus de 11 millions de personnes à Madagascar au cours des 35 dernières années, causant environ 1 milliard de dollars US de dommages (Rakotobe et al., 2016). Environ 5 millions de personnes, soit 25 % de la population, sont touchées par les inondations et les cyclones. La fréquence des cyclones contribue également à l’aggravation des niveaux de pauvreté et d’insécurité alimentaire (Rakotobe et al., 2016), car 77,9% des ménages vivent de l’agriculture (Garruchet et al., 2023). Cependant, les impacts des cyclones sur les communautés dépendent de leur intensité, du degré de vulnérabilité des systèmes socio-économiques et écologiques, ainsi que de la capacité des sociétés exposées à formuler des stratégies efficaces de réduction des risques de catastrophe (Chikodzi & Nhamo, 2021).

Au cours de la saison cyclonique 2021-2022, Madagascar a connu une situation record avec plus de 5 cyclones touchant l’île pour la première fois. Parmi ces cyclones, Emnati et Batsirai se sont révélés particulièrement puissants, étant classés en catégorie 4 sur l’Échelle de Saffir-Simpson (Météo France, 2022). La saison cyclonique 2022-2023 a également connu une activité intense avec l’arrivée de 2 cyclones, dont Freddy, classé en catégorie 5 sur l’Échelle de Saffir-Simpson, marquant un niveau d’intensité jamais enregistré au cours des 5 dernières saisons cycloniques (PAM, 2023). Ces phénomènes corroborent les projections du GIEC, qui prévoient une augmentation du nombre et de l’intensité des événements météorologiques extrêmes en raison du changement climatique (GIEC, 2014 ; IPCC, 2022). Le cyclone Freddy a exposé près de 13 758 846 personnes, dont environ 1 631 410 ont subi des vents soufflant à 120 km/h (PAM, 2023).

Dans ce contexte, l’évaluation des dégâts causés aux cultures par les cyclones peut donner une information utile pour l’organisation de plans d’intervention d’urgence et de relèvement (Shamsuzzoha et al., 2021) par les décideurs publics et les organismes d’assistance. Les cyclones jouent un rôle majeur dans la perturbation de l’écosystème et des cultures à Madagascar (Lewis & Bannar-Martin, 2012 ; Lewis & Rakotondranaivo, 2011). Pour comprendre les effets de ces perturbations, il est essentiel de comparer les données collectées avant et après l’événement cyclonique.

Les approches couramment utilisées pour estimer les dégâts agricoles reposent sur des enquêtes auprès des ménages (Ghosh et al., 2022) et des données collectées auprès des Directions régionales de l'agriculture et de l'élevage (FAO, 2022). Cependant, cette approche présente des limites, notamment à grande échelle, en raison de la nécessité d'une main-d'œuvre importante, du temps requis et des coûts élevés (Singh et al., 2017). De plus, certaines zones présentant des dégâts importants peuvent ne pas être prises en compte en raison de leur inaccessibilité après la catastrophe. Par exemple, lors de l'évaluation des dommages agricoles causés par les cyclones Batsirai et Emnati, certains Fokontany (villages) prévus n'ont pas pu être visités (FAO, 2022). Pour surmonter ces limitations, l'utilisation spécifique de l'imagerie satellitaire pour évaluer les dommages aux cultures constitue une alternative précieuse (Singh et al., 2016). En effet, les capteurs des satellites tels que Landsat, Sentinel, Pléiade, Spot, etc., fournissent des observations détaillées sur une large couverture spatiale, exploitables dans différents domaines du spectre (visible, infrarouge, hyperfréquences) avec des résolutions radiométriques, spectrales et temporelles différentes pour une évaluation post-catastrophe des dommages (Chesnel, 2008).

De plus, il est primordial de déterminer si les agriculteurs emploient des pratiques agricoles locales afin de minimiser les dégâts causés par les cyclones, dans le but de renforcer la résilience de manière soutenable dans un contexte régulièrement affecté par de tels phénomènes. C'est dans cette optique que cette étude se focalise sur l'évaluation des impacts post-cyclones au moyen de l'imagerie satellitaire et sur l'identification des pratiques agricoles endogènes favorisant la résilience.

## **1.2. Questions, objectifs et hypothèses de recherche**

### **1.2.1. Questions de recherche**

Dans cette étude, nous abordons la thématique des dommages des cyclones sur l'agriculture. Notre question principale de recherche est la suivante :

Q1 : Quel est l'état des terres cultivées et des cultures après le passage d'un cyclone ? Pour répondre à cette question principale, nous aborderons les questions spécifiques suivantes :

Q1.1 : Quelle est la superficie de parcelles rizicoles des inondées suite au passage des cyclones Batsirai et Emnati en février 2022 ?

Q1.2 : Quelle l'étendue des dommages sur les cultures de riz après le passage des cyclones Batsirai et Emnati en février 2022 ?

Q1.3 : Existe-t-il des pratiques agricoles endogènes résilientes face aux cyclones ?

### **1.2.2. Objectifs de Recherche**

Les questions de recherche mentionnées ci-dessus définissent les objectifs de notre étude. De manière générale, notre recherche vise à contribuer à l'évaluation des dégâts causés par les cyclones sur l'agriculture.

Plus spécifiquement, nos objectifs de recherche sont les suivants :

OS1 : Cartographier l'étendue des inondations dans les parcelles cultivées en riz après les passages des cyclones Batsirai et Emnati en février 2022 ;

OS2 : Estimer l'étendue des dommages des cultures du riz après les passages des cyclones Batsirai et Emnati en février 2022 et

OS3 : Identifier des pratiques agricoles endogènes résilientes face aux cyclones.

### **1.2.3. Hypothèses de Recherche**

Pour orienter notre étude et formuler des prévisions, nous émettons les hypothèses suivantes :

H1 : Les fortes précipitations accompagnant les cyclones entraînent l'inondation de vastes superficies rizicoles ;

H2 : Les cultures de riz sont endommagées par les cyclones et

H3 : Les agriculteurs utilisent des techniques agricoles endogènes pour réduire l'impact des cyclones sur les cultures et les plantations.

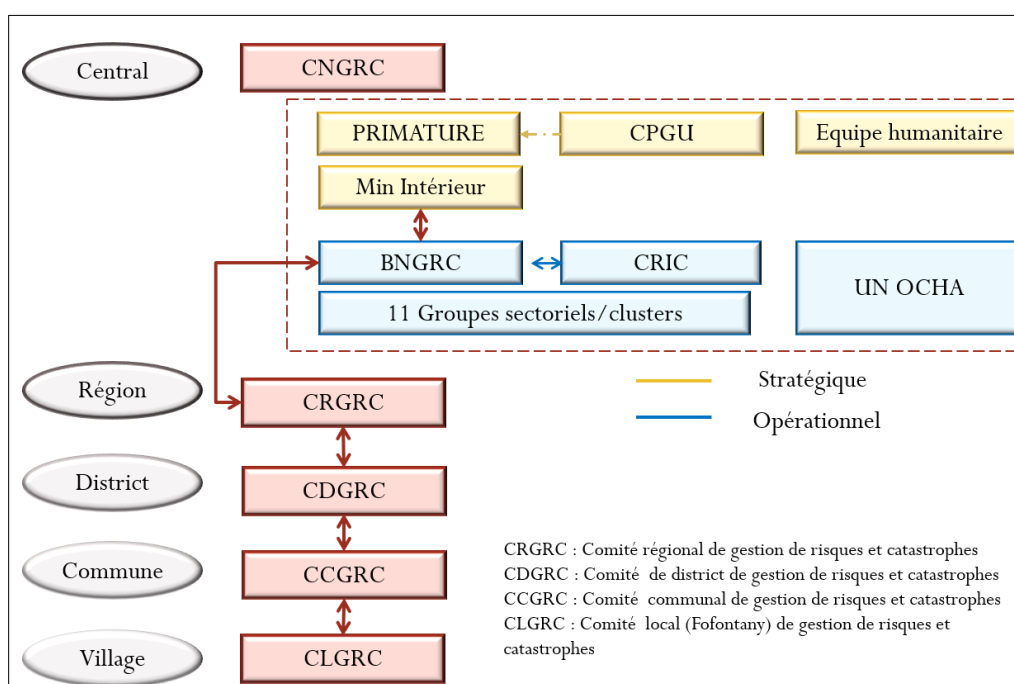
Le contenu de ce document est structuré en trois chapitres distincts. Le premier chapitre aborde les généralités concernant la problématique étudiée. Il s'attache à explorer en détail les aspects liés au sujet. Le deuxième chapitre se consacre à la présentation de la situation géographique de la zone d'étude, en plus de décrire les outils et l'approche méthodologique utilisés pour mener à bien cette étude. Le dernier chapitre est divisé en deux parties. Dans un premier temps, il présente les résultats obtenus. Ces résultats sont ensuite analysés et interprétés dans la deuxième partie consacrée à la discussion. Enfin, le document se termine par une conclusion qui résume les principaux résultats et constatations issues de cette étude. Cette conclusion est complétée par des recommandations pertinentes pour orienter de futures actions.



# Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

## 1.1. Brève description du dispositif gestion des risques et des catastrophes

Le dispositif national de gestion des risques et catastrophes à Madagascar est orchestré par le Bureau National de Gestion des Risques et des Catastrophes (BNGRC), qui assume un rôle central dans la coordination des actions. Établi en 2006 par le biais du Décret 2006-904, cet organe joue un rôle pivot dans le système de gestion des risques et des catastrophes. Le BNGRC est appuyé par le Conseil National de Gestion des Risques et des Catastrophes (CNGRC) présidé par le Premier Ministre, ainsi que par la Cellule de Gestion et de Prévention des Urgences (CPGU), qui assiste le Premier Ministre dans l'élaboration de la stratégie nationale de gestion des risques et catastrophes (BNGRC, 2021, Présidence, 2016 ; BNGRC, 2011). Le BNGRC coordonne le mécanisme d'évaluation des dommages ainsi que la réponse humanitaire opérationnalisée à travers le Comité de Réflexion des Intervenants en Catastrophes (CRIC) (BNGRC, 2011), composé des structures étatiques, le système des Nations unies ainsi que les ONG humanitaires internationales. Le BNGRC dispose de démembrement dans toutes les unités administratives de Madagascar (figure 1).



**Figure 1** : Dispositif de gestion des risques et catastrophe à Madagascar (BNGRC, 2011)

L'évaluation des dégâts cycloniques est réalisée selon deux stratégies principales : le survol des zones sinistrées et l'Évaluation Rapide Multisectorielle (ERM). Ces évaluations sont effectuées par des équipes conjointes comprenant les différents groupes sectoriels. Le survol est réalisé dans les 24 à 48 heures suivant l'entrée d'un cyclone, d'une tempête ou d'une inondation, et vise à évaluer divers paramètres tels que les dégâts aux maisons, les inondations, l'état des voies d'accès, et la situation des personnes potentiellement en danger. L'ERM, quant à elle, est effectuée idéalement dans les 3 jours suivant le cyclone ou l'inondation, pour une durée de 3 à 4 jours. Elle permet de quantifier les dégâts par secteur, estimer les besoins urgents, planifier

les interventions et éventuellement lancer un appel à l'aide internationale et mobiliser des ressources si nécessaire (OCHA, 2022).

Cependant, malgré ces approches, il est souvent difficile de couvrir toutes les zones touchées par les cyclones, en raison de certaines limitations. Les survols sont basés sur des observations, ce qui peut entraîner des insuffisances dans l'estimation des superficies inondées. De plus, ils nécessitent des moyens importants pour couvrir de vastes étendues. Quant à l'ERM, certaines zones peuvent rester inaccessibles pendant plusieurs jours après le passage du cyclone, rendant impossible la réalisation de cette évaluation.

Face à ces difficultés, cette étude propose d'utiliser l'approche de la télédétection pour évaluer les dégâts, notamment sur les cultures, offrant ainsi une alternative prometteuse pour améliorer l'efficacité et la précision de l'évaluation des dégâts causés par les cyclones à Madagascar.

## **1.2. Cartographies des inondations et des dommages des cultures**

### **1.2.3. Cartographie des inondations de cultures**

L'évaluation des inondations de cultures repose sur différentes approches, dont les enquêtes ménages agricoles qui ont été traditionnellement utilisées pour estimer les superficies inondées suite à des événements météorologiques extrêmes. Cependant, l'avènement de l'imagerie satellitaire a ouvert de nouvelles perspectives en offrant une alternative plus rapide et moins coûteuse (Sawant et al., 2019). Grâce à la haute résolution temporelle de certains satellites, cette technologie permet un suivi (Wade et al., 2015) quasi-réel de la situation (Li et al., 2023 ; Sawant et al., 2019 ; Chowdhury & Hassan, 2017).

Pour cartographier les inondations, les chercheurs utilisent soit des images satellitaires optiques, soit des images radar à ouverture synthétique (SAR), voire les deux (Catry et al., 2020). Quel que soit le type d'imagerie, une approche diachronique est utilisée, consistant à comparer la situation avant et après l'événement cyclonique pour identifier les changements. Dans le cas des images radar, des seuils d'amplitude sont appliqués pour détecter les pixels en eau, comme l'ont réalisé Li et al. (2023), Catry et al. (2020), Randriamparany et al. (2019), Clement et al. (2018) et Trébossen (2002).

Pour les images optiques, deux indices de végétation peuvent être calculés. Le Normalized Difference Water Index (NDWI) développé par McFeeters (1996), et le Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) développé par Xu (2006) pour la détection des inondations en milieu artificialisé.

Des études de cas menées après les cyclones Haruna en 2013 et Enawo en 2017, par Catry et al. (2020) ont montré l'efficacité des images satellitaires pour cartographier les zones inondées et quantifier les impacts sur le terrain. Wade et al. (2015) ont pu cartographier des zones inondées au Sénégal entre 1999 et 2000 grâce à des images Spot 4 et Spot 5 en l'approche de classification de l'occupation. D'autres recherches, comme celles de Bofana et al. (2022) et Dadhich et al. (2019), ont également utilisé des données satellitaires pour cartographier les inondations avec une précision élevée au Mozambique et au Bangladesh. Dans la région sud-ouest du Bangladesh, Chowdhury & Hassan (2017) ont réalisé une cartographie de l'étendue des inondations sur les cultures en utilisant des images SAR (Synthetic Aperture Radar) de

RADARSAT. En combinant les données radar et optiques, il est possible d'obtenir une vision plus complète et plus précise des événements étudiés, comme le suggèrent [Li et al. \(2023\)](#). [Fidan et al. \(2023\)](#) ont développé une approche de modélisation des inondations avec le NDWI en utilisant les images disponibles de Planet Labs après l'ouragan Matthew de 2016.

Pour cette étude, nous allons utiliser les données SAR de Sentinel 1 pour l'estimation des superficies rizicoles inondées ainsi que les images optiques pour l'estimation de l'humidité du sol à travers l'indice NDWI.

### **1.2.2. Cartographie des dommages des cultures**

La cartographie des dommages des cultures bénéficie aussi des images satellitaires, en particulier des images optiques, qui permettent une évaluation rapide des dégâts causés par les catastrophes naturelles ([Chesnel et al., 2008](#)). Depuis l'apparition des satellites, près de quarante indices de végétation ont été développés pour surveiller les conditions des cultures ([Jackson et Huete, 1991](#) ; [Qi et al., 1994](#) ; [Bannari et al., 1995](#) ; [Campbell, 1987](#)), dont le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) est le plus populaire et le plus fréquemment utilisé par les chercheurs ([Wang et al., 2010](#)).

Pour évaluer les dommages consécutifs aux catastrophes naturelles, une approche diachronique est utilisée, impliquant une comparaison entre la situation avant et après la catastrophe. Plusieurs études ont mis en évidence l'efficacité de différents indices de végétation pour détecter les dommages dans divers contextes. Par exemple, [Wang et al. \(2010\)](#) ont réalisé une étude comparative de cinq indices de végétation après le passage de l'ouragan Katrina, mettant en avant le Normalized Difference Infrared Index (NDII) comme le plus performant pour détecter les dommages des végétations notamment pour les forêts. Grâce à l'utilisation d'images très haute résolution du satellite Pléiades, [Jolly et al. \(2015\)](#) ont réussi à réaliser une évaluation intra-parcellaire des forêts de feuillus d'un massif forestier touchées par une tempête en juin 2012.

D'autres recherches ont exploré des combinaisons d'indices pour estimer les dommages des cultures. [Shamsuzzoha et al. \(2021\)](#) ont combiné le NDVI, le Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) et le Soil moisture index (SMI) pour développer un indice composite pondéré en cinq classes, évaluant le degré de dommages après le cyclone Bulbul au Bangladesh. D'autres études se sont concentrées sur des cas spécifiques de catastrophes. Par exemple, [Bofana et al. \(2022\)](#) ont utilisé le NDVI pour suivre les conditions des cultures (maïs et riz) après le cyclone Idai dans la province de Sofala au Mozambique, révélant que les cultures pouvaient survivre même avec une durée d'inondation inférieure à 12 jours. [Li et al. \(2022\)](#) ont utilisé le NDVI pour estimer les superficies récupérées par les agriculteurs après les inondations dans le bassin du fleuve Yangtze-Huai. Dans le cas du cyclone Gaja en Inde, [Sawant et al. \(2019\)](#) ont estimé deux scénarios de dommages sur les cultures (riz et plantations de noix de coco) à l'aide de l'indice NDVI dérivé des observations de Sentinel-2.

Compte tenu des résultats prometteurs obtenus dans ces études, notre recherche se concentrera sur l'utilisation du NDVI, pour estimer les dommages des cultures suite aux passages des cyclones dans notre zone d'étude.

## Chapitre 2 : Zone d'étude, matériel et méthodes

### 2.1. Milieu d'étude

Mananjary, qui est la zone d'étude, est une commune côtière de l'est de Madagascar, située dans la province de Fianarantsoa, dans la région de Vatovavy et dans le district portant son nom (district de Mananjary). Suite au nouveau découpage administratif effectué en 2021, la ville de Mananjary est devenue le chef-lieu de la région de Vatovavy, qui est elle-même le résultat de la scission de la région Vatovavy-Fitovinany en deux (Figure 2). Mananjary présente un climat tropical chaud et humide. On y observe deux saisons, une saison des pluies de novembre à mai, avec des précipitations variant entre 1000 et 1500 mm par an. Le relief est principalement plat, avec des pentes vers l'est, légèrement accidenté avec quelques petites collines dans les zones occidentales. Le sol est généralement de type sablonneux, mais il contient également de l'humus dans les terrains marécageux et du sol ferrallitique dans la partie ouest. A l'instar de tout le pays, la culture du riz est la principale culture céréalière dans la zone d'étude (FAO, 2022). On y trouve également des cultures commerciales telles que le litchi, la mangue, le cocotier, le bananier, le caféier, le giroflier, le cannellier, etc. La commune de Mananjary, tout comme d'autres villes situées sur les côtes est de Madagascar, a été frappée par deux cyclones en février 2022. Ce sont le cyclone Batsirai qui a touché terre à Mananjary le 5 février 2022 et le cyclone Emnati qui a atterri à Manakara le 22 février 2022. Ces deux cyclones ont causé de nombreux dégâts dans différents secteurs. Cependant, notre analyse s'est spécifiquement concentrée sur les dommages agricoles à Mananjary.

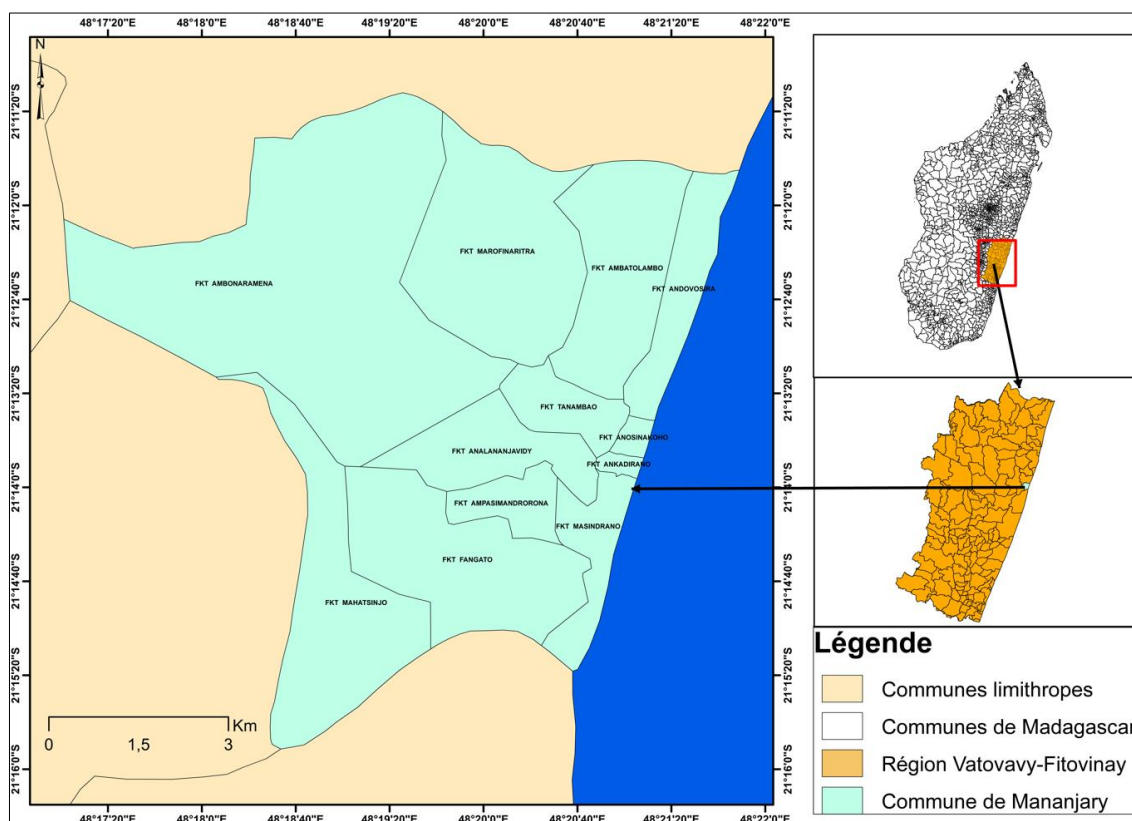


Figure 2 : Carte de la commune de Mananjary

## 2.2. Cartographie des inondations dans les rizières après les cyclones

### 2.2.1. Matériel

#### 2.2.1.1. Données satellitaires

Dans cette étude, des images satellitaires ont été utilisées, notamment des images Synthetic Aperture Radar (SAR) ou Radar à Synthèse d'Ouverture (RSO), ainsi que des images optiques. Les images SAR proviennent du satellite Sentinel 1, tandis que les images optiques proviennent du satellite Sentinel 2. Ces images sont mises à disposition gratuitement dans le cadre du programme Copernicus par l'Agence Spatiale Européenne. Elles peuvent être obtenues sur le site de Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/home>) ou sur le site d'exploitation des produits Sentinel (PEPS) du CNES (<https://peps.cnes.fr/rocket/#/>) (Cazals, 2018 ; Geudtner et al., 2014). Les images sont aussi accessibles sur la plateforme DIAS (<https://www.copernicus.eu/fr/acces-aux-donnees/dias>).

##### 2.2.1.1.1. Images radar de Sentinel 1

Le satellite Sentinel 1 utilise la technologie Radar à Synthèse d'Ouverture (RSO) en bande C ( $\lambda=5,6$  cm) pour acquérir des images. Il offre trois types de produits : le Single Look Complex (SLC), le Ocean (OCN) et le Ground Range Detected (GRD). Ces produits sont obtenus à partir de l'un des quatre modes d'acquisition : Stripmap (SM), Interferometric Wide swath (IW), Extra-Wide swath (EW) et Wave (WV). Le mode IW en Terrain Observation with Progressive Scans SAR (TOPSAR) fournit des images de surveillance du sol (Geudtner et al., 2014). Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé ce dernier mode d'acquisition.

Pour les études sur les inondations, plusieurs auteurs ont utilisé les images radar de Sentinel 1 en polarisation Vertical-horizontal (VH). Cependant, Clément et al. (2018) ont observé que les images en polarisation vertical-vertical (VV) présentaient moins d'erreurs de classification des zones inondées. Dans cette étude, les images des deux types de polarisation (VH et VV), pré et post-cycloniques, ont été utilisées en raison de leur complémentarité (Tableau 1).

**Tableau 1** : Caractéristiques des images RSO Sentinel 1

| Mode   | Interférométrique large fauchée IW |
|--|------------------------------------|
| Polarisation                                       | VV/VH                              |
| Orientation de l'orbite                            | Descendante                        |
| Types de données                                   | Ground Range Detected (GRD)        |
| Résolution spatiale                                | 10 m                               |
| Période image avant cyclone (période de référence) | 25/01/2022 au 04/02/2022           |
| Période image post-cyclone Batsirai                | 07/02/2022 au 16/02/2022           |
| Période image post-cyclone Emnati                  | 23/02/2022 au 02/03/2022           |

### 2.2.1.1.2. Images optiques de Sentinel 2

Le satellite Sentinel 2 est équipé d'un capteur multi-spectral appelé MultiSpectral Instrument (MSI), qui permet de capturer des images dans différentes longueurs d'onde. Grâce à ses 13 bandes, ce capteur MSI offre la possibilité de calculer des indices spectraux en combinant différentes longueurs d'onde, permettant ainsi l'étude de paramètres d'intérêt tels que la végétation, le sol, l'eau, la pollution, etc (Cazals, 2018). Pour ce faire, une collection d'images optiques provenant du satellite Sentinel 2 couvrant la période pré-cyclonique couvrant la période du 17/01/2022 au 02/02/2022 a été acquise (Tableau 2). Ces images ont servi de support pour la classification de l'occupation des sols.

**Tableau 2** : Caractéristiques de la collection d'images Sentinel 2 pré-cyclonique

| Capteur multi-spectral  | MultiSpectral Instrument (MSI) |
|---|--------------------------------|
| Résolution spatiale (m)   | 10 m                           |
| Période de collection d'images pré-cyclones (période de référence) avec 10% de taux de couverture nuageuse. | 17/01/2022 au 02/02/2022       |
| Bandes utilisées  | Bande 2 : bleu                 |
|   | Bande 3 : vert                 |
|   | Bande 4 : rouge                |
|   | Bande 8 : proche infrarouge    |

### 2.2.1.2. Outils de traitement

La Plateforme Google Earth Engine est un service cloud développé par Google pour le traitement et l'analyse d'images géospatiales. Grâce à cette plateforme, nous avons pu accéder et télécharger des images satellitaires, et effectuer diverses opérations de traitement. Parallèlement, le logiciel ArcGIS a été utilisé pour la visualisation des cartes et leur mise en page. En outre, nous avons utilisé un Global Positioning System (GPS) de type *Garmin* pour collecter les coordonnées de points sur le terrain.

### 2.2.2. Méthodes de traitement

La section méthodologique dédiée à la détection des superficies rizicoles inondées se divise en deux parties distinctes. La première partie concerne la classification de l'occupation du sol, qui vise à identifier les zones où le riz a été cultivé pendant la saison 2021-2022. La seconde partie traite de l'approche adoptée pour détecter les inondations survenues après les cyclones.

#### 2.2.2.1. Classification de l'occupation de sol

Les opérations de classification ont été réalisées sur la plateforme Google Earth Engine (GEE). Dans cette étude, la méthode de la forêt aléatoire (Random forest en anglais) a été employée pour réaliser la classification l'occupation du sol notamment les terres cultivées. Ces terres



cultivées correspondent à des parcelles d'au moins 0,25 hectare, avec une largeur minimale de 30 mètres, qui sont ensemencées, plantées et récoltées au moins une fois dans les 12 mois suivant leur ensemencement ou leur plantation (Waldner et al., 2016). Une étude comparative menée par Bofana et al. (2020) a démontré que la méthode de la forêt aléatoire était plus robuste que d'autres approches telles que la machine à vecteurs de support (SVM), la distance minimale (MD) et l'arbre de classification et de régression (CART) pour la classification des terres cultivées. La forêt aléatoire est un classificateur composé d'une collection d'arbres de décision, où chaque arbre émet un vote unitaire pour la classe la plus fréquente en fonction des caractéristiques d'entrée (Breiman, 1999).

Pour mettre en œuvre cette technique de classification des terres, il est nécessaire d'utiliser des zones d'entraînement ou des points d'entraînement. Dans cette étude, des points d'entraînement ont été utilisés, et 1223 points représentant différentes classes d'occupation du sol dans la commune de Mananjary ont été collectés. La collecte de ces points d'entraînement a été réalisée en utilisant des images à haute résolution de Google Earth datant de juillet 2021, ainsi que la carte d'occupation des sols de l'Agence Spatiale Européenne. Des relevés sur le terrain ont également été effectués, en particulier pour la catégorisation des terres cultivées en riz. Pour l'entraînement de l'algorithme, 70% des points ont été utilisés, tandis que les 30% restants ont servi à évaluer la précision de la classification (Taromideh et al., 2022). La classification des terres a été effectuée à l'aide de l'image Sentinel 2 couvrant la période du 17/01/2022 au 02/02/2022.

#### **2.2.2.2. Processus de traitement des images Sentinel 1**

Toutes les étapes du processus de traitement ont été réalisées sur la plateforme Google Earth Engine. Pour cartographier les rizières inondées à la suite des cyclones, nous avons utilisé des images radar Sentinel-1 pré-cycloniques et post-cycloniques. Les images radar pré-cycloniques, couvrant la période du 25/01/2022 au 04/02/2022, ont été utilisées comme référence pour évaluer l'état des étendues d'eau avant les cyclones. Les images radar post-cyclones, couvrant le 07/02/2022 au 16/02/2022 pour le cyclone Batsirai et du 23/02/2022 au 02/03/2022 pour le cyclone Emnati, ont été employées pour observer les zones inondées après chaque cyclone. Nous avons filtré ces images en fonction des dates pour obtenir des ensembles d'images avant et après chaque cyclone, pour les deux polarisations (VV et VH).

Afin d'améliorer la qualité des images, nous avons créé des mosaïques pour les images VV et VH en utilisant les collections d'images filtrées pour chaque période avant et après les cyclones. Ces mosaïques ont été limitées à la zone d'étude définie par la commune de Mananjary, garantissant ainsi une vue cohérente de la région d'intérêt. Ensuite, pour réduire le bruit dans les images VV et VH, nous avons appliqué un filtre de lissage (moyenne focale) à chaque image mosaïquée. Cela a amélioré la netteté des images, favorisant une analyse plus précise.

La détection des zones inondées a été effectuée en calculant la différence pixel par pixel entre les images filtrées avant et après chaque cyclone, pour les bandes VV et VH respectivement. Nous avons utilisé un seuillage, définissant un seuil de rétrodiffusion à 1,25 dB (Erika Podest, 2019). Ainsi, les pixels présentant des valeurs de rétrodiffusion supérieures à ce seuil ont été considérés comme des zones inondées. Pour tirer parti de la complémentarité des bandes VH et

VV dans la détection des zones inondées, nous avons fusionné les zones inondées détectées par chaque type de polarisation, créant ainsi une seule image globale des zones inondées.

Pour minimiser la surestimation de l'étendue de l'eau due aux similitudes entre la rétrodiffusion radar sur les surfaces d'eau libre et de sable, nous avons superposé l'image NDVI de la classe Riz dérivée des données optiques avec les étendues d'eau extraites des images radar (Bofana et al., 2022). Cette approche nous a permis de délimiter les parties d'eau présentes dans les parcelles rizicoles. Enfin, en superposant la carte des portions inondées dans les parcelles rizicoles avec celle de la classe riz, nous avons obtenu la carte finale des parcelles rizicoles inondées après chaque cyclone. La figure 3 illustre en détail les étapes du traitement des images.

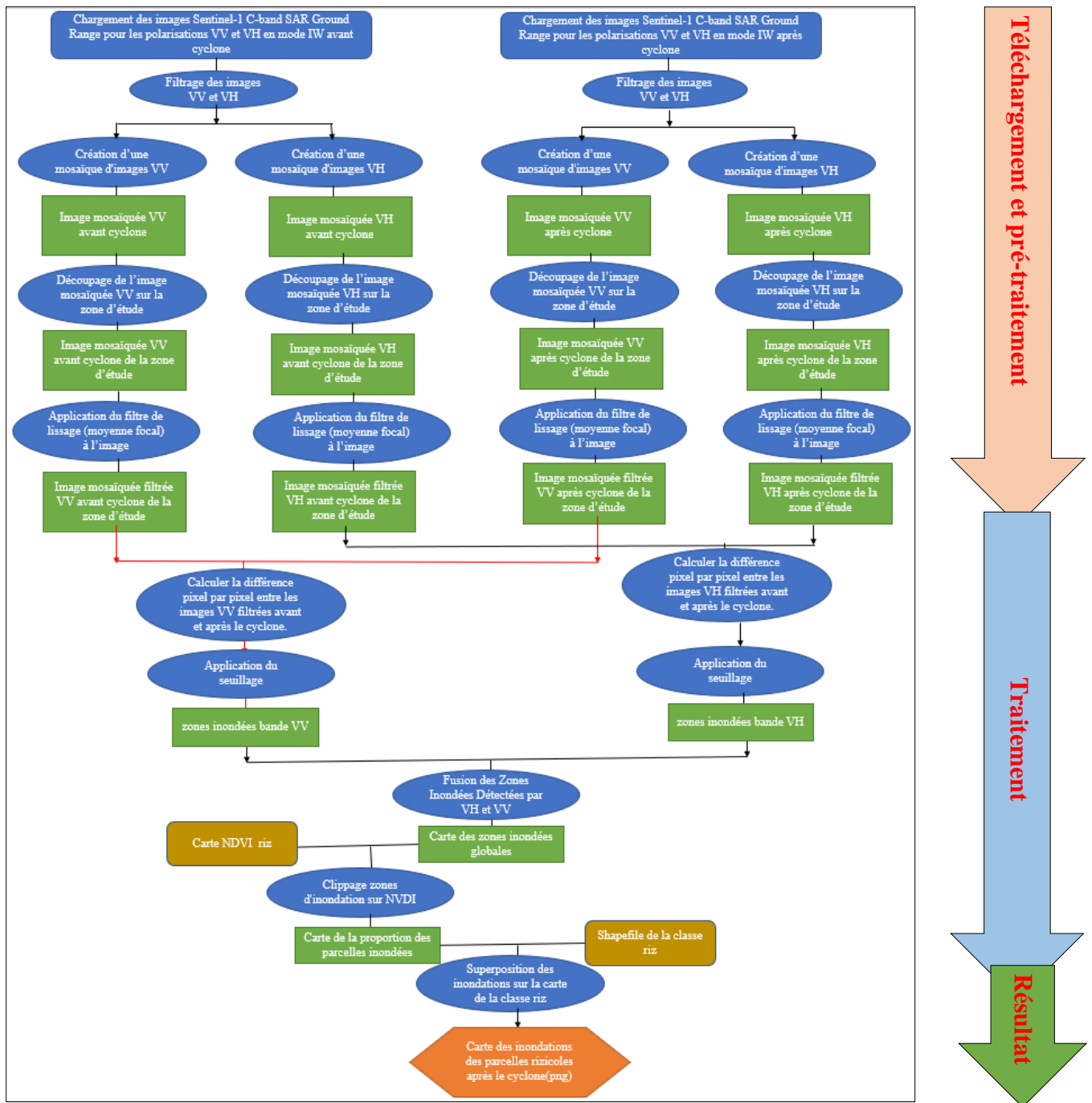


Figure 3 : Schémas des opérations images Sentinel 1



### 2.2.2.3. Validation des résultats

Comme cette étude a été menée de manière rétrospective, nous avons validé les résultats en effectuant des visites sur le terrain et en menant des entretiens avec les agriculteurs ainsi que le responsable du service technique de l'agriculture et de l'élevage de la commune de Mananjary. Ces échanges nous ont permis de confirmer les zones de culture du riz qui ont été inondées suite au passage des cyclones. Cette démarche sur le terrain a considérablement renforcé la fiabilité et la pertinence de nos conclusions, car elle nous a permis d'obtenir des informations directes provenant des personnes ayant vécu les deux événements cycloniques en février 2022.

## 2.3. Estimation des dommages des cultures du riz après les cyclones

### 2.3.1. Matériel

#### 2.3.1.1. Images optiques de Sentinel 2

Dans le cadre de cette évaluation des dommages cycloniques sur les cultures, notamment le riz, ainsi que des propriétés physiques du sol, nous avons utilisé des images optiques multispectrales du satellite Sentinel 2. Ces images ont couvert à la fois la période pré-cyclonique et post-cyclonique. Pour l'analyse pré-cyclonique, nous avons utilisé l'image déjà employée pour la classification de l'occupation des sols, couvrant la période du 17/01/2022 au 02/02/2022. Cependant, en raison de la sensibilité des images optiques à la présence de nuages, il n'a pas été possible d'obtenir des images immédiatement après chaque passage de cyclone. Par conséquent, nous n'avons pas pu effectuer une évaluation immédiate après chaque événement cyclonique. La première collection d'images optiques de Sentinel 2 disponibles après les passages des cyclones avec un taux de couverture nuageuse de seulement 10% correspond à la période du 10/03/2022 au 20/03/2022 (Tableau 2). Ces images ont constitué le matériel de base pour notre évaluation visant à analyser les dommages causés par les cyclones sur les cultures et les propriétés physiques du sol sur la période mentionnée.

**Tableau 3** : Caractéristiques de la collection d'images Sentinel 2 post-cycloniques

| Capteur multi-spectral  | Multi-spectral Instrument (MSI) |
|---|---------------------------------|
| Résolution spatiale (m)   | 10 m                            |
| Période de collection d'images pré-cyclones (période de référence) avec 10% de taux de couverture nuageuse. | 17/01/2022 au 02/02/2022        |
| Période de collection d'images post-cyclones avec 10% de taux de couverture nuageuse.                       | 15/03/2022 au 20/03/2022        |
| Bandes utilisées  | Bande 3 : vert                  |
|   | Bande 4 : rouge                 |
|   | Bande 8 : infrarouge proche     |

### 2.3.1.2. Outils de traitement

Les outils mentionnés dans le premier point sont également ceux utilisés ici (cf section 2.2.1.2.).

## 2.3.2. Méthodes

### 2.3.2.1. Indices de végétation

Pour étudier les propriétés biophysiques des cultures et du sol après les cyclones, nous avons utilisé deux indices spécifiques : l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) et l'Indice Normalisé de Différence d'Eau (NDWI). Ces indices ont été employés pour analyser respectivement les dommages subis par les cultures de riz, ainsi que l'humidité en eau du sol. Nous avons comparé ces indices avant et après les cyclones afin de mettre en évidence les anomalies potentielles.

#### 2.3.2.1.1. Indice de végétation par différence normalisée (NDVI)

Le NDVI, un indice largement utilisé par de nombreux chercheurs pour évaluer les conditions de végétation, a été développé par [Rouse et al. \(1974\)](#). Il est obtenu en normalisant la différence entre la réflectance maximale et minimale de la végétation ([Didan et al., 2019](#)). Ce paramètre est particulièrement utile pour détecter des changements dans l'état des cultures à la suite de catastrophes. Le calcul du NDVI se fait en prenant la différence normalisée entre la proportion de réflectance de la végétation dans le proche infrarouge (NIR) et le rouge (Red) selon l'équation suivante (Equation 1) :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad (\text{Equation 1})$$

Dans cette étude, nous avons procédé au calcul du NDVI avant les cyclones (NDVI<sub>av</sub>) ainsi que du NDVI après les cyclones (NDVI<sub>ap</sub>). Ensuite, nous avons déterminé la différence entre ces deux valeurs (NDVI<sub>diff</sub>) dans le but de mettre en évidence les dommages causés par les cyclones (Equation 2) :

$$\text{NDVI}_{\text{diff}} = \text{NDVI}_{\text{ap}} - \text{NDVI}_{\text{av}} \quad (\text{Equation 2})$$

Cette différence NDVI<sub>diff</sub> a été catégorisée en 6 classes suivant les valeurs du NDVI ([Di et al., 2018](#)) :

- NDVI ≥ 0 : aucun dommage ;
- 0 > NDVI ≥ -0,1 : dommage léger ;
- 0,1 > NDVI ≥ -0,2 : dommage modéré ;
- 0,2 > NDVI ≥ -0,3 : dommage grave ;
- 0,3 > NDVI ≥ -0,4 : dommage extrême et
- NDVI < -0,4 : dommage exceptionnel.

Ces catégories nous ont permis de classifier les niveaux de dommages sur les cultures du riz après les cyclones en fonction des variations du NDVI.

### 2.3.2.1.2. Indice Normalisé de Différence d'Eau (NDWI).

Le NDWI est un indice largement employé pour la détection des plans d'eau et des zones humides (McFeeters, 1996). Tout comme le NDVI, le NDWI est calculé en réalisant la différence normalisée entre les valeurs de réflectance dans le proche infrarouge (NIR) et dans le vert (Green), selon l'équation 3 :

$$\mathbf{NDWI} = \frac{\mathbf{NIR - Green}}{\mathbf{NIR + Green}} \quad (\text{Equation 3})$$

De manière analogue au NDVI, nous avons effectué le calcul du NDWI avant les cyclones (NDWIav) ainsi que du NDWI après les cyclones (NDWIap). Ensuite, nous avons établi la différence entre ces deux valeurs (NDWIdiff) (Equation 4) afin de mettre en évidence les variations d'humidité suite aux cyclones. Cette différence NDWIdiff nous a permis de mettre en évidence les fluctuations d'humidité des parcelles rizicoles consécutivement aux cyclones, en comparant leur état avant et après ces événements cycloniques.

$$\mathbf{NDWIdiff} = \mathbf{NDWIap} - \mathbf{NDWIav} \quad (\text{Equation 4})$$

### 2.3.2.2. Processus de traitement des images Sentinel 2

Pour préparer les images Sentinel-2 en vue de calculer les indices de végétation, nous avons suivi un processus de prétraitement détaillé sur la plateforme Google Earth Engine (GEE). Tout d'abord, nous avons créé deux collections d'images Sentinel-2 en filtrant les images acquises pendant la période pré-cyclonique du 17 janvier 2022 au 4 février 2022, ainsi que pendant la période post-cyclonique du 10 au 20 mars 2022. Ensuite, nous avons effectué un filtrage supplémentaire en éliminant toutes les images présentant un pourcentage de couverture nuageuse supérieur à 10%. Pour cela, nous avons utilisé le filtre *ee.Filter.lt* ('CLOUDY\_PIXEL\_PERCENTAGE', 10). Une étape cruciale consistait à masquer les pixels couverts par les nuages pour obtenir des images sans nuages. Pour cela, nous avons appliqué la fonction de masquage des nuages *maskS2clouds* à chaque image. Cette fonction utilise la bande de qualité QA60 de chaque image pour identifier les pixels couverts par des nuages. Les pixels ayant les bits 10 et 11 de la bande QA60 définis à 1 sont considérés comme étant couverts par des nuages et sont donc masqués dans l'image résultante. Après avoir masqué les nuages dans toutes les images de chaque collection, nous avons calculé la médiane de ces images masquées pour obtenir une image composite (Bofana et al., 2020) de la période pré-cyclonique et de la période post-cyclonique. Ces images composites sont dépourvues de nuages, ce qui est essentiel pour une analyse fiable des changements. Ces images composites ont ensuite été utilisées comme images de référence pour les calculs des indices de végétation (NDVI, NDWI). Nous avons sélectionné les bandes d'intérêt pour chaque indice et appliqué les opérations mentionnées au point précédent pour obtenir les résultats.

Les différentes étapes réalisées pour aboutir à la carte des indices de végétation mettant en évidence les changements sont consignées dans le schéma des opérations (figure 4).

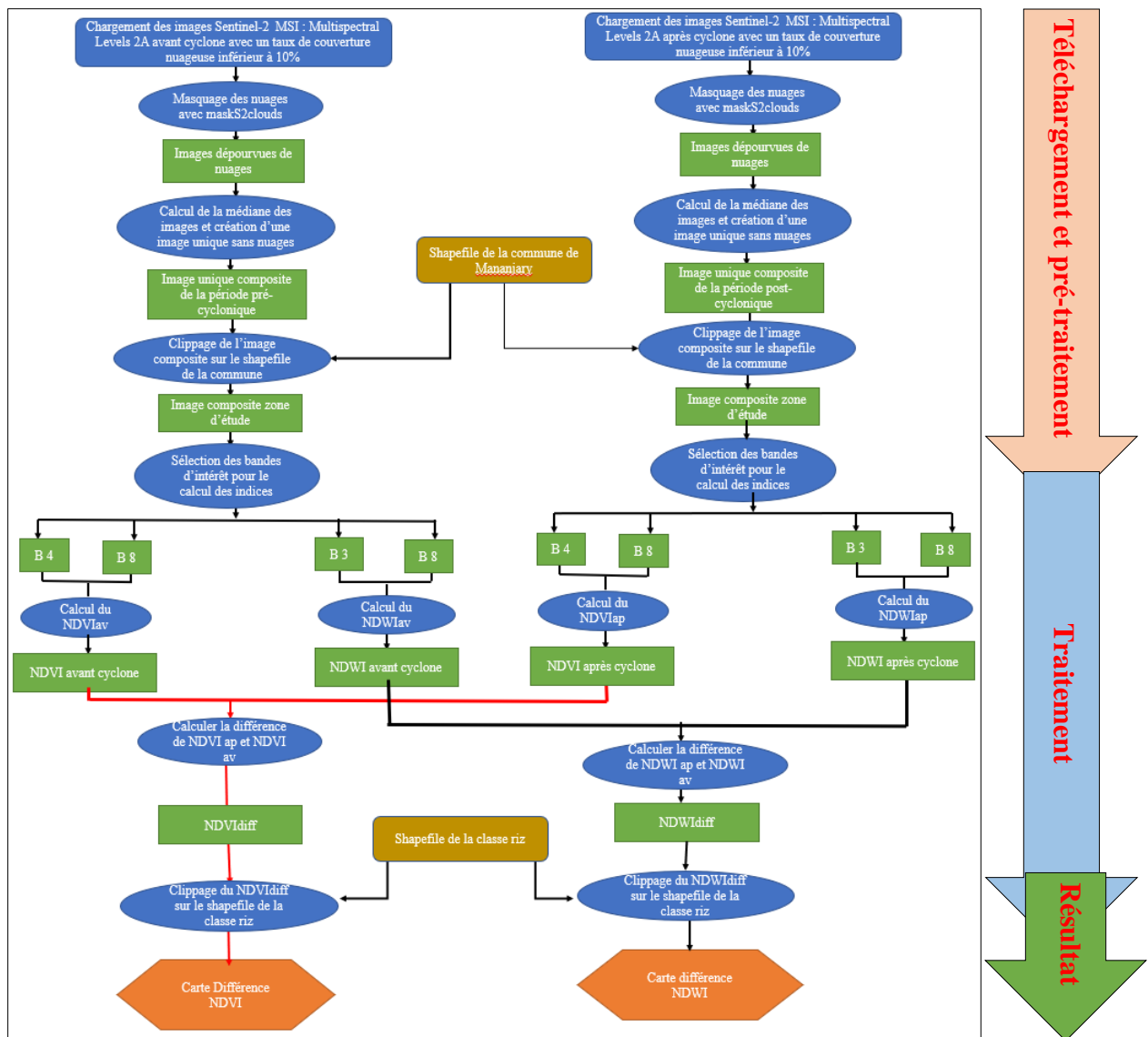


Figure 4 : Schémas des opérations images Sentinel 2

### 2.3.2.3. Validation des résultats

Comme évoqué précédemment, nous avons validé les résultats concernant les dommages aux cultures et les variations d'humidité du sol en conduisant des entretiens avec les agriculteurs et le responsable du service technique de l'élevage et de l'agriculture de la commune de Mananjay. Ces échanges nous ont permis de corroborer les dommages sur les cultures notamment le riz et les variations d'humidité du sol suite aux cyclones.

## **2.4. Pratiques agricoles endogènes résilientes**

### **2.4.1. Matériel**

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons utilisé la plateforme Kobotoolbox pour créer un questionnaire d'enquête numérique (annexe 2), et l'application Kobocollect a été utilisée pour la collecte numérique de données auprès de 198 agriculteurs dans la commune de Mananjary. Les informations recueillies ont principalement porté sur les cultures, l'étendue des dommages subis et les causes de ces dommages. Une fois les données collectées, nous les avons traitées à l'aide du logiciel R. De plus un guide a été utilisé pour des entretiens portant sur les dommages, les spéculations et les plantations et les pratiques endogènes résilientes.

### **2.4.2. Méthode de collecte**

La méthode de collecte que nous avons utilisée consiste en des entretiens directs avec les agriculteurs. Cette approche nous a permis de recueillir efficacement les informations auprès d'eux. De plus, pour obtenir des informations spécifiques sur les dommages, nous avons également réalisé des entretiens avec le Directeur régional de l'agriculture et l'élevage de Vatovavy-Fitovinay, ainsi qu'avec le responsable du service technique de l'agriculture et de l'élevage de la commune de Mananjary. Ces échanges supplémentaires nous ont permis d'obtenir des informations plus complètes sur l'impact des cyclones sur l'agriculture dans la région étudiée.

### **2.4.3. Méthodes de traitement**

Pour analyser les données d'enquête, nous avons utilisé une régression logistique binaire pour explorer la sensibilité des cultures et plantation vis-à-vis des inondations et des vents violents accompagnant les cyclones. Cette procédure a été réalisée à l'aide de la fonction *glm* (modèle linéaire généralisé). Ensuite, nous avons obtenu les variables significatives par une analyse de variance à l'aide du package, *car*. De plus, les odds ratios pour les modèles ont été calculés à partir des coefficients de régression en utilisant le package *questionr*. Parallèlement, des statistiques descriptives ont été effectuées pour les variables relatives aux pratiques endogènes résilientes.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Cartographie des inondations dans les rizières après les cyclones

##### 3.1.1.1. Classification de l'occupation du sol

Les résultats de la classification montrent six classes d'occupation de sol à Mananjary : Eau, Bâti, Riz, Forêt, Pâturage et Sol nu (Figure 4). La précision globale de la classification est de 88%, avec un indice Kappa de 84%. Ces résultats témoignent d'une concordance satisfaisante entre les observations réelles et les prédictions faites par l'algorithme. La matrice de confusion de la classification est présentée en annexe 1 pour plus de détails.

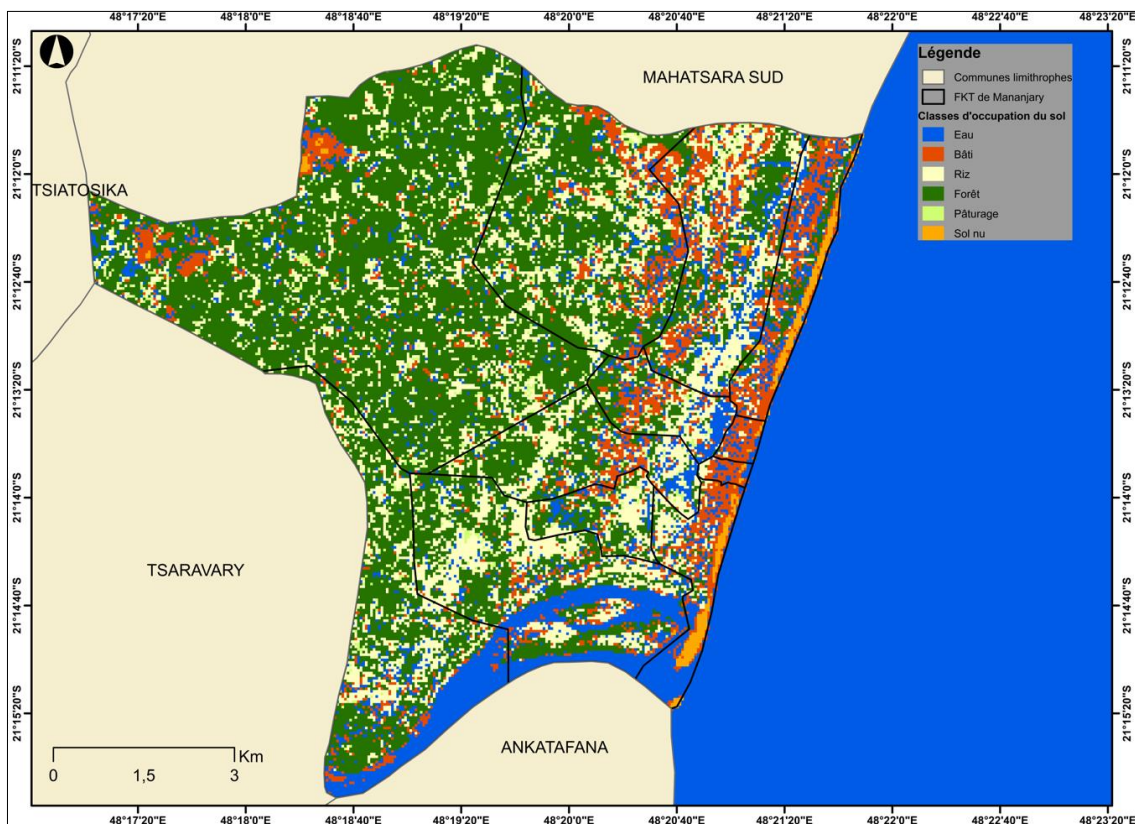


Figure 5 : Carte de l'occupation des sols

### 3.1.1.2. Situation des inondations après les cyclones Batsirai et Emnati

Après les événements cycloniques, une comparaison entre les images Sentinel 1 avant et après a révélé que les rizières dans la commune de Mananjary ont été affectées par des inondations. Les résultats ont montré que les inondations étaient plus prononcées après le passage du cyclone Batsirai le 5 février 2022. La superficie inondée s'est élevée à environ 193,7 hectares, représentant environ 23% de la superficie totale en riz (Figure 5 : A). En revanche, lors du passage du cyclone Emnati le 22 février 2022, les rizières inondées ont été moins étendues. La superficie inondée a été estimée à environ 80,3 hectares, soit environ 9% de la superficie totale en riz (Figure 5 : B). Ces observations soulignent l'impact différencié des deux cyclones sur les inondations des champs de riz dans la commune de Mananjary.

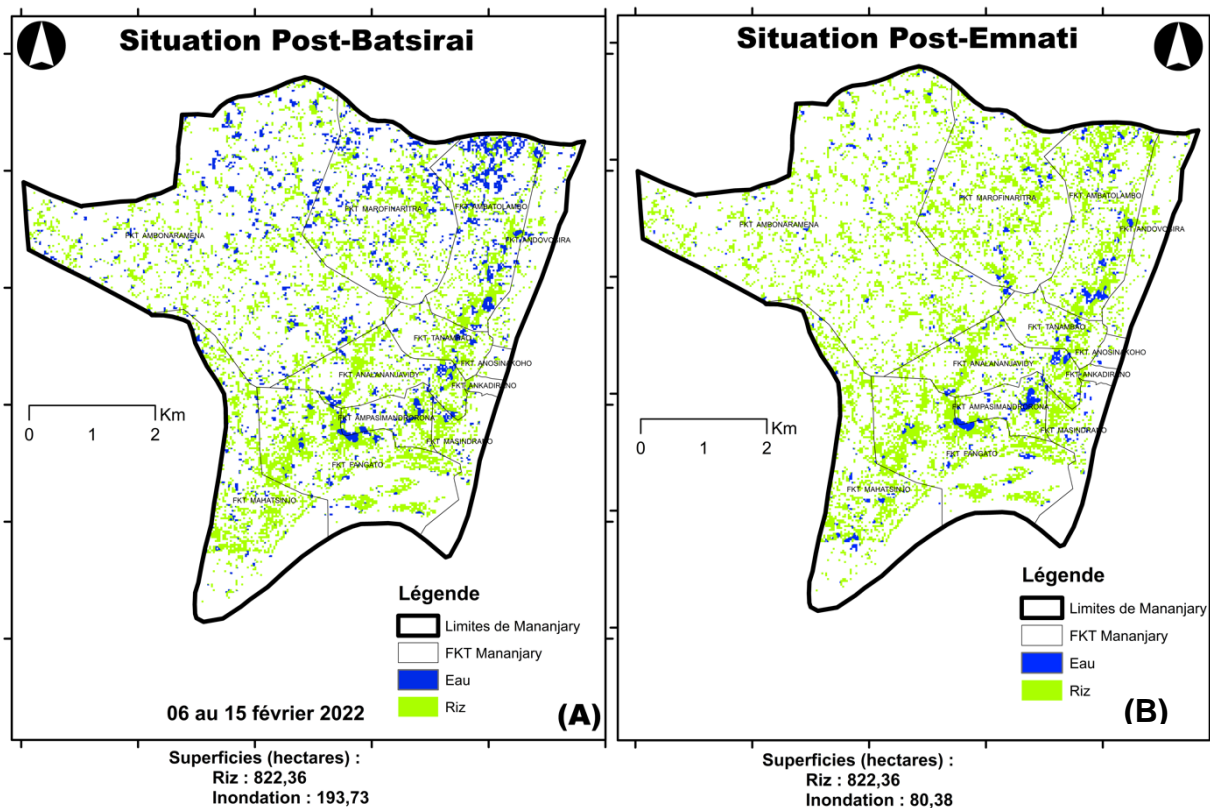


Figure 6 : Inondation après les cyclones Batsirai (A) et Emnati (B)

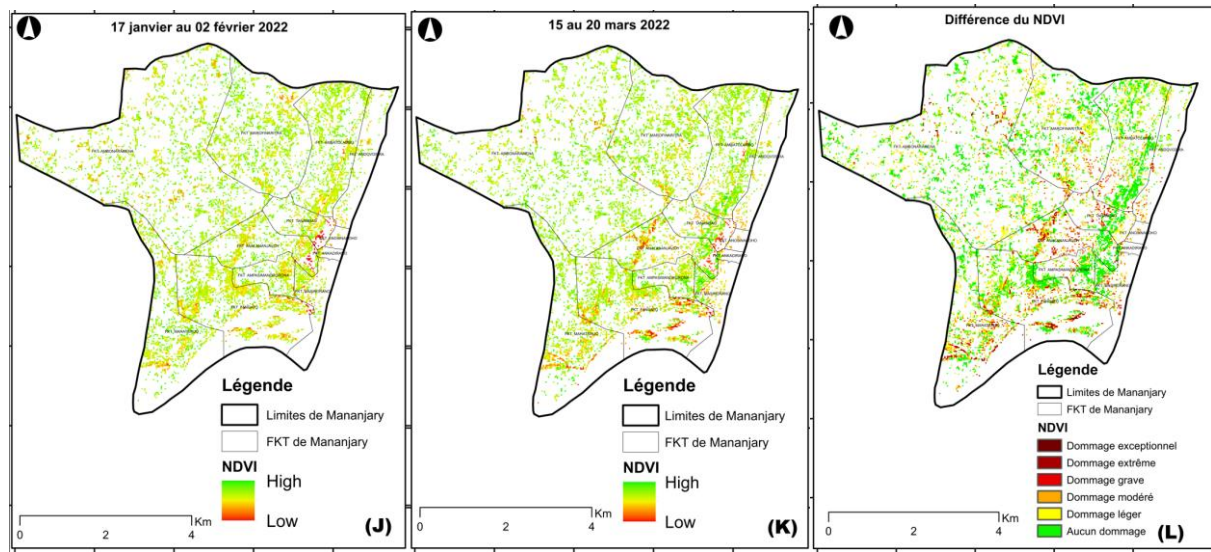
### 3.1.2. Estimation des dommages des cultures du riz après les cyclones

#### 3.1.2.1. Indice de végétation par différence normalisée (NDVI)

En comparant les cartes de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) avant (figure : J) et après (figure 6 : K) les cyclones dans les zones cultivées en riz pour la campagne 2021-2022, nous avons observé des anomalies significatives (figure 6 : L). Les cyclones ont eu un impact notable sur les superficies rizicoles de tous les fokontany. Les dégâts sont particulièrement importants dans les fokontany de Mahatsinjo, de Fantago, de Marofinaritra, de Tanambao et d'Analananjavidy (figure 6 : L). L'évaluation des superficies des différentes classes de dommages montre qu'environ 380,4 ha de riz n'ont pas été affectées de manière apparente, ce qui indique une certaine résilience des cultures de riz dans ces zones face aux événements cycloniques. Cependant, une partie des rizières environ 437,3 ha, soit 53,4% ont



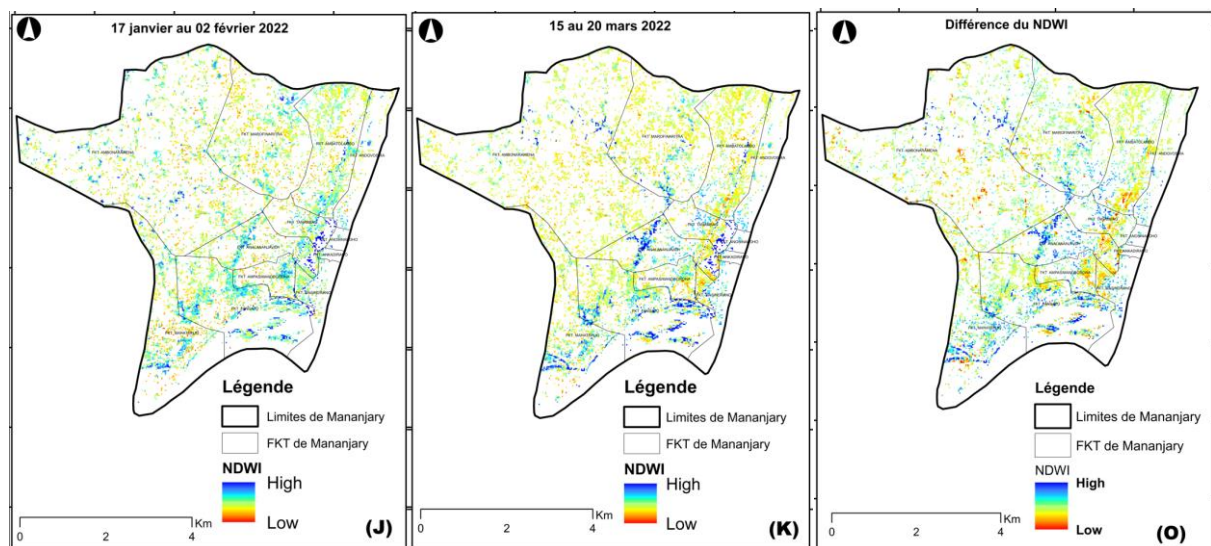
subi des dommages allant de légers (269 ha) à graves (44,8 ha), et dans certains cas, les dégâts ont été qualifiés d'extrêmes (20,7 ha) voire exceptionnels (0,6 ha).



**Figure 7 :** Indice NDVI avant les cyclones (J), Après les cycles (K) et Différence NDVI (L).

**3.1.2.2. Indice Normalisé de Différence d'Eau (NDWI).**

Les résultats de l'Indice Normalisé de Différence d'Eau (NDWI) révèlent des variations significatives de l'humidité avant (figure 7 : M) et après (figure 7 : N) les cyclones. La carte des anomalies (figure 7 : L) met en évidence de nombreuses parcelles rizicoles dans les fokontany de Mahatsinjo, de Fantago, de Marofinaritra, de Tanambao, d'Analananjavidy et d'Andonaramena présentant une forte humidité, voire des zones inondées, suite aux effets des cyclones.



**Figure 8 :** NDWI avant les cyclones (M), Après les cyclones (N) et Différence NDWI (O)



### 3.1.2.3. Déterminants des dommages des cultures et plantations

#### 3.1.2.3.1. Inondations

Les résultats de l'analyse révèlent des liens significatifs entre les événements d'inondation et de vent et les dommages subis par les cultures. Plus précisément, les cultures telles que les Autres cultures vivrières, les Cultures maraîchères, la Patate douce et le Riz présentent des rapports de cotes (OR) significativement différents de 1 (17,1 ; 28,5 ; 99,75 et 172,58 respectivement) avec des valeurs de p associées inférieures à 0,05. Ces résultats suggèrent que ces cultures sont susceptibles d'être affectées par l'inondation. En revanche, les cultures telles que Bananier, Fruits à pain, Girofler et Vanillier affichent des rapports de cotes proches de 1, avec des valeurs de p associées supérieures à 0,05. Cela indique que ces cultures ne sont pas susceptibles d'être significativement affectées par l'inondation (Tableau 3).

**Tableau 4 : Vulnérabilité des cultures à l'inondation**

| <b>Effet de l'inondation</b>     |           |                |            |
|----------------------------------|-----------|----------------|------------|
| <b>Cultures/Plantations</b>      | <b>OR</b> | <b>P value</b> | <b>Sig</b> |
| <b>Autres cultures vivrières</b> | 17,1      | 0,0023         | **         |
| <b>Bananier</b>                  | 0,76      | 0,7929         |            |
| <b>Caféier</b>                   | 0,000     | 0,9906         |            |
| <b>Cultures maraîchères</b>      | 28,5      | 0,0147         | *          |
| <b>Fruits à pain</b>             | 0,79      | 0,8551         |            |
| <b>Girofler</b>                  | 0,59      | 0,6817         |            |
| <b>Litchi</b>                    | 0,000     | 0,9934         |            |
| <b>Manioc</b>                    | 3,85      | 0,0935         |            |
| <b>Patate douce</b>              | 99,75     | 0,000          | ***        |
| <b>Riz</b>                       | 172,58    | 0,000          | ***        |
| <b>Vanillier</b>                 | 0,000     | 0,9928         |            |

\*\*\* 0,001; \*\* 0,01; \*0,05

#### 3.1.2.3.2. Vents violents

En ce qui concerne le vent, les Autres cultures vivrières, la Patate douce et le Riz ont des valeurs de rapport de cotes (OR) très faibles (0,07, 0,01 et 0,06 respectivement), accompagnées de p-values associées de 0,019, 0,000 et 0,006, toutes trois inférieures à 0,05. Ces résultats indiquent que ces cultures ont une probabilité très faible d'être affectées par le vent. En revanche, bien que ne présentant pas d'association significative, les cultures telles que le Bananier, le Caféier,

le Giroflier et le Litchi ont des valeurs de rapport de cotes élevées, ce qui suggère que ces cultures pourraient être plus susceptibles d'être endommagées par le vent (Tableau 4).

**Tableau 5 : Vulnérabilité des cultures au vent**

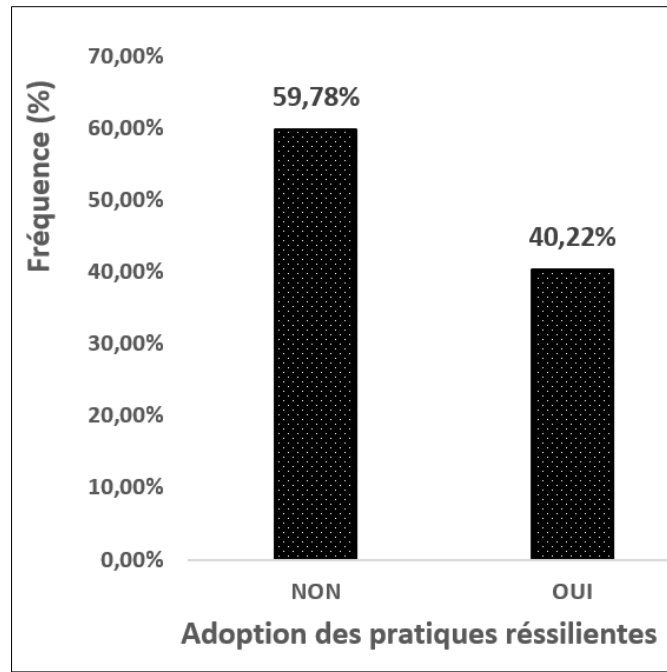
| <b>Effet du vent</b>             |            |                |            |
|----------------------------------|------------|----------------|------------|
| <b>Cultures/Plantations</b>      | <b>OR</b>  | <b>P value</b> | <b>Sig</b> |
| <b>Autres cultures vivrières</b> | 0,07       | 0,019          | **         |
| <b>Bananier</b>                  | 5782439,64 | 0,99           |            |
| <b>Caféier</b>                   | 5782439,66 | 0,991          |            |
| <b>Cultures maraîchères</b>      | 0,15       | 0,219          |            |
| <b>Fruit à pain</b>              | 0,60       | 0,727          |            |
| <b>Giroflier</b>                 | 5782439,64 | 0,992          |            |
| <b>Litchi</b>                    | 5782439,66 | 0,994          |            |
| <b>Manioc</b>                    | 0,82       | 0,864          |            |
| <b>Patate douce</b>              | 0,01       | 0,00           | ***        |
| <b>Riz</b>                       | 0,06       | 0,006          | **         |
| <b>Vanillier</b>                 | 0,60       | 0,727          |            |

\*\*\* 0,001; \*\* 0,01; \*0,05

### 3.1.3. Pratiques agricoles endogènes résilientes

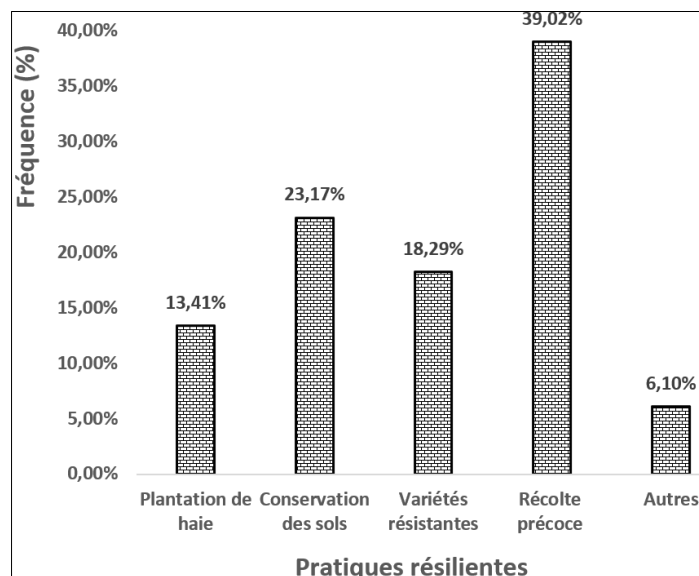
#### 3.1.3.3. Pratiques résilientes

Les résultats indiquent que près de deux agriculteurs sur cinq (2/5) ont déclaré utiliser des pratiques résilientes pour faire face aux cyclones (figure 8). Différentes approches sont utilisées par les agriculteurs pour renforcer leur résilience.



**Figure 9** : Taux d'utilisation des pratiques endogènes résilientes

Les pratiques les plus couramment utilisées, par ordre d'importance, sont la Récolte précoce, la Conservation des sols, l'utilisation de Variétés résistantes, la Plantation de haie, ainsi que d'autres pratiques non spécifiées (Figure 9). Parmi ces autres pratiques figurent notamment le Drainage des champs et le Receppe des arbres.



**Figure 10** : Importance des types de pratiques

## 3.2. Discussion des résultats

### 3.2.1. Cartographie des inondations dans les rizières après les cyclones

L'analyse des images radar de Sentinel 1 avant et après les événements cycloniques a permis de constater que les rizières ont été touchées par des inondations après le passage des deux cyclones. Cependant, les résultats ont révélé que les inondations étaient nettement plus prononcées après le cyclone Batsirai qui a frappé le 5 février 2022. La figure 5 (A) montre que suite au passage du cyclone Batsirai, la superficie inondée a atteint environ 193,7 hectares, ce qui représente environ 23,5% de la superficie totale occupée par les rizières. Cela indique une proportion importante des rizières touchée par les inondations à la suite de ce cyclone, ce qui pourrait avoir des conséquences graves sur la productivité des cultures, et du même coup sur la situation alimentaire des ménages dans la commune de Mananjary. En revanche, la Figure 5 (B) montre que lors du passage du cyclone Emnati le 22 février 2022, les rizières inondées ont été moins étendues. La superficie inondée a été estimée à environ 80,3 hectares, soit environ 9,7% de la superficie totale en riz. Cette observation suggère que le cyclone Emnati a eu un impact moins sévère sur les rizières en ce qui concerne les inondations. Cette situation peut être attribuée au fait que le cyclone Batsirai a touché terre au nord de la ville de Mananjary et a été accompagné de vents violents atteignant 235 km/h, d'une houle avec des vagues de plus de 10 mètres et de fortes pluies. En revanche, le cyclone Emnati a atterri dans le district voisin de Manakara (CRF, 2022). Dans une étude similaire menée par Randriamparany et al. (2019) à l'aide des images de Sentinel 1 dans la zone inondable du fleuve Sambrano, il a été démontré que près de 26% des rizières ont été inondées à la suite du passage du cyclone Eliakim à Madagascar. Les résultats de notre étude soulèvent des préoccupations quant à la vulnérabilité des rizières de la commune de Mananjary face aux événements cycloniques, et mettent en évidence l'importance d'une gestion appropriée des risques liés aux inondations dans la zone. Les autorités locales et les décideurs pourraient tirer des enseignements de cette étude pour renforcer les mesures de prévention et d'adaptation face aux cyclones, afin de protéger les cultures et les ressources agricoles essentielles à la subsistance de la population locale.

### 3.2.2. Estimation des dommages des cultures du riz après les cyclones

La comparaison entre les figures 6 (J) et (K) dévoile des changements significatifs dans la végétation des zones cultivées en riz après le passage des cyclones (figure 6 (L)). Ces changements relèvent une chute de l'activité photosynthétique (Hu et Smith 2018) après le passage des cyclones et peuvent être attribués aux dégâts causés par les vents violents, les inondations et autres effets climatiques associés aux cyclones (Tardieu, 2018), qui ont eu des répercussions directes sur la santé et la croissance des cultures de riz. La zone endommagée a été évaluée à 437,3 hectares, ce qui représente 53,4% de la superficie totale. Une évaluation réalisée par la FAO en 2022 a estimé que les zones de cultures vivrières touchées par les cyclones dans le district de Mananjary couvraient environ 71%. Cette différence de chiffres pourrait s'expliquer par divers facteurs. Tout d'abord, il y a une variation dans l'échelle d'étude, ainsi que dans l'approche méthodologique utilisée, étant donné que la FAO a employé une méthode déclarative. De plus, la divergence peut également être attribuée au fait que l'étude actuelle ne s'est concentrée que sur la culture du riz, qui est la principale culture céréalière du pays (FAO, 2022). Ces résultats mettent également en évidence l'inégale répartition des

dommages dans la région étudiée, avec des zones spécifiques subissant des pertes plus importantes. Ces observations sont essentielles pour évaluer l'ampleur des dégâts causés par les cyclones dans les zones cultivées en riz de la campagne 2021-2022. Les informations sur la gravité des dommages peuvent être utiles pour cibler les interventions d'urgence et les mesures de réhabilitation agricole (Dadhich et al., 2019) afin de soutenir les agriculteurs touchés et de minimiser les pertes économiques. Ces résultats soulignent également l'importance de renforcer les stratégies d'adaptation et de résilience face aux catastrophes naturelles, en particulier dans les secteurs agricoles très vulnérables. Des mesures préventives notamment la mise en œuvre des campagnes de vulgarisation des pratiques agricoles résilientes pourrait aider à réduire les pertes et à atténuer l'impact des cyclones sur les cultures.

Les résultats de l'Indice Normalisé de Différence d'Eau (NDWI) pour les zones cultivées en riz avant et après les cyclones montrent clairement des variations significatives de l'humidité. En comparant, la figure 6 (L) et la figure 7 (O), on observe que les zones les plus humides, voire inondées sont les zones qui présentent des dommages importants. Cela pourrait s'expliquer par la saturation du sol, occasionnant un manque d'oxygène dans les racines des cultures (Di et al., 2018), ce qui compromet leur croissance et leur survie. Haldar et al. (2016) notent le riz cultivé dans des conditions inondées présente un rendement plus élevé par rapport au système à disponibilité d'eau limitée. Cependant, des inondations importantes et prolongées causées par des catastrophes naturelles peuvent entraîner des dommages aux cultures.

Les résultats de l'analyse mettent en évidence des liens significatifs entre les événements d'inondation et de vent violent et les dommages subis par différentes cultures. Les cultures telles que Autres cultures vivrières, Cultures maraîchères, Patate douce et Riz sont susceptibles d'être affectées de manière significative par les inondations. Leur probabilité de subir des dommages importants est donc plus élevée par rapport aux autres cultures. Cette situation pourrait trouver une explication dans le type de système racinaire. Les cultures ayant un système racinaire peu profond sont plus vulnérables aux inondations. Lorsque le sol est saturé, les racines ne peuvent pas absorber suffisamment d'oxygène, ce qui nuit à la santé de la plante.

Les résultats de cette analyse indiquent que certaines cultures présentent une probabilité plus faible d'être affectées par le vent, tandis que d'autres peuvent être plus vulnérables à ces événements climatiques. La faible vulnérabilité au vent des cultures telles que Autres cultures vivrières, Patate douce et Riz pourrait s'expliquer par leurs petites tailles d'une part et par leurs architecture et structure d'autre part. Contrairement aux arbres ligneux, ces cultures ont des feuilles plus petites, moins rigides ou avec une surface réduite, ce qui réduit la prise au vent et diminue les risques de dommages dus à des rafales violentes. Le cas spécifique du Vanillier qui n'est pas un ligneux, mais qui présente une sensibilité au vent s'explique dans son mode de production. Les agriculteurs utilisent les arbres ligneux comme des tuteurs pour le vanillier qui sorte de liane, ce qui fait que le vanillier devient sensible au vent. Ces résultats corroborent ceux de Fidan et al. (2023) que les cultures de maïs et de soja étaient les plus touchées par les inondations. Une étude réalisée par Yuvaraj et al. (2015) a également souligné l'impact des vents violents qui ont accompagné le cyclone Lehar dans le sud de l'île d'Andaman sur les plantations de cocotiers, d'anacardiens, de bananiers et de canne à sucre. Les dégâts engendrés comprenaient la perte des feuilles, les cassures de branches et le déracinement des arbres. HU

(2008) et [Lewis & Bannar-Martin \(2012\)](#) dans leurs études respectives ont noté l'importance des dommages des cyclones sur les espèces ligneuses.

### **3.2.3. Pratiques agricoles endogènes résilientes**

Les résultats de cette étude mettent en évidence un aspect essentiel de la résilience agricole face aux cyclones. Il s'agit des pratiques adoptées par les agriculteurs pour faire face à ces événements climatiques extrêmes. Les résultats révèlent que près de deux agriculteurs sur cinq ont déclaré adopter des pratiques résilientes, ce qui indique une prise de conscience croissante parmi les agriculteurs de l'importance de renforcer leur capacité à faire face aux impacts des cyclones. Il est encourageant de constater que les agriculteurs ont adopté différentes approches pour renforcer leur résilience face aux cyclones, comme le montre la figure 2. Ces pratiques sont essentielles pour améliorer la durabilité des systèmes agricoles et pour réduire la vulnérabilité des cultures et des ressources agricoles aux effets néfastes des cyclones. La Récolte précoce est l'une des pratiques les plus fréquentes, ce qui peut être bénéfique, car elle permet aux agriculteurs de récolter leurs cultures avant l'arrivée prévue du cyclone, réduisant ainsi le risque de pertes dues aux vents violents et aux inondations. La Conservation des sols est également une approche importante adoptée par les agriculteurs. Cette pratique vise à améliorer la fertilité des sols, à réduire l'érosion et à augmenter la capacité des sols à absorber l'eau, ce qui peut être particulièrement utile pour minimiser les pertes dues aux inondations. [Ntumba \(2015\)](#) a trouvé en Haïti que les agriculteurs utilisaient des techniques de conservation afin d'amoinrir l'impact des cyclones sur les cultures. L'utilisation de Variétés résistantes est une autre pratique clé. Les agriculteurs optent pour des variétés de cultures qui sont mieux adaptées aux conditions cycloniques, ce qui peut augmenter la résilience globale des cultures et leur capacité à résister aux dommages causés par les cyclones. La Plantation de haies est également une approche importante pour protéger les cultures contre les vents violents. Les haies agissent comme des barrières physiques qui réduisent la force des vents et protègent ainsi les cultures des dommages causés par le vent ([Vézina, 2001](#)). Parmi les autres pratiques non spécifiées, le Drainage des champs et le Recepage des arbres sont mentionnés, ce qui suggère que les agriculteurs adoptent des approches diverses pour faire face aux effets des cyclones. Selon [Alizany et al. \(2010\)](#), les cultivateurs de girofle pratiquent l'ébourgeonnage des girofliers afin de diminuer la charge de la partie aérienne et ainsi prévenir le risque d'arrachage.

### **3.3. Limites de l'étude**

Étant donné que cette étude a été menée rétrospectivement, les évaluations des surfaces inondées et des dommages dans les champs n'ont pas été confirmées par des observations sur le terrain. Les résultats obtenus ont été corroborés par des entretiens avec les producteurs, où il a été demandé de se remémorer les événements passés. Cette approche comporte le risque de potentielles omissions ou de surestimations/sous-estimations des impacts réels des événements cycloniques sur les cultures. Les informations obtenues de cette manière peuvent être sujettes à des biais liés à la mémoire et à la perception des répondants.

## Conclusion, recommandations et perspectives

---

Les conclusions de cette étude mettent en évidence l'importance de la télédétection dans l'estimation des dommages causés à l'agriculture, suite aux cyclones. Les résultats obtenus à partir des images satellitaires révèlent que le cyclone Batsirai a entraîné l'inondation de près de 193,7 hectares de rizières, tandis que le cyclone Emnati a affecté environ 80,3 hectares. Ces chiffres confirment la première hypothèse de l'étude, selon laquelle les fortes précipitations accompagnant les cyclones provoquent l'inondation de vastes étendues de rizières.

Les dommages subis par les cultures, évalués grâce à l'indice NDVI appliqué au riz, ont touché près de 437,3 hectares. Parmi ceux-ci, on observe 269 hectares de dommages légers, 102 hectares de dommages modérés, 44,8 hectares de dommages graves, 20,7 hectares de dommages extrêmes et seulement 0,6 hectare de dommages exceptionnels. Il ressort également de l'étude que certaines cultures comme les autres cultures vivrières, les cultures maraîchères, la patate douce et le riz sont particulièrement affectées par les inondations, tandis que les plantations sont plus susceptibles d'être affectées par les vents violents. Ces résultats confirment la deuxième hypothèse de l'étude, qui suggère que les cultures sont endommagées par les cyclones.

Enfin, il est notable que deux agriculteurs sur cinq aient adopté des pratiques agricoles endogènes pour atténuer les dommages causés par les cyclones sur les cultures et les plantations. Parmi ces pratiques figurent la récolte précoce, la conservation des sols, l'utilisation de variétés résistantes, la plantation de haies, ainsi que d'autres techniques telles que le drainage et le repage. Ces constats confirment la troisième hypothèse de l'étude, soulignant que les agriculteurs utilisent des pratiques agricoles pour minimiser l'impact des cyclones sur leurs cultures.

En considération de ces conclusions et eu égard à la souscription de la République de Madagascar au cadre d'action de Sendai, nous formulons les recommandations suivantes à l'égard de l'État malgache et de ses partenaires au développement :

- Renforcement des programmes de relèvement des agriculteurs dans les régions touchées par les cyclones ;
- Promotion de pratiques agricoles résilientes ;
- Sensibilisation et formation des agriculteurs sur les pratiques agricoles résilientes et des innovations technologiques résilientes ;
- Soutien à la recherche et à l'innovation, ce qui pourra permettre de développer des approches durables et innovantes permettant de faire face aux défis posés par les cyclones sur l'agriculture ;
- Intégration de la télédétection dans l'évaluation des dommages suite aux cycloniques.

À titre de perspective, une étude sur l'efficacité des pratiques agricoles endogènes résilientes permettrait d'identifier les pratiques les plus efficaces en vue de les promouvoir à l'échelle nationale

## Références bibliographiques

---

- Alizany, N., Chrysostôme Rakotondravelo, J., Rabarijohn, R., Raharinjanahary, H., Rabeharisoa, L., Ranaivonasy, J., Tiani, A., M. (2010). Les stratégies d'adaptation aux cyclones dans la region d'Analanjirofo, Madagascar. Aperçu sur l'adaptation, novembre 2010 N° 5, 5p.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. & Huete, A.R. (1995). A Review of Vegetation Indices. *Remote Sensing Reviews*, 13, 95-120.
- Banque Mondiale (2016). Profil de risque de catastrophe, Madagascar, Seisme, Inondation, Cyclone tropical. Washington DC 20433, Etats Unis d'Amérique, 16 p.
- BNGRC (2011). Plan de contingence national cyclones et inondations, Saison cyclonique 2011-2012. 46 p.
- BNGRC (2021). Plan de contingence du gouvernement et du comité permanent inter-agences 2021-2022. 36 p.
- Bofana, J., Zhang, M., Nabil, M., Wu, B., Tian, F., Liu, W., Zeng, H., Zhang, N., Nangombe, S.S., Cipriano, S.A., Phiri, E., 2020. Comparison of different cropland classification methods under diversified Agroecological conditions in the Zambezi River basin. *Remote Sens.* 12 <https://doi.org/10.3390/rs12132096>
- Bofana, J., Zhang, M., Wu, B., Zeng, H., Nabil, M., Zhang, N., Elnashar, A., Tian, F., da Silva, J. M., Botão, A., Atumane, A., Mushore, T. D., & Yan, N. (2022). How long did crops survive from floods caused by Cyclone Idai in Mozambique detected with multi-satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 269(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112808>
- Bofana, J., Zhang, M., Wu, B., Zeng, H., Nabil, M., Zhang, N., Elnashar, A., Tian, F., da Silva, J. M., Botão, A., Atumane, A., Mushore, T. D., & Yan, N. (2022). How long did crops survive from floods caused by Cyclone Idai in Mozambique detected with multi-satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 269(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112808>
- Breiman, L. (1999). Random Forests - Random Features, Technical Report 567, Statistic Department, University of California, Berkeley. 1–29.
- Campbell J. B. (1987). Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, New York, USA, 551
- Catry, T., Révillion, C., Mouquet, P., & Pennober, G. (2020). Apports de l'imagerie satellite pour le suivi de l'impact des événements cycloniques à Madagascar. *EchoGéo*, 51, 0–31. <https://doi.org/10.4000/echogeo.18634>
- Cazals C. (2018). Apport des données Sentinel-1 pour la cartographie des milieux humides. Géographie. Université Paris-Est, 2017. Français. NNT : 2017PESC1226 . tel-0175708
- CHESNEL A. L. (2008). Quantification de dégâts sur le bâti liés aux catastrophes majeures par images satellite multimodales très haute résolution, Mines Paris Tech, Thèse, 145 p.



Chikodzi, D., & Nhamo, G. (2021). Linking the Impacts of Tropical Cyclones to the Sustainable Development Goals. In G. Nhamo & D. Chikodzi (Eds.), *Cyclones in Southern Africa, Sustainable Development Goals Series*, G. Nhamo, D. Chikodzi (eds.) (Vol. 1, pp. 3–16). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74303-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74303-1_1)

Chowdhury, E. H., & Hassan, Q. K. (2017). Use of remote sensing data in comprehending an extremely unusual flooding event over southwest Bangladesh. *Natural Hazards*, 88(3), 1805–1823. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2947-7>

Clement, M. A., Kilsby, C. G., & Moore, P. (2018). Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection. *Journal of Flood Risk Management*, 11(2), 152–168. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12303>

Croix-Rouge française (CRF). 2022. Plateforme d'intervention régionale de l'océan Indien.

Dadhich, G., Miyazaki, H., & Babel, M. (2019). Applications of sentinel-1 synthetic aperture radar imagery for floods damage assessment: A case study of nakhon si thammarat, Thailand. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W13), 1927–1931. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1927-2019>

Di, L., Yu, E., Shrestha, R., & Lin, L. (2018). DVDI : A new remotely sensed index for measuring vegetation damage caused by natural disasters. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2018-July(3), 9067–9069. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518022>

Di, S., Guo, L., & Lin, L. (2018). Rapid estimation of flood crop loss by using DVDI Montgomery Blair High School , Silver Spring , Maryland 20901 Center for Spatial Information Science and Systems , George Mason University , Fairfax , VA 22030. 1, 6–9.

Didan K., Munoz A. B, R S., Huete A. (2019). MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series). University of Arizona , USA

Dunham, A. E., Erhart, E. M., & Wright, P. C. (2011). Global climate cycles and cyclones: Consequences for rainfall patterns and lemur reproduction in southeastern Madagascar. *Global Change Biology*, 17(1), 219–227. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02205.x>

Elsner, J. B., Kossin, J. P., & Jagger, T. H. (2008). The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature*, 455(7209), 92–95. <https://doi.org/10.1038/nature07234>

Erika Podest (2019). SAR for Flood Mapping. ARSET - Disaster Assessment Using Synthetic Aperture Radar. NASA Applied Remote Sensing Training Program. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology (ARSET). <http://appliedsciences.nasa.gov/mission/training/english/arset-disaster-assessment-using-synthetic-aperture-radar>

FAO (2022). Madagascar : Évaluation des dommages et des pertes causés par les cyclones Batsirai et Emnati sur le secteur agricole dans le Grand Sud-Est de Madagascar. Rapport DIEM-impact, juin 2022. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0781fr>

Fidan, E., Gray, J., Doll, B., & Nelson, N. (2023). Machine learning approach for modeling daily pluvial flood dynamics in agricultural landscapes. *Environmental Modelling & Software*, 167(July 2022), 105758. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105758>

Garruchet, V., Bosc, P.-M., & Mialet-Serra, I. (2023). L'Agriculture à Madagascar : Evolution, chiffres clés et défis. PRéRaD Océan Indien, 89 p.

Geudtner, D., Torres, R., Snoeij, P., Davidson, M., & Rommen, B. (2014). Sentinel-1 System capabilities and applications. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 1457–1460. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6946711>

Geudtner, D., Torres, R., Snoeij, P., Davidson, M., & Rommen, B. (2014). Sentinel-1 System capabilities and applications. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 1457–1460. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6946711>

Ghosh, A., Mushtaq, F., Adhikari, S., Jalal, R., Gauny, J., Barelli, D., Merzouk, Q., Moloinyane, S., Rakotoson, J., Andrianiaina, R., Fioekou, C., and Henry, M. (2022). Rapid geospatial assessment after tropical storms and cyclones in Madagascar in 2022 – Impacts on crops and exposure of rural people during the period January–March. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0297en>

GIEC (2014) : Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer].GIEC, Genève, Suisse, 161 p

Haldar, D., Nigam, R., Patnaik, C., Dutta, S., & Bhattacharya, B. (2016). Remote sensing-based assessment of impact of Phailin cyclone on rice in Odisha, India. Paddy and Water Environment, 14(4), 451–461. <https://doi.org/10.1007/s10333-015-0514-y>

Hossain, M. ., Islam, M. ., Sakai, T., & Ishida, M. (2008). Impact of Tropical Cyclones on Rural Infrastructures in Bangladesh. Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal. Invited Overview, 10(2), 1–13.

Huq, N., Hugé, J., Boon, E., & Gain, A. K. (2015). Climate change impacts in agricultural communities in rural areas of coastal bangladesh: A tale of many stories. Sustainability (Switzerland), 7(7), 8438–8460. <https://doi.org/10.3390/su7078437>

IPCC (2022). Climate change 2022- Impact, Adaptation, and vulnerability : summary for polycimakers Working group II-contribution to AR6 (Technical {{Report}} No. IPCC Technical Paper VI). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Jackson, R. D., & Huete, A. R. (1991), Interpreting vegeta- tion indices, J. Preventative Vet. Med. 11:185-200. Major, D. J., Baret, F., and Guyot, G. (1990), A ratio vegetation index adjusted for soil brightness, Int. J. Remote Sens. 11(5): 727-740.

Jolly, A., Dapoigny, E., Renaud, J. P., & Ladjal, M. (2015). Evaluation de degats de tempete a l'échelle infra-parcellaire a partir d'une image Pleiades a tres haute resolution sur un massif forestier feuillu en France. Revue Francaise de Photogrammetrie et de Teledetection, 209(209), 157–164.

Kabir, R., Khan, H. T. A., Ball, E., & Caldwell, K. (2016). Climate Change Impact: The Experience of the Coastal Areas of Bangladesh Affected by Cyclones Sidr and Aila. Journal of Environmental and Public Health, 2016, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2016/9654753>

- Kunze, S. (2021). Unraveling the Effects of Tropical Cyclones on Economic Sectors Worldwide: Direct and Indirect Impacts. *Environmental and Resource Economics*, 78(4), 545–569. <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00541-5>
- Lewis, R. J., & Bannar-Martin, K. H. (2012). The Impact of Cyclone Fanele on a Tropical Dry Forest in Madagascar. *Biotropica*, 44(2), 135–140. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00799.x>
- Lewis, R. J., & Bannar-Martin, K. H. (2012). The Impact of Cyclone Fanele on a Tropical Dry Forest in Madagascar. *Biotropica*, 44(2), 135–140. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00799.x>
- Lewis, R. J., & Rakotondranaivo, F. (2011). The impact of Cyclone Fanele on sifaka body condition and reproduction in the tropical dry forest of western Madagascar. *Journal of Tropical Ecology*, 27(4), 429–432. <https://doi.org/10.1017/S0266467411000083>
- Li, M., Zhang, T., Tu, Y., Ren, Z., & Xu, B. (2022). Monitoring Post-Flood Recovery of Croplands Using the Integrated Sentinel-1/2 Imagery in the Yangtze-Huai River Basin. *Remote Sensing*, 14(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/rs14030690>
- Li, W., Li, D., & Fang, Z. N. (2023). Intercomparison of Automated Near-Real-Time Flood Mapping Algorithms Using Satellite Data and DEM-Based Methods: A Case Study of 2022 Madagascar Flood. *Hydrology*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.3390/hydrology10010017>
- Lu, L., Wu, C., & Di, L. (2020). Exploring the spatial characteristics of typhoon-induced vegetation damages in the southeast coastal area of China from 2000 to 2018. *Remote Sensing*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/rs12101692>
- Lugo A. E. (2008). Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: An international review. *Austral Ecol.* 33: 368–398.
- McFeeters S. K. (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432, DOI: 10.1080/01431169608948714
- Mendelsohn, R., Emanuel, K., Chonabayashi, S., & Bakkensen, L. (2012). The impact of climate change on global tropical cyclone damage. *Nature Climate Change*, 2(3), 205–209. <https://doi.org/10.1038/nclimate1357>
- Metcalf, D. J., Bradford, M. G., & Ford, A. J. (2008). Cyclone damage to tropical rain forests: Species- and community-level impacts. *Austral Ecology*, 33(4), 432–441. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2008.01898.x>
- Metéo France. 2022. Le cyclone intense Emnati. [meteofrance.re/fr/actualites/le-cycloneintense-emnati](https://meteofrance.re/fr/actualites/le-cycloneintense-emnati) (consultée en avril 2022).
- Mouquet, P., Alexandre, C., Rasolomamonjy, J., Rosa, J., Catry, T., Révillion, C., Rakotondraompiana, S., & Pennober, G. (2020). Sentinel-1 and sentinel-2 time series processing chains for cyclone impact monitoring in South West Indian Ocean. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B3), 1593–1599. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-1593-2020>

- Nash, D. J., Pribyl, K., Klein, J., Endfield, G. H., Kniveton, D. R., & Adamson, G. C. D. (2015). Tropical cyclone activity over Madagascar during the late nineteenth century. *International Journal of Climatology*, 35(11), 3249–3261. <https://doi.org/10.1002/joc.4204>
- Ntumba, W. (2015). Cartographie des activités de conservation des sols et représentation des risques naturels au sein du bassin. 58.
- OCHA. 2022. Madagascar, Cyclones tropicaux Batsirai et Emnati (février 2022). Rapport de l'évaluation par survol et de l'Évaluation rapide multisectorielle (situation cumulée)
- OMM (2001). Le temps, le climat et la sécurité alimentaire. OMM-N° 933, Genève, Suisse 2001. ISBN 92-63-20933-2 , 26 p.
- OMM (2021). Conseil régional I – Plan d’opération concernant les cyclones tropicaux dans le Sud-Ouest de l’océan Indien Programme concernant les cyclones tropicaux Rapport N° TCP-12 Edition 2021, OMM-N° 1178, 64p
- PAM (2023). ADAM - Tropical Cyclone FREDDY-23 - Population Estimations - Ref. 1000961\_46
- Parida, B. R., Behera, S. N., Oinam, B., Patel, N. R., & Sahoo, R. N. (2018). Investigating the effects of episodic Super-cyclone 1999 and Phailin 2013 on hydro-meteorological parameters and agriculture: An application of remote sensing. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10(March), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.03.010>
- Présidence (2016). LOI n° 2015-031 relative à la Politique Nationale de Gestion des Risques et des Catastrophes. 13 p.
- Qi, J., Chehboumi, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H. & Sorooshian. S., 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sensing of Environment*, 48, 119-126.
- Rakotobe, Z. L., Harvey, C. A., Rao, N. S., Dave, R., Rakotondravelo, J. C., Randrianarisoa, J., Ramanahadray, S., Andriambolantsoa, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R. H., Rajaofara, H., Rameson, H., & MacKinnon, J. L. (2016). Strategies of smallholder farmers for coping with the impacts of cyclones: A case study from Madagascar. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 17, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.04.013>
- Randriamparany, M., Ratsaramody, J., Randriazanamparany, M. A., & Ramananhaja, H. T. (2019). Cartographie et évaluation rapides des dégâts d ‘ une inondation avec des données gratuites et logiciels libres : cas de la zone inondable du Sambirano, Madagascar. *Afrique SCIENCE*, 15(2), 24–31.
- Rouse, J. W., Haas, R. W., Schell, J. A., Deering, D. W. and Harlan, J. C. (1974) Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetatioa NASA/GSFCT Type III Final Report, Greenbelt, MD, USA.
- Sawant, S., Mohite, J., Sakkan, M., & Pappula, S. (2019). Near real time crop loss estimation using remote sensing observations. 2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2019. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820217>

- Sawant, S., Mohite, J., Sakkan, M., & Pappula, S. (2019). Near real time crop loss estimation using remote sensing observations. 2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2019, 2–6. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820217>
- Shamsuzzoha, M., Noguchi, R., & Ahamed, T. (2021). Damaged area assessment of cultivated agricultural lands affected by cyclone bulbul in coastal region of Bangladesh using Landsat 8 OLI and TIRS datasets. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23(March), 100523. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100523>
- Singh, P. K., & Chudasama, H. (2017). Assessing impacts and community preparedness to cyclones: a fuzzy cognitive mapping approach. *Climatic Change*, 143(3–4), 337–354. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2007-z>
- Tardieu, F. X. L. (2018). Analyse des impacts de l'ouragan Mathieu par télédétection : Zoom sur la végétation et l'urbain dans le Sud de Haïti, Université de Franche-Comté Centre, Mémoire. 70 p.
- Taromideh, F., Fazloulou, R., Choubin, B., Emadi, A., & Berndtsson, R. (2022). Urban Flood-Risk Assessment: Integration of Decision-Making and Machine Learning. *Sustainability (Switzerland)*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/su14084483>
- Trébossen, H. (2002) Apports des images SAR à la cartographie marine, Thèse Doctorat Université de Marne-la-Vallée, Marnela-Vallée, 172 p.
- Vézina, A., (2001). Les haies brise-vent. Institut de technologie agricole de La Pocatière, Quebec. 18 p.
- Vu, T. B., Im, E. I., Hayashi, K., & Torio, R. (2017). Cyclones, Deforestation, and Production of Food Crops in Vietnam. *Economics of Disasters and Climate Change*, 1(3), 245–262. <https://doi.org/10.1007/s41885-017-0010-5>
- Wade, S., Rudant, J. P., Ba, K., & Ndoye, B. (2015). Télédétection Et Gestion Des Catastrophes Naturelles : Applications Télédétection Et Gestion Des Catastrophes Naturelles : Applications À L ' Étude Des. September.
- Waldner, F., Fritz, S., Di Gregorio, A., Plotnikov, D., Bartalev, S., Kussul, N., Gong, P., Thenkabail, P.S., Hazeu, G., Klein, I., Löw, F., Miettinen, J., Dadhwal, V., Lamarche, C., Bontemps, S., Defourny, P. (2016). A Unified Cropland Layer at 250 M for Global Agriculture Monitoring. Data. <https://doi.org/10.3390/data1010003>
- Wang, W., Qu, J. J., Hao, X., Liu, Y., & Stanturf, J. A. (2010). Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.09.009>
- Xu H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27:14, 3025-3033, DOI: 10.1080/01431160600589179
- Yu, G., Di, L., Zhang, B., Shao, Y., Shrestha, R., & Kang, L. (2013). Remote-sensing-based flood damage estimation using crop condition profiles. 2013 2nd International Conference on Agro-Geoinformatics: Information for Sustainable Agriculture, Agro-Geoinformatics 2013, Vci, 205–210. <https://doi.org/10.1109/Argo-Geoinformatics.2013.6621908>

Yuvaraj, E., Dharanirajan, K., Narshimulu, S., & Narshimulu, G. (2015). Post-disaster assessment of impact of cyclone Lehar in South Andaman Island. *Current Science*, 108(1), 85–90.

## Annexe 1 : Matrice de confusion

| Classes       |          | Prédiction |      |     |       |          |        | Total | Précision (%) |
|---------------|----------|------------|------|-----|-------|----------|--------|-------|---------------|
|               |          | Eau        | Bâti | Riz | Forêt | Pâturage | Sol nu |       |               |
| Référence     | Eau      | 94         | 0    | 5   | 0     | 1        | 0      | 100   | 94%           |
|               | Bâti     | 5          | 52   | 2   | 1     | 0        | 2      | 62    | 84%           |
|               | Riz      | 3          | 0    | 106 | 3     | 8        | 0      | 120   | 88%           |
|               | Forêt    | 2          | 1    | 6   | 168   | 3        | 0      | 180   | 93%           |
|               | Pâturage | 0          | 1    | 5   | 14    | 23       | 0      | 43    | 53%           |
|               | Sol nu   | 0          | 0    | 0   | 0     | 0        | 19     | 19    | 100%          |
|               | Total    | 104        | 54   | 124 | 186   | 35       | 21     | 524   |               |
| Précision (%) | 90%      | 96%        | 85%  | 90% | 66%   | 90%      |        |       |               |

## Annexe 2 : Estimation des superficies rizicoles endommagées

| Niveau de dommages   | Superficies (ha) | Pourcentage    |
|----------------------|------------------|----------------|
| Aucun dommage        | 380,43           | 46,52%         |
| Dommage léger        | 269,08           | 32,90%         |
| Dommage modéré       | 102,06           | 12,48%         |
| Dommage grave ;      | 44,84            | 5,48%          |
| Dommage extrême      | 20,72            | 2,53%          |
| Dommage exceptionnel | 0,67             | 0,08%          |
| <b>Total</b>         | <b>817,8</b>     | <b>100,00%</b> |

## Annexe 3 : Questionnaire

## Fiche de collecte de données auprès des agriculteurs

## 1. Informations de base sur l'agriculteur

|  |           |
|--|-----------|
| 1.1. Code producteur   | [ _____ ] |
| 1.2. Nom de producteur   | -----     |
| 1.3. Village (Fokontany)   | -----     |
| 1.4. Sexe du chef de ménage [1 = homme ; 2 = femme]                        | [ ____ ]  |
| 1.5. Age du producteur   | [ ____ ]  |
| 1.6. Nombre total des membres du ménage du producteur (adultes et enfants) | [ ____ ]  |
| 1.7. Principale activité du producteur                                     | -----     |

## 2. Pratiques agricoles et impact des cyclones

|   |          |
|---|----------|
| 2.1. Avez-vous des cultures dans vos champs avant le cyclone ? [1 = oui 0 = non]    | [ ____ ] |
| 2.2. Si oui, pouvez-vous, nous citer les différentes spéculations dans vos champs ? |          |
| ▪   |          |

|   |  |
|---|--|
| ▪   |  |
| ▪   |  |
| ▪   |  |
| ▪   |  |
| 2.3. Si non, pourquoi n'avez-vous pas semé ou repiqué ? _____<br>-----<br>-----   |  |
| 2.4. Si oui, vos cultures ont-elles été endommagées par les cyclones ? [1 = oui 0 = non]  | [ _ _ _ _ ]  |
| 2.5. Si oui, pouvez-vous nous citer les cultures endommagées par le cyclone ? et le degré d'endommagement   | [1 = aucun dommage ; 2 =<br>dommage partiel ; 3 = total] |
| ▪   | [ _ _ _ _ ]  |
| ▪   | [ _ _ _ _ ]  |
| ▪   | [ _ _ _ _ ]  |
| ▪   | [ _ _ _ _ ]  |
| ▪   | [ _ _ _ _ ]  |
| 2.6. Quelle était la cause des dégâts [0 = inondation ; 1 = vent ; 2 = les deux]  | [ _ _ _ _ ]  |
| 2.7. Pouvez-vous m'expliquer comment la DRAE évalue les dégâts des cultures de vos champs après les cyclones? _____<br>-----<br>-----   |  |
| 2.8. Avez-vous connaissance de pratiques agricoles permettant de réduire l'impact des cyclones sur les cultures ? [1 = oui 0 = non]   | [ _ _ _ _ ]  |
| 2.8. Si oui, lesquelles connaissez-vous ?   |  |
| ▪ PA1   |  |
| ▪ PA2   |  |
| ▪ PA3   |  |
| 2.9. Appliquez-vous ces pratiques agricoles ?   |  |
| 2.10. Sinon, pourquoi ? ? _____<br>-----<br>-----   |  |
| 2.11. Avez-vous remplacé les spéculations endommagées par d'autres types de spéculations ou avez-vous reconduit les mêmes spéculations après les cyclones ? [1 = oui 0 = non] | [ _ _ _ _ ]  |
| 2.12. Si remplacer, combien vous a coûté ce remplacement (achat de semence, etc.) [Montant en Aria]   |  |
| 2.13. Avez-vous bénéficié d'une d'aide et de soutien après le cyclone (Parent, ami, ONG, gouvernement, etc.) [1 = oui 0 = non]  | [ _ _ _ _ ]  |
| 2.14. Nous souhaitons prendre les coordonnées GPS de vos parcelles emblavées avant le cyclone, pouvez-vous nous accompagner ou trouver quelqu'un pour nous accompagner ?      |  |
| <b>Champs 1</b>   |  |
| ▪ Point 1   |  |
| ▪ Point 2   |  |
| ▪ Point 3   |  |
| ▪ Point 4   |  |
| ▪ Point 5   |  |
| <b>Champs 2</b>   |  |
| ▪ Point 1   |  |
| ▪ Point 2   |  |
| ▪ Point 3   |  |
| ▪ Point 4   |  |
| ▪ Point 5   |  |

◆ **Fin** ◆