

Risque pestueux lié aux paramètres climatiques et aux pratiques agricoles à Madagascar

Auteur : Andriambahiny, Bodonarivo Olivia

Promoteur(s) : Ozer, Pierre

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10136>

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

UCLouvain - Faculté des bioingénieurs

**RISQUE PESTEUX LIÉ AUX PARAMÈTRES
CLIMATIQUES ET AUX PRATIQUES AGRICOLES
À MADAGASCAR**

ANDRIAMBAHINY BODONARIVO OLIVIA

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN GESTION DES RISQUES ET DES CATASTROPHES**

ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020

REDIGE SOUS LA DIRECTION DE Pr. PIERRE OZER

« 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 et de l'Université catholique de Louvain. »**

L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULg et/ou de l'UCL ».

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : ANDRIAMBAHINY Bodonarivo Olivia
bodonarivo@gmail.com

Remerciements

Je remercie Dieu, celui qui m'a donnée la force, l'intelligence et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à adresser ma profonde gratitude à mon promoteur Pr Pierre OZER pour sa disponibilité et ses judicieux conseils malgré ses nombreuses occupations.

Mes remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'être les lecteurs de ce travail malgré leurs multiples obligations.

J'adresse mes remerciements à l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) pour tous ses soutiens financiers et ses accompagnements durant mes études en Belgique.

Mes remerciements également aux enseignants et responsables de l'Université de Liège et de Catholique Louvain pour leurs dévouements et leurs engagements pour la réussite de notre formation.

Je souhaite remercier le personnel de la Direction de la Veille Sanitaire, de la Surveillance Epidémiologique et Riposte (DVSSER), du Service de la Lutte contre la Peste (SLP), de la Direction Générale de la Météorologie (DGM), de l'Institut National de la Statistique (INSTAT) à Madagascar qui m'ont rendue service.

J'adresse mes remerciements à ma famille en particulier Dada, José, Tamby, Tsiky, qui m'ont toujours soutenue afin que je puisse terminer cette formation, ainsi qu'à mes amis de promotion 2019-2020 pour avoir été une vraie équipe tout au long de notre année d'études.

Résumé

À Madagascar, la persistance de la peste constitue un problème de la santé publique. En effet, cette épidémie survient dans l'île chaque année. Cette étude vise à contribuer à la réduction du risque pesteux lié aux variations climatiques et aux pratiques agricoles à Madagascar.

La méthodologie consiste à demander des données par mail aux autorités respectives, à acquérir des données satellitaires en ligne et des données du site web ministériel de Madagascar. Ce travail analyse l'évolution spatio-temporelle de la peste bubonique de 1999 à 2019. Le logiciel QGIS a été nécessaire pour cartographier les districts selon leurs niveaux de risque pesteux et le paysage et RStudio pour déterminer la corrélation entre les cas pesteux et les variations climatiques. L'analyse des tendances est utile pour les variations saisonnières des cas pesteux et des feux actifs. Le calcul de densité de ces feux et la comparaison des calendriers agricoles avec les saisons pesteuses ont été également utilisés.

Les résultats montrent l'extension des zones touchées par la déforestation, le pic saisonnier de la peste bubonique en octobre à janvier et l'existence des corrélations entre les cas pesteux et les paramètres climatiques. Les districts à haut risque se situent au-dessus des altitudes de 800 m. L'importance des rizières et des cultures sur brûlis favorisent la recrudescence des cas pesteux pendant la préparation du sol et le semis.

Des études approfondies sur la peste par des chercheurs multidisciplinaires et l'extension de la lutte contre les réservoirs et vecteurs dans les champs de culture restent primordiales.

Mots clés : peste, risque sanitaire, climat, agriculture, feux, Madagascar

Abstract

The persistence of the plague epidemic constitutes one of the public health problems in Madagascar. Indeed, this epidemic occurs in the island every year. This study aims to contribute to the reduction of plague risk linked to climatic variations and agricultural practices in Madagascar.

The methodology consists of collecting data by email from the respective authorities, acquiring online satellite data and collecting data from the website of Madagascar's Minister. This work analyses the spatio-temporal evolution of the bubonic plague from 1999 to 2019. The QGIS software has been useful to map the level of risk of the plague and the landscape in the districts. The second software named RStudio has also been used to determine the correlation between the plague cases and the climatic variation

The trend analysis is useful for seasonal variations of the plague cases and the active fires. The density calculation of these fires and comparison of agricultural calendars with plague seasons have been used as well.

The results show that the extension of affected areas is caused by the deforestation, the seasonal peak of bubonic plague is from October to January. The existence of correlation between plague cases and climatic parameters have also been noticed as result. The high-risk districts are located above altitudes of 800 m. The importance of rice fields and the slash and burn culture favor the outbreak of plague cases during soil preparation and sowing.

The realization of troughed studies by the multidisciplinary researchers about the plague and the extension of the fight against the reservoir/vector in the fields remain the Paramount importance of the actions to realize.

Keywords: plague, health hazard, climate, agriculture, fires, Madagascar

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Abstract	iii
Table des matières.....	iv
Liste des cartes	viii
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	x
Liste des photos	xi
Liste des sigles et abréviations	xii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1. GENERALITÉS SUR LA PESTE	4
1.1. Historique.....	4
1.2. Transmission	4
1.2.1. Homme	5
1.2.2. Réservoirs.....	5
1.2.2.1. Rat noir <i>Rattus rattus</i> (ou rat des greniers ou rat des navires)	6
1.2.2.2. Rat brun ou gris <i>Rattus norvegicus</i> (ou rat d'égout ou surmulot).....	6
1.2.3. Vecteurs.....	6
1.2.4. Bacille.....	6
1.3. Classification	7
CHAPITRE 2. CARACTERISTIQUES DU SITE D'ETUDE.....	8
2.1. Cadre physique.....	8
2.2. Couverture forestière et déforestation.....	9
2.3. Milieu humain.....	10
2.3.1. Démographie	10
2.3.2. Niveau d'instruction.....	11
2.3.3. Activités socio-économiques.....	11
2.3.4. Economie.....	11
2.4. Pratique agricole.....	11

2.4.1. Feux actifs	12
2.4.2. Exploitation agricole	12
CHAPITRE 3. MÉTHODOLOGIE	13
3.1. Méthode de collecte de données	13
3.1.1. Revue bibliographique	13
3.1.2. Entretiens.....	13
3.1.2.1. Données démographiques.....	13
3.1.2.2. Données climatiques	13
3.1.2.3. Données épidémiologiques	14
3.1.3. Acquisition de données satellitaires	14
3.1.3.1. Limites administratives et relief.....	14
3.1.3.2. Google Earth	15
3.1.3.3. Feux actifs	15
3.1.4. Collecte de données dans le site web ministériel	15
3.1.4.1. Agriculture	15
3.2. Méthode de traitement et analyse de données	15
3.2.1. Données climatiques	15
3.2.2.1. Températures moyennes journalières.....	16
3.2.2.3. Corrélation entre les cas de peste et les paramètres climatiques.....	16
3.2.3. Données démographiques	17
3.2.4. Données épidémiologiques	17
3.2.5. Pratique agricole.....	19
3.2.5.1. Feux actifs	19
3.2.5.2. Superficie de surface agricole	20
3.2.5.3. Calendrier agricole	20
CHAPITRE 4. RESULTATS.....	21
4.1. Evolution temporelle d'épidémies de peste bubonique de 1999 au 2019.....	21
4.1.1. Variation annuelle de peste bubonique	21
4.1.2. Variation mensuelle de peste bubonique.....	21
4.2. Paramètres climatiques	22
4.2.1. Variation mensuelle des paramètres climatiques (1999-2019).....	23
4.2.2. Corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les paramètres climatiques	23
4.3. Evolution spatio-temporelle des cas de peste bubonique (1999-2019)	24

4.4. Classification des districts de Madagascar selon les risques pesteux (1999- 2019).....	28
4.5. Risque pesteux de 1999 au 2019 et relief	30
4.6. Risque pesteux et agriculture	31
4.6.1. Feux actifs de 2001 au 2019	31
4.6.1.1. Variation mensuelle des feux actifs à Madagascar (2001-2019)	31
4.6.1.2. Analyse de la corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les nombres de feux actifs à Madagascar (2001-2019)	31
4.6.1.3. Risque pesteux et densité de feux actifs (2001-2019) selon les altitudes à Madagascar	32
4.6.1.4. Tendance de variation mensuelle des cas de peste bubonique et feux actifs à Manandriana, Fianarantsoa II, Ankazobe, Tsiroanomandidy	32
4.7. Risque pesteux et principaux produits du règne végétal	33
4.7.1. Surface agricole.....	34
4.7.2. Variation mensuelle des cas de peste bubonique et calendrier agricole des districts à haut risque pesteux situés à > 800 m.....	36
4.7.3. Fokontany (sous localité de la commune) avec une tendance de peste bubonique la plus variées dans les districts à haut risque pesteux	38
4.8. Système de prévention et de lutte contre la peste à Madagascar.....	39
4.8.1. Acteurs et rôles.....	39
4.8.2. Activités dans la stratégie de la lutte contre la peste	39
4.8.3. Dératisation et traitement de cadavre de rat	40
CHAPITRE 5. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS.....	42
5.1. Discussion sur la variation annuelle de peste bubonique (1999 au 2019).....	42
5.2. Discussion sur la variation mensuelle de la peste bubonique	43
5.3. Discussion sur les paramètres climatiques à Madagascar	43
5.4. Discussion sur la corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les paramètres climatiques.....	44
5.5. Discussion sur l'évolution spatio-temporelle des cas de peste bubonique.....	46
5.6. Discussion sur la classification des districts de Madagascar selon les risques pesteux .	47
5.6. Discussion sur le relief et risque pesteux	48
5.7. Discussion sur la variation mensuelle des feux actifs à Madagascar (2001-2019)	49
5.8. Discussion sur la corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et le nombre de feux actifs à Madagascar (2001-2019).....	49

5.9. Discussion sur le risque pesteux et densité de feux actifs (2001-2019) selon les altitudes à Madagascar.....	49
5.10. Discussion sur le risque pesteux et principaux produits du règne végétal.....	51
5.11. Discussion sur le risque pesteux et calendrier agricole.....	51
5.12. Discussion sur le système de prévention et de lutte contre la peste à Madagascar	52
CONCLUSION	53
Bibliographie.....	xiii
Site internet	xviii
Annexes	xxv

Liste des cartes

Carte 1 : Répartition des foyers naturels de peste dans le monde, mars 2016	4
Carte 2 : Localisation géographique de Madagascar	8
Carte 3 : Ecorégions et écosystèmes forestiers de Madagascar	9
Carte 4 : Moyenne de la densité de la population de Madagascar de 1999 au 2019.....	10
Carte 5 : Localisation des stations synoptiques de Madagascar de 1999 au 2019	14
Carte 6 : Moyenne de température mensuelle de Madagascar de 1999-2019.....	22
Carte 7 : Moyenne de précipitation cumulée mensuelle de Madagascar de 1999 au 2019.....	22
Carte 8 : Répartition géographique des cas de peste bubonique de 1999 au 2004.....	25
Carte 9 : Répartition géographique des cas de peste bubonique de 2005 au 2009.....	25
Carte 10 : Répartition géographique des cas de peste bubonique de 2010 au 2014	25
Carte 11 : Répartition géographique des cas de peste bubonique de 2015 au 2019	25
Carte 12 : Localisation des districts nouvellement touchés par la peste au sud-est de Madagascar de 2015 au 2019	26
Carte 13 : Niveau de risque pesteux des districts de Madagascar de 1999 au 2019	28
Carte 14 : Localisation de la commune à haut risque pesteux à Fianarantsoa II	29
Carte 15 : Localisation de la commune à haut risque pesteux à Manandriana	29
Carte 16 : Localisation de la commune à haut risque pesteux à Ankazobe	29
Carte 17 : Localisation de la commune à haut risque pesteux à Tsiroanomandidy	29
Carte 18 : Relief de Madagascar	30
Carte 19 : Relief des districts à risque à Madagascar de 1999 au 2019	30
Carte 20 : Risque pesteux et feux actifs dans les zones situées >800 m d'altitude de 1999 au 2019.....	32
Carte 21 : Proportion des surface agricoles (2007-2010) par district à Madagascar	34
Carte 22 : Proportion des surface agricoles (2007-2010) dans les zones situées à >800 m d'altitude à Madagascar	34

Liste des figures

Figure 1 : Cycle de l'épidémie de peste	5
Figure 2 : Evolution de la couverture forestière entre 2005 et 2013	10
Figure 3 : Taux annuel d'alphabétisation des adultes (≥ 15 ans)	11
Figure 4 : Evolution du ratio de pauvreté à Madagascar par milieu	11
Figure 5 : Superficie incendiée annuelle à Madagascar de 2005 à 2017	12
Figure 6 : Répartition annuelle du nombre de cas de peste bubonique de 1999 au 2019.....	21
Figure 7 : Variation mensuelle du nombre de cas de peste bubonique de 1999 au 2019.....	21
Figure 8 : Variation mensuelle des moyennes des paramètres climatiques de 1999 au 2019 ..	23
Figure 9 : Corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et la température moyenne mensuelle de 1999 au 2019	23
Figure 10 : Corrélation entre le nombre de cas de peste et précipitations cumulées mensuelles de 1999 au 2019	24
Figure 11 : Corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les nombres de feux actifs à Madagascar de 2001 au 2019	31
Figure 12 : Variation mensuelle des moyennes de cas de peste bubonique et de feux actifs dans les 04 premiers districts à haut risque pesteux à Madagascar de 2001 au 2019.....	33
Figure 13 : Moyenne de la surface agricole des principaux produits du règne végétal de 2007 au 2010	33
Figure 14 : Figure 14 : Variation mensuelle de cas de peste bubonique et calendrier agricole de la zone moyenne Est	36
Figure 15 : Variation mensuelle de cas de peste bubonique et calendrier agricole de la zone haut plateaux sud	37
Figure 16 : Variation des cas de peste bubonique au fokontany Ambatofotsy Feo, commune rurale Bemahatazana, district Tsiroanomandidy de 1999 au 2019	38
Figure 17 : Acteurs dans la lutte contre la peste et leurs rôles	39
Figure 18 : Catégorisation des districts selon leurs niveaux de risques pesteux de 1999 au 2019	47
Figure 19 : Risque pesteux et culture sur brûlis	50

Liste des tableaux

Tableau I : Les 22 régions de Madagascar avec ses superficies	9
Tableau II : Analyse de corrélation entre les nombres de cas de peste bubonique et température	23
Tableau III : Analyse de corrélation entre les nombres de cas de peste bubonique et précipitation	24
Tableau IV : Nombre annuel de cas de peste bubonique dans 10 districts nouvellement touchés (2015 au 2019)	26
Tableau V : Analyse statistique de corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et nombre de feux actifs à Madagascar (2001-2019)	31
Tableau VI : Densité des feux actifs (par km ²) à Madagascar de 2001 au 2019.....	32
Tableau VII : Risque pesteux dans les zones situées à > 800 m d'altitude et surface agricole.	35

Liste des photos

Photo 1 : Vecteurs et réservoirs de la peste à Madagascar.....	7
Photo 2 : Commune Andranolalina du district Midongy Sud (Décembre 1999).....	27
Photo 3 : Commune Andranolalina du district Midongy Sud (Juin 2016).....	27
Photo 4 : Champ de culture au fokontany Ambatofotsy Feo, commune rurale Bemahatazana, district Tsiroanomandidy en 2009.....	38
Photo 5 : Champ de culture au fokontany Ambatofotsy Feo, commune rurale Bemahatazana, district Tsiroanomandidy en 2015.....	38
Photo 6 : Champ de culture au fokontany Ambatofotsy Feo, commune rurale Bemahatazana, district Tsiroanomandidy en 2019.....	38

Liste des sigles et abréviations

BNGRC	: Bureau National de la Gestion des Risques et Catastrophes
BTS	: Boîtes de Sherman
DGF	: Direction Générale des Forêts
DGM	: Direction Générale de la Météorologie
DVSSER	: Direction de la Veille Sanitaire, de la Surveillance Épidémiologique et Riposte
GADM	: Global Aviation Data Management
INSTAT	: Institut National de la Statistique
IPC	: International Potato Center
IPM	: Institut Pasteur de Madagascar
LCP	: Laboratoire Centrale Peste
MAEP	: Ministère de l’Agriculture, de l’Elevage et de la Pêche
MEEF	: Ministère de l'Environnement, de l'Ecologie et des Forêts
MNP	: Madagascar National Parks
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONE	: Office National de l’Environnement
PNLP	: Programme National de Lutte contre la Peste
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l’Habitat
RSI	: Règlement Sanitaire International
SCR	: Système de Coordonnées de Référence
SIG	: Système d’Information Géographique
SLP	: Service de Lutte contre la Peste
SRTM	: Shuttle Radar Topographic Mission
TDR	: Test de Diagnostic Rapide
UNISDR	: United Nations Office for Disaster Risk Reduction
USAID	: United States Agency for International Development
WCS	: Wildlife Conservation Society
WGS	: World Geodetic System

INTRODUCTION

1. Contextes

La peste dont la bactérie responsable est *Yersinia pestis* constitue une maladie zoonotique (Juif, 2011). Cette bactérie a été classée parmi les germes pathogènes dangereux (OMS, 2007) et a été déjà utilisée comme arme biologique et bioterrorisme dans le passé (Debord, 1997). En outre, elle a déjà provoqué de plusieurs pandémies dans l'histoire de l'humanité (Juif, 2011). Il s'agit d'une maladie de rongeurs transmise par les puces à l'homme. Elle est soumise au Règlement Sanitaire International (RSI) 2005 dont un seul cas est considéré comme épidémie et la déclaration et la mise en quarantaine des malades demeurent obligatoires (OMS, 2007). La peste fait partie des aléas biologiques et constitue une urgence de santé publique potentielle sur le plan international (UNISDR, 2009) (OMS, 2002). Elle est l'une des plus anciennes épidémies qui a touché la population humaine (Galy, Loubet, Peiffer-Smadja, & Yazdanpa, 2018). Dans le temps, les foyers naturels ont évolué en fonction des facteurs favorables à la reproduction « rongeurs-réservoirs et de puces vectrices de l'*Yersinia pestis* » tels que le climat et le paysage (David, 1999).

Au niveau mondial, 3 248 cas de peste, dont 584 décès ont été notifiés de 2010 au 2015 (OMS, 2017). En juin 2019, Madagascar et la République démocratique du Congo constituaient les deux premiers pays rapportant plus de cas de peste dans le monde « en raison de la nature de son principal réservoir animal, les rats (*Rattus rattus* et *Rattus norvegicus*) » (Bertherat, 2019). A Madagascar, l'environnement et le climat constituent des éléments favorables à la persistance de la peste. La zone à risque correspond au domaine phytogéographique des hautes terres à plus de 800 mètres d'altitude (Chanteau, 2006) (Girod & Rahelinirina, 2017). Il a été observé que l'endémicité de la peste s'étend vers certaines zones indemnes de peste. Des activités anthropiques responsables de changements de l'environnement ont entraîné l'extension des foyers pesteux (Bertherat, 2019). D'après les données épidémiologiques, il existe une variation annuelle du nombre de cas de peste et une saison pesteuse avec une recrudescence en septembre au mars (Andrianavoarimanana, et al., 2019). Cette recrudescence serait due à la proximité de la population humaine avec des rongeurs-réservoir et puces-vectrices (Miarinjara, et al., 2019) plus que d'habitude. Le programme national de lutte contre la peste (PNLP) a été mis en place en 1998 (Chanteau, 2006) et le service de lutte contre la peste (SLP) constitue le premier responsable de la prévention et de riposte de cette maladie au ministère de la santé malagasy. Pourtant, l'entité publique responsable de la surveillance animale (réservoirs et vecteurs de peste) n'est pas encore bien déterminée.

2. Problématique

Malgré les efforts menés par les autorités pour prévenir et lutter contre la peste, chaque année, l'épidémie de peste n'épargne pas Madagascar. A titre d'exemple, d'août à novembre 2017, une flambée épidémique sans précédent de peste a sévit l'île et a provoqué 2 348 cas dont 202 décès (OMS, 2017).

Les variations climatiques influencent le changement ou l'extension des zones géographiques potentiellement à haut risque pesteux (David, 1999). Pourtant, la dégradation de l'environnement et le changement climatique ont affecté généralement tout le territoire de Madagascar (ONE, DGF, MNP, & WCS, 2015).

Le contact de la population humaine avec les rongeurs réservoirs et puces vectrices de l'*Yersinia pestis* augmente le risque d'exposition à la peste (OMS, 2017). Plusieurs facteurs classés en deux types favorisent la vulnérabilité accrue de la population au risque pesteux. Premièrement, ce sont les rongeurs-réservoirs qui pénètrent dans le territoire humain. Et, deuxièmement, c'est la population humaine qui entre dans le territoire de ces rongeurs. Dans les deux cas, la pratique agricole malagasy permettrait ces deux types de contact humain et rongeurs-réservoirs. Dans la tradition, les feux de végétation sont des pratiques fréquemment utilisés dans l'agriculture (Kull, 2002). Ces feux sont capables de chasser les rats (principal rongeur vecteur de peste) de leur habitat naturel et les pousseraient à se déplacer vers l'habitation humaine. De même, le fait d'aller au champ exposerait les agriculteurs à se rapprocher du foyer naturel pesteux et les exposerait au risque accru de cette maladie. Néanmoins, l'activité agricole reste le secteur le plus prédominant dans l'île, à titre d'exemple, en 2010, 76,1% de la population totale à Madagascar sont constituées de population agricole (MAEP & Service de la Statistique Agricole, 2012) (The world bank, 2020). Et de manière générale, la technique agricole utilisée reste traditionnelle en utilisant des petits outils à la main ou avec l'aide des zébus (MAEP, 2009).

Concernant la prévention et la lutte contre la transmission de peste à Madagascar, elles se limitent généralement dans le cadre de la santé humaine. Cependant, la compréhension de la relation entre l'épidémie de peste et d'autres paramètres tels que les variables climatiques et la pratique agricole pourrait constituer également des piliers indispensables dans la lutte contre cette infection. D'où l'intérêt de cette étude afin d'émettre des stratégies liées aux variations climatiques et aux pratiques agricoles dans la lutte contre l'épidémie de peste.

Afin de mettre en évidence ces relations entre la peste, les paramètres climatiques et les pratiques agricoles, uniquement la peste bubonique a été étudiée dans cette recherche étant donné qu'elle est la principale forme clinique initiale de la peste humaine (les autres formes

sont rares ou apparaissent secondairement à une peste bubonique sans traitement médical ou traitée tardivement). En outre, elle est également la forme clinique dont la transmission de l'infection requiert l'intervention de réservoirs (rongeurs) et vecteurs (puces) (OMS, 2017) (Chanteau, 2006).

3. Hypothèses

- L'ampleur des cas de peste bubonique varierait en fonction des paramètres climatiques.
- Le niveau de risque pesteux serait fonction du type de paysage des districts.
- Les activités liées aux pratiques agricoles favoriseraient la vulnérabilité accrue au risque pesteux de la population à Madagascar.

4. Objectifs

4.1. Objectif principal

Contribuer à la réduction de risque pesteux liée aux variations climatiques et aux pratiques agricoles à Madagascar.

4.2. Objectifs spécifiques

- Analyser la corrélation entre les paramètres météorologiques (température, précipitation) et le nombre de cas de la peste bubonique à Madagascar.
- Identifier les zones à haut risque pesteux à Madagascar ainsi que leurs paysages.
- Déterminer les activités de pratiques agricoles favorisant la vulnérabilité accrue de la population au risque de la peste bubonique à Madagascar.
- Décrire le système de prévention et de lutte contre la peste à Madagascar.
- Emettre des suggestions aux autorités concernées en fonction des résultats.

CHAPITRE 1. GENERALITÉS SUR LA PESTE

1.1. Historique

Le bacille *Yersinia pestis* est un coccobacille gram négatif (famille des Enterobacteriaceae) responsable de la peste, découvert par Alexandre Yersin en 1894 (IPM, 2019).

La pandémie appelée peste noire a entraîné 50 millions de décès au XIVe siècle (1347-1350). La moitié de ces décès s'est trouvée en Asie, en Afrique et l'autre moitié en Europe, où environ le quart de la population a disparu (David, 1999). A Madagascar, la peste est arrivée à Toamasina en 1898 par bateau. Elle a touché les villes portuaires au début puis s'est propagée dans les hautes terres centrales (Ratsitorahina, et al., 2002).

Selon l'Institut Pasteur de Madagascar, il s'agit d'une maladie épidémique réémergent capable de « *s'éteindre pendant plusieurs années avant de réapparaître brutalement sous forme épidémique* » (IPM, 2019).



Carte 1 : Répartition des foyers naturels de peste dans le monde, mars 2016 (WHO/PED, 2016)

1.2. Transmission

La persistance de la peste dans une zone requiert deux critères :

- Présence de rongeurs sauvages (enzootiques) résistant à la peste qui sert de réservoir sauvage de l'*Yersinia pestis*
- Présence de rongeurs sensibles à la peste, en contact avec des humains et qui décèdent de la maladie pesteuse. Ensuite, les puces infectées quittent le cadavre de ces rongeurs et rejoignent des autres hôtes (autre rongeur ou l'homme). Dans certains foyers pesteux, il a été constaté fréquemment que les cas humains ont été précédés de fortes mortalités murines.

Le cycle de la peste touche principalement le bacille, la puce et le rongeur, la transmission à l'homme n'est qu'accidentelle (Chanteau, 2006).

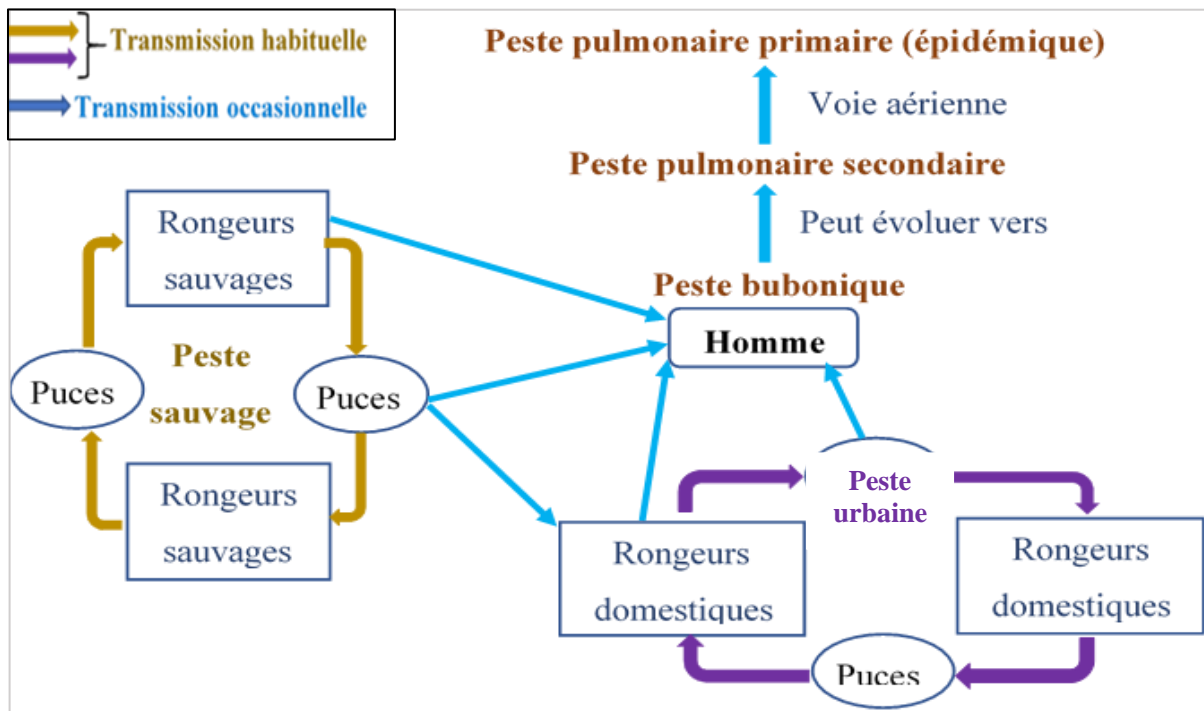


Figure 1 : Cycle de l'épidémie de peste (production personnelle)

Source : (Chanteau, 2006)

1.2.1. Homme

La transmission de la peste bubonique à l'homme se fait par piqûre de puce contaminée tandis que la peste pulmonaire se transmet par contact avec un autre homme ou animal présentant une forme pulmonaire.

1.2.2. Réservoirs

Généralement, les réservoirs de la bactérie de peste sont les rongeurs. Ces animaux se multiplient avec une fréquence d'environ une portée toutes les trois semaines. Et avec des conditions climatiques et d'alimentation propice, ils se reproduisent toute l'année. Les rats sont les principaux rongeurs sensibles à la peste bubonique qui se complique à la phase septicémique permettant de contaminer les puces. Leur durée de gestation est de 22 jours (+/-2 jours) aboutissant à 5 jusqu'à 8 petits par portée. Les femelles peuvent être fécondes dans les 24 heures après la mise-bas. Les principaux réservoirs de l'*Yersinia pestis* à Madagascar sont le rat noir ou *Rattus rattus* (dans les villages) qui est le réservoir principal et le rat brun/gris ou *Rattus norvegicus* (dans les villes) qui est le réservoir secondaire (Guis , 2003) (Tollenaere, 2009).

1.2.2.1. Rat noir *Rattus rattus* (ou rat des greniers ou rat des navires)

Il s'agit d'un rat domestique vivant proche de la population humaine. Il est très sensible à la peste, ce qui permet la transmission de cette maladie entre rongeurs ou aux humains puisque les puces quittent le rat mourant et vont rejoindre et contaminer un nouvel hôte (rongeur ou homme). En milieu tropical, à l'état sauvage, il vit en groupes familiaux et niche dans les arbres. Dans le territoire humain, il peut se trouver dans toutes types de constructions. Il est mature à trois mois de vie, a une espérance de vie entre 6 mois et plusieurs années et est présent dans tous les continents y compris Madagascar. (Guis , 2003).

1.2.2.2. Rat brun ou gris *Rattus norvegicus* (ou rat d'égout ou surmulot)

C'est un rongeur qui a peur des humains et « ne rapproche de l'homme que pour chercher sa nourriture ». A part qu'il soit moins rapproché des humains, il est également moins sensible à la peste. Par conséquent, cette espèce permet la continuité de la bacille pesteuse dans un réservoir animal d'où le jouent un rôle dans le maintien des foyers pesteux. En ville, il vit dans les murs, sols et déchets ou autour des habitations près de l'eau, dans les fossés, le long des ruisseaux et marécages, dans les haies et remblais. Il devient mature à 3,5 mois de vie et est également présent dans tous les continents y compris Madagascar (Guis , 2003).

1.2.3. Vecteurs

Les vecteurs de la peste sont les puces. Elles vivent avec leur hôte comme les rongeurs et l'homme (Guis , 2003). Dans le monde, il existe 31 espèces vectrices du bacille de la peste, mais le *Xenopsylla cheopis* reste le vecteur classique.

A Madagascar, les vecteurs courants de *Yersinia pestis* sont les puces :

- *Xenopsylla cheopis* se trouve chez les rongeurs des milieux urbains ou à l'intérieur de l'habitation.

- *Xenopsylla fonquerniei* qui vit sur les rongeurs en milieu extérieur et rural.

Elles peuvent être toutes les deux présentes sur le *Rattus rattus* (GUIS, 2003) (Chanteau, et al., 1998)

1.2.4. Bacille

Dans la nature, l'*Yersinia pestis* peut survivre jusqu'à 11 mois dans le sol, jusqu'à 18 mois dans les excréments des puces et 11 jours dans leurs cadavres (Guis , 2003). Et in vitro, la température idéale à leur multiplication est de 28°C (Chanteau, 2006).



Rattus rattus (milieu rurale)



Rattus norvegicus (milieu urbain, port)



Xenopsylla cheopis



Synopsyllus fonquerniei

Photo 1 : Vecteurs et réservoirs de la peste à Madagascar

Source : (Chanteau, 2006)

1.3. Classification

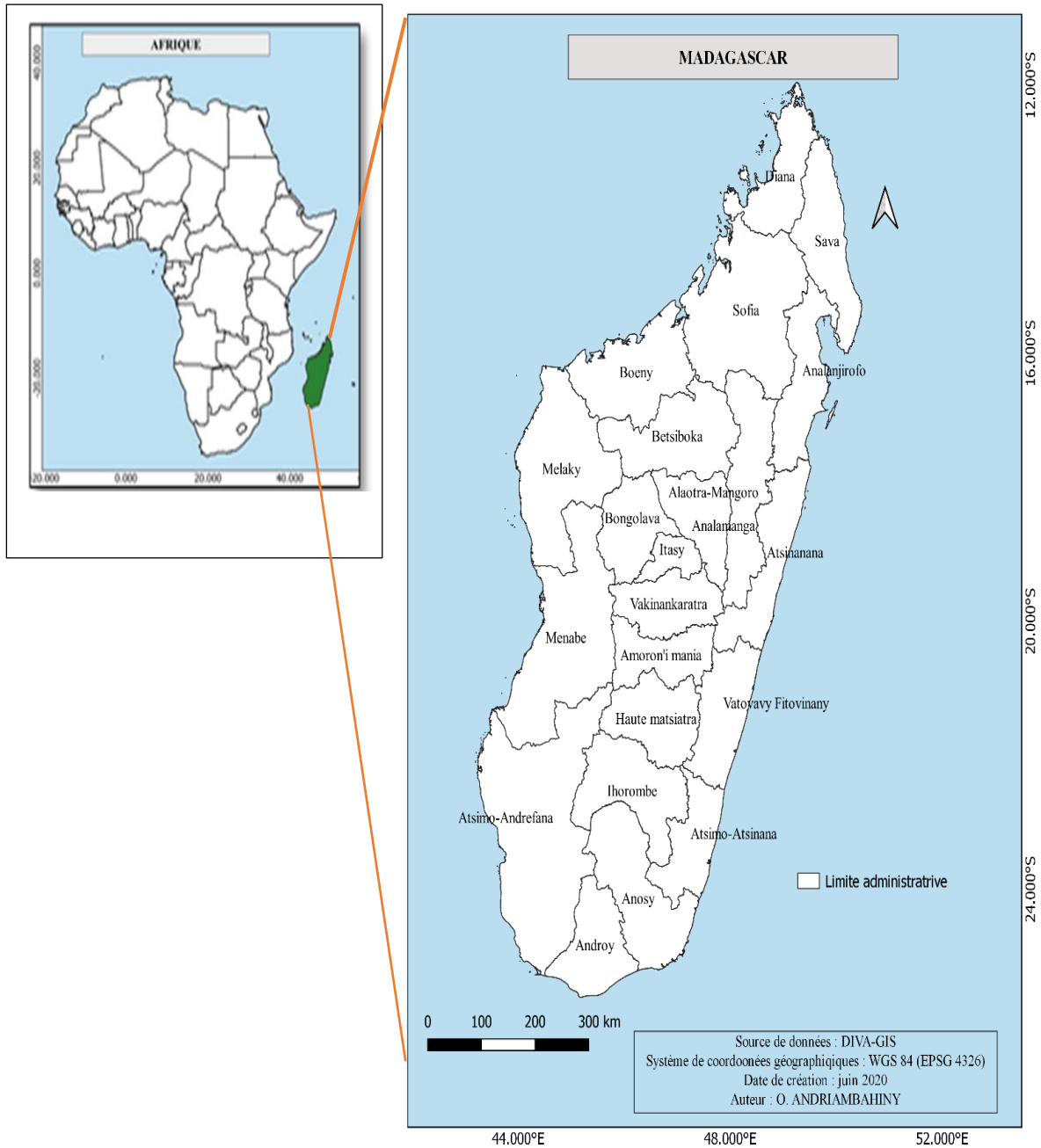
La période d'incubation chez l'homme dure 2 à 7 jours et la maladie se manifeste par des symptômes de syndromes infectieux (fièvre, céphalées, douleurs, asthénie, vomissements, nausées). Il existe deux formes cliniques principales :

- ❖ Peste bubonique : il s'agit d'une forme clinique fréquente provoquée par la piqûre de puce infectante. Elle est caractérisée par la présence d'une adénopathie très douloureuse ou bubon. Cette forme peut se compliquer en peste septicémique ou évoluer aux poumons et entraînerait une peste pulmonaire. La létalité varie de 30 à 60%.
- ❖ Peste pulmonaire : forme rare, secondaire à une peste bubonique par retard ou absence de traitement médical. Elle se transmet également en interhumaine par voie aérogène (l'inhalation de gouttelettes respiratoires) ou contact avec des fluides ou tissus d'un hôte infecté. Elle se caractérise par la présence de signes respiratoires. Le risque de contagiosité et l'évolution (incubation et complication) sont rapides. Sans traitement, elle entraîne constamment le décès (OMS, 2017) (Chanteau, 2006).

CHAPITRE 2. CARACTERISTIQUES DU SITE D'ETUDE

2.1. Cadre physique

Madagascar est une île de l'océan indien qui se situe à 400 km de l'est du continent Africain (Rabaovololona & Raharinirina, 2017). Administrativement, le pays est constitué de 22 régions, qui se répartissent en 119 districts. Les districts sont composés de 1 693 communes urbaines et rurales qui fractionnent en 18 251 fokontany (Ministère de l'intérieur et de la décentralisation, 2015). Elle a une superficie de 587 295 km² et 27 249 564 habitants (PopulationData.Net, 2020).



Carte 2 : Localisation géographique de Madagascar

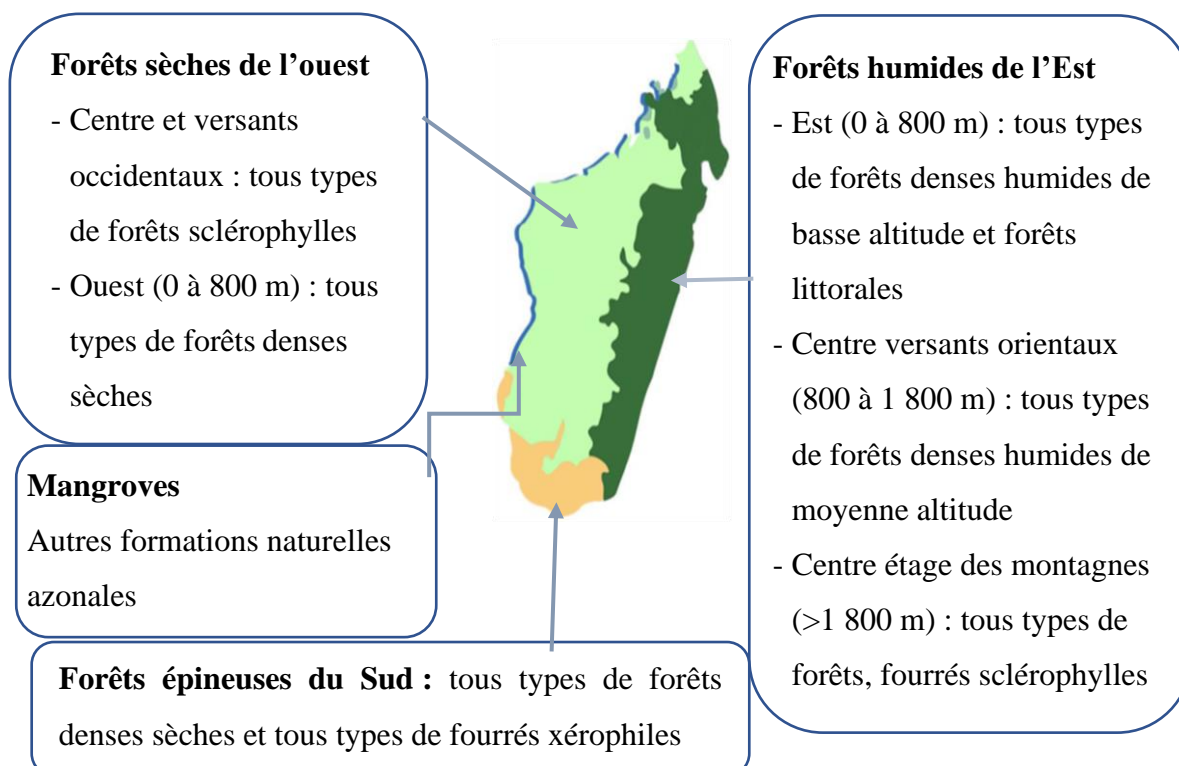
Tableau I : Les 22 régions de Madagascar avec ses superficies

	Région	Superficie (Km2)		Région	Superficie (Km2)
1	Alaotra Mangoro	31 948	12	Bongolava	16 688
2	Amoron'i Mania	16 141	13	Diana	19 266
3	Analamanga	16 911	14	Haute Matsiatra	21 080
4	Analanjirifo	21 930	15	Ihorombe	26 391
5	Androy	19 317	16	Itasy	6 993
6	Anôsy	25 731	17	Melaky	38 852
7	Atsimo Andrefana	66 236	18	Menabe	46 121
8	Atsimo Atsinanana	18 863	19	Sava	25 518
19	Atsinanana	21 934	20	Sofia	50 100
10	Betsiboka	30 025	21	Vakinankaratra	16 599
11	Boeny	31 046	22	Vatovavy Fitovinany	19 605

Source : (PopulationData.Net, 2020)

2.2. Couverture forestière et déforestation

Il existe quatre écorégion avec des forêts naturelles et végétions différentes à Madagascar.



Carte 3 : Ecorégions et écosystèmes forestiers de Madagascar

Source : (MEEF, 2018)

Madagascar appartient aux dix premiers pays « hotspot », riche en espèces de faunes et flores endémiques dans le monde. Cependant, la déforestation s'accélère malgré la mise en place de différentes stratégies et politiques sur la gestion de ressources forestières depuis 1990. En effet, le taux de déforestation est de 0,83%/an de 1990 à 2000 puis 0,53%/an de 2000 à 2005. De 2005 à 2013, la forêt a diminué de 10%.

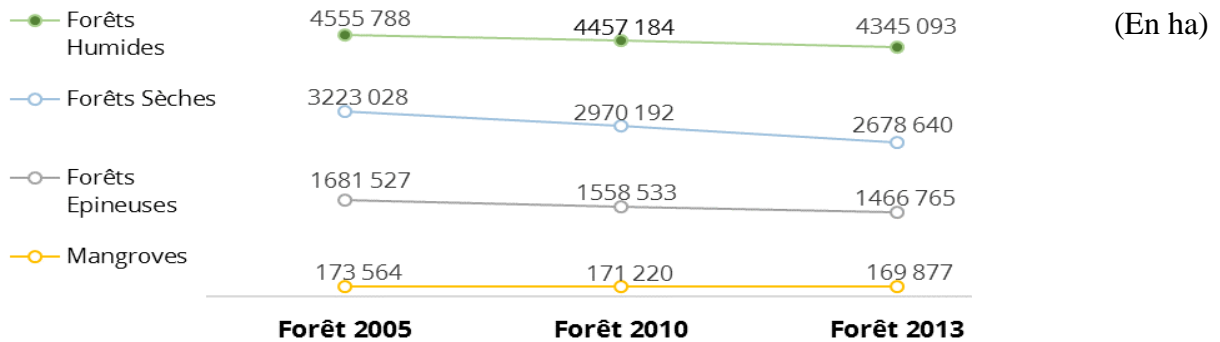


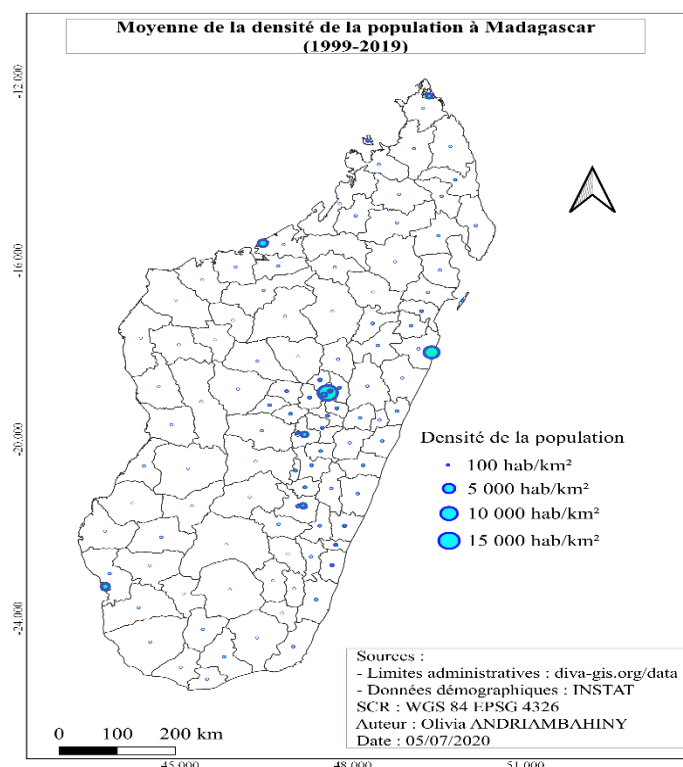
Figure 2 : Evolution de la couverture forestière entre 2005 et 2013

Source : (MEEF, 2018)

2.3. Milieu humain

2.3.1. Démographie

La densité de la population malagasy est de 46,40 habitants par km² (PopulationData.Net, 2020). La population se concentrent généralement dans les villes du centre de l'île et des côtes.



Carte 4 : Moyenne de la densité de la population de Madagascar de 1999 au 2019

2.3.2. Niveau d'instruction

Depuis 1998, le taux d'alphabétisation annuel ne dépasse pas 74,1%. En 2017, le taux d'alphabétisation des individus âgés de 15 ans et plus a reculé de 2,7% par rapport à celui de 1998.

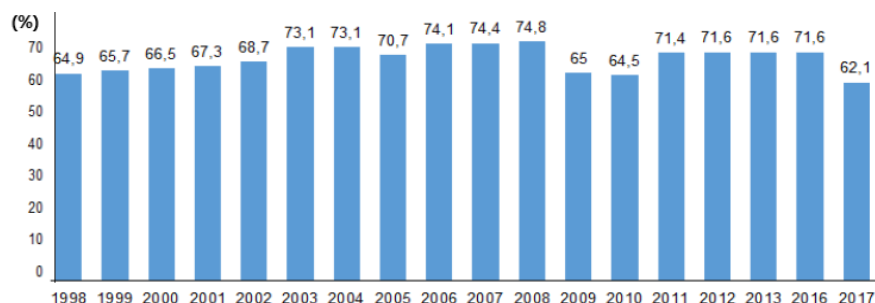


Figure 3 : Taux annuel d'alphabétisation des adultes (≥15 ans)

Source : (INSTAT, 2018)

2.3.3. Activités socio-économiques

En 2015, l'agriculture, sylviculture et pêche représentent 73,5% des activités de la population actives à Madagascar, les services (tourisme, ...) occupent 16,5% et l'industrie 10,0%. (INSTAT, 2015).

2.3.4. Economie

Selon la banque mondiale en 2019, Madagascar est l'un des pays les plus pauvres au monde avec 75% de la population qui vit avec moins de 1,90 dollar par jour (La banque mondiale Madagascar, 2019). La pauvreté est intense en milieu rural.

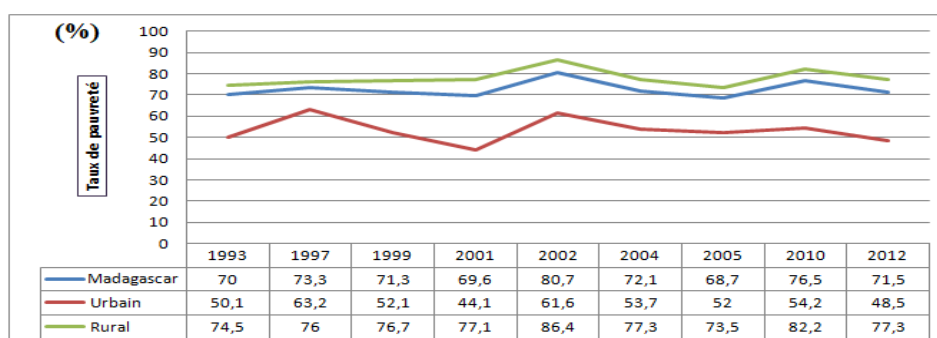


Figure 4 : Evolution du ratio de pauvreté à Madagascar par milieu

Source : (ONE, 2019)

2.4. Pratique agricole

L'agriculture tient une place importante dans l'économie nationale malagasy. La majorité (75%) de la population travaille dans le secteur agricole et participe en moyenne 35% du produit intérieur brut (PIB) du pays. De 2004 à 2005, environ 8 millions d'hectares (morcelés en 0,87

ha en moyenne) sur une superficie physique des exploitations agricoles de 2 083 590 ha de terres sont cultivables (MAEP, 2009).

2.4.1. Feux actifs

Il existe deux sortes de feu de végétation liées à l'agriculture à Madagascar :

- Les feux de brousse qui est la mise à feu de pâturages extensifs en milieu subhumide, notamment sur les hauts plateaux et à la fin de la saison sèche afin d'accélérer la régénération de la végétation (l'herbe pour le bétail).
- Le « tavy » qui est une technique de culture sur brûlis qui consiste à abattre la forêt puis les brûler afin de fertiliser le sol avec les cendres (Sarrasin, 2013) et cette technique figure parmi les menaces importantes de la déforestation (MEFT, USAID, & CI, 2009).

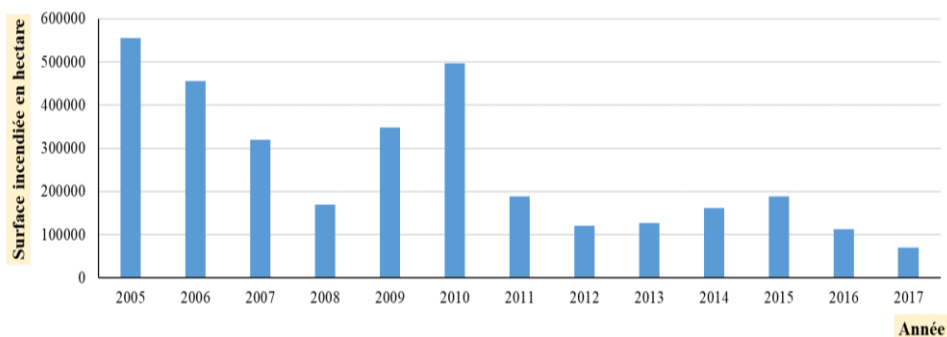


Figure 5 : Superficie incendiée annuelle à Madagascar de 2005 à 2017

Source : (ONE, 2019)

2.4.2. Exploitation agricole

D'après le rapport national du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche en 2009, les terrains agricoles se répartissent généralement par :

- « Les bas-fonds pour la riziculture et les cultures de contre-saison notamment sur les Hautes Terres,
- Les zones de colluvion, pour les cultures maraîchères,
- Les tanety (versant utilisée généralement pour les cultures pluviales ou les pâturages) pour les cultures vivrières sèches,
- Les zones alluviales (baiboho), notamment dans la partie occidentale du pays,
- Les zones côtières de l'Est où les agriculteurs combinent les cultures commerciales avec les cultures vivrières, et celles du Nord où l'on note une importante production de vanille, de girofle, de plantes à parfums destinées à l'exportation,
- Les zones forestières où les vallons étroits de la façade orientale sont occupés par une riziculture peu productive, les pentes boisées sont défrichées en partie pour la pratique de la culture sur brûlis » (MAEP, 2009).

CHAPITRE 3. MÉTHODOLOGIE

3.1. Méthode de collecte de données

3.1.1. Revue bibliographique

La revue bibliographique est utilisée pour les informations qui représentent la monographie de Madagascar ainsi que la littérature sur les vecteurs et réservoir de la peste.

3.1.2. Entretiens

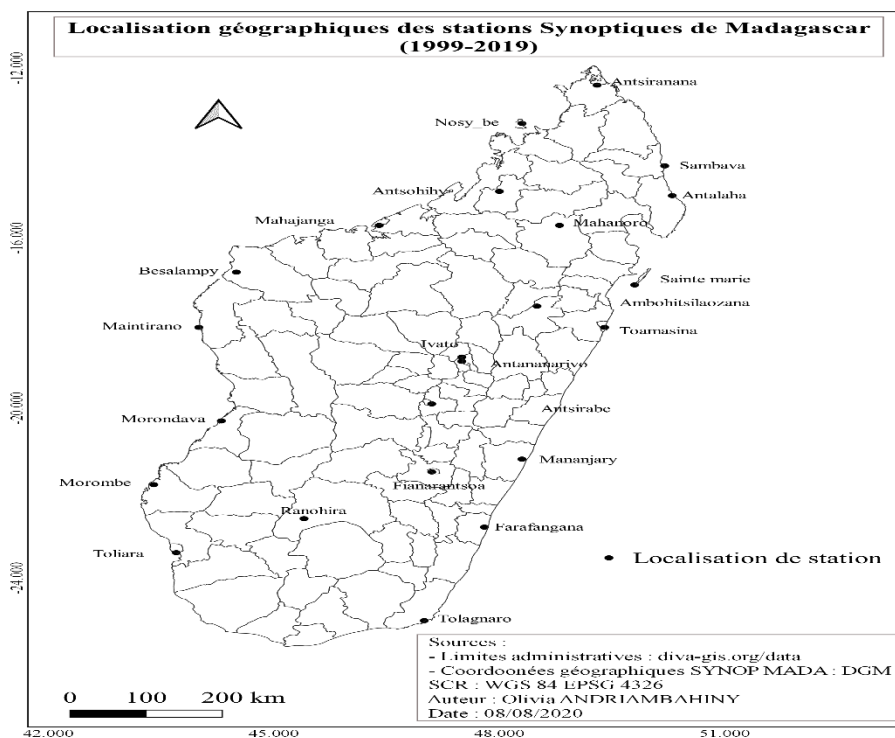
Des entretiens par mail avec des autorités administratives à Madagascar ont été réalisés.

3.1.2.1. Données démographiques

Pour les données démographiques utilisées dans la caractéristique du site d'étude, ce sont des effectifs annuels de population par district (de 1999 au 2019) qui proviennent de la direction générale de l'Institut National de la Statistique ou INSTAT Madagascar. Elles résultent du 2^{ème} Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2 (RGPH2) en 1993 et des résultats provisoires du 3^{ème} Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH3). Il s'agit des recensements sur terrain de la population de Madagascar par des enquêteurs. L'échantillon de population inclu dans l'enquête a été obtenu par cartographie censitaire préétablie qui consiste à réaliser un support topographique pour l'ensemble du territoire national en le découpant en petites unités opérationnelles de recensement ou zone de dénombrement (INSTAT, 2019).

3.1.2.2. Données climatiques

Les données climatiques qui sont les températures et les précipitations sont relevées auprès de la Direction Générale de la Météorologie (DGM) de Madagascar. Il s'agit des données journalières de températures et précipitations provenant des 23 stations de 1999 au 2019. Ce sont des données d'observations issues des stations SYNOP Mada régénérant des messages d'observation en surface (Betole Ada, 2015). Les données manquantes ont été complétées avec des données « mergin » issues par la méthode de k plus proches voisins (k-nearest neighbors). Il s'agit d'une méthode à base de voisinage non-paramétrique. La classe de la valeur manquante x est déterminée en fonction de la classe majoritaire parmi les paramètres k plus proches voisins de l'observation (Mathieu-Dupas, 2010).



Carte 5 : Localisation des stations synoptiques de Madagascar (1999-2019)

3.1.2.3. Données épidémiologiques

Des discussions par mail sur les données épidémiologiques, les stratégies de lutttes, les acteurs, les actions menées contre la peste sont faites avec des responsables du Service de Lutte contre la Peste (SLP) et à la Direction de la Veille Sanitaire, de la Surveillance Épidémiologique et Riposte (DVSSER) sont importantes. Les bases de données nationales de 1999 au 2019 sur Excel de la peste ont été élaborées par la notification des cas de peste par les responsables des districts sanitaires vers ces deux entités du ministère de la santé de Madagascar¹.

3.1.3. Acquisition de données satellitaires

Elles sont utiles pour le système d'informations géographique.

3.1.3.1. Limites administratives et relief

Les limites administratives en format shapefile et le relief de Madagascar format geotiff sont téléchargés au diva-gis.org disponible sur <http://www.diva-gis.org/datadown>. Diva-gis a été choisi étant donné que le téléchargement des données spatiales est gratuit.

Concernant les limites administratives, elles sont issues du Global Aviation Data Management (GADM) version 1.0., développé par International Potato Center (CIP). Ce sont des données vectorielles stockées sous forme de shapefiles ESRI (Hijmans, Guarino, & Cruz, 2001). Pour le relief, le raster a été produit sur la base des données (version 4) de la mission topographique

¹ Entretien par mail avec des responsables du SLP et DVSSER du Ministère de la Santé Publique de Madagascar

radar de la navette de la NASA ou Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) 90m DEM avec une résolution de 90m. Ces données d'élévation numérique ont de haute qualité même pour les données des pays en développement (Jarvis, Reuter, Nelson, & Guevara, 2008).

3.1.3.2. Google Earth

Google Earth pro qui est un logiciel gratuit de google permettant de visionner les images satellites à haute résolution du globe terrestre a été utilisé afin d'observer l'évolution de l'environnement d'un lieu à haut risque pestueux dans le temps (System Geographic Information, 2017).

3.1.3.3. Feux actifs

Les données sur les feux ont été téléchargées dans le site de NASA Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Ce sont des produits de MCD14ML MODIS (Collection 6 Terra et Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) qui a une résolution de 1 km. Les archives mondiales sur les feux actifs depuis novembre 2000 sont téléchargeables sous forme de shapefiles (.shp), comma-separated text files (.csv) ou JSON files (.json). Elles ont été choisies étant donné qu'elles sont gratuites et permettent d'analyser la dynamique des feux de brousse en temps quasi réel. Les points de feux sont classés sur une échelle de fiabilité de 0 à 100% afin d'évaluer la qualité des pixels de feu. Comme limite, les données ne contiennent pas uniquement les feux mais également les autres sources de chaleur intense. (Giglio, Schroeder, Hall, & Justice, 2018). Les données à partir de janvier 2001 ont été utilisées dans cette étude.

3.1.4. Collecte de données dans le site web ministériel

3.1.4.1. Agriculture

Les types des premiers produits et surfaces agricoles, ainsi que les calendriers cultureux ont été collectée dans le site du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP) de Madagascar sur <http://www.maep.gov.mg/>. Ce sont des données nationales par région et par district de 2007 à 2010 dans des fichiers PDF. Elles sont issues des enquêtes agricoles (MAEP & Service de la Statistique Agricole, 2012).

3.2. Méthode de traitement et analyse de données

3.2.1. Données climatiques

Les températures et les précipitations sont étudiées étant donné que ce sont les paramètres qui conditionnent la multiplication des puces vectrices de bacille de la peste (GUIS, 2003).

3.2.2.1. Températures moyennes journalières

La valeur de la température moyenne journalière est obtenue, en divisant par 2 la somme des valeurs de la température minimale et de la température maximale.

- Température moyenne journalière $t_m = \frac{t_x + t_n}{2}$
- t_x : températures maximales journalières
- t_n : températures minimales journalières

3.2.2.2. Précipitations cumulées mensuelles

- Précipitations cumulées mensuelles = $\sum_{i=1}^n rr$
- rr : pluies journalières

b. Moyennes mensuelles des températures et des précipitations

Le calcul des moyennes est utilisé pour déterminer les moyennes mensuelles de 1999 au 2019

$$= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Haesbroeck, 2017}).$$

- x : température moyenne journalière (t_m) ou précipitation cumulées mensuelles (rr)
- n : total des mois

3.2.2.3. Corrélation entre les cas de peste et les paramètres climatiques

La corrélation entre le nombre mensuel de cas de peste de 1999 au 2019 et les paramètres climatiques (températures moyennes mensuelles et précipitations cumulées mensuelles) est calculée dans les logiciels de statistiques Excel et RStudio.

Pour se faire, il est essentiel de chercher la covariance (Cov) pour déterminer l'existence ou l'inexistence d'une relation linéaire entre deux variables quantitatives continues.

- Covariance positive : il existe une corrélation positive entre x et y
- Covariance négative : il existe une corrélation négative entre x et y
- Covariance nulle : pas de corrélation entre x et y

Si $Cov \neq 0$, le coefficient de corrélation de Pearson « r » sera déterminé pour mesurer l'intensité ou la force de la corrélation entre les variables aléatoires.

- Si $r = 0$: il n'y a pas de relation linéaire entre x et y
- Si $r = -1$: il existe une forte relation linéaire négative entre x et y
- Si $r = 1$: il existe une forte relation linéaire positive entre x et y

Seuil de signification = 0,05 :

- Si seuil de signification $< 0,05$: résultat significatif,
- Si seuil de signification $\geq 0,05$: résultat non significatif (Grasland, 1998)

Les résultats attendus seraient de rejeter ou confirmer les hypothèses :

- H_1 : l'abondance des cas de peste bubonique est influencée par les paramètres climatiques

- H2 : il existe une corrélation forte entre le nombre de cas de peste et les paramètres climatiques

3.2.3. Données démographiques

Le nombre de population par district de 1999 au 2019 sert à calculer la densité de la population.

La population moyenne annuelle par district = $\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ (Haesbroeck, 2017).

- x : effectif de la population par district par an
- n : total des années étudiées

Densité moyenne de la population par district = $\frac{\text{Population du district}}{\text{Surface du district (km}^2\text{)}}$

Ces densités moyennes sont importées dans le logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) gratuit qui est le QGIS version 3.12.2.

3.2.4. Données épidémiologiques

La première étape de l'analyse des données épidémiologiques consiste à effectuer un nettoyage de la base de données. En effet, les informations sur les patients inclus dans cette étude sont l'adresse (commune, district et région), la forme clinique (peste bubonique) et la classification selon l'OMS (cas suspect ou cas probable ou cas confirmé). Par conséquent, les patients sont exclus de cette recherche quand l'une de ces trois informations est absente. Après cette épuration de la base de données nationales, 10 962 sur 10 979 cas de peste bubonique, soit 99,8% des cas de 1999 au 2019 sont retenus dans cette étude. L'analyse se fait sur Excel (fréquence, moyenne) et sera ensuite importé sur logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) gratuit qui est le QGIS version 3.12.2.

❖ L'analyse de l'évolution spatio-temporelle des cas de peste bubonique à Madagascar est effectuée à partir des moyennes des taux d'incidence annuel par district de 1999-2004, 2005-2009, 2010-2014 et 2015-2019.

Taux d'incidence par an par district de 1999 au 2019 (pour 100 000 hab) = $\frac{m}{PT} \times 100\ 000$

- m = effectif de nouveaux cas de peste bubonique apparus pendant $[t, t+\Delta t[$
- $[t, t+\Delta t[$ = début janvier au fin décembre de chaque année
- PT = effectif de personnes temps susceptibles de produire des nouveaux cas (nombre de population total du district) pendant $[t, t+\Delta t[$
- 100 000 : dénominateur choisi pour la mesure du taux d'incidence (100 000 habitants)

Moyenne annuelle des taux d'incidence de la peste bubonique (PB) par district = $\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

- x_i = taux d'incidence par an de 1999 au 2019 (pour 100 000 hab)
- n = effectif total des nombre des années étudiées (1999 au 2019) = 21 années

- ❖ La catégorisation des districts selon leurs niveaux de risque pesteux à Madagascar de 1999 au 2019 est obtenue d'après la méthode presque semblable à l'étude sur l'Atlas de la peste à Madagascar de Chanteau S. en 2006 (Chanteau, 2006).

- **Score de fréquence**

Le calcul de moyenne (Haesbroeck, 2017) est utilisé pour déterminer la fréquence d'apparition de peste dans chaque district.

Il s'agit de nombre moyen des mois d'apparition de peste bubonique (PB) par an par district

$$= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- x = nombre de mois d'apparition de PB dans le district par an de 1999 au 2019 = 0 à 12
- n = total des mois dans une année = 12 mois

D'après le calcul, ces scores de fréquence varient de : 0 à 7,1 mois par an par district.

- **Score d'intensité**

Le calcul du taux d'incidence est utilisé pour mesurer l'intensité de la peste bubonique (PB) dans chaque district. Il s'agit de « nombre de nouveau cas d'une maladie qui apparaissent dans une population donnée durant une certaine période » (Labarere, 2011).

Taux d'incidence par an par district de 1999 au 2019 (pour 100 000 hab) = $\frac{m}{PT} \times 100\ 000$

- m = effectif de nouveaux cas de PB apparus pendant $[t, t+\Delta t[$
- $[t, t+\Delta t[$ = début janvier au fin décembre de chaque année
- PT = effectif de personnes temps susceptibles de produire des nouveaux cas (nombre de population total du district) pendant $[t, t+\Delta t[$
- 100 000 : dénominateur choisi pour la mesure du taux d'incidence (100 000 habitants)

Moyenne annuelle des taux d'incidence de la peste bubonique (PB) par district = $\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

- x_i = taux d'incidence par an de 1999 au 2019 (pour 100 000 hab)
- n = effectif total des nombre des années étudiées (1999 au 2019) = 21 années

D'après le calcul, ces scores d'intensité varient de 0 à 40,43 pour 100 000 habitants par district.

- Niveau de risque pesteux par district :

$$\text{Niveau de risque pesteux} = \frac{\text{score de fréquence} + \text{score d'intensité}}{2}$$

D'après le calcul, les valeurs obtenues sont 0 à 40,47 et les niveaux de risque sont classés :

- Risque faible pour un score $<10,12$
- Risque moyen pour un score entre 10,12 – 20,22
- Risque fort pour un score entre 20,23 et 30,34
- Risque très fort pour un score $>30,34$

Les districts avec leurs niveaux de risque pesteux sont importés dans le logiciel gratuit QGIS version 3.12.2 pour constituer la carte de risque pesteux de Madagascar de 1999-2019.

3.2.5. Pratique agricole

3.2.5.1. Feux actifs

Les feux actifs à échelle de fiabilité plus de 30% ont été retenues dans cette étude afin d'obtenir une base de données ne contenant que les points de feu avérés (Caillault, Baillouche, & Delahaye, 2010).

a. Moyennes mensuelles des feux actifs

Le calcul des moyennes est utilisé pour déterminer les moyennes mensuelles des feux actifs de 2001 au 2019 = $\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ (Haesbroeck, 2017).

x : nombre de feux actifs par mois

n : total des mois

b. Corrélation entre le nombre de cas de peste et les moyennes mensuelles des feux actifs

La corrélation entre le nombre mensuel de cas de peste et le nombre de feux actifs de 2001 au 2019 est calculée dans les logiciels de statistiques Excel et RStudio. Elle permet de déterminer s'il existe ou non une relation linéaire entre ces deux variables quantitatives continues.

- Covariance positive : corrélation positive entre le nombre de cas de peste buboniques et le nombre de feux actifs
- Covariance négative : corrélation négative entre le nombre de cas de peste buboniques et le nombre de feux actifs,
- Covariance nulle : pas de corrélation entre le nombre de cas de peste buboniques et le nombre de feux actifs.

Si la valeur de la covariance $\neq 0$, le coefficient de corrélation de Pearson « r » sera cherché pour mesurer l'intensité de la corrélation entre le nombre de cas de peste buboniques et le nombre de feux actifs

- Si $r = 0$: il n'existe pas de relation linéaire entre les deux variables
- Si $r = -1$: il existe une forte relation linéaire négative entre les deux variables
- Si $r = 1$: il existe une forte relation linéaire positive entre les deux variables

Seuil de signification = 0,05 :

- Si seuil de signification $< 0,05$: résultat significatif,
- Si seuil de signification $\geq 0,05$: résultat non significatif (Grasland, 1998).

c. Densité des feux actifs

Le traitement et l'analyse des données sur les limites administratives, le relief et les feux actifs ont été réalisés dans le logiciel QGIS 3.12.2 afin de déterminer les superficies et le nombre de feux actifs des :

- Zones situées aux altitudes de ≤ 800 m,
- Zones situées aux altitudes de > 800 m.

Les superficies et le nombre de feux obtenus sont utilisés pour calculer les densités de feux par km^2 dans les zones catégorisées selon leurs niveaux d'altitudes (≤ 800 m ou > 800 m) ainsi que dans les districts classés selon leurs niveaux de risque pesteux et d'altitudes. La comparaison des valeurs de ces densités de feux actifs est utilisée pour identifier les tendances entre la saisonnalité de la peste bubonique et celle des feux actifs.

$$\text{Densité de feux actifs} = \frac{\text{Nombre de feux actifs dans un lieu}}{\text{Surface du lieu (km}^2\text{)}}$$

3.2.5.2. Superficie de surface agricole

La superficie agricole par type de produit cultivé est collectée à partir des fichiers PDF du site ministériel de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche de Madagascar afin de produire une base de données Excel. Les moyennes de surface occupée par type de produit agricole par district de 2007 au 2010 ont été calculées $= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ (Haesbroeck, 2017).

x : surface agricole par an

n : total des années

Ces moyennes ont été importé dans QGIS 3.12.2 pour calculer les surfaces agricoles en fonctions des altitudes et en fonction des risques pesteux (superposition et découpage de vecteur) (QGIS project, 2020).

3.2.5.3. Calendrier agricole

Dans les districts à haut risque pesteux situés à >800 m d'altitudes, il existe deux différents calendriers agricoles dont un pour la zone à hauts plateaux sud (Anjozorobe, Manjakandriana, Ambositra, Fianarantsoa I, Fianarantsoa II, Ambalavao) et un autre pour la zone moyenne Est (Ambatofinandrahana, Ankazobe, Miarinarivo, Tsiroanomandidy, Betafo, Manandriana) (MAEP & Service de la Statistique Agricole, 2012). Une reproduction des calendriers agricoles de chaque zone a été réalisée afin de déterminer les deux saisons agricoles qui vont ensuite comparer avec la saison de la peste bubonique.

CHAPITRE 4. RESULTATS

4.1. Evolution temporelle d'épidémies de peste bubonique de 1999 au 2019

4.1.1. Variation annuelle de peste bubonique

Durant la période étudiée, chaque année, l'épidémie de peste bubonique survient à Madagascar. Les pics sont observés dans les six premières années de l'étude durant lesquelles une moyenne de 957 cas par an est remarquée. A partir de 2005, les nombres varient dont 2007, 2008, 2011, 2013, 2014 et 2017 sont les années où le plus de cas sont apparus (> 400 cas).

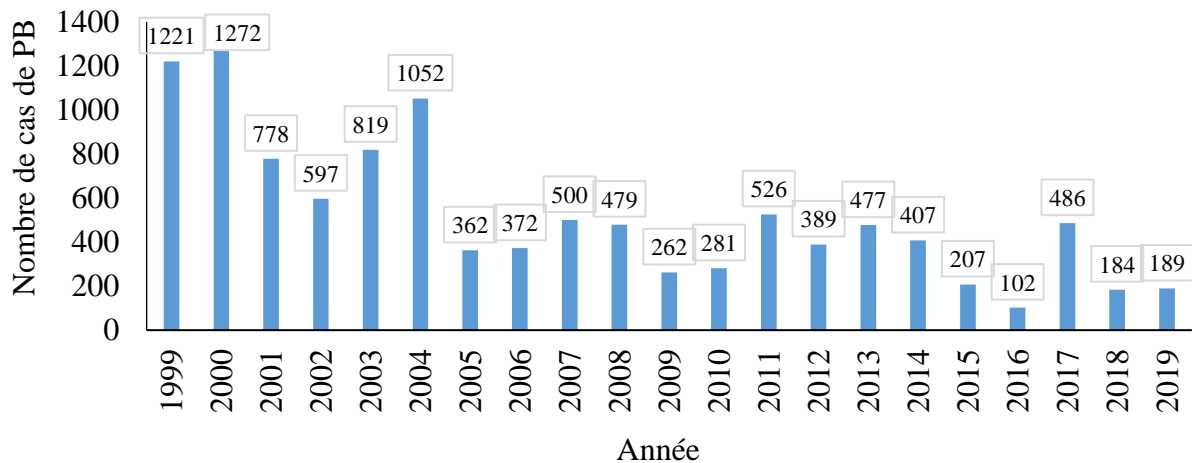


Figure 6 : Répartition annuelle du nombre de cas de peste bubonique de 1999 au 2019

(Source : SLP/DVSSER Madagascar)

4.1.2. Variation mensuelle de peste bubonique

La répartition mensuelle montre que, de 1999 à 2019, la peste bubonique persiste toute l'année à Madagascar. Un pic saisonnier est observé d'octobre à janvier, puis que cela décroît jusqu'en juin-juillet, avant de reprendre en août-septembre.

Généralement, la saison de l'épidémie de peste démarre au mois de septembre jusqu'en avril. Des cas sporadiques sont observés de mai à août.

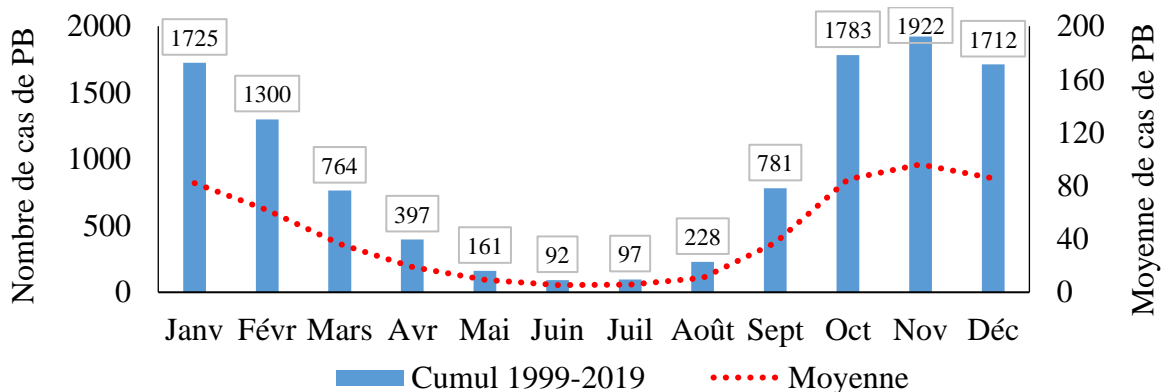
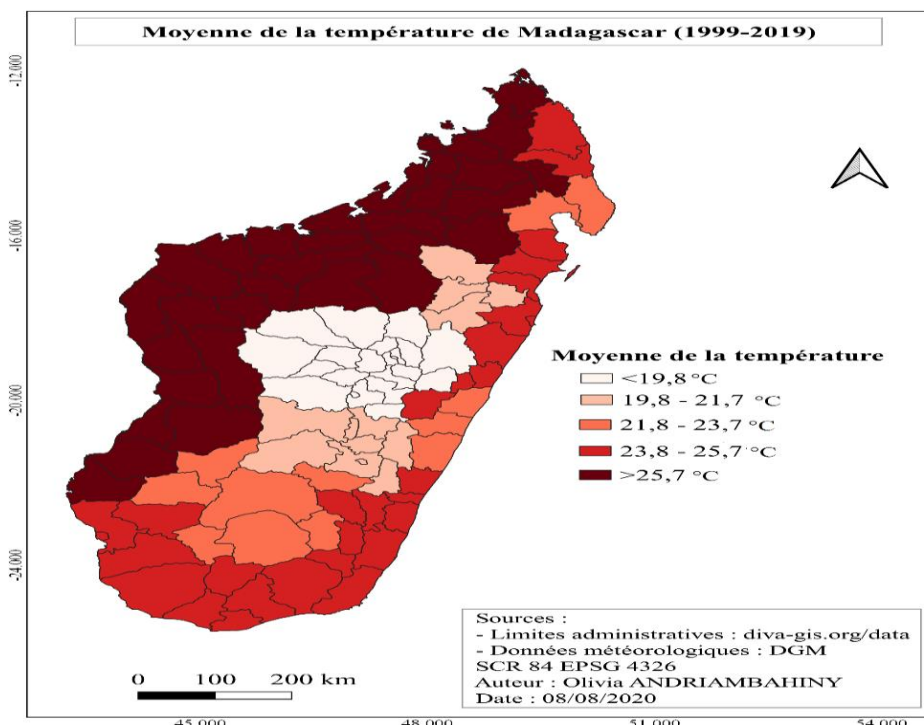


Figure 7 : Variation mensuelle du nombre de cas de peste bubonique de 1999 au 2019

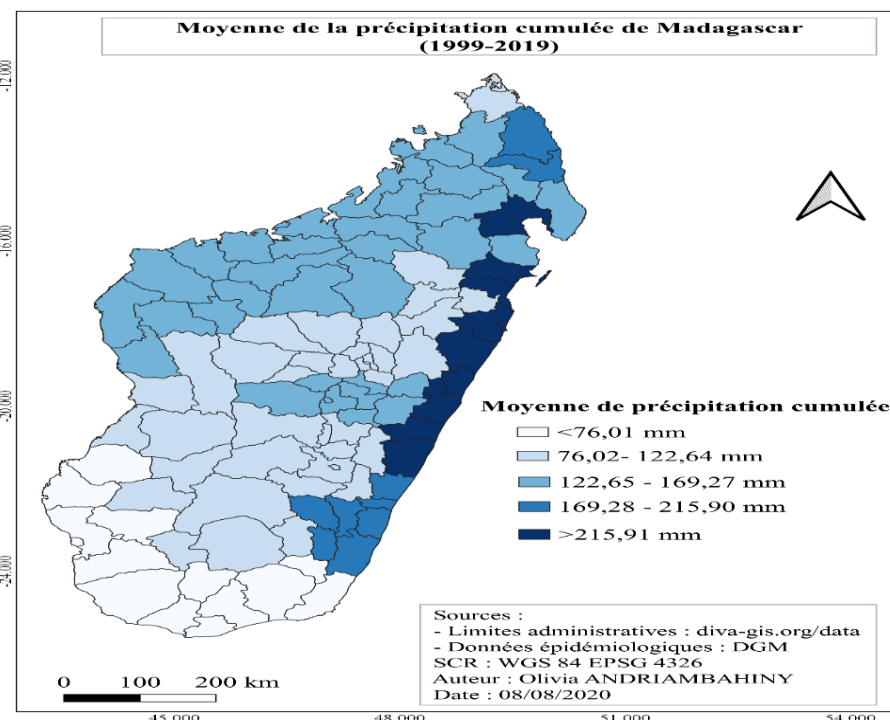
(Source : SLP/DVSSER Madagascar)

4.2. Paramètres climatiques

A Madagascar, de 1999 au 2019, les moyennes mensuelles de température par district varient de 17,8 à 27,6°C et celle des précipitations cumulées de 29,4 à 263,5 mm. La zone centrale reste la plus froide avec des moyennes de température de moins de 21,7°C et de précipitation cumulée de 76 à 169,3 mm. La partie nord-ouest reste la plus chaude avec des moyennes mensuelles de températures plus de 25,7°C et la partie orientale est la plus pluvieuse avec des moyennes de précipitations cumulées de plus de 215,9 mm. Au sud, les moyennes de températures sont de 23,8 à 25,7°C et les précipitations sont faibles.



Carte 6 : Moyenne de température mensuelle de Madagascar de 1999-2019



Carte 7 : Moyenne de précipitation cumulée mensuelle de Madagascar de 1999-2019

4.2.1. Variation mensuelle des paramètres climatiques (1999-2019)

Les températures sont supérieures à 23°C de septembre à avril. Les mois de juin, juillet et août étant les plus froids (<22°C). Concernant les moyennes de précipitations mensuelles, elles varient de 50,9 à 307,1 mm. Elles sont abondantes de décembre à mars (>150 mm) et faibles (<150 mm) d'avril à novembre. Les mois d'août à octobre sont les plus secs (<80 mm).

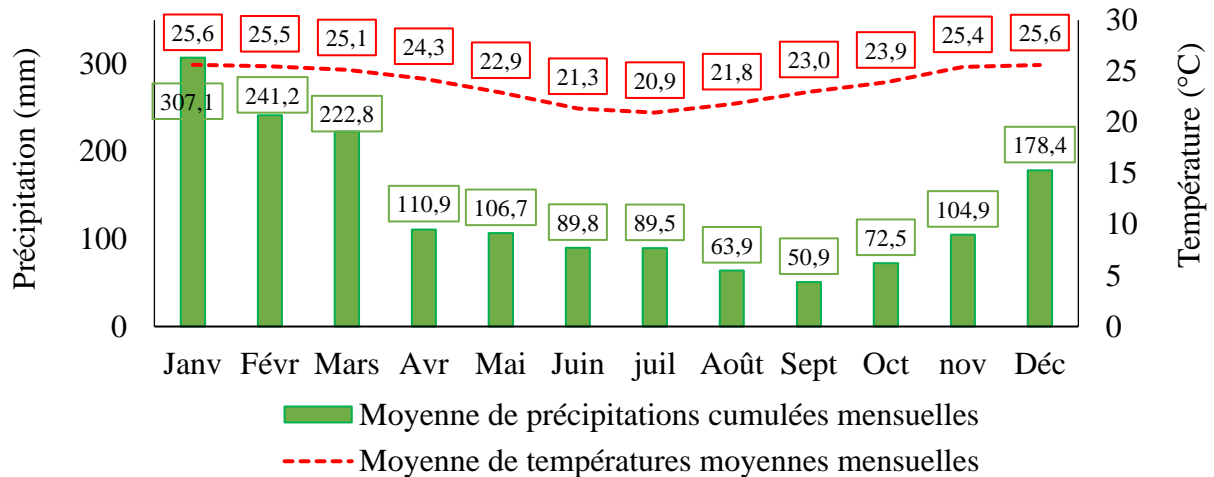


Figure 8 : Variation mensuelle des moyennes des paramètres climatiques (1999-2019)

4.2.2. Corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les paramètres climatiques

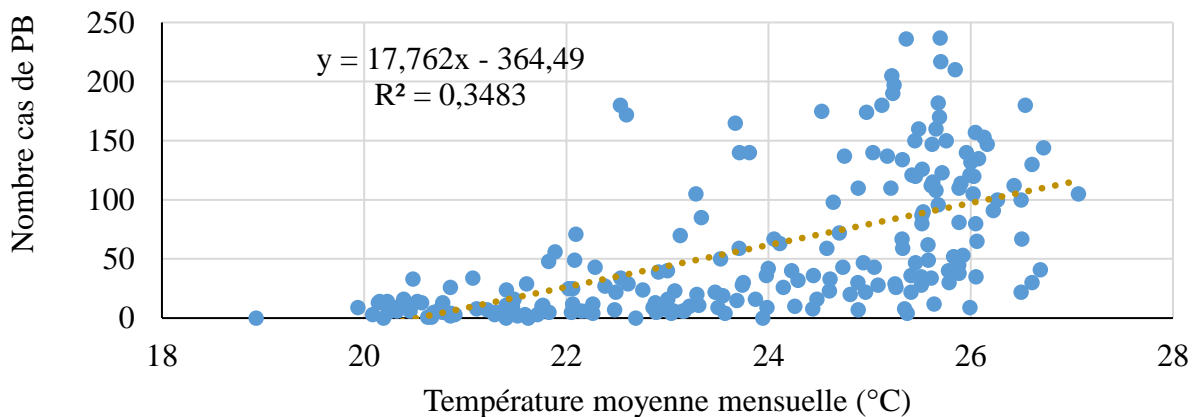


Figure 9 : Corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et la température moyenne mensuelle (1999-2019)

Tableau II : Analyse de corrélation entre les nombres de cas de peste bubonique et température

Paramètre	Covariance	Coefficient Pearson	Seuil de signification 0,05
Température moyenne	64,88152	0,5600651	1.003e-19

De 1999 au 2019, il existe une corrélation positive significative de 0,56 entre les températures moyennes et les nombres de cas de peste bubonique.

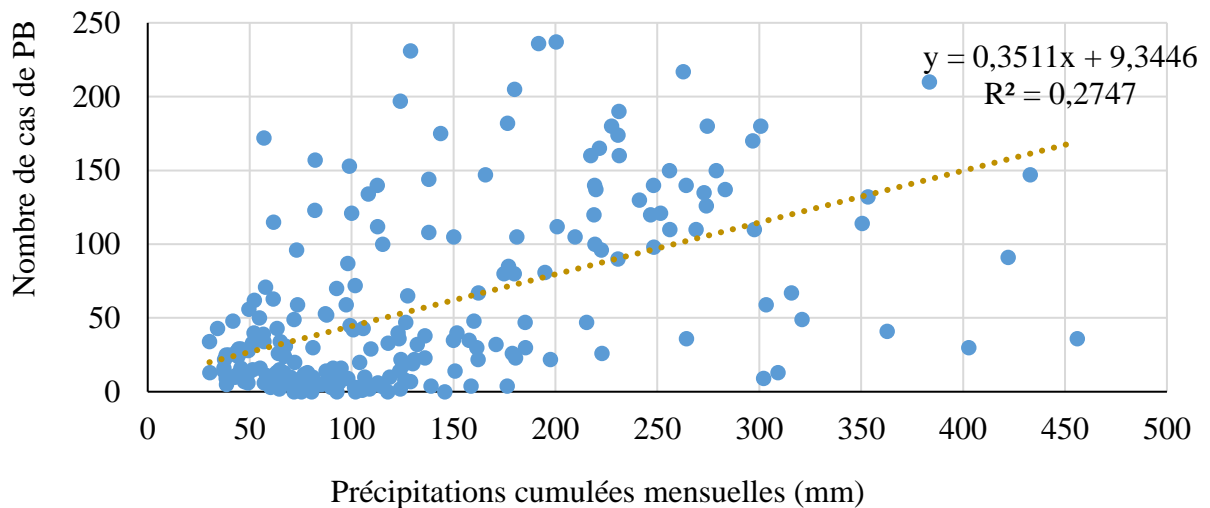


Figure 10 : Corrélation entre le nombre de cas de peste et précipitations cumulées mensuelles (1999-2019)

Tableau III : Analyse de corrélation entre les nombres de cas de peste bubonique et précipitation

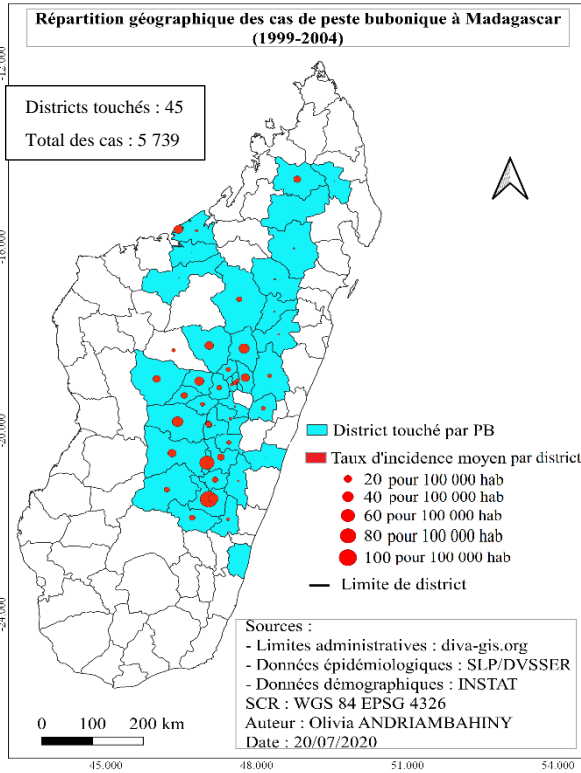
Paramètre	Covariance	Coefficient Pearson	Seuil de signification 0,05
Précipitations cumulées	2 800,447	0,5241694	$7.301e^{-17}$

La précipitation a une corrélation positive significative de 0,52 avec les nombres de cas de peste bubonique de 1999 au 2019.

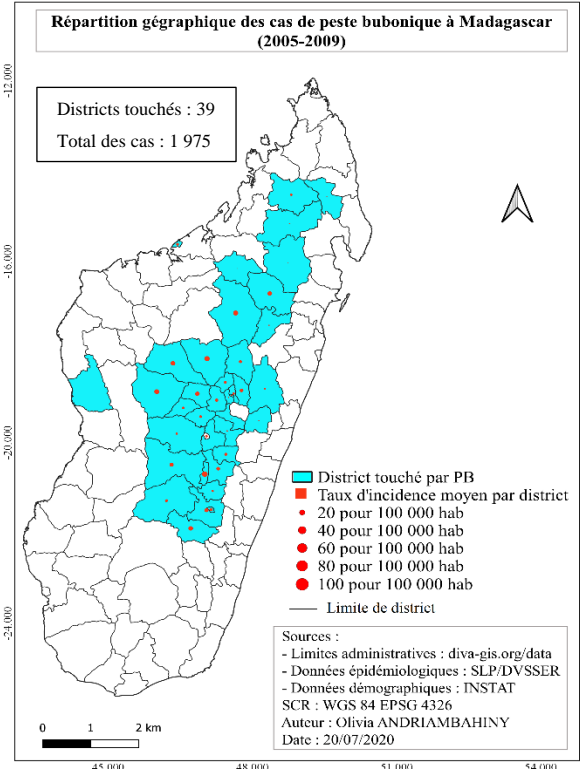
4.3. Evolution spatio-temporelle des cas de peste bubonique (1999-2019)

De manière générale, le nombre de cas de peste et les taux d'incidences annuels élevés sont observés dans les districts situés au centre de Madagascar. Les taux d'incidence annuelle varient de 0,06 à 93,28 pour 100 000 hab. Le nombre de cas est élevé durant les six premières années de la période étudiée. Le nombre de cas a sensiblement diminué durant les années suivantes. Il a baissé durant les cinq dernières années de la période d'étude. Néanmoins, dix nouveaux districts qui étaient indemnes de peste bubonique auparavant ont récemment été affectés par cette maladie. Il s'agit de :

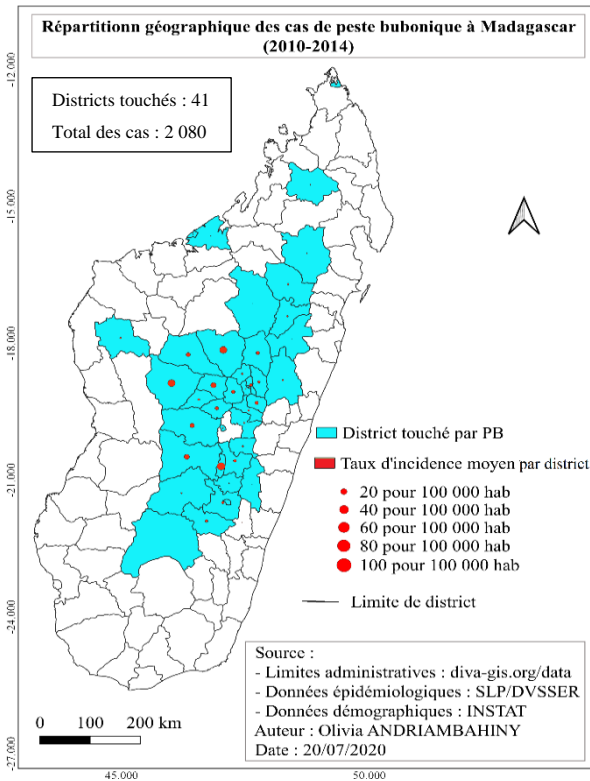
- Toamasina I à l'Est,
- Betioky sud, Ampanihy, Midongy Sud, Iakora, Befotaka au sud,
- Analalava, Antsohihy, Ambilobe ainsi que Sambava au nord.



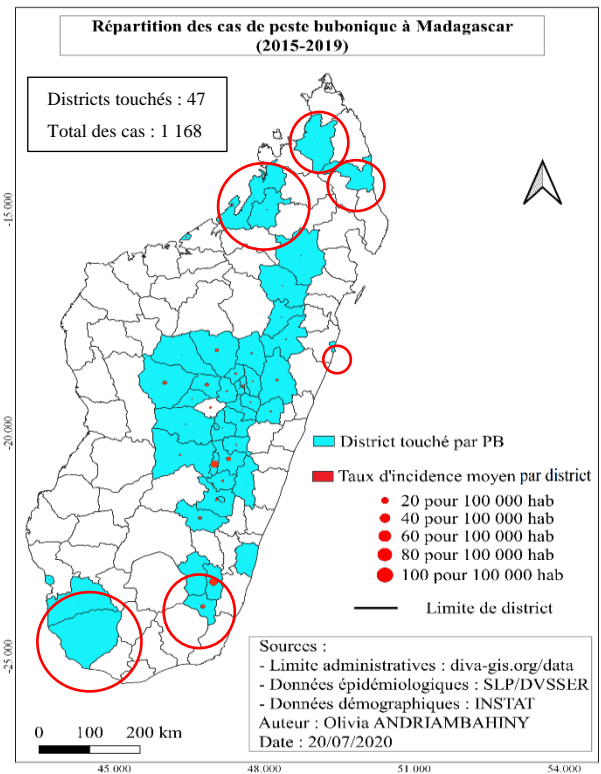
Carte 8 : Répartition géographique des cas de peste bubonique de 1999 au 2004



Carte 9 : Répartition géographique des cas de peste bubonique de 2005 au 2009



Carte 10 : Répartition géographique des cas de peste bubonique de 2010 au 2014

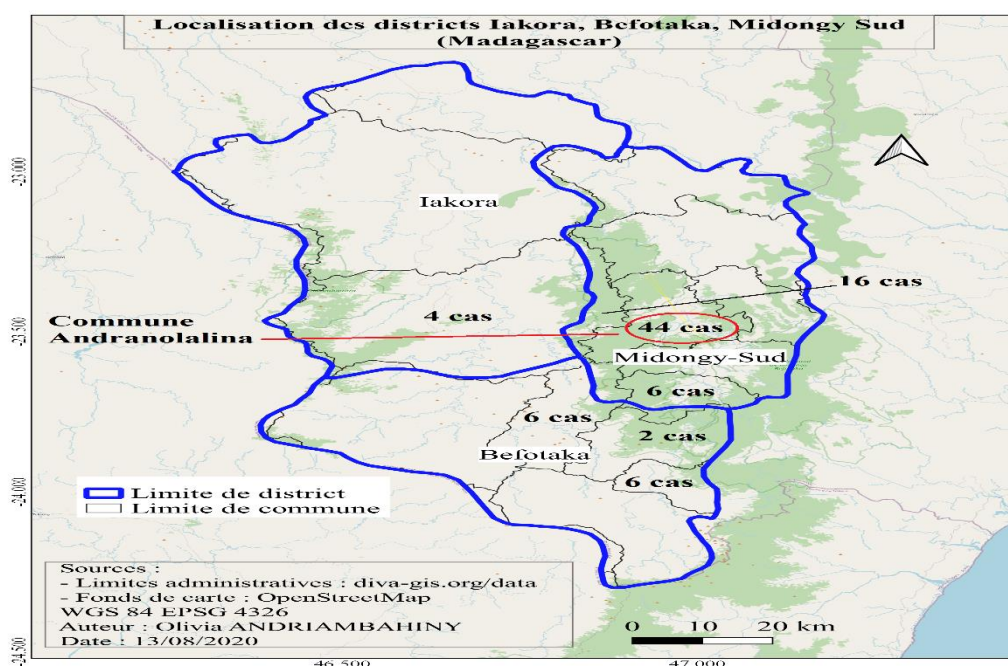


Carte 11 : Répartition géographique des cas de peste bubonique de 2015 au 2019

Tableau IV : Nombre annuel de cas de peste bubonique dans 10 districts nouvellement touchés (2015 au 2019)

District	Nombre de cas		
	Année 2017	Année 2018	Année 2019
Ampanihy	10	-	-
Toamasina I	4	-	-
Betioky sud	1	-	-
Antsohihy	3	-	-
Analalava	1	-	-
Ambilobe	1	-	-
Sambava	1	-	-
Midongy Sud	-	50	16
Befotaka	8	14	1
Iakora	-	3	2

Sept districts ont des cas de peste bubonique seulement en 2017. Trois autres districts dans le sud-est de Madagascar ont des cas qui continuent à apparaître chaque année. Ces trois districts sont limitrophes et ce sont notamment dans les communes qui contiennent des forêts où les cas de peste bubonique sont observés. Pareil, les cas se concentrent généralement dans la commune Andranolalina qui se situe dans la forêt qui est le parc national de Midongy Sud.



Carte 12 : Localisation des districts nouvellement touchés par la peste au sud-est de Madagascar (2015 au 2019)

Une déforestation entre 1999 et 2016 est observée aux limites sud de la commune Andranolalina (district Midongy-Sud), limitrophe qui la relie avec les autres communes touchées par la peste des autres districts.

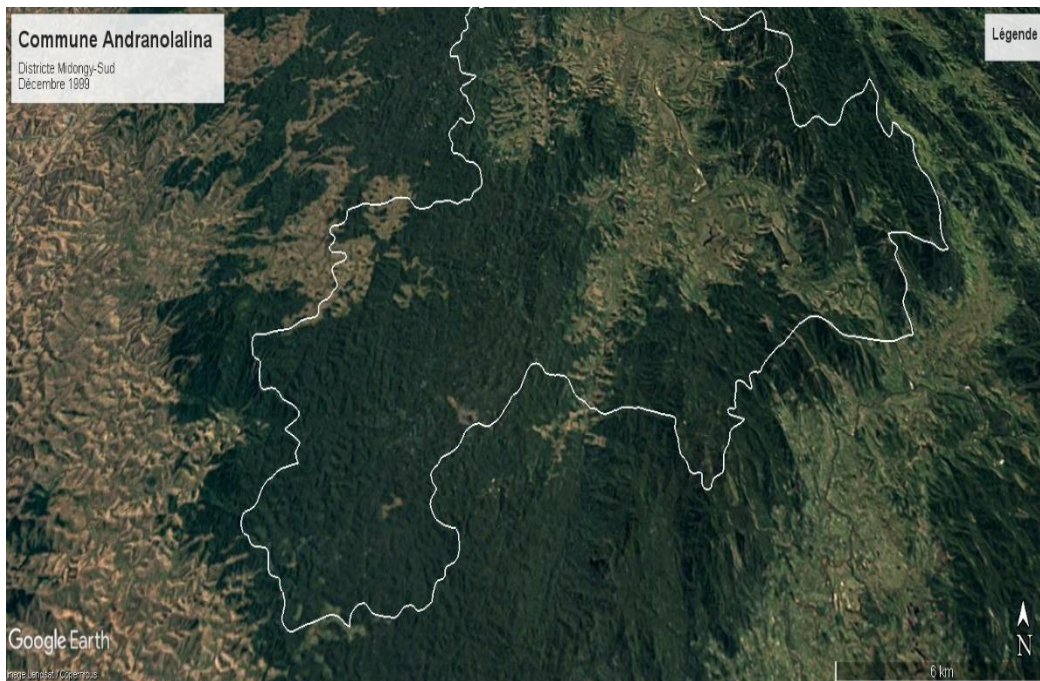
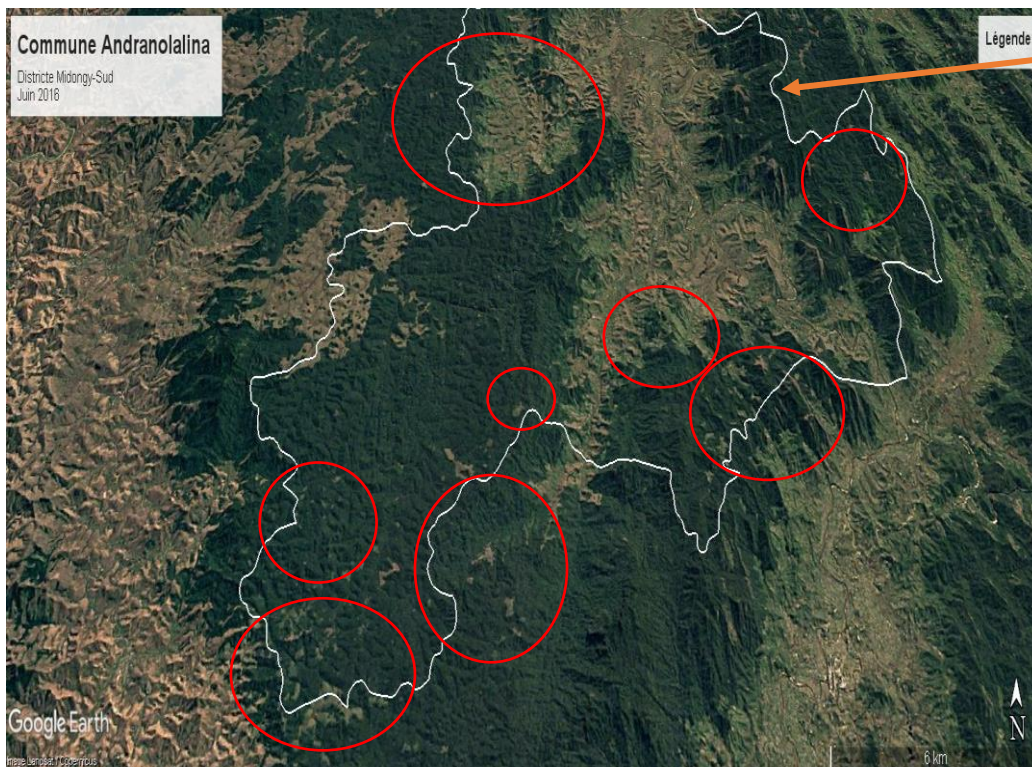


Photo 2 : Commune Andranolalina du district Midongy Sud (Décembre 1999)
(Source : google Earth)

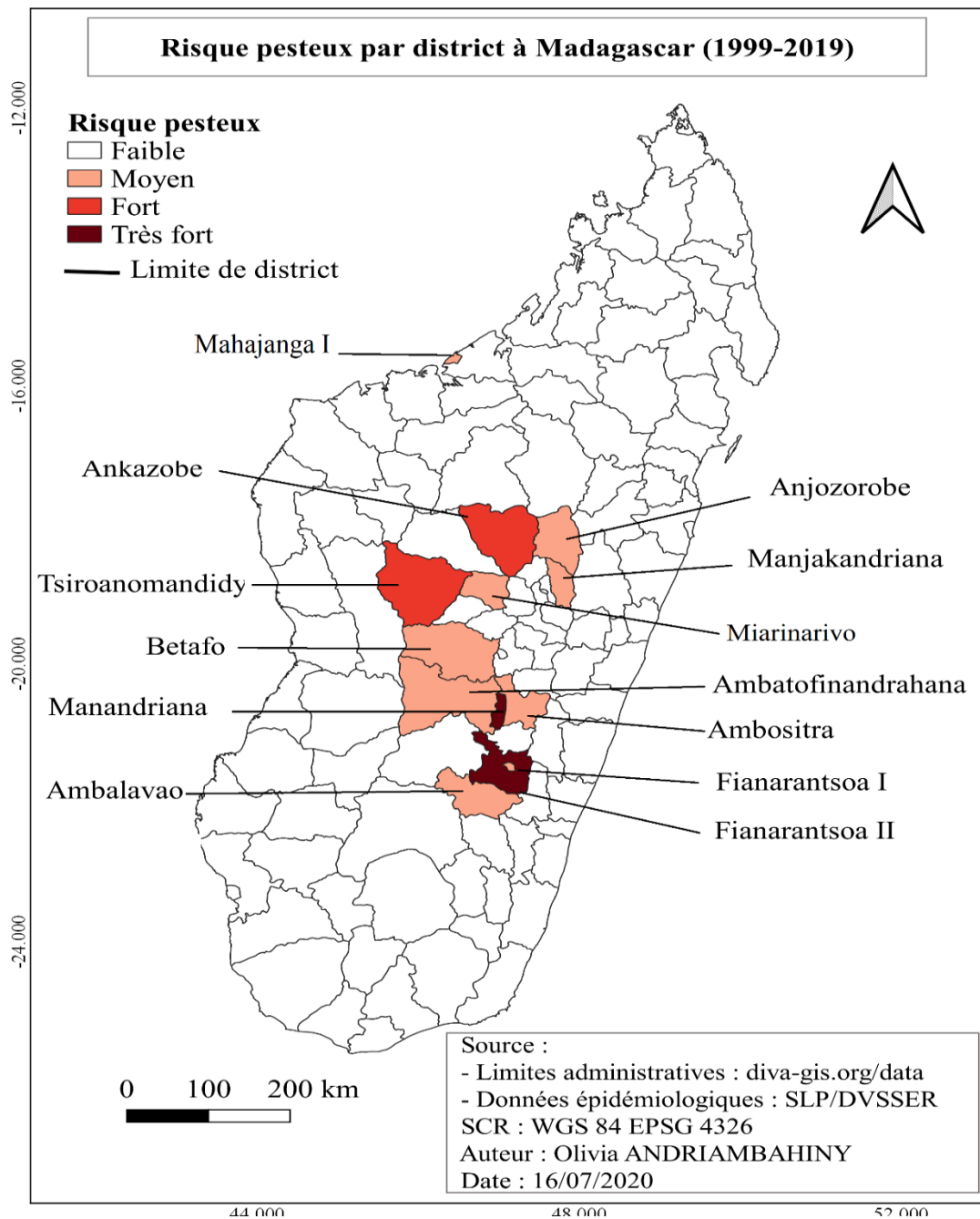


Limitrophe
de Midongy
Sud avec
Iakora et
Befotaka

Photo 3 : Commune Andranolalina du district Midongy Sud (Juin 2016)
(Source : google Earth)

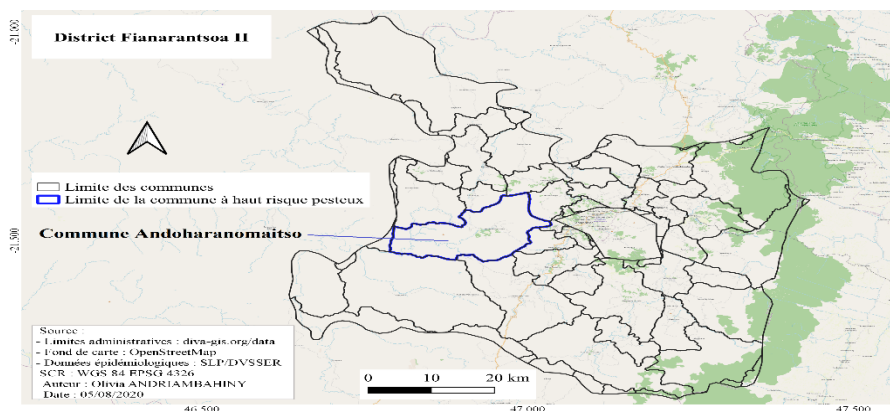
4.4. Classification des districts de Madagascar selon les risques pesteux (1999- 2019)

D'après la classification des districts selon leurs niveaux de risque pesteux, il a été constaté que de 1999 au 2019, les districts à haut risque pesteux se trouvent au centre de l'île de Madagascar à l'exception Mahajanga I. Les districts à haut risque (très fort et fort) sont constitués de quatre districts dont Manandriana, Fianarantsoa II, Tsiroanomandidy et Ankazobe. Neuf districts sont à risque moyen à savoir Anjozorobe, Manjakandriana, Miarinarivo, Ambatofinandrahana, Ambalavao, Ambositra, Betafo, Fianarantsoa I et Mahajanga I.

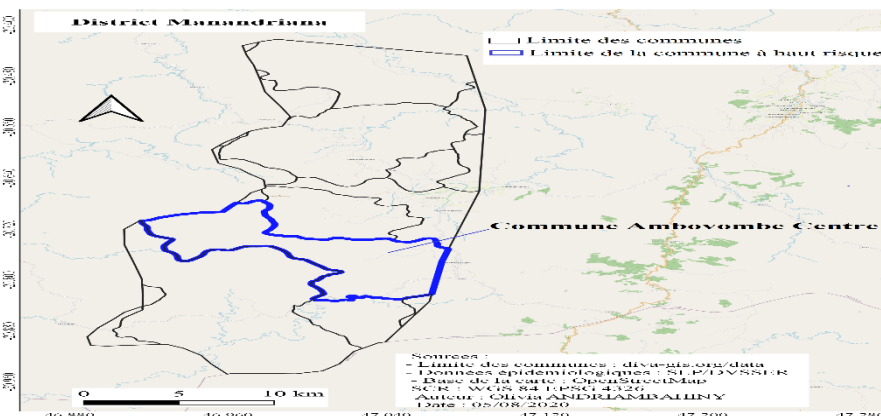


Carte 13 : Niveau de risque pesteux des districts de Madagascar (1999-2019)

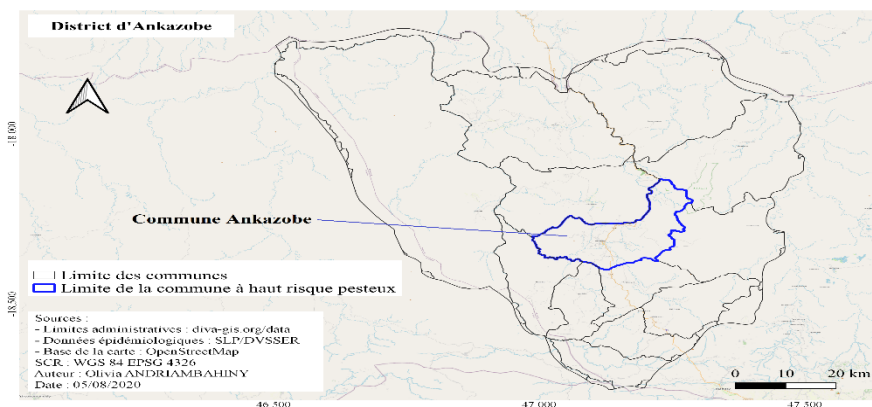
Les quatre premiers districts à haut risque pesteux, ainsi que chacune de leurs communes à haut risque pesteux ne contiennent pas de forêt dense à l'exception la partie Est de Fianarantsoa II où la commune ayant plus de cas se trouvent à environ 20 km du parc national de Ranomafana.



Carte 14 : Localisation de la commune à haut risque pesteux à Fianarantsoa II



Carte 15 : Localisation de la commune à haut risque pesteux à Manandriana



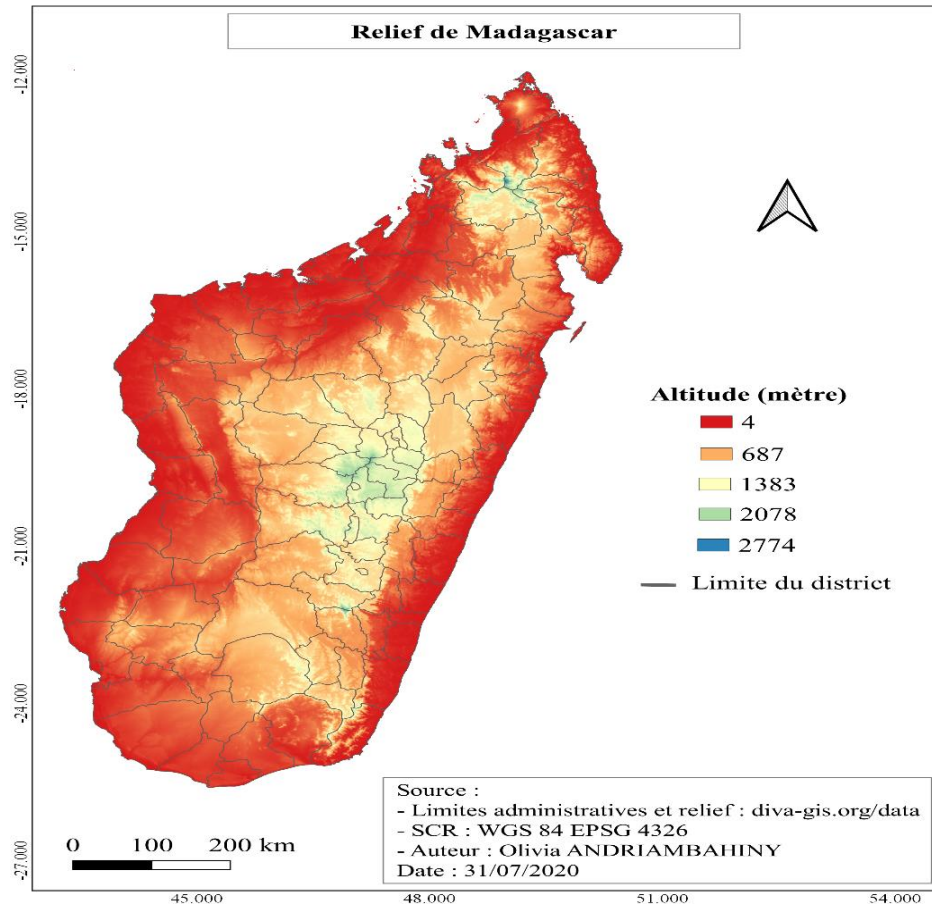
Carte 16 : Localisation de la commune à haut risque pesteux à Ankazobe



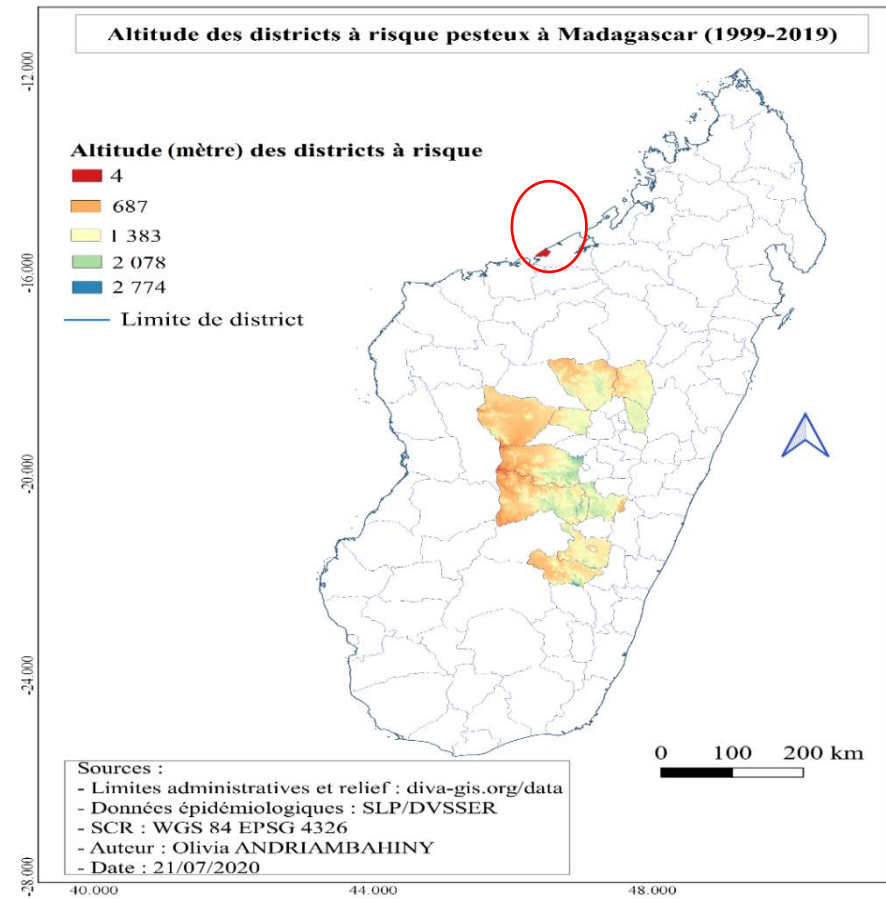
Carte 17 : Localisation de la commune à haut risque pesteux à Tsiroanomandidy

4.5. Risque pesteux de 1999 au 2019 et relief

L'altitude de Madagascar varie de 0 à 2 718 m (Topographic-map.com, 2020). De 1999 au 2019, les districts à haut risque se situent aux altitudes plus de 800 mètre sauf Mahajanga I qui se situe aux altitudes de 4 à 84 mètre.



Carte 18 : Relief de Madagascar



Carte 19 : Relief des districts à risque à Madagascar (1999-2019)

4.6. Risque pesteux et agriculture

4.6.1. Feux actifs de 2001 au 2019

4.6.1.1. Variation mensuelle des feux actifs à Madagascar (2001-2019)

Les feux actifs persistent toute l'année à Madagascar et les moyennes varient de 83,5 à 11 573,9 points de feu par mois. Ces moyennes ont tendance à s'accroître du mois de mars jusqu'à un pic saisonnier au mois d'octobre puis décroissent jusqu'au mois de février.

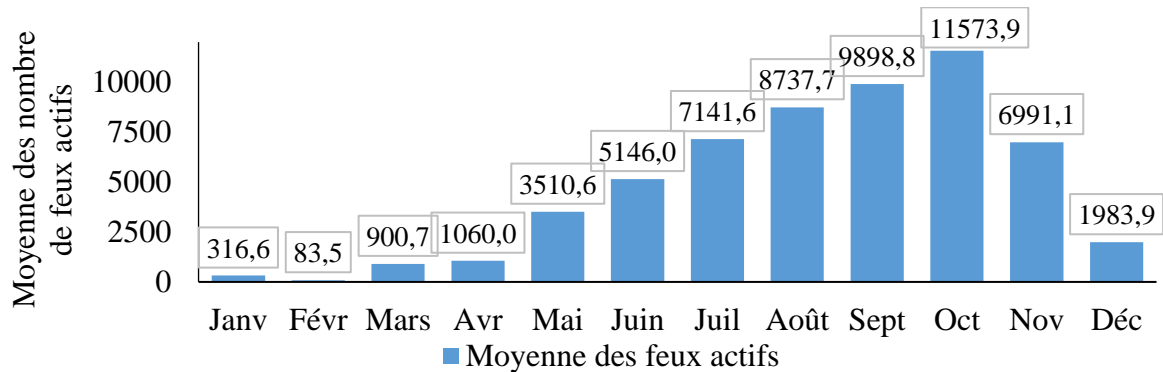


Figure 11 : Variation mensuelle des moyennes des nombres de cas de peste bubonique et des feux actifs à Madagascar (2001-2019)

4.6.1.2. Analyse de la corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les nombres de feux actifs à Madagascar (2001-2019)

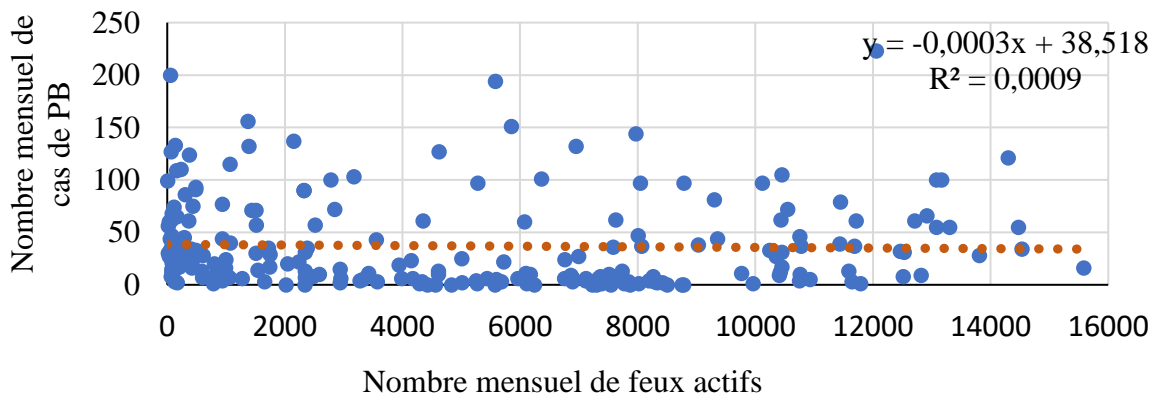


Figure 11 : Corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les nombres de feux actifs à Madagascar (2001-2019)

Tableau V : Analyse statistique de corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et nombre de feux actifs à Madagascar (2001-2019)

Paramètre	Covariance	Coefficient Pearson	Seuil de signification 0,05
Nombre mensuel de feux	-5346,81	-0,03	0,65

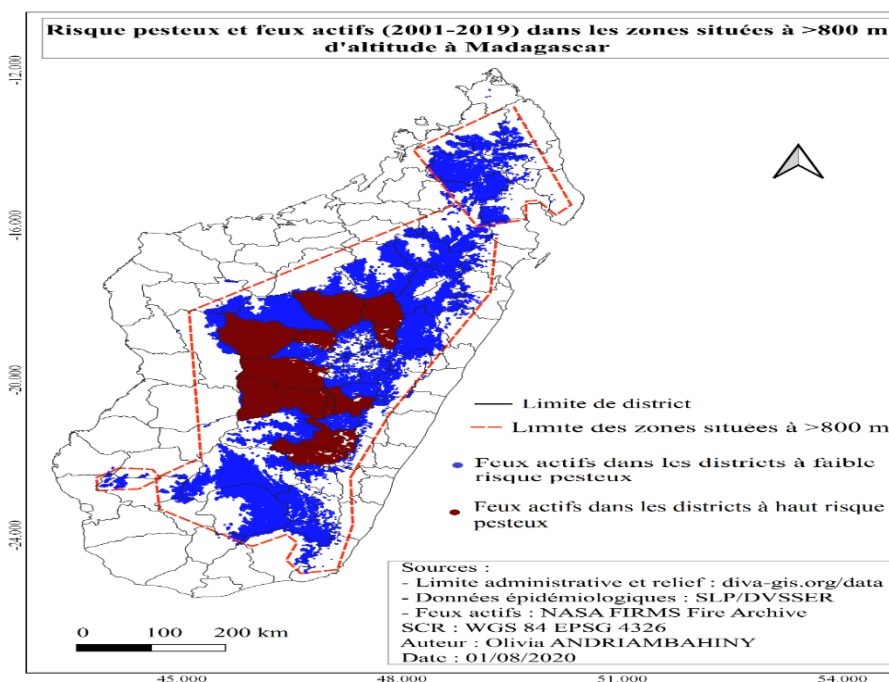
Statistiquement, il n'existe pas de corrélation significative entre les nombres mensuels des cas de peste bubonique et ceux des feux actifs à Madagascar de 2001 au 2019.

4.6.1.3. Risque pesteux et densité de feux actifs (2001-2019) selon les altitudes à Madagascar

Le résultat a montré qu'aux altitudes >800 m, la densité des feux dans les districts à haut risque pesteux est 3,67 fois plus importante que la densité des feux dans le district à faible risque pesteux.

Tableau VI : Densité des feux actifs (par km²) à Madagascar de 2001 au 2019

	Superficie (km ²)	Nombre de feux actifs	Densité des feux actifs par km ²
Districts à haut risque pesteux (moyen, élevé, très élevé) situés à >800 m d'altitude	58 769	105 877	1,80
Districts à faible risque pesteux situés à >800 m d'altitude	430 979	196 604	0,46



Carte 20 : Risque pesteux et feux actifs dans les zones situées à >800 m d'altitude (2001-2019)

4.6.1.4. Tendence de variation mensuelle des cas de peste bubonique et feux actifs à Manandriana, Fianarantsoa II, Ankarazobe, Tsiroanomandidy (04 premiers districts à haut risque pesteux) de 2001 au 2019

La saison de feux actifs dans les districts à hauts risque pesteux commence le mois de mai jusqu'en novembre avec des cas sporadiques entre les mois de décembre et avril. Les moyennes de feux sont culminantes en mois d'août et septembre.

La saison de peste bubonique démarre au mois de septembre jusqu'au mois d'avril avec des cas sporadiques entre les mois de mai et août. Les moyennes des cas de peste sont maximales au mois d'octobre.

Le début de la saison de peste est apparu trois mois après le début de la saison des feux. Le pic des pestes buboniques (octobre) est observé juste après le pic des feux (août, septembre).

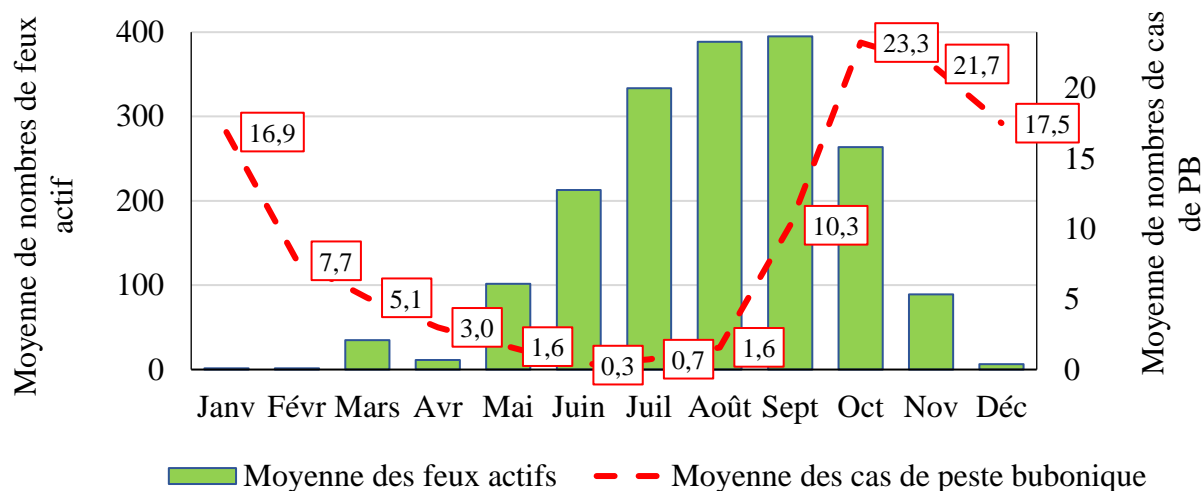


Figure 12 : Variation mensuelle des moyennes de cas de peste bubonique et de feux actifs dans les 04 premiers districts à haut risque pesteux à Madagascar (2001-2019)

4.7. Risque pesteux et principaux produits du règne végétal

Le riz, le manioc, le maïs constituent les trois premiers produits agricoles à Madagascar. Plus de la moitié des surfaces agricoles malagasy sont occupées par la riziculture.

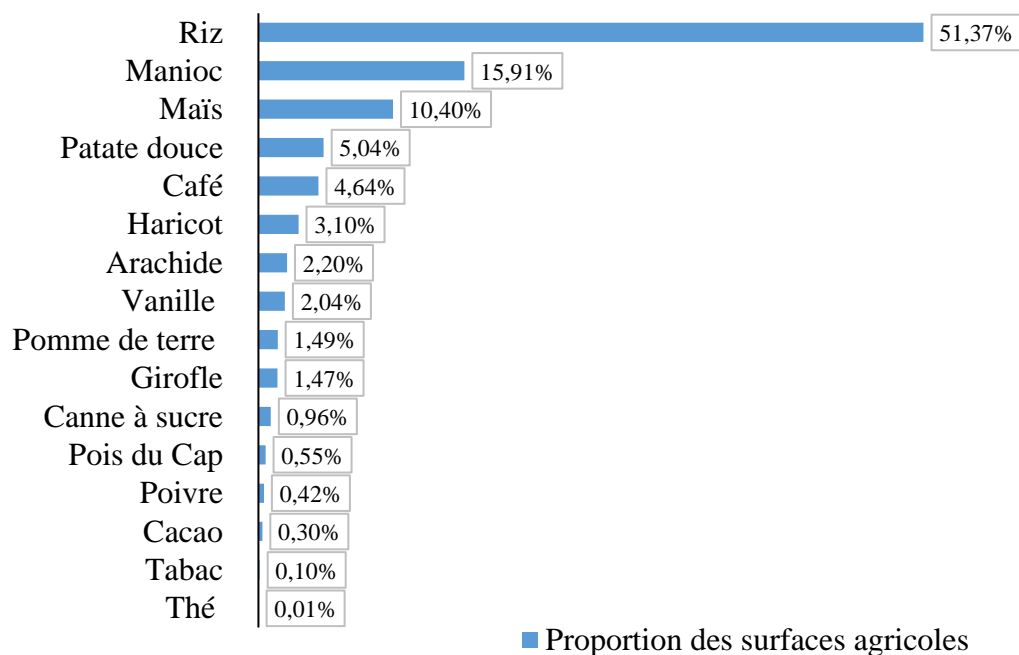
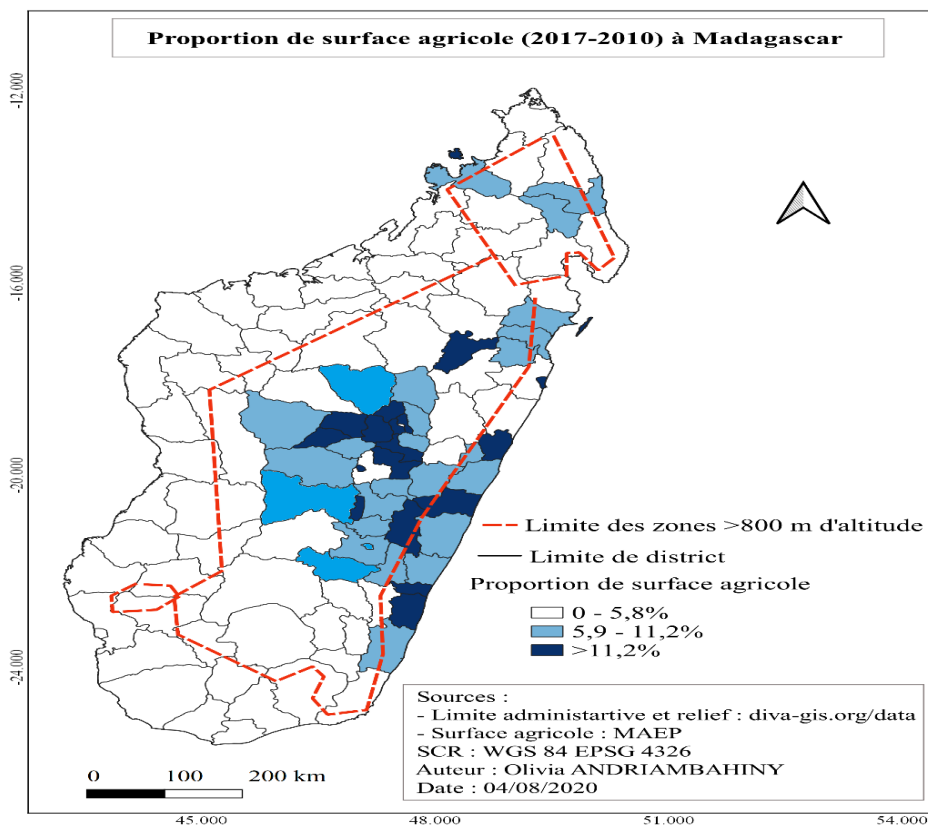


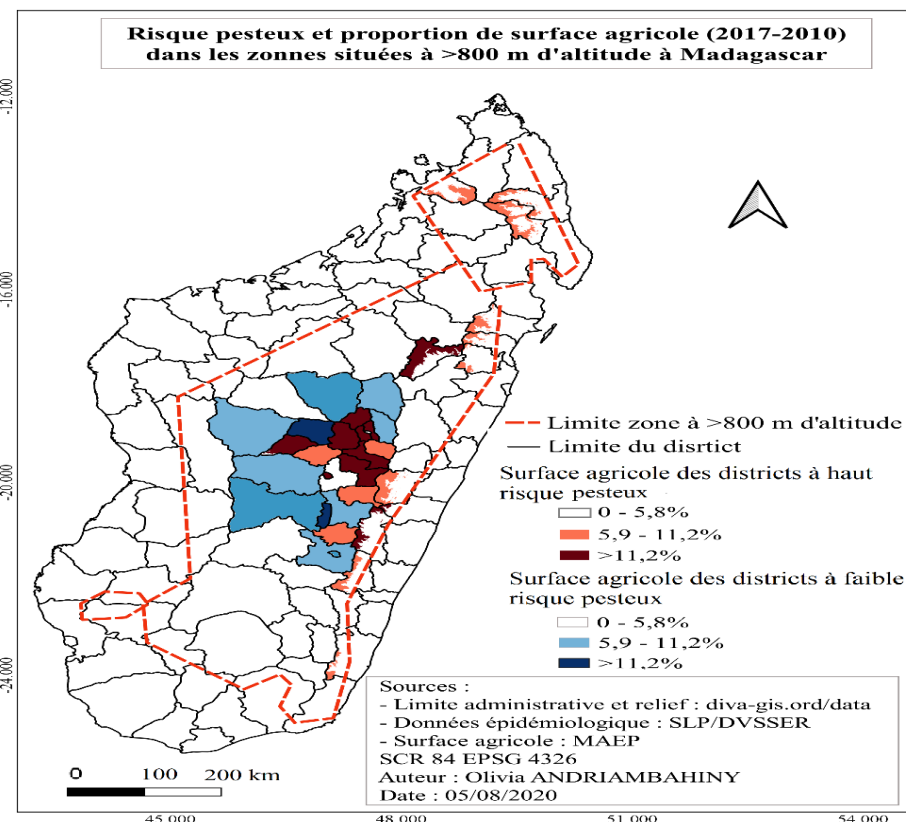
Figure 13 : Moyenne de la surface agricole des principaux produits du règne végétal (2007-2010)

4.7.1. Surface agricole

De manière générale, les surfaces agricoles au-dessus de 5,9% de la superficie totale du district se concentrent plus dans les zones situées au-dessus de 800 m d'altitude. Dans cette altitude, les districts à haut risque pesteux appartiennent tous aux catégories de densité de surfaces agricoles supérieure à 5,9%.



Carte 21 : Proportion des surface agricoles (2007-2010) par district à Madagascar



Carte 22 : Proportion des surface agricoles (2007-2010) dans les zones situées à >800 m d'altitude à Madagascar

Tableau VII : Risque pesteux dans les zones situées à > 800 m d'altitude et surface agricole

	District à haut risque pesteux à >800 m			District à faible risque pesteux >800 m		
	Surface agricole (ha)	Surface total des districts (ha)	Proportion des surfaces agricoles	Surface agricole (ha)	Surface total des districts (ha)	Proportion des surfaces agricoles
Riz	190 197	5 876 920	3,24%	941435	43 097 900	2,18%
Manioc	68 008,3		1,16%	263222		0,61%
Maïs	41 724,2		0,71%	175822		0,41%
Patate douce	1 571,47		0,03%	73201,5		0,17%
Café	450		0,01%	93975,8		0,22%
Haricot	22 628,3		0,39%	58171,4		0,13%
Arachide	11 267,3		0,19%	31218,8		0,07%
Pomme de terre	10 676,3		0,18%	27552,3		0,06%
Autres	17 935,13		0,31%	119911,2		0,28%
Total	364458			6,20%		1784510

Le résultat indique que dans les zones situées à >800 m d'altitude, la proportion des surfaces agricoles des districts à haut risque pesteux est supérieure à celles des districts à faible risque pesteux. Il y a plus de proportion de surface de riziculture, des champs de manioc, de maïs, d'haricot, d'arachide, de pomme de terre et d'autres type de culture dans les districts à haut risque pesteux par rapport aux districts à faible risque pesteux.

4.7.2. Variation mensuelle des cas de peste bubonique et calendrier agricole des districts à haut risque pesteux situés à > 800 m

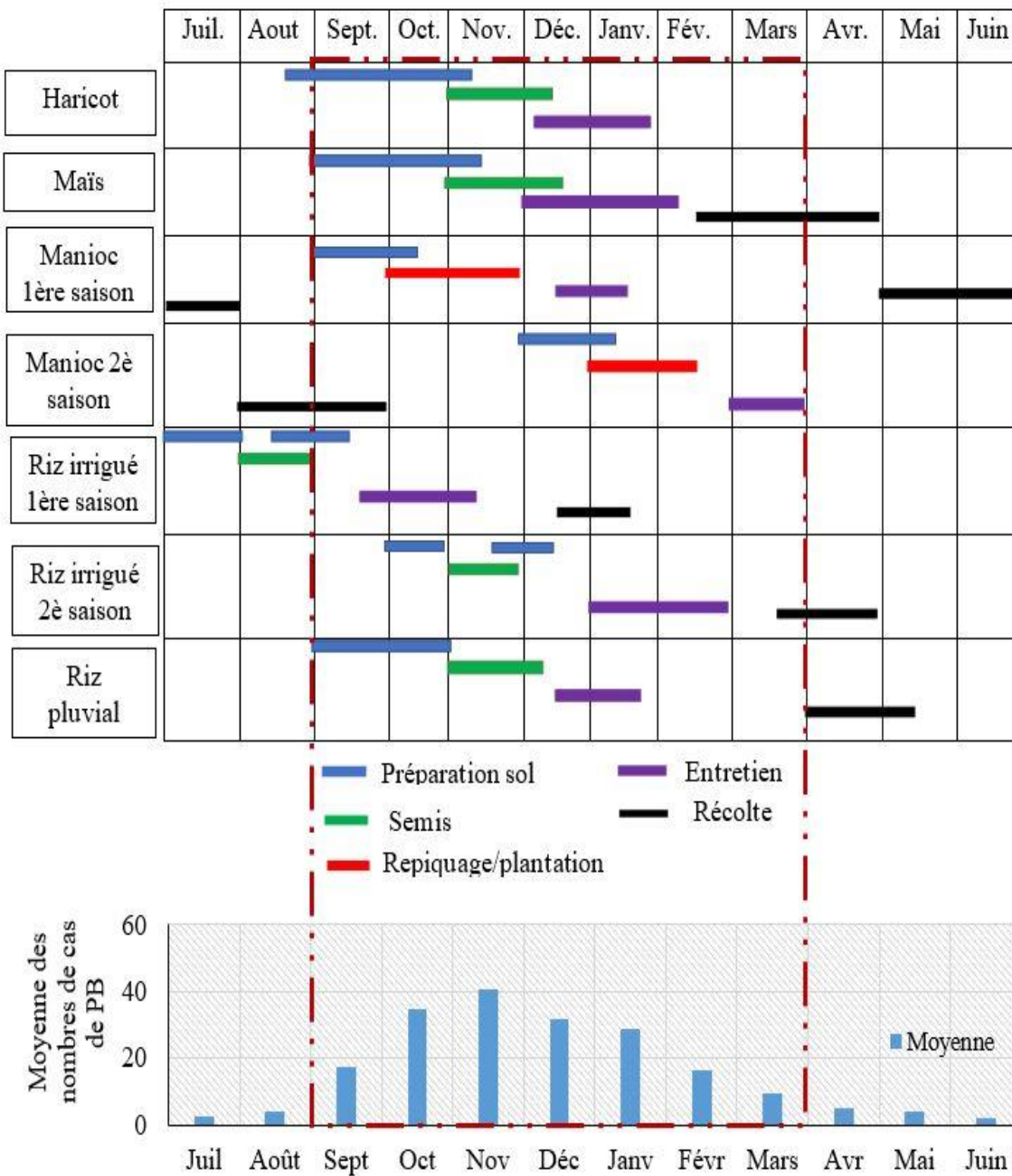


Figure 14 : Variation mensuelle de cas de peste bubonique et calendrier agricole de la zone moyenne Est (Ambatofinandrahana, Ankazobe, Miarinarivo, Tsiroanomandidy, Betafo, Manandriana)

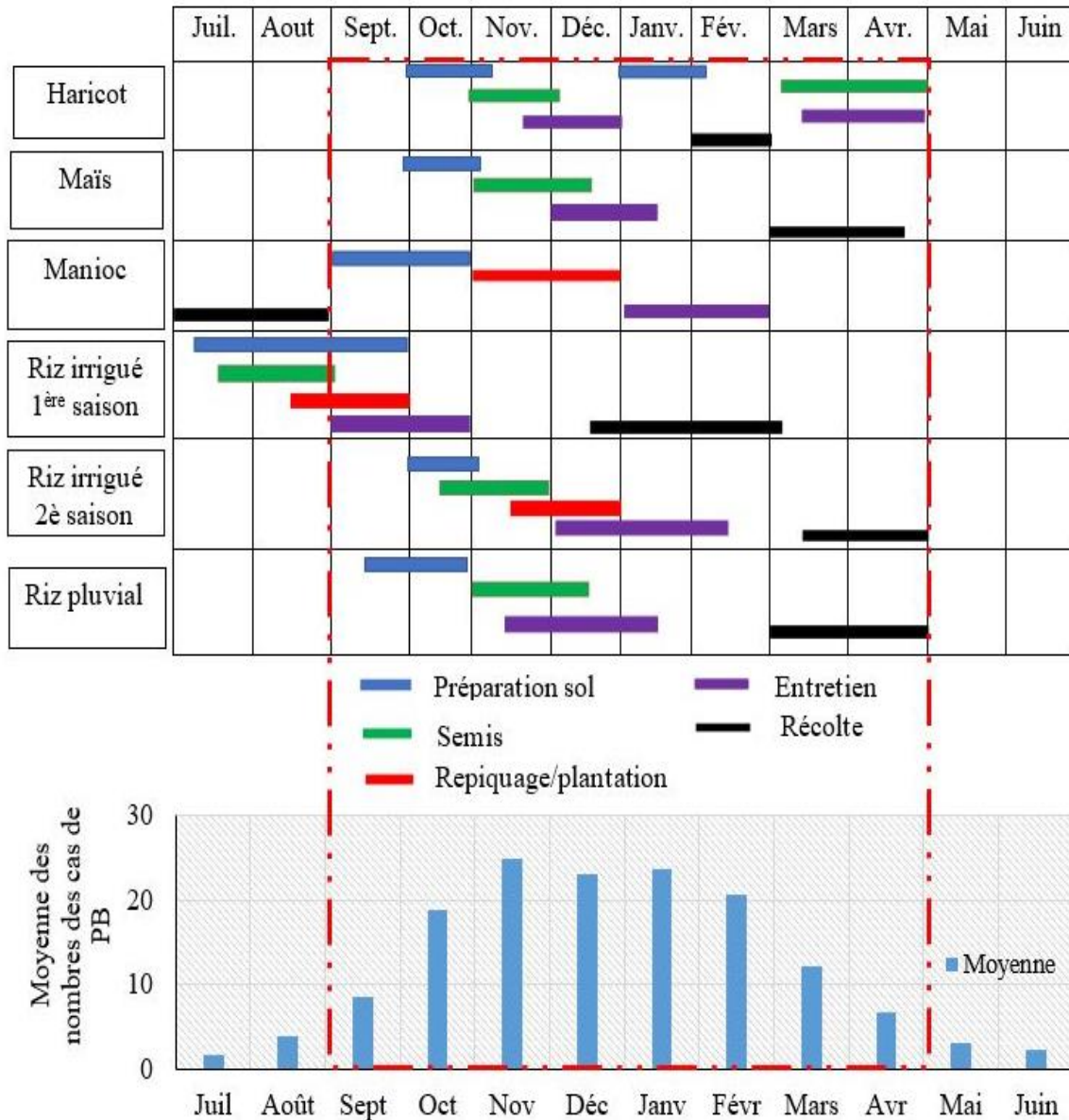


Figure 15 : Variation mensuelle de cas de peste bubonique et calendrier agricole de la zone haut plateaux sud (Anjozorobe, Manjakandriana, Ambositra, Fianarantsoa I, Fianarantsoa II, Ambalavao)

Les saisons pesteuses (septembre à mars, septembre à avril) des districts à haut risque situés au-dessous de 800 m d'altitude correspondent aux périodes des préparations du sol, semis, repiquage/plantations et d'entretiens des principaux produits agricoles qui s'y trouvent sauf le riz irrigué 1^{ère} saison dont la préparation du sol, le semis et repiquage/plantation s'effectuent avant le début de ces saisons pesteuses. Les pics correspondent notamment à la période de préparation du sol et semis.

4.7.3. Fokontany (sous localité de la commune) avec une tendance de peste bubonique la plus variées dans les districts à haut risque pestueux

De 1999 à 2013, le fokontany Ambatofotsy Feo n'a aucun cas de peste bubonique. Un cas est survenu en 2014 suivi de 18 cas en 2015 et une période sans cas de peste en 2017 et 2018. Puis, une réapparition des cas de 11 personnes en 2019. Les trois photos montrent l'exemple de l'évolution de l'extension de champ de culture dans la zone de reste de forêt dans ce fokontany.

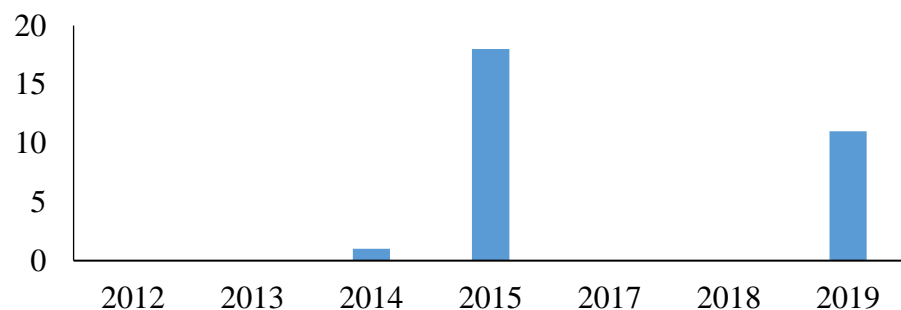


Figure 16 : Variation des cas de peste bubonique au fokontany Ambatofotsy Feo, commune rurale Bemahatazana, district Tsiroanomandidy (1999-2019) (Source : données SLP/DVSSER)



Photo 4 : Champ de culture au fokontany Ambatofotsy Feo, commune rurale Bemahatazana, district Tsiroanomandidy en 2009



Photo 5 : Champ de culture au fokontany Ambatofotsy Feo, commune rurale Bemahatazana, district Tsiroanomandidy en 2015



Photo 6 : Champ de culture au fokontany Ambatofotsy Feo, commune rurale Bemahatazana, district Tsiroanomandidy en 2019

4.8. Système de prévention et de lutte contre la peste à Madagascar

4.8.1. Acteurs et rôles

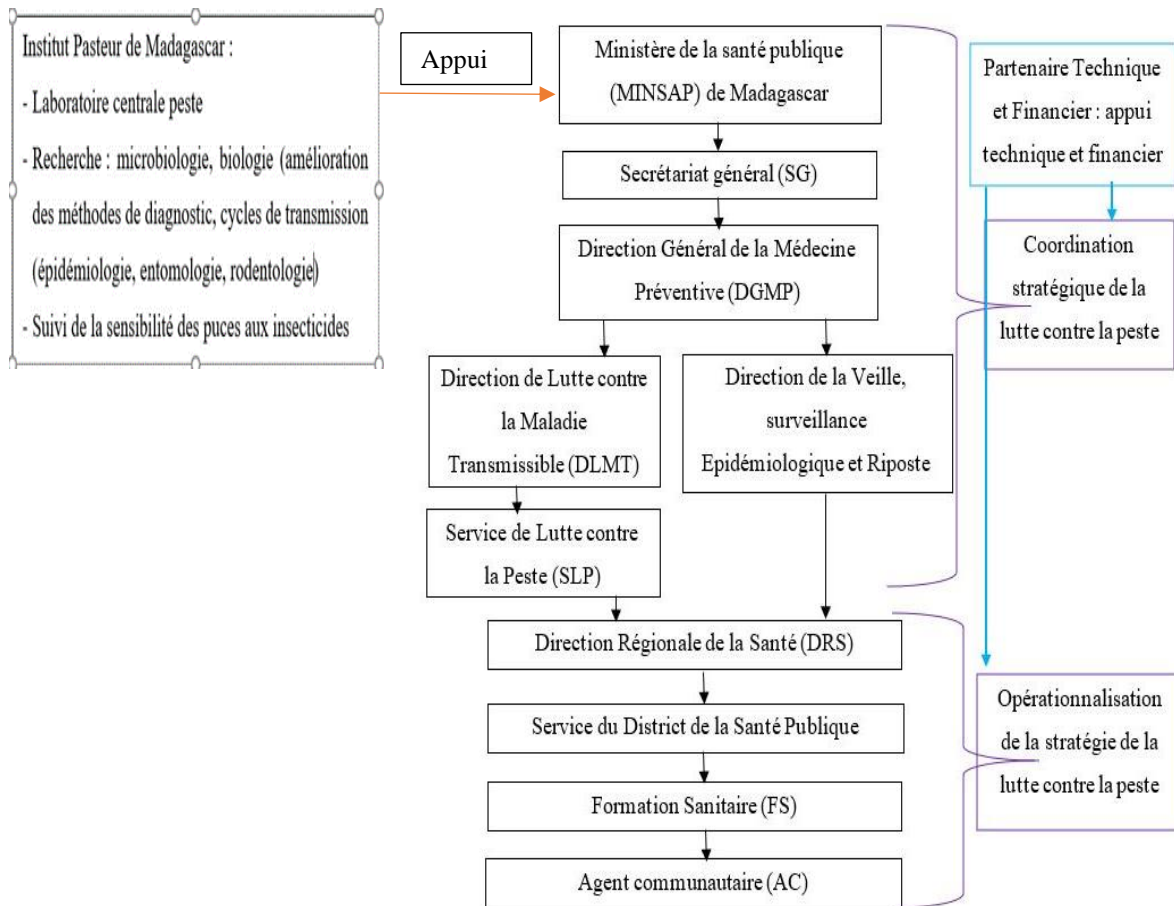


Figure 17 : Acteurs dans la lutte contre la peste et leurs rôles (reproduction personnelle)

(Source : SLP, DVSSER)

4.8.2. Activités dans la stratégie de la lutte contre la peste

- Sensibilisation périodique de la population sur la prévention de la peste : respect de l'hygiène, lutte contre les rats et puces, nécessité se rendre en urgence aux formations sanitaires en cas de signes suspects de la maladie. Cette sensibilisation est effectuée par le personnel de santé sur terrain (généralement au niveau des centres de santé de base), par affiche/poster, par des spots diffusés par la radio ou télévision, par la page du ministère de la santé dans les réseaux sociaux.
- Dératisation par distribution de piège à rat dans quelque district endémique de peste à partir de l'année 2018 (Manandriana, Fianarantsoa I et II, Tsiroanomandidy).
- Surveillance et détection précoce des cas pesteux avec des test de diagnostic rapide ou TDR (disponible dans toutes les formations sanitaires publiques), puis confirmation biologique au laboratoire centrale peste (LCP) qui est l'Institut Pasteur de Madagascar.

- Mise en quarantaine, traitement précoce et gratuit des patients dont le TDR est positif (sans attendre les résultats biologiques du LCP).
- Enterrement immédiat et sécurisé des cadavres de personne décédée de la peste.
- Chimio prophylaxie des personnes en contact des cas pesteux.
- Dératisation pendant la riposte de l'éventuelle épidémie.
- Epannage systématique d'insecticide en poudre dans le ménage de la personne infectée de la peste ainsi qu'aux environs à chaque riposte d'une éventuelle épidémie.
- Investigation approfondie sur l'épidémie de peste qui sert à décrire et analyser les caractéristiques :
 - Temps : date de contamination, date de début de la maladie, notion de voyage dans une zone à haut risque pesteux, veillée mortuaire d'un mort suspect de peste, notion d'exhumation, date de consultation, date de guérison ou décès, ...,
 - Lieu : adresse du malade, lieu de déplacement dans les 14 jours avant le début de la maladie, zone à risque autour de l'habitation du patient, ...,
 - Personne : identité, âge, genre, profession, signes cliniques présentés, survenue de décès successifs dans une même famille ou dans une même localité en <1 semaine, brutale sans cause apparente
 - Environnement : hygiène et assainissement du ménage et ses environs, notion de mortalité murine anormale avant la date de la maladie, paysage, pullulation de puces et rats,

4.8.3. Dératisation et traitement de cadavre de rat

La dératisation consiste à piéger les rats en posant d'appât dans le piège afin de les attirer à y entrer. Une fois entré, le piège se referme et le rat est capturé vivant, ceci afin d'éviter de que leurs puces quittent leurs cadavres et vont chercher d'autres hôtes.



Photo 7 : Nasse à rat (pour les rats en groupe)



Photo 8 et 9 : Boîtes de Sherman (BTS)

(Source : SLP Madagascar)

Pour la boîte de Kartman, il s'agit d'un piège à rat combiné aux insecticides étudié en 1998 à 2000 dans les zones semi urbaine de Madagascar et rurale puis distribué dans les districts pesteux depuis 2018. C'est un piège fait à partir d'un tunnel en bois qui permet de désinsectiser le rat avant de le tuer. Le premier et deuxième jour d'utilisation, cette boîte contenant d'appât et d'insecticide (Fénitrothion) est placée dans les endroits de passage fréquent des rats. Les rats attirés par l'appât vont entrer dans le tunnel, saupoudrer d'insecticide et véhiculer l'insecticide qui va éliminer les larves et les cocons dans leurs passages et leurs terriers. Le troisième jour, l'appât sera remplacé par du raticide pour tuer le rat déjà désinsectisé².



Photo 10 : Boîte de Kartman



Photo 11 : Boîte de Kartman avec appât et insecticide en poudre



Photo 12 : Rat entrain de s'aupoudrer d'insecticide dans le boîte de Kartman

Source : Service de Lutte contre la Peste (SLP) Madagascar



Photo 13 : Technique d'abattage de rat



Photo 14 : Trou pour enfouissement de cadavre de rat

(Source : SLP Madagascar)

² Source : - Service de Lutte contre la Peste (SLP) Madagascar
- Direction de la Veille de la Surveillance Epidémiologique et Riposte (DVSSER) Madagascar

CHAPITRE 5. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

5.1. Discussion sur la variation annuelle de peste bubonique (1999 au 2019)

Durant la période étudiée, chaque année, l'épidémie de peste bubonique survient à Madagascar. Les pics sont observés de 1999 à 2004 durant lesquelles une moyenne de 957 cas par an est remarquée. La diminution du nombre de cas après l'année 2004 pourrait s'expliquer par l'amélioration du diagnostic après la mise en œuvre à grande échelle du test de diagnostic rapide (TDR) de peste en 2002 dans le pays (Andrianaivoarimanana, et al., 2019). Ce TDR a été distribué et mis à la disposition de toutes les formations sanitaires publiques notamment dans les districts à haut risque de transmission. Il permet d'initier tôt le traitement des cas sans attendre les autres résultats d'analyses biologiques et également de commencer rapidement la riposte afin de pouvoir maîtriser la propagation de la transmission de la maladie.

A partir de 2005, le nombre de cas varie : 2007, 2008, 2011, 2013, 2014 et 2017 sont les années où le plus de cas sont apparus (> 400 cas). Ces variations pourraient être dues à l'interruption de la surveillance régulière de la peste à Antananarivo au cours des années 2006 au 2018 à cause des pénuries de financement dans le programme de la lutte contre la peste (Andrianaivoarimanana, et al., 2019).

Pour la recrudescence des cas de peste bubonique en 2017, elle correspond à la survenue d'une catastrophe de flambée épidémique de peste pulmonaire dans les milieux urbains du pays. Cette flambée a entraîné plus de 1 791 cas de peste pulmonaire et plus de 200 décès notifiés (tout type de peste confondue). Elle a provoqué la panique générale de la plupart de la population (refus de soins) empêchant le diagnostic précoce de tout type de cas de peste. Elle a également impacté considérablement l'économie du pays dû aux mesures mises en place tel que l'arrêt de certaines activités comme l'éducation, le tourisme, etc. (Bertherat, 2019). Cependant, comme la peste est une maladie de la pauvreté, la chute de l'économie locale pourrait favoriser la hausse des nouveaux cas pesteux (Galy, Loubet, Peiffer-Smadja, & Yazdanpanah, 2018). De plus, cette catastrophe a désorganisé le système de santé malagasy qui est un système déjà caractérisé par l'insuffisance de personnel, de matériel et intrants médicaux ainsi que l'enclavement (Bertherat, 2019) (BNGRC, 2015-2016). Ce qui pourrait retarder le diagnostic, la riposte des cas de peste bubonique et a provoqué l'augmentation de ces cas.

Recommandation :

Etant donné la persistance de la peste humaine à Madagascar, la priorisation de financement dans la ligne budgétaire de l'Etat est fortement recommandée afin d'assurer la continuité de surveillance et riposte de la peste pour prévenir la survenue de flambée épidémique. Vu le retour

d'expérience de l'année 2017 où la peste est compliquée en peste pulmonaire en zone urbaine et devenue une catastrophe d'urgence nationale, il est indispensable de renforcer et d'améliorer le système de santé à Madagascar. Et, étant donné que le plan de contingence national multirisque constitue le document cadre de gestion des risques et catastrophes à Madagascar (BNGRC, 2015-2016), un plan d'urgence spécial santé devrait être créé afin que le pays soit bien préparé face aux éventuelles situations d'urgence sanitaire.

5.2. Discussion sur la variation mensuelle de la peste bubonique

La répartition mensuelle de 1999 à 2019 indique que la peste bubonique persiste toute l'année à Madagascar. Un pic saisonnier est observé d'octobre à janvier, puis que cela décroît jusqu'en juin-juillet, avant de reprendre en août-septembre. Généralement, la saison de l'épidémie de peste démarre en mois de septembre jusqu'en mois d'avril dont les éventuelles causes seront discutées ci-dessous.

5.3. Discussion sur les paramètres climatiques à Madagascar

Durant la période étudiée, de manière générale, les températures moyennes par district varient de 17,8 à 27,6°C et celles de précipitations cumulées mensuelles de 29,4 à 263,5 mm. Le climat se différencie en fonction de la localisation des zones par rapport à la mer. Dans les zones côtières, la température est maritime contrairement au centre où la température est continentale. Cette différence de températures est également influencée par l'altitude où se situent la zone (Battistini, 1996) et les précipitations varient en fonction des différences de végétation (Tollenaere, 2009).

A l'Est de l'île, avec l'abondance de forêt dense et humide fourrés ainsi que de fourrés sclérophylles, la partie orientale reçoit plus de précipitations. Les températures moyennes mensuelles restent assez élevées (de 21,8 à 25,7°C).

Au sud, où la végétation est constituée de forêt dense sèche de type de fourrés xérophiles, la température moyenne est élevée (23,8 à 25,7°C) et c'est l'endroit qui reçoit les plus faibles précipitations de toute l'île.

La zone centrale reste la plus froide dans l'île étant donné que c'est la zone la plus éloignée de la mer et est constituée de zone montagneuse où les températures moyennes sont faibles (de 19,8 à 21,7°C). La végétation est constituée de forêts sclérophylles et la quantité de précipitations reste moyenne (76 à 169,3 mm par mois).

Le nord-ouest contient de forêts denses sèches et c'est la partie la plus chaude avec des températures moyennes plus de 25,7°C ainsi que des précipitations moyennement abondantes (122,7 à 169,3 mm par mois).

La saison à Madagascar se répartit en deux dont la première est une saison chaude et humide de novembre à mars. Durant cette saison, les températures maximales sont également observées de novembre à mars et les précipitations abondantes de décembre à mars. La deuxième saison appelée sèche et froide est constatée d'août à octobre. La température minimale est constatée au mois d'août et la pluviométrie est faible au mois de septembre.

5.4. Discussion sur la corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les paramètres climatiques

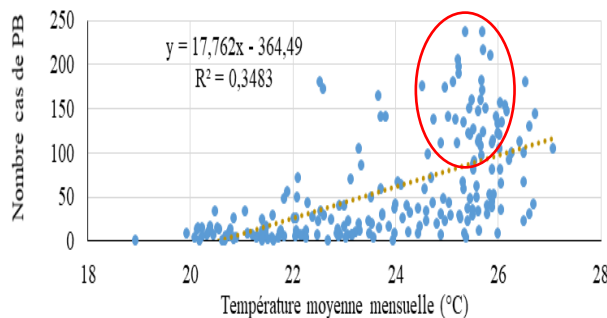


Figure 8 : Corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et la température moyenne mensuelle

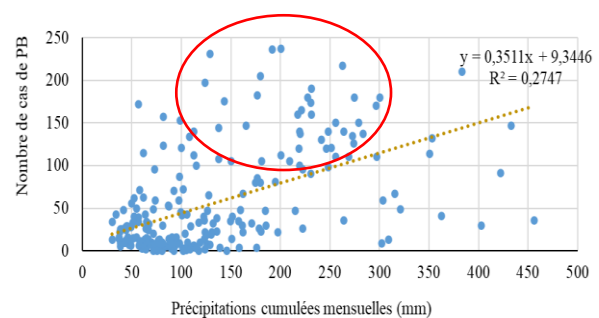


Figure 9 : Corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et les précipitations cumulées mensuelles

L'analyse du nombre de cas de peste bubonique avec chacun des paramètres climatiques a vérifié l'hypothèse 1 qu'il existe des corrélations positives significatives entre la survenue de cas de peste bubonique et ces paramètres (température et précipitations). Cette corrélation signifie que chacun de ces paramètres conditionnent la multiplication des puces-vectrices et/ou de la bacille *Yersinia pestis* et/ou des rongeurs-réservoirs.

D'après la figure 8, les cas pesteux apparaissent dans une large gamme de températures moyennes de 19 à 27°C et au maximum avec les températures moyennes élevées de 24,5 à 26°C. Pour les précipitations, la figure 9 indique que les cas de peste surviennent durant les précipitations cumulées mensuelles moyennes de 30 à 460 mm et c'est notamment durant les précipitations de 100 à 300 mm par mois que ces cas restent maximums.

Concernant les trois acteurs du cycle de transmission de la peste dont bacille, réservoir et vecteur, l'analyse de la corrélation de la peste bubonique avec les paramètres climatiques pourrait traduire que :

- Le bacille pesteux ne conditionne pas la haute transmission de peste bubonique puisque selon S. Chanteau, « la croissance de l'*Yersinia pestis* est possible de 4°C à 42°C mais la température optimale se situe entre 28°C et 30°C ».

- les deux puces vectrices conditionnent la variation saisonnière de la peste bubonique étant donné que l’Institut Pasteur de Madagascar a mentionné que les pullulations de ces deux puces varient en fonction de la température et l’humidité (IPM, 2017).
- Concernant les principaux rongeurs réservoirs qui sont les rats, d’après Duplantier et al., « les rats à l’intérieur des habitations humaines se reproduisent toute l’année », par conséquent le *Rattus rattus* n’influencent pas la variation saisonnière de peste bubonique. Par contre, pour les rats à l’extérieur de l’habitation humaine, ils s’arrêtent de reproduire durant « la saison froide » qui est une période correspondante à la saison de basse transmission pesteuse (Duplantier, et al., 2011) Par conséquent, la reproduction des *Rattus norvegicus* qui vit en dehors de l’habitation des hommes favorise également la haute transmission de la peste bubonique.

Recommandation :

Une équipe pluridisciplinaire (personnel médical, responsable de la météorologie, entomologiste, spécialiste en gestion des risques, spécialiste en micromammifère) devrait mener l’étude approfondie sur la peste, les rongeurs (notamment les rats) et les puces afin de pouvoir estimer la reproduction de ces réservoirs et vecteurs à partir des paramètres climatiques. Ceci dans le but de produire des bulletins périodiques climat/peste et cartographier les futures zones selon le niveau de pullulation de rat et puces (notamment celles qui sont en dehors de l’habitation humaine). L’identification de ces zones permettrait aux acteurs locaux de prendre des mesures de prévention visant à éviter le contact humain et ces animaux ainsi que d’alerter la population sur les éventuels milieux à hauts risques pesteux par un système d’alerte précoce.

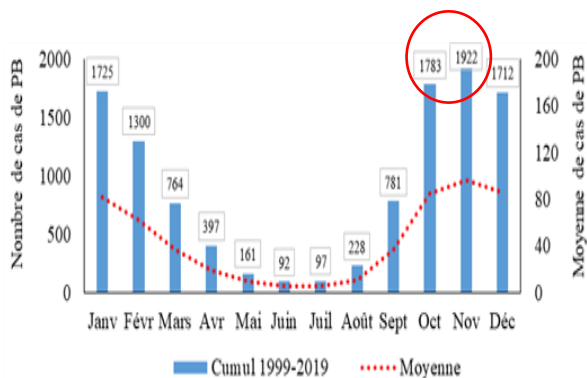


Figure 6 : Variation mensuelle de nombre de cas de peste bubonique de 1999 au 2019

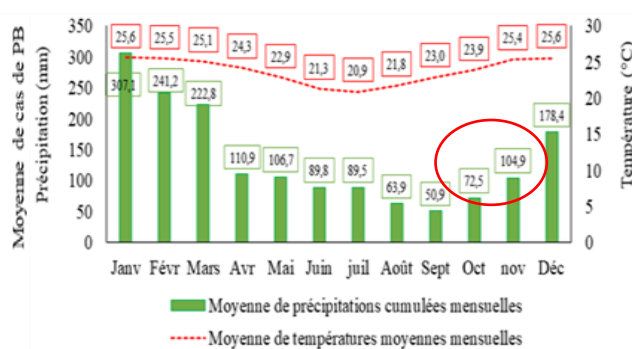


Figure 7 : Variation mensuelle des moyennes des paramètres climatiques (1999-2019)

La comparaison entre les figures 6 et 7 a montré que la haute saison de transmission de la peste bubonique correspond aux moyennes de températures élevées (23,9 à 25,6°C) et des précipitations cumulées mensuelle abondantes (104,9 à 307,1 mm) sauf pour le mois d’octobre

et novembre qui sont le début de la haute transmission pesteuse et fait partie également du pic saisonnier mais dont la précipitation reste faible (72,5 mm). Ce qui pourrait suggérer que les paramètres climatiques seuls ne conditionnent pas la variation saisonnière de la peste bubonique.

5.5. Discussion sur l'évolution spatio-temporelle des cas de peste bubonique

Dix nouveaux districts qui étaient indemnes de peste bubonique auparavant ont récemment été affectés par cette maladie de 2015 à 2019.

Concernant, Toamasina I, Betioky sud, Antsohihy, Analalava, Ambilobe, Sambava et Ampanihy où les nouveaux cas de peste bubonique ne sont apparus qu'en 2017, la cause pourrait être due à leur survenue durant la flambée épidémique de peste pulmonaire en zone urbaine.

Pour Midongy Sud, Befotaka et Iakora, où les cas continuent à apparaître chaque année, ce sont notamment dans les communes qui contiennent des forêts que les cas de peste bubonique sont observés. Pareil, les cas se concentrent généralement dans la forêt qui est le parc national de Midongy Sud. Ces trois districts du sud-est de Madagascar sont limitrophes. Il s'agit d'une réémergence de l'épidémie étant donné qu'ils ont déjà été touchés par la peste auparavant mais devenus districts silencieux depuis 1950. Puis, des cas de peste pulmonaire ont resurgit en 2016 et 2017 avant l'apparition des cas de peste bubonique en 2018. L'accès à ces districts est très difficile étant donné qu'à part qu'ils sont enclavés, l'insécurité reste également très élevée (« classée zone rouge en raison du banditisme local ») (OMS, 2007). Ainsi, il est fort probable que ces cas de peste pulmonaire en 2016 étaient au début des pestes buboniques mais avec le retard ou manque de traitement des villageois infectés, la forme bubonique se complique en forme pulmonaire (OMS, 2017). La réémergence de ces cas est probablement liée à la déforestation observée à la limite sud de la commune Andranolalina, limitrophe qui la relie avec les autres communes touchées par la peste durant la même période (Photo : 2 et 3).

Recommandation :

L'insécurité constitue un obstacle à la riposte précoce de la peste bubonique. Pourtant, le retard de prise en charge médicale d'un seul cas en retard de traitement ou non traité constituerait une menace pour ses contacts. Ainsi, il est primordial de combiner dans la lutte contre la peste la lutte contre l'insécurité et de faciliter l'accès des villageois aux soins de santé et également, d'intensifier la protection de la forêt et surtout les parcs nationaux. Cependant, la lutte contre la déforestation liée aux activités anthropiques ne serait pas efficace tant que les villageois n'auront pas pris conscience de l'importance de ces luttes. L'éducation et la sensibilisation

intensive et régulière de la population sur la relation entre risque pesteux et déforestation doivent être réalisées ou intensifiées. Et plus encore, quand les villageois dépendant de ces forêts n'auront pas d'autres options d'activités vivrières, même étant conscients des risques pesteux, pour survivre, ils continueront à pratiquer le déboisement. C'est pourquoi l'Etat doit lancer des projets de création d'emploi pour ces villageois afin qu'ils renoncent aux activités responsables de la déforestation.

5.6. Discussion sur la classification des districts de Madagascar selon les risques pesteux

La classification des districts selon les risques pesteux a pu trouver 13 districts à haut risque dont 12 parmi eux se situent au centre de l'île et à caractère rural sauf Mahajanga I qui se trouve à la côte ouest de Madagascar. Rahelinirina . ont mentionné également dans leur publication en 2010 que « la peste touche principalement les zones rurales des hauts plateaux du centre de Madagascar » (Rahelinirina, et al., 2010). Les puces vectrices *Xenopsylla cheopis* et *Synopsyllus fonquerniei* sont présentes dans ces zones et cette dernière reste endémique et ne se trouve que dans la zone centrale de l'île. Le *Rattus rattus* constitue le principal rongeur impliqué des épidémies dans ces zones centrales (Rahelinirina, et al., 2017) (Chanteau, 2006). Pour Mahajanga I, il s'agit probablement d'épidémie liée à bactérie *Y. pestis* des hauts plateaux mais véhiculée par d'autres types de réservoirs. L'étude de Tollenaere en 2009 a montré que la hausse des cas pesteux dans ce district peut être expliquée par l'abondance de musaraignes *Suncus murinus* dans cette zone, « une espèce qui porte régulièrement la puce *Xenopsylla cheopis* » et « les souches bactériennes seraient originaires du foyer des hauts plateaux centraux » (Tollenaere, 2009). Les *Suncus murinus* sont résistants à l'infection de la peste. Ils jouent le rôle d'hôte qui maintient le *Y. pestis* et les transmettent aux autres réservoirs sensibles qui pourraient ensuite infecter l'homme à partir de ces puces (Rahelinirina, et al., 2017).

Les districts ont été catégorisés en trois niveaux de risque pesteux :

Fianarantsoa II	Manandriana		Niveau de risque pesteux	Très fort
Ankazobe	Tsiroanomandidy			Fort
Anjozorobe	Manjakandriana	Ambalavao		Moyen
Ambositra	Ambatofinandrahana	Betafo		
Mahajanga I	Fianarantsoa I	Miarinarivo		

Figure 18 : Catégorisation des districts selon leurs niveaux de risques pesteux (1999 – 2019)

Contrairement au cas des districts nouvellement touchés par la peste au sud-est de Madagascar, les quatre premiers districts à haut risque pesteux, ainsi que chacune de leurs communes à haut risque pesteux ne contiennent pas de forêt dense à part Fianarantsoa II. Par contre, Andoharanomaitso, qui est la commune à haut risque pesteux à Fianarantsoa II, ne contient pas de forêt dense mais se trouve à environ 20 km de la forêt du parc national de Ranomafana. Les foyers naturels de la peste dans la partie centrale de Madagascar pourraient être caractérisés par des végétations non forestières « semi-désertiques de type savane, steppes » (Chanteau, 2006) ou de milieux à proximité de zones forestières. Le *Rattus rattus* et d'autres types de réservoirs de la peste pourraient se trouver dans ces forêts (Tollenaere, 2009). L'absence ou la proximité de forêt est probablement due à la déforestation de forêt en foyer pesteux dans ces milieux mais que l'*Yersinia pestis* continue à y circuler.

Recommandation :

Des études approfondies sur la peste et l'environnement dans ces zones sont sollicitées.

5.6. Discussion sur le relief et risque pesteux

Les districts à haut risque se situent aux altitudes plus de 800 m sauf Mahajanga I qui se trouve aux altitudes de 4 à 84 m. D'après la classification des districts selon leur niveau de risque pesteux, Mahajanga I fait partie des districts à risque pesteux moyen et les quatre premiers districts à haut risque se trouvent tous dans la partie centrale.

Par conséquent, la liaison entre le risque pesteux et haute altitude pourrait encore confirmer l'hypothèse 1 sur la relation entre apparition de peste bubonique et les paramètres climatiques et également l'hypothèse 2 sur le niveau de risque pesteux à Madagascar en fonction des paysages des districts. Selon Chanteau S., le climat des zones à altitude moyenne de 700 à 1 500 m de Madagascar correspond bien à la condition de multiplication des puces vectrices de peste (Chanteau, 2006). En outre, Laperrière V. a mentionné que la saison pesteuse (avril à octobre) des hautes terres de Madagascar correspond à la période de la pullulation des puces (Laperrière, 2010). Les puces semblent inactives en pendant l'hiver qui correspond à la saison basse transmission de la peste (Chanteau, 2006). Par conséquent, ce sont notamment les multiplications des puces qui sont favorables aux conditions climatiques de ces zones à haute altitude.

Recommandation :

L'utilisation fréquente d'insecticides chimiques n'est pas recommandée étant donné qu'elles nuisent l'environnement et risquent de rendre les puces résistantes. Ainsi, le contrôle des puces reste difficile notamment les puces en dehors des habitations humaines. Il est recommandé

d'intensifier la capture des rats vivants en période de haute transmission de peste dans ces zones à haut risque afin de pouvoir tuer leurs puces avec les rats sans avoir recours aux raticides et insecticides chimiques. Ces pièges sans produit chimique, de préférence les pièges de rats en groupe telle que la nasse à rat, pourraient ainsi être placés non seulement à l'intérieur des maisons mais également dans les milieux où il y a plus de rats.

5.7. Discussion sur la variation mensuelle des feux actifs à Madagascar (2001-2019)

Les feux persistent toute l'année à Madagascar avec une moyenne allant de 83,5 à 11 573,9 points de feux par mois. Ils ont tendance à s'accroître du mois de mars jusqu'à un pic saisonnier le mois d'octobre puis décroissent jusqu'au mois de février. La rareté des feux actifs à partir du mois de novembre au mois d'avril serait due à la hausse de précipitations qui est défavorable aux feux. Le pic de feux au mois d'octobre marque la fin de la saison sèche à Madagascar. En cette période, les feux de végétation restent intenses étant donné que les villageois à court de pâturages pour le bétail pratiquent les feux de brousse afin de les faire pousser rapidement dès la tombée des premières pluies ou préparer le sol avant la semence avec les cendres de feux afin qu'il soit fertile (Sarrasin, 2013).

5.8. Discussion sur la corrélation entre le nombre de cas de peste bubonique et le nombre de feux actifs à Madagascar (2001-2019)

Statistiquement, il n'existe pas de corrélation significative entre le nombre de cas mensuel de peste bubonique et ceux des feux actifs à Madagascar de 2001 au 2019. Ainsi, au niveau national, la survenue des cas pesteux ne dépend pas de la pratique de feu qui fait partie des activités agricoles à Madagascar. Par conséquent, l'hypothèse 3 n'est pas vérifiée pour les feux. Cependant, la tendance entre saisonnalité de peste bubonique avec densité des feux en fonction des altitudes n'a pas été encore analysée.

5.9. Discussion sur le risque pesteux et densité de feux actifs (2001-2019) selon les altitudes à Madagascar

Il a été constaté qu'au-dessus de 800 m d'altitude, la densité des feux dans les districts à haut risque pesteux est 3,67 fois plus importante que la densité des feux dans le district à faible risque pesteux. Ce qui pourrait confirmer l'hypothèse 3 sur l'éventuelle existence d'une relation entre les feux et la survenue d'épidémie de peste dans les zones au-dessus de 800 m d'altitude.

Le début de la saison de peste est apparu trois mois après le début de la saison des feux avec un pic épidémiologique (octobre) observé juste après le pic des feux (août, septembre). Cette survenue de pic de feux aux mois d'août et septembre est liée principalement à l'intensité de feux de brousse en cette période pour renouveler le pâturage du bétail ou pour défricher la terre

avant de la labourer et pour fertiliser les sols par le « tavy ». Pour ce dernier, la technique consiste à déboiser la forêt avant de mettre le feu pour les cultures sur brûlis (Sarrasin, 2013). Ce qui pourrait signifier que les feux de grande ampleur déclencheraient la recrudescence brusque du nombre de cas de peste bubonique. Cela serait dû probablement à un fort déplacement des rats depuis leurs foyers naturels brûlés vers les territoires des humains. Les cultures sur brûlis font une forte pression sur les rats noirs *Rattus rattus* qui restent présents dans toutes les forêts de moyenne altitude et les obligent à se déplacer. De plus, selon Duplantier et al., avec la déforestation due à cette technique, les villageois peuvent être brusquement en contact avec des « zones forestières où la peste semble bien circuler chez des insectivores endémiques avec, comme vecteurs potentiels, d'autres espèces de puces » (Duplantier , Duchemin , Ratsitorahina , Rahalison, & Chanteau, 2001).

Recommandation :

Les feux de brousse et de forêt sont réalisés par les agriculteurs dans le but de fertiliser les sols. Pourtant, la durée de cette fertilité est limitée puisqu'au contraire, à long terme, les feux appauvrissent le sol (en communautés bactériennes, vers de terre, ...) (Vennetier, 2009). Une fois non productif, les agriculteurs vont changer de champs de culture et élargir leurs activités agricoles dans les forêts et répéter le cycle :

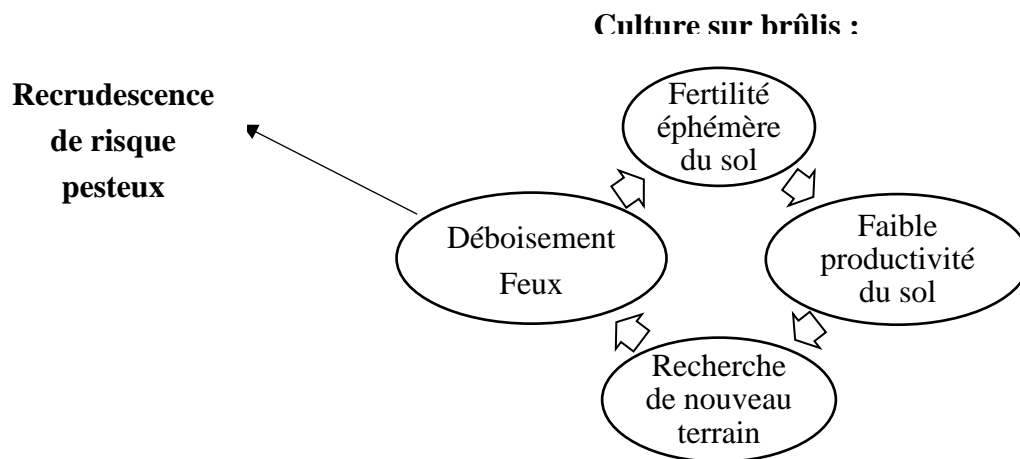


Figure 19 : Risque pesteux et culture sur brûlis (production personnelle)

Source : (Chabrolin, 1965)

Ainsi, pour conscientiser les agriculteurs, la sensibilisation et l'éducation des agriculteurs sur les impacts du feu de végétation sur le sol devraient être intensifiés. Leur proposer d'autres techniques agricoles pouvant fertiliser le sol de manière durable serait primordial afin de limiter l'extension des champs de culture vers les zones forestières.

5.10. Discussion sur le risque pesteux et principaux produits du règne végétal

Le riz, le manioc, le maïs constituent les trois premiers produits agricoles à Madagascar. Plus de la moitié des surfaces agricoles malagasy sont occupées par la riziculture. Pourtant, en matière d'agriculture, les rats préfèrent notamment les rizières (Tollenaere, 2009).

Dans les hautes terres à plus de 800 m d'altitude, l'économie repose principalement sur le riz (Rabetaliana, Bertrand, Razafimamonjy, & Rabemananjara, 2003). Il est également observé dans nos résultats que les districts à haut risque pesteux situés dans ces zones à haute altitude appartiennent tous aux catégories de densité de surfaces agricoles supérieures à 5,9%. Et, il existe plus de surface de riziculture dans ces districts à haut risque pesteux que dans les districts à faible risque pesteux. Pourtant, une étude de Rahelinirina et al. en 2010 a pu remarquer « un déplacement des rats des sisals vers les rizières pendant la saison de forte transmission de la peste » (Rahelinirina, et al., 2010). Ce déplacement pourrait mettre fortement à risque les villageois se trouvant dans ces rizières. Par conséquent, l'abondance de riziculture dans un district pourrait augmenter leur risque pesteux. De plus, la pratique agraire - notamment la technique de culture sur brûlis - a transformé la forêt qui pouvait être le foyer naturel pesteux et l'a remplacé par ces rizicultures (Rabetaliana, Bertrand, Razafimamonjy, & Rabemananjara, 2003). Par conséquent, il est également possible que les rizicultures ayant remplacé la forêt foyer naturel fassent partie des milieux à haut risque pesteux.

Recommandation :

La lutte contre la culture sur brûlis reste importante dans la lutte contre la peste à Madagascar. La prévention de détérioration des champs déjà existants, notamment les rizicultures pourrait résoudre l'extension de ces champs de culture dans la forêt. Les activités consistent à créer ou entretenir des digues, des barrages (afin d'améliorer le système d'irrigation), à dessabler les champs ensablés, ...

5.11. Discussion sur le risque pesteux et calendrier agricole

Les saisons pesteuses (septembre-mars, septembre-avril) des districts à haut risque situés à >800 m d'altitude correspondent aux périodes des préparations du sol, semis, repiquage/plantations et d'entretiens des principaux produits agricoles qui s'y trouvent dont le riz (pluvial et riz 2^{ème} saison), manioc, maïs, haricot sauf le riz irrigué 1^{ère} saison dont la préparation du sol, le semis et repiquage/plantation s'effectuent avant le début de ces saisons pesteuses. Par conséquent, les activités agricoles pourraient augmenter le risque d'exposition des agriculteurs à la peste bubonique. En outre, il a été observé qu'en milieu rural, les épidémies de peste surviennent chez les cultivateurs (Juif, 2011).

Les pics des saisons de peste bubonique correspondent notamment à la période de préparation du sol et semis. La culture sur brûlis est pratiquée notamment pour la culture du riz de montagne et au manioc à Madagascar (Sarrasin, 2013). Par conséquent, pour la riziculture et champ de manioc de montagne, le pic saisonnier de peste est favorisé notamment par les feux de brousse durant la préparation du sol. Concernant le semis qui suit la préparation du sol, les semences qui font partie de la nourriture des rats (Norman, 1999) les attirent vers les champs.

Et pour le riz pluvial et riz irrigué 2^{ème} saison, selon Handschumacher et al., l'inondation artificielle des rizières qui débute en mi-août pousse les rats à envahir les villages et entraînant la recrudescence de la peste bubonique juste après ce période. Selon Handschumacher et al., la hausse des cas de peste dépendrait de la « possibilité de mouvements des populations de rongeurs en fonction de la mise en eau des rizières et des feux de brousse » (Handschumacher, Duplantier, & Chanteau, 2000), un déplacement des rats du foyer naturel vers le territoire humain. Le déplacement des villageois durant les activités agricoles vers les champs proches de foyers pesteux pourrait également les rendre plus exposés au risque pesteux.

Recommandation :

Comme la hausse de la transmission de peste survient pendant la préparation du sol et le semis, la lutte contre la pratique des feux de végétation pendant la préparation du sol doit être intensifiée. Réaliser également des dératisations par capture vivante des rats (nasse à rat) dans les champs de culture pendant ces deux activités agricoles.

5.12. Discussion sur le système de prévention et de lutte contre la peste à Madagascar

Les stratégies de prévention dans la politique nationale de lutte contre la peste (PNLP) à Madagascar sont axées sur les rongeurs hôtes et les puces vectrices, la sensibilisation de la population et la riposte précoce d'éventuels cas pesteux. Afin d'éviter la résistance des puces, la désinsectisation ne se fait qu'à chaque riposte de l'épidémie (Andrianavoarimanana, et al., 2019). Pour les rats, la distribution des pièges à rats dans les districts à haut risque ne s'est intensifiée que récemment (à partir de l'année 2018)³. De plus, la dératisation et la désinsectisation ne se font qu'à l'intérieur des ménages et les rongeurs et puces responsables de la peste bubonique en dehors de la maison. Dans les champs de culture et les forêts, ils ne sont pas contrôlés.

Recommandation : Inclure dans la politique nationale de la lutte contre la peste la lutte contre les réservoirs et vecteurs de la peste dans les champs de culture (capture vivante des rongeurs).

³ Service de Lutte contre la Peste (SLP) Madagascar

CONCLUSION

La peste qui est une maladie zoonotique figure parmi les risques sanitaires soumis au Règlement Sanitaire International (RSI) 2005 et classée comme maladie épidémique. Tant de chercheurs ont réalisé des études afin d'identifier les facteurs favorisant la persistance de cette maladie à Madagascar. La présente étude consiste également à déterminer les facteurs de risque pesteux liés aux variations climatiques et aux pratiques agricoles à Madagascar de 1999 à 2019. Uniquement la forme bubonique a été incluse dans ce travail étant donné qu'il s'agit de la forme clinique principale de la peste dont la transmission requiert l'intervention des rongeurs-réservoirs et puces-vectrices.

L'analyse du nombre de cas de peste bubonique avec les températures moyennes et les précipitations cumulées à Madagascar a permis de confirmer les corrélations entre la survenue de la peste et chacun de ces deux paramètres. La température moyenne de 24,5 à 26°C et les précipitations cumulées moyennes de 100 à 300 mm par mois favorisent la recrudescence des cas de peste bubonique. Ces paramètres conditionnent la multiplication des puces vectrices de la peste ainsi que des rats qui vivent en dehors des habitations humaines (*Rattus norvegicus*).

La cartographie des districts selon le nombre de cas de peste bubonique a montré une extension des zones touchées qui est due probablement à la déforestation observée dans ces zones. Douze districts à haut risque pesteux sur treize (catégorisés selon l'intensité et la fréquence des cas pesteux) se situent aux altitudes au-dessus de 800 m. La haute transmission de peste bubonique dans ces districts est liée aux conditions climatiques et paysages de ces zones.

La relation entre la peste bubonique et les pratiques agraires a été également identifiée. L'analyse de nombre de cas de peste bubonique avec les feux actifs de 2001 à 2019 à Madagascar n'a pas pu vérifier statistiquement l'existence de corrélation entre ces deux variables. Par contre, le calcul de la densité de feux dans les districts à haut risque pesteux et les districts à faible risque pesteux situés au-dessus de 800 m a montré l'éventuelle existence d'une relation entre les feux et la survenue d'épidémie de peste. La haute saison de transmission de peste bubonique est apparue juste après les pics de feux. Ces pics de feux correspondent aux pratiques de feux de végétation réalisés par les agriculteurs dans le but de défricher et fertiliser les sols avant le semis. Ces feux sont notamment utilisés dans la technique de culture sur brûlis capable de chasser les principaux réservoirs de peste qui sont les rats, à se déplacer des forêts brûlées vers les foyers humains. Les rizicultures qui sont des milieux de déplacements fréquents des rats restent importantes dans les zones à haut risque pesteux. L'analyse des calendriers agricoles et la saison pesteuse met en évidence la recrudescence des cas de peste durant la préparation du sol où la pratique de culture sur brûlis pour les rizicultures de montagnes ou les

champs de manioc et le semis. Concernant le semis, les semences attirent les rats qui se déplacent ainsi dans les champs et pourraient mettre à risque les agriculteurs qui y travaillent. Les recommandations consistent notamment à produire un système d'alerte précoce sur la multiplication de vecteurs/réservoirs de la peste et le risque pesteux dans un lieu donné ainsi que d'étendre la lutte contre ces réservoirs/vecteurs dans les champs de culture.

La présente étude démontre que la limitation de la lutte contre la peste uniquement au niveau des acteurs de la santé humaine reste insuffisante. La constitution d'une équipe multidisciplinaire dans la gestion de ce risque sanitaire serait primordiale afin de réduire le risque pesteux à Madagascar et d'éviter l'occurrence épidémiologique.

Bibliographie

- Andrianaivoarimanana, V., Piola, P., Wagner, D., Rakotomanana, F., Maheriniaina, V., Andrianalimanana, S., & Chanteau, S. (2019, February 2). Emerging Infectious Diseases. Trends of Human Plague, 1998-2016, p. 220.
- Andrianaivoarimanana, V., Piola, P., Wagner, D., Rakotomanana, F., Maheriniaina, V., Andrianalimanana, S., Rajerison, M. (2019, February). Trends of Human Plague, 1998-2016. Emerging Infectious Diseases, 25(2), 220.
- Battistini, R. (1996). Paléogéographie et variété des milieux naturels à Madagascar et dans les îles voisines : quelques données de base pour l'étude biogéographique de la "région malgache". Biogéographie de Madagascar, 7-8.
- Bernard, A.-G., Rasamindisa, A., Aubert, S., & Danflouis, J. (2015, Février). Synthèse bibliographique sur la filière charbon de bois dans la région Analamanga polarisée par Antananarivo. 5-6.
- Bertherat, É. (2019). Plague around the world. Geneva: WHO.
- Betole Ada, M. (2015). Création de Services météorologiques et climatologiques à valeur ajoutée à travers des partenariats public-privé innovants. Kampala, Ouganda: Département Météorologie.
- BNGRC. (2015-2016). Plan de contingence multi-risques du gouvernement et du comité permanent inter-agences. 1-10. Ministère de l'intérieur et de la décentralisation, Madagascar.
- Caillault, S., Baillouche, A., & Delahaye, D. (2010). Organisation spatio-temporelle des feux de brousse. Approche comparative au Burkina Faso. Actes 9e Rencontres Théo Quant, Besançon 20ARTICLE, 2078, 3.
- Chabrolin, R. (1965, Janvier). La riziculture de tavy à Madagascar. L'agronomie tropicale, 13-22.
- Chanteau, S. (2006). Atlas de la peste à Madagascar. 1-79.
- Chanteau, S., Ratsifasoamanana, L., Rasoamanana, B., Rahalison, L., Randriambeloso, J., Jean Roux, & Rabeson, D. (1998, March). Plague, a Reemerging Disease in Madagascar. (CDC, Éd.) Emerging infectious diseases, 4(1), 1-10.
- David, T. K. (1999). Manuel de la peste: épidémiologie, répartition, surveillance. OMS, 14-29. Récupéré sur OMS/CSR.
- Debord, T. B. (1997). Les armes biologiques. Médecine et maladies infectieuses(81), 94-95. Récupéré sur <https://www.cairn.info/revue-topique-2002-4-page-93.htm>

- Duplantier, J., Duchemin, J., Ratsitorahina, M., Rahalison, L., & Chanteau, S. (2001). Résurgence de la peste dans le district d'Ikongo à Madagascar en 1998. *Bull Soc Pathol Exot*, 119_120.
- Duplantier, J., Brouat, C., Rahalison, L., Rahelinirina, L., Rajerison, M., Laffly, D., & Handschumacher, P. (2011, January). La diffusion de la peste à Madagascar : importance des déplacements des hommes et des rats. Récupéré sur Researchgate, 4-5.
- Galy, A., Loubet, P., Peiffer-Smadja, N., & Yazdanpa, Y. (2018, April). The Plague: An overview and Hot topics. *La Revue de Médecine Interne*, 1. Récupéré sur ResearchGate.
- Giglio, L., Schroeder, W., Hall, J., & Justice, C. (2018, Dec 31). Fire Information for Resource Management System. Récupéré sur Archive Download.
- Girod, R., & Rahelinirina, S. (2017, 12 26). IPM. Récupéré sur Entomo-Evalkartman: <http://www.pasteur.mg/projets/epandage-dinsecticide-et-ou-utilisation-des-boites-de-kartman-efficacite-sur-puces-libres-et-puces-de-rongeurs/>
- Grasland, C. (1998). Initiation aux méthodes statistiques en sciences sociales. Université Paris VII, France.
- Gueguim, C., Tchamba, N., & Fotso, C. (2018). Dynamique spatio-temporelle des feux de brousse dans le Parc National du Mbam et Djerem (Cameroun). *International Formulae Group*, p732.
- GUIS, H. (2003). La peste à Madagascar : Etat des connaissances et étude de la surveillance humaine, murine et entomologique à Antananarivo de 1998 à 2001. Université Paul Sabatier de Toulouse, 23.
- Haesbroeck, G. (2017, Août). Congrès de la SBPMef, 1. Université de Liège, Département de mathématique. Récupéré sur https://www.sbp.be/wp-content/uploads/2017/04/Expos-eGHaesbroeck_Handout.pdf
- Handschumacher, P., Duplantier, J., & Chanteau, S. (2000). La résurgence de la peste à Madagascar : une maladie centenaire à l'épreuve de l'histoire et de l'écologie. *IRD*, 197-202.
- Hijmans, R., Guarino, L., & Cruz, M. (2001). Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletter* (127), 15-19.
- INSTAT. (2015). Madagascar. Enquêtes sur la transition des jeunes malgaches vers la vie active rapport de synthèse. Antananarivo: International Labour Office. Récupéré sur https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/-d_emp/documents/publication/wcms_429073.pdf

- INSTAT. (2018). ENSOMD 2012-2013 ; RMDH 2018/UNDP. Madagascar.
- INSTAT. (2019). Résultat provisoire du troisième Recensement Général de la population et de l'Habitation (RGPH-3). Madagascar.
- IPM. (2017, Mars 01). IPM. Récupéré sur Peste-PRIZM: <http://www.pasteur.mg/projets/zoonoses-des-rongeurs-facteurs-environnementaux-et-socio-economiques-associées-aux-risques/>
- IPM. (2019, Septembre 16). IPM. Récupéré sur Centre médical: <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/peste>
- Jarvis, A., Reuter, H., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). CGIAR CSI. Récupéré sur SRTM 90m Digital Elevation Database v4.1: <https://cgiarcsi.community/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1/>
- Juif, M. (2011). Les zoonoses transmissibles du rat à l'homme : Conseils en officine. (F. pharmacie, Éd.) Nancy 1: Université Henri Poincaré.
- Kull, C. (2002). Madagascar aflame: landscape burning as peasant protest, resistance, or a resource management tool? *Political Geography*, 21(7), 4. Récupéré sur https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_60D05E1F39D5.P001/REF.pdf
- La banque mondiale Madagascar. (2019, Octobre 22). La banque mondiale. Récupéré sur Madagascar-Vued'ensemble:<https://www.banquemondiale.org/fr/country/madagascar/overview>
- Labarere, J. (2011). Méthodologie épidémiologie. Santé Société Humanité – Risques sanitaires. Grenoble. Récupéré sur http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/labarere_jose/labarere_jose_p11/labarere_jose_p11.pdf
- Laperrière, V. (2010, Avril). Modélisation dynamique de la peste à Madagascar, entre théorie et observations. *Cairn.info*, Tome 39, 345-359.
- MAEP. (2009). Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture Madagascar. Antananarivo: Commissions des Ressources Génétiques pour l'alimentation et l'agriculture de la FAO. Récupéré sur <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/Madagascar.pdf>
- MAEP, & Service de la Statistique Agricole. (2012, Décembre). Statistiques agricoles. *Annuaire 2009-2010*, pp. 3-4.
- Mathieu-Dupas, E. (2010). Article des k proches voisins pondérés et application en diagnostic.
- MEEF. (2018, Mai 30). Madagascar Stratégie nationale REED+ . Pour une diminution de 14% des émissions GES du secteur forestier d'ici 2030, à travers un accoissement du couvert

- forestier, et une maîtrise de la déforestation et de la dégradation des forêts, 3-4. Antananarivo.
- MEEMF. (2013). Les systèmes des aires protégées de Madagascar.
- MEFT, USAID , & CI. (2009). Evolution de la couverture de forêts naturelles à Madagascar 19990-2000-2005.
- Ministère de l'intérieur et de la décentralisation. (2015, Avril 01). Decret n°2015 – 592 portant classement des Communes urbaines ou en Communes rurales. Antananarivo, Madagascar.
- Norman, G. (1999). Lutte contre la transmission de la peste. WHO/CDS/CSR/EDC/99.2. Manuel de la Peste Epidémiologie, répartition, surveillance et lutte, 111.
- OMS. (2002). Gérer les urgences sanitaires de portée internationale au moyen de la version révisée du règlement sanitaire international. Maladies transmissibles, Surveillance et Action, 1-14.
- OMS. (2007). La sécurité sanitaire mondiale au XXIe siècle : un avenir plus sûr. Genève: OMS.
- OMS. (2007, Janvier 9). Préparation et riposte aux situations d'urgence. Bulletin d'information sur les flambées épidémiques. Peste à Madagascar.
- OMS. (2017, Novembre 27). Peste – Madagascar. Récupéré sur Préparation et riposte aux situations d'urgence : <https://www.who.int/csr/don/27-november-2017-plague-madagascar/fr/>
- ONE. (2019, Février). Tableau de bord environnemental. Récupéré sur Taux de déforestation - National: <https://www.pnae.mg/tbe/national.html>
- ONE, DGF, MNP, WCS, & Terra, E. (2015). Changement de la couverture de forêts naturelles à Madagascar, 2005-2010-2013. Antananarivo: 21 pl. A3 & cartographie A0.
- PopulationData.Net. (2020, Mars 11). Atlas des populations et pays du monde. Récupéré sur Madagascar: <https://www.populationdata.net/pays/madagascar/>
- QGIS project. (2020). Manuel d'utilisation de QGIS. Récupéré sur Superposition de vecteur: Récupéré sur https://docs.qgis.org/3.10/fr/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoroverlay.html
- Rabaovololona, & Raharinirina. (2017). Étude sur le développement des médias à Madagascar basée sur les indicateurs. Basée sur les indicateurs de développement des médias de l'UNESCO. Paris: UNESCO.
- Rabetaliana, H., Bertrand, A., Razafimamonjy, n., & Rabemananjara, E. (2003). Dynamiques des forêts naturelles de montagne à Madagascar. Bois et forêts tropiques, 276(2), 66-69.

- Rahelinirina, S., Duplantier, J., Ratovonjato, J., Ramilijaona, O., Ratsimba, M., & Rahalison, L. (2010). *Rattus*. Vector-Borne and, 10(1), 77-84.
- Rahelinirina, S., Rajerison, M., Telfer, S., Savin, C., Carniel, E., & Duplantier, J.-M. (2017). The Asian house shrew *Suncus murinus* as a reservoir and source of human outbreaks of plague in Madagascar. *PLoS Negl Trop*, 11(11), 1-14. Récupéré sur <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006072>
- Ratsitorahina, M., Chanteau, S., Rosso, M., Randriambeloso, J., Ratsifasoamanana, L., Rabarijaona, L., & Mauclère, P. (2002). Actualités épidémiologiques de la peste à Madagascar. Institut Pasteur de Madagascar, 52.
- Sarrasin, B. (2013). Environnement et développement. Du plan d'action environnemental. Karthala, 9-10. Récupéré sur <http://www.karthala.com>
- System Geographic Information. (2017, September 28). Spatial resolution eo Google Earth Imagery.
- The world bank. (2020). Data. Récupéré sur Population, total Madagascar.
- Tollenaere, C. (2009). Génétique et évolution du rat noir, *Rattus rattus*,. Université Montpellier 2., 30-40.
- Topographic-map.com. (2020, Mai 10). Madagascar. Récupéré sur <https://fr-be.topographic-map.com/maps/4avj/Madagascar/>
- UNISDR. (2009). Terminologie pour la prévention des risques de catastrophe. p5.
- Université de Sherbrooke. (2020, Juin 25). Ecole de politique appliquée, faculté des lettres et sciences humaines. Récupéré sur Perspective monde, Outils pédagogique des grandes tendances mondiales depuis 1945: Récupéré sur <https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/tend/MDG/fr/SI.POV.2DAY.html>
- Vennetier, M. (2009, Janvier). Les impacts du feu sur l'écosystème : impacts sur l'environnement. Reacherchgate, 29-30.
- WHO/PED. (2016, March 15). WHO. Récupéré sur WHO/PED: Récupéré sur <https://www.who.int/csr/disease/plague/Plague-map-2016.pdf>

Site internet

<http://diva-gis.org/gdata> [consulté le 05 juin 2020]

<http://www.maep.gov.mg/> [consulté le 20 juin 2020]

<https://www.environnement.mg/> <http://www.maep.gov.mg/> [consulté le 29 juin 2020]

<https://www.populationdata.net/pays/madagascar/> [consulté le 05 juillet 2020]

<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms> [consulté le 10 juillet 2020]

Annexes

Annexe 1 : Moyennes des paramètres climatiques par station à Madagascar de 1999 à 2019.	xxi
Annexe 2 : Précipitations cumulées mensuelles à Madagascar de 1999 à 2019	xxii
Annexe 3 : Températures moyennes mensuelles à Madagascar de 1999à 2019	xxiii
Annexe 4 : Effectif mensuel des cas de peste bubonique à Madagascar de 1999 à 2019.....	xxiv
Annexe 5 : Nombres de feux actifs à Madagascar de 2001à 2019.....	xxv

Annexe 1 : Moyennes des paramètres climatiques par station à Madagascar (1999-2019)

Longitude	Latitude	Station	Moyenne de précipitations cumulées mensuelles (en mm)	Moyenne de températures moyennes mensuelles (en °C)
48.5	-17.6	Ambohitsilaozana	104,4	20,8
50.3	-15	Antalaha	167,4	22,6
47.5	-18.9	Antananarivo	107,3	19,7
47.1	-19.9	Antsirabe	162,5	17,8
49.3	-12.4	Antsiranana	79,5	26,4
48	-14.9	Antsohihy	197,4	27,6
44.5	-16.8	Besalampy	157,2	27,1
47.8	-22.8	Farafangana	170,4	25,2
47.1	-21.5	Fianarantsoa	95,7	19,9
47.5	-18.8	Ivato	118,0	19,6
46.4	-15.7	Mahajanga	152,9	27,4
48.8	-15.7	Mahanoro	168,3	24,2
44	-18.1	Maintirano	134,2	26,0
48.3	-21.2	Mananjary	224,5	22,7
43.4	-21.8	Morombe	68,9	26,2
44.3	-20.3	Morondava	93,9	25,9
48.3	-13.3	Nosy_be	130,0	26,3
45.4	-22.6	Ranohira	88,8	22,2
49.8	-17.1	Sainte marie	262,5	25,3
50.2	-14.3	Sambava	194,8	25,5
47	-25	Talagnaro	124,9	23,9
49.4	-18.1	Toamasina	262,1	25,2
43.7	-23.4	Toliara	29,4	25,3

(Source : Direction Générale de Météorologie, Madagascar)

Annexe 2 : Précipitations cumulées mensuelles à Madagascar de 1999 à 2019 (unité en mm)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octobre	Novembre	Décembre
1999	262,6	179,8	174,8	100,7	62,7	63,1	-	55,0	40,7	56,9	-	133,9
2000	200,4	-	219,8	73,5	37,6	123,6	100,2	64,9	44,6	38,4	143,7	191,8
2001	383,4	180,9	185,0	80,9	104,0	87,5	69,2	44,3	43,6	54,8	49,9	194,8
2002	218,9	303,4	231,2	132,2	227,5	60,3	78,3	30,5	52,0	120,1	108,1	273,9
2003	432,8	272,9	278,8	123,1	129,9	106,4	81,1	51,3	63,4	112,5	86,1	231,3
2004	353,3	176,4	283,2	97,3	248,0	93,8	140,0	49,2	45,5	51,4	49,6	113,7
2005	264,2	255,9	219,1	96,8	47,4	93,7	111,0	64,0	-	-	129,5	264,1
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	422,0	315,7	170,8	124,1	126,0	79,2	92,2	80,8	45,3	61,7	86,9	179,8
2008	268,9	300,6	161,4	91,5	85,1	80,2	80,4	66,6	39,1	72,9	112,7	137,8
2009	274,5	222,8	217,2	135,9	61,7	64,5	83,2	80,4	45,7	52,3	99,2	151,6
2010	296,8	157,7	246,7	94,8	71,5	105,2	80,0	97,1	45,7	81,7	89,1	126,5
2011	297,5	251,5	215,2	130,8	64,6	65,8	38,4	63,1	56,7	42,8	78,7	143,2
2012	321,0	256,0	200,7	178,8	118,7	90,0	71,4	47,7	67,1	101,7	99,9	137,8
2013	219,3	176,9	149,9	72,0	78,3	65,2	57,2	72,2	37,3	92,6	98,9	165,6
2014	350,5	230,7	180,4	72,8	88,9	112,8	106,0	42,1	-	61,5	98,1	169,2
2015	402,7	455,9	248,3	61,9	115,3	101,8	-	90,9	114,4	122,8	109,6	-
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	37,4	-	-	-
2017	160,0	222,4	309,1	125,1	158,6	123,8	117,2	120,8	37,3	66,4	167,3	250,6
2018	343,4	197,4	302,0	138,9	108,7	75,3	145,3	49,2	41,7	57,7	117,9	135,9
2019	362,7	185,2	241,2	176,3	92,7	114,5	71,2	44,2	58,3	57,0	161,9	209,6
Moyenne	307,1	241,2	222,9	110,9	106,7	89,8	89,5	63,9	50,9	72,5	104,9	178,4

(Source : Direction Générale de Météorologie, Madagascar)

Annexe 3 : Températures moyennes mensuelles à Madagascar de 1999 à 2019 (unité en °C)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octobre	Novembre	Décembre
1999	25,7	25,2	25,5	24,0	22,9	20,8	-	20,4	22,1	22,6	-	25,2
2000	25,7	-	24,8	24,6	22,5	20,5	20,2	21,1	21,6	22,0	24,5	25,4
2001	25,8	26,0	24,9	24,9	23,3	20,2	20,4	21,4	22,4	23,5	25,1	25,9
2002	26,0	25,3	25,2	24,1	22,5	20,1	20,6	20,1	23,0	23,3	25,3	25,5
2003	25,6	26,1	25,8	24,4	23,5	21,5	19,9	20,5	22,3	23,7	26,0	25,7
2004	26,0	25,7	25,2	23,7	23,8	21,4	23,7	25,5	23,5	20,4	21,9	22,1
2005	24,0	25,4	25,0	26,0	24,9	23,1	21,7	20,9	21,5	-	26,1	26,0
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	26,2	25,3	24,3	23,5	21,1	20,9	21,4	22,9	23,7	25,6	25,7	26,0
2008	25,2	25,1	23,7	22,5	20,7	20,7	21,4	22,9	24,7	25,7	26,4	26,7
2009	26,5	25,3	25,5	23,1	21,8	20,9	21,3	22,9	24,5	25,6	25,9	25,8
2010	25,7	26,0	25,5	23,0	22,0	20,6	21,3	22,9	25,2	25,8	25,9	-
2011	24,9	26,0	25,5	25,4	23,7	22,2	20,2	22,1	22,9	24,3	25,6	26,5
2012	25,6	25,9	25,6	24,1	23,2	21,6	20,8	21,8	22,8	24,7	25,4	25,7
2013	26,3	23,3	25,5	24,8	23,2	20,9	20,3	20,8	22,5	23,1	26,1	26,2
2014	25,9	25,5	24,6	24,4	23,2	22,1	21,2	21,8	-	24,1	25,5	26,5
2015	25,8	25,4	24,6	25,3	23,6	22,7	-	21,5	22,6	24,2	25,0	23,9
2016	25,8	25,5	25,6	24,9	23,7	22,8	21,2	21,9	23,1	23,9	26,0	-
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0
2018	23,5	25,0	24,0	23,0	21,5	20,2	18,9	20,5	21,8	22,1	24,6	25,9
2019	26,7	26,6	26,6	25,4	23,9	22,3	21,6	22,3	23,3	25,6	26,5	27,1
Moyenne	25,6	25,5	25,1	24,3	22,9	21,3	20,9	21,8	23,0	23,9	25,4	25,6

(Source : Direction Générale de Météorologie, Madagascar)

Annexe 4 : Effectif mensuel des cas de peste bubonique à Madagascar de 1999 à 2019

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octobre	Novembre	Décembre	Total
1999	199	195	68	38	5	13	8	15	95	170	223	192	1221
2000	233	196	135	59	24	14	13	32	58	121	160	227	1272
2001	200	99	44	27	20	14	10	23	61	103	100	77	778
2002	68	56	27	28	16	3	11	13	36	97	127	115	597
2003	133	127	62	24	11	10	8	9	38	121	144	132	819
2004	124	109	110	57	19	10	13	27	101	132	194	156	1052
2005	93	65	23	15	6	5	3	8	12	55	46	31	362
2006	34	26	29	9	6	6	2	24	37	66	62	71	372
2007	74	60	25	20	8	3	4	10	27	100	97	72	500
2008	61	21	29	6	4	0	0	8	37	79	97	137	479
2009	75	23	3	4	0	1	3	6	13	55	44	35	262
2010	28	34	31	16	5	1	2	7	28	39	47	43	281
2011	33	47	34	16	13	2	3	6	31	100	151	90	526
2012	45	24	12	21	7	3	6	4	17	55	105	90	389
2013	91	61	32	17	6	0	4	5	32	61	97	71	477
2014	86	43	18	7	6	3	4	8	33	61	81	57	407
2015	24	30	32	7	2	0	1	1	11	37	40	22	207
2016	28	30	15	8	0	1	2	1	1	16	0	0	102
2017	44	19	12	13	3	2	0	9	72	223	60	29	486
2018	17	8	2	1	0	0	0	3	31	62	25	35	184
2019	35	27	21	4	0	1	0	9	10	30	22	30	189
Moyenne	82,1	61,9	36,4	18,9	7,7	4,4	4,6	10,9	37,2	84,9	91,5	81,5	

(Source : Service de Lutte contre la Peste et Direction de la Veille, de la Surveillance Epidémiologique et Riposte, Madagascar)

Annexe 5 : Nombres de feux actifs à Madagascar de 2001 à 2019

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octobre	Novembre	Décembre
2001	53	5	50	475	2046	1538	2587	4145	4346	3170	2780	934
2002	80	14	30	611	992	1655	6095	7735	7582	8044	4619	1068
2003	137	66	68	993	3421	6172	8260	10404	9030	14296	7967	1390
2004	377	157	232	1515	3941	4608	4608	6994	6361	6949	5580	1369
2005	483	161	399	2939	5959	5596	7842	12510	10424	13302	10755	2348
2006	408	88	164	818	2951	5438	5583	6762	10776	12916	7626	1434
2007	114	33	279	797	2475	6892	8189	10762	10352	13164	8783	2844
2008	362	87	192	1274	3278	5575	7869	7366	8068	11443	5277	2152
2009	435	193	127	938	4560	7387	8282	6753	11589	14472	9354	2379
2010	245	58	92	941	3323	5267	8326	6882	13808	11432	8005	3551
2011	490	75	14530	418	2346	4330	7333	7118	10447	13078	5851	2324
2012	288	168	103	418	2346	4330	7333	10750	10447	13078	10447	2324
2013	485	59	177	1743	3983	7226	7115	10927	12462	12707	10119	1509
2014	307	58	192	1057	4176	5680	5251	7614	10241	11712	9300	2516
2015	165	15	81	599	2939	4424	7771	8014	9766	11683	1072	2238
2016	246	42	73	2457	7541	6112	8417	9962	11791	15583	8499	2342
2017	935	148	78	590	3570	5013	8779	6860	10549	12057	6072	1749
2018	207	66	167	783	4835	6240	7300	11639	12526	10432	5006	1718
2019	198	93	79	774	2020	4291	8750	12819	7512	10387	5719	1505
Moyenne	316,6	83,5	900,7	1060,0	3510,6	5146,0	7141,6	8737,7	9898,8	11573,9	6991,1	1983,9

(Source : <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>)