

Ministère de l'agriculture et de l'élevage
Ministère de l'environnement et du développement durable
République de Madagascar

Etude préparatoire du
Projet de conservation du bassin versant et de
réhabilitation de l'irrigation
dans la région d'Alaotra-Mangoro
en République de Madagascar

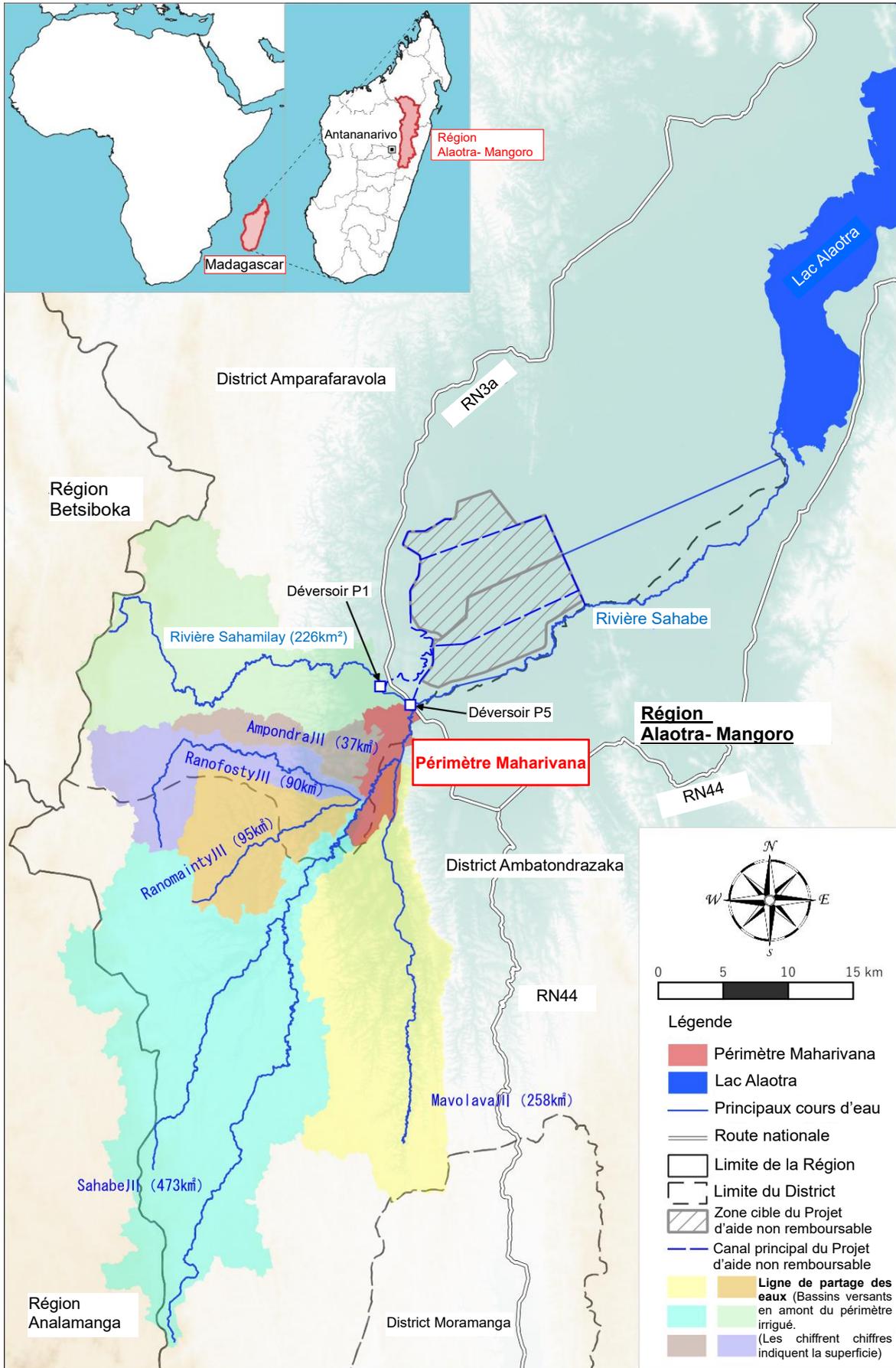
Rapport final

Juin 2023

Agence japonaise de coopération internationale (JICA)

Nippon Koei Co., Ltd.
Asia Air Survey Co., Ltd.

6R
JR
23-016



Source : Équipe d'étude

Carte de localisation de la zone d'étude

Photographies



Réunion de présentation du rapport initial -1 (Antananarivo)



Réunion de présentation du rapport initial -2
(DRAE Région Alaotra-Mangor)



Réunion de présentation du rapport initial -3
(Région Alaotra-Mangor)



Réunion avec Conservation International (ONG)



Déversoir P5 (gauche) et Évacuateur de crue de la Sahabe (droite)
qui ont été réhabilités et aménagés dans le cadre du Projet de coopération financière non remboursable PC23



Piste en latérite qu'on trouve généralement dans la région



Vue panoramique du périmètre de Maharivana



Lavaka visité par l'équipe d'étude. Aucune végétation à l'intérieur.



Le pied d'un lavaka partiellement emporté par l'écoulement du cours d'eau



Travaux de protection de la rive exécutés par la population locale



Cours d'eau rétréci dû à l'accumulation de sédiments



Barrage (gauche) et prise d'eau (droite) sur le cours d'eau dans le périmètre irrigué de Maharivana, construits par des paysans avec des matériaux locaux tels que la terre, le sable et des herbes. Pas de vanne ni de fonction de réglage du niveau d'eau.



Pêcheurs exerçant des activités de pêche dans le lac Alaotra



Vue panoramique du lac Alaotra

**Etude préparatoire du
Projet de conservation du bassin versant et de réhabilitation de l'irrigation
dans la région d'Alaotra-Mangoro
en République de Madagascar**

Rapport final

Table des matières

Carte de localisation de la zone d'étude

Photographies

Table des matières

liste des abréviations

Unités

Page

CHAPITRE 1	Introduction	1-1
1.1	Avant-propos.....	1-1
1.2	Contexte de l'étude	1-1
1.3	But de l'étude.....	1-4
1.4	Zone d'étude	1-4
1.5	Calendrier de mise en œuvre de l'étude.....	1-4
CHAPITRE 2	Politiques nationales et régionales, Systèmes des secteurs de l'agriculture et de la gestion du bassin versant	2-1
2.1	Plan de développement	2-1
2.1.1	Plan Emergence Madagascar 2019-2023 (PEM 2019-2023).....	2-1
2.1.2	Plan de développement régional : Plan de mise en œuvre du MAP d'Alaotra-Mangoro	2-11
2.2	Cadre de réalisation du développement agricole et de gestion du bassin versant	2-12
2.2.1	Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage (MINAE).....	2-12
2.2.2	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable	2-13
2.2.3	Directions Régionales de l'Agriculture et de l'Elevage (DRAE).....	2-13
2.2.4	Directions Régionales de l'Environnement et du Développement Durable (DREDD).....	2-14
2.2.5	Office National pour l'Environnement (ONE)	2-14
2.2.6	Acquisition de terrains et déplacement de population.....	2-17
2.3	Budgets engagés pour développement agricole et à la gestion du bassin versant, et projets en cours de réalisation.....	2-18
2.3.1	Situation financière du secteur agricole.....	2-18
2.3.2	Plans et projets du secteur agricole en cours de réalisation.....	2-20

CHAPITRE 3	Situation actuelle de la zone cible de l'étude.....	3-1
3.1	La situation actuelle de la Région d'Alaotra-Mangoro.....	3-1
3.1.1	Topographie / Climat.....	3-1
3.1.2	Administration.....	3-3
3.1.3	Population.....	3-3
3.1.4	Ethnies.....	3-4
3.1.5	Agriculture.....	3-5
3.1.6	Environnement	3-10
3.2	Situation actuelle du périmètre irrigué de Maharivana	3-18
3.2.1	Étendue et topographie du périmètre du périmètre irrigué	3-18
3.2.2	Météorologie, Hydrologie, Cours d'eau	3-22
3.2.3	Systèmes d'irrigation et de drainage	3-46
3.3	Situation actuelle de la zone en amont.....	3-60
3.3.1	Caractéristiques	3-60
3.3.2	Végétation et utilisation des terres.....	3-62
3.3.3	Formes d'érosions du sol et répartition des Lavaka dans le bassin versant supérieur....	3-63
3.4	Besoins et contraintes en matière de développement.....	3-80
CHAPITRE 4	Conclusion et recommandations	4-1
4.1	Périmètre irrigué de Maharivana.....	4-1
4.2	Zones en amont.....	4-3

Tableaux

Tableau 1.2-1	Description générale du projet	1-3
Tableau 2.1-1	Évolution des superficies emblavées et de la production du riz.....	2-10
Tableau 2.2-1	Projets soumis soit à l'EIE ou au PREE selon leur envergure	2-16
Tableau 2.2-2	Lois, ordonnances et décrets relatifs à l'acquisition de terrains.....	2-17
Tableau 2.3-1	Évolution des budgets annuels du MINAE	2-18
Tableau 2.3-2	Évolution des budgets annuels du MEDD	2-19
Tableau 2.3-3	Évolution des budgets annuels de la DRAE d'Alaotra-Mangoro	2-19
Tableau 2.3-4	Plan de financement du Programme par institution	2-22
Tableau 2.3-5	Aperçu du ProSAR à Madagascar.....	2-25
Tableau 3.1-1	Précipitations et températures mensuelles moyennes	3-2
Tableau 3.1-2	Découpage administratif de la Région d'Alaotra-Mangoro	3-3
Tableau 3.1-3	Évolution de la population de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro	3-4
Tableau 3.1-4	Superficies cultivées, productions et rendements de riz de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro.....	3-5

Tableau 3.1-5	Production des principaux produits autres que le riz dans la Région d'Alaotra-Mangoro.....	3-7
Tableau 3.1-6	Nombre de têtes de bétail dans chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro et dans tout Madagascar.....	3-7
Tableau 3.1-7	Volume de poissons capturés, nombre de pêcheurs et nombre d'associations de pêcheurs dans la Région d'Alaotra-Mangoro.....	3-10
Tableau 3.1-8	Liste des aires protégées dans la Région d'Alaotra-Mangoro.....	3-11
Tableau 3.1-9	Principales espèces végétales répertoriées dans la Région d'Alaotra-Mangoro	3-12
Tableau 3.1-10	Principales espèces animales répertoriées dans la Région d'Alaotra-Mangoro	3-13
Tableau 3.1-11	Espèces précieuses observées sur le site de NPA Lac Alaotra	3-16
Tableau 3.2-1	Description générale des principaux bassins versants et cours d'eau	3-22
Tableau 3.2-2	Historique du développement du périmètre PC23	3-25
Tableau 3.2-3	Résultat de l'observation des niveaux et débits d'eau de la rivière Sahabe	3-30
Tableau 3.2-4	Localisation des jauges de niveau d'eau et d'autres équipements	3-33
Tableau 3.2-5	Liste des données météorologiques achetées	3-35
Tableau 3.2-6	Valeurs météorologiques (Station d'Ambohitsilaozana).....	3-37
Tableau 3.2-7	Liste des événements de pluies torrentielles	3-38
Tableau 3.2-8	Précipitations probables (Observatoire d'Ambohitsilaozana).....	3-39
Tableau 3.2-9	Statistiques sur les dommages causés par les inondations (Région d'Alaotra-Mangoro).....	3-40
Tableau 3.2-10	Précipitations probables sur 2 jours (Station d'Ambohitsilaozana et la moyenne dans le bassin versant).....	3-45
Tableau 3.2-11	Évaluation des probabilités sur les crues antérieures.....	3-45
Tableau 3.2-12	Aperçu général des FAUE.....	3-53
Tableau 3.2-13	Données détaillées des FAUE	3-53
Tableau 3.2-14	Répartition des tâches concernant la gestion et l'entretien des installations d'irrigation et la gestion de l'eau	3-54
Tableau 3.2-15	Résumé des résultats de l'enquête d'inventaire	3-56
Tableau 3.3-1	Caractéristiques des six rivières dans la partie amont de la zone d'étude.....	3-61
Tableau 3.3-2	Végétation, superficie et utilisation des terres dans les bassins versants supérieurs lors de l'Étude de développement.....	3-62
Tableau 3.3-3	Nombre de lavaka répartis dans les bassins versants supérieurs et leur nombre d'apparitions par 100ha (en date de 2008).....	3-72
Tableau 3.3-4	Coordonnées géographiques des lavakas identifiés au cours de la présente étude... 3-76	
Tableau 3.3-5	Types de travaux avec technologies japonaises applicables sur place en utilisant des matériaux locaux (exemples).....	3-80
Tableau 3.4-1	Comparaison des mesures de lutte contre les inondations proposées	3-82

Figure

Figure 1.5-1	Calendrier de mise en œuvre de l'étude.....	1-5
Figure 2.1-1	Évolution de l'offre et de la demande de riz à Madagascar.....	2-10
Figure 2.2-1	Organigramme du MINAE	2-12
Figure 2.2-2	Organigramme du MEDD.....	2-13
Figure 2.2-3	Organigramme de l'ONE	2-15
Figure 2.2-4	Étapes à suivre pour l'obtention d'un permis environnemental.....	2-17
Figure 3.1-1	Topographie de la Région d'Alaotra-Mangoro et ses alentours.....	3-1
Figure 3.1-2	Précipitations et températures mensuelles moyennes	3-2
Figure 3.1-3	Topographie des zones autour de la Région d'Alaotra-Mangoro.....	3-3
Figure 3.1-4	Évolution de la population de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro	3-4
Figure 3.1-5	Superficies cultivées, productions et rendements de riz de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro.....	3-6
Figure 3.1-6	Nombre de têtes de bétail dans chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro ...	3-9
Figure 3.1-7	Localisation des parcs nationaux et des aires protégées dans la Région d'Alaotra-Mangoro.....	3-11
Figure 3.1-8	Aperçu du site Ramsar « Le Lac Alaotra :Les zones Humides et Bassins Versants ».....	3-15
Figure 3.1-9	Délimitation du site NPA Lac Alaotra.....	3-16
Figure 3.2-1	Levé avec l'utilisation de GCP	3-19
Figure 3.2-2	Levé de la hauteur de végétation.....	3-19
Figure 3.2-3	Exemple du MNS.....	3-20
Figure 3.2-4	Exemple du MNT.....	3-20
Figure 3.2-5	MNT et Orthoimage du périmètre irrigué de Maharivana	3-21
Figure 3.2-6	Images satellitaires utilisées pour l'identification de l'étendue des inondations dans le périmètre irrigué de Maharivana	3-22
Figure 3.2-7	Systèmes des cours d'eau et bassins versants dans les alentours du périmètre irrigué de Maharivana	3-23
Figure 3.2-8	Profils longitudinaux des cours d'eau	3-23
Figure 3.2-9	Section transversale de la rivière Sahabe	3-24
Figure 3.2-10	Photos prises lors de l'enquête sur le terrain sur les rives de la rivière Sahabe	3-24
Figure 3.2-11	Localisation des ouvrages concernés dans le périmètre PC23	3-25
Figure 3.2-12	Coupes transversales des ouvrages P5	3-26
Figure 3.2-13	Photos prises lors de l'enquête sur le terrain autour de l'évacuateur de crue.....	3-27
Figure 3.2-14	Coupes transversales de l'évacuateur de crue	3-28
Figure 3.2-15	Images montrant la crue de la rivière Ampondra (images prises le 05 mai 2018) ..	3-28
Figure 3.2-16	Localisation des points d'observation des niveaux et débits d'eau.....	3-29
Figure 3.2-17	Données sur les niveaux d'eau de la rivière Sahabe(Site-1)	3-30
Figure 3.2-18	Niveaux et débits d'eau observés de la rivière Sahabe (janvier 2022).....	3-31

Figure 3.2-19	Images montrant la mise en œuvre de l'observation des niveaux et débits d'eau (le 26 janvier 2022).....	3-31
Figure 3.2-20	Relation débit/niveau de la rivière Sahabe.....	3-31
Figure 3.2-21	Débits de crue de la rivière Sahabe.....	3-32
Figure 3.2-22	Apparence de la jauge de niveau d'eau.....	3-33
Figure 3.2-23	Localisation des jauges de niveau d'eau et de l'échelle limnimétrique	3-34
Figure 3.2-24	Jauge de niveau d'eau et de l'échelle limnimétrique installées	3-34
Figure 3.2-25	Localisation des stations météorologiques au sol.....	3-36
Figure 3.2-26	Précipitations mensuelles (Station Ambohitsilaozana)	3-37
Figure 3.2-27	Précipitations annuelles (Station Ambohitsilaozana).....	3-37
Figure 3.2-28	Précipitations journalières maximales annuelles (Station Ambohitsilaozana).....	3-38
Figure 3.2-29	Formes de crues	3-41
Figure 3.2-30	Étendue des inondations (le 31 janvier 2021).....	3-42
Figure 3.2-31	Étendue des inondations (du 8 au 12 mars 2005).....	3-42
Figure 3.2-32	Brèche dans une digue de la rivière Sahabe (images prises le 05 mai 2018).....	3-43
Figure 3.2-33	Brèche dans une digue de la rivière Sahamilahy (images prises le 12 novembre 2004)	3-43
Figure 3.2-34	Topographie de la zone autour du point de confluent entre la Sahabe et la Mavolava	3-44
Figure 3.2-35	Systèmes de cultures et répartition des zones des différentes AUE	3-47
Figure 3.2-36	Système de culture pluviale	3-48
Figure 3.2-37	Système de culture dans la zone de double culture (zone dans le cours supérieur de la Sahabe).....	3-49
Figure 3.2-38	Système de culture dans la zone de double culture (zone Maharivana Mivaotra) ..	3-49
Figure 3.2-39	Système de culture dans la zone de double culture (zone à proximité de la Sahamilay)	3-50
Figure 3.2-40	Système de culture dans la zone de monoculture (Zone du déversoir P5).....	3-50
Figure 3.2-41	Système de culture dans la zone de monoculture (Zone dans le cours moyen de la Sahabe).....	3-50
Figure 3.2-42	Système de culture dans la zone de monoculture (zone dans le cours supérieur de la Sahabe).....	3-51
Figure 3.2-43	Système de culture dans la zone de monoculture (zone dans le cours supérieur de la Mavolava)	3-51
Figure 3.2-44	Système de culture dans la zone de monoculture (Zone Samamilay, Déversoir P1).....	3-51
Figure 3.2-45	Système de culture dans la zone où la préparation du sol s'étale sur une longue période (zone dans les cours supérieurs de la Sahabe et de la Ranofosty).....	3-52
Figure 3.2-46	Système de culture dans la zone où la préparation du sol s'étale sur une longue période (zone dans le cours supérieur de la Sahamilay)	3-52
Figure 3.2-47	Localisation des ouvrages identifiés par l'inventaire.....	3-57

Figure 3.2-48	Exemple du barrage et de la prise d'eau construits à titre provisoire.....	3-58
Figure 3.2-49	Digues sur les cours d'eau (photo en haut : gabion / photo en bas : remblai).....	3-58
Figure 3.3-1	Localisation des six cours d'eau dans la partie en amont de la zone d'étude.....	3-61
Figure 3.3-2	Érosion de surface évoluant vers l'érosion par ravinement	3-63
Figure 3.3-3	Érosion des berges.....	3-64
Figure 3.3-4	Répartition des lavaka et des migmatites	3-65
Figure 3.3-5	Relation entre la survenance de l'effondrement et la forme de pente	3-66
Figure 3.3-6	Relation entre la survenance de l'effondrement et la forme de pente	3-67
Figure 3.3-7	Comparaison des capacités d'infiltration entre différents types de couverts végétaux	3-68
Figure 3.3-8	Feux de forêt et Lavaka.....	3-70
Figure 3.3-9	Classement des types de lavaka	3-71
Figure 3.3-10	Photographie de la couverture végétale autour du site où l'équipe d'étude a mené une enquête sur le terrain le 5 octobre 2022.....	3-73
Figure 3.3-11	Effondrement gravitationnel (lavaka) examiné sur le terrain par l'équipe d'étude le 5 octobre 2022.....	3-76
Figure 3.3-12	Relativité entre les précipitations et les volumes des ruissellement des sédiments provenant des différents types de lavakas	3-78
Figure 3.3-13	Conception et méthodes de construction des ouvrages envisagés pour lutter contre l'érosion et le ruissellement des sols (Exemples).....	3-79
Figure 3.3-14	Schéma de flux du processus de sélection des travaux de stabilisation des lavaka (proposition).....	3-80
Figure 3.4-1	Lac Alaotra et pêcheurs.....	3-83

Annexes

Annexe 1	Document de base sur les levés topographiques et les observations /analyses hydrologiques
Annexe 2	Résultats de l'enquête d'inventaire
Annexe 3	Document complémentaire sur les données topographiques

Liste des abréviations

Abréviation	Nom officiel
AM	Alaotra-Mangoro
CAC	Centre de service d'Appui et Conseil (En) Support and Advisory Service Center
CAGFD	Centre d'Appui à la Gestion Foncière Décentralisée (En) Center for Support of Decentralized Land Management
CAI	Centre d'Approvisionnement en Intrants (En) Agro-input Supply Center
CEP	champs Ecoles Paysans (En) Farmers Field School
CGMA	Centre de Gestion en Matériels Agricoles (En) Agricultural Machinery Management Center
CMS	Centres Multiplicateurs de Semences (En) Seed Multiplication Centers
CONARAMS	(En) National Ramsar Committee
CTE	Comité Technique d'Evaluation (En) Technical Evaluation Committee
DFO	(En) Dartmouth Flood Observatory
DRAE	Direction Régionale de l'Agriculture et de l'Elevage (En) Regional Directorate of Agriculture and Livestock
DREDD	Direction Régionale de l'Environnement et du Développement Durable (En) Regional Directorate of Environment and Sustainable Development
DSM	(En) Digital Surface Model
DTM	(En) Digital Terrain Model
EIE	Etude d'Impact Environnemental (En) Environmental Impact Assessment
FDA	Fonds de Développement Agricole (En) Agricultural Development Fund
FOFIFA	Centre National de Recherche pour le Développement Rural (En) National Center for Applied Research on Rural Development
FTM	Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara (En) Geographical and Hydrographic Institute of Madagascar
GCF	(En) Green Climate Fund
GCP	(En) Ground Control Point
GEF	(En) Global Environment Facility
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (En) German Agency for International Cooperation
IBA	(En) Important Bird and Biodiversity Areas

Abréviation	Nom officiel
ICHARM	(En) International Centre for Water Hazard and Risk Management
IFAD	Fonds international de développement agricole (FIDA) (En) International Fund for Agricultural Development
IFAS	(En) Integrated Flood Analysis System
IMF	(En) International Monetary Fund
IUCN	(En) International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
KBA	(En) Key Biodiversity Area
MAP	(En) Madagascar Action Plan
MEF	Ministère de l'Economie et des Finances (En) Ministry of Economy and Finance
METEO	Service Régional de la Météorologie, Direction Régionale des Transports et de la Météorologie, Alaotra Mangoro (En) Service Régional de la Météorologie, Direction Régionale des Transports et de la Météorologie, Alaotra Mangoro
MINAE	Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage (En) Ministry of Agriculture and Livestock
ONE	Office National pour l'Environnement (En) National Office for Environment
PEM	Plan Emergence de Madagascar (En) Plan Emergence Madagascar
PREE	Programme d'Engagement Environnemental (En) Environmental Commitment Program
SDGs	(En) Sustainable Development Goals
SMER	Sites modèles d'Emergence Rizicole (En) Emergent Rice Model Sites
SRI	Système de Riziculture Intensive (En) System of Rice Intensification
WDPA	Base de données mondiale sur les aires protégées (En) World Database on Protected Areas
WHO	(En) World Health Organization
WUA	Associations d'Usagers des Eaux (En) Water User Associations
WUF	Fédération des Associations d'Usagers de l'Eau (En) Water User Federation
ZEP	Zones d'Emergence Piscicole (En) Emergent Fishery Zones

Unités

Longueur

mm = Millimètre (s)
cm = Centimètre (s)
m = Mètre (s)
km = Kilomètre (s)

Superficie

cm² = Square centimeter (s)
m² = Square meter(s)
km² = Square-kilometer (s)
ha = Hectare (s) (10,000 m²)

Volume

cm³ = Centimètre cube (s)
m³ = Mètre cube (s)
L = Litre (1.000 cm³)

Poid

g = Gramme (s)
kg = Kilogramme (s)
ton = Metric tonne (s)

Temps

sec = Seconde (s)
min = Minute (s)
hr = Heure (s)

Autres

°C = Degré celsius
% = Pourcent

Monnaie

USD = Dollar US
MGA = Madagascar Ariary
MGA 1 =Yen 0,0307
USD 1 = Yen 133,816
(à la date du 31 mai 2023)

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Avant-propos

Le présent rapport final a été rédigé conformément au contrat relatifs à la mise en œuvre de l'« Étude préparatoire du projet de conservation du bassin versant et de réhabilitation de l'irrigation dans la région d'Alaoatra-Mangoro en République de Madagascar » (ci-après désignée la « présente étude ») conclu le 14 septembre 2022 entre l'Agence japonaise de coopération internationale (JICA) et le Consortium constitué de Nippon Koei Co.,Ltd et d'Asia Air Survey Co.,Ltd, et à la version modifiée dudit contrat signé le 07 avril 2023.

1.2 Contexte de l'étude

Dans la République de Madagascar (ci-après désigné « Madagascar » ou « le pays »), environ 80 % de la population est engagée dans l'agriculture et environ 90 % des agriculteurs pratiquent la riziculture. Le riz étant l'aliment de base du pays, il est une culture-clé représentant 42 % du revenu des ménages agricoles et la riziculture occupe 55 % de la totalité des terres arables (selon la Stratégie nationale de développement rizicole, 2016-2020) ; et avec la croissance démographique, la demande devrait encore augmenter à l'avenir. Cependant, en raison d'une gestion insuffisante de l'eau, de pratiques agricoles inadéquates et de l'inexpérience dans les techniques de culture, les rendements unitaires du riz ne sont en moyenne que de 2,5 t/ha (en paddy, FAO 2020). Dans ces circonstances, les agriculteurs ne gagnent pas de revenu suffisant et le pays n'est pas en mesure d'atteindre l'autosuffisance en riz, ce qui constitue un défi pour la réduction de la pauvreté et la sécurité alimentaire. En outre, dans ce pays, les zones de terres agricoles situées en amont des bassins versants sont généralement pauvres en termes de moyens de subsistance, et le changement rapide relatif à l'usage des terres dû notamment au défrichage, au brûlage et au déboisement en raison de la pauvreté et de la croissance démographique, a entraîné une dégradation de la forêt, avec 100.000 hectares de forêt perdus chaque année (WWF, 2019). En conséquence, l'érosion des sols progresse dans les zones en amont, et beaucoup de sédiments sont ruisselés et déposés dans les rivières et les canaux d'irrigation en aval, ce qui rend difficile la gestion de l'eau d'irrigation et entrave les gains de productivité. En outre, la modification du régime des pluies et l'augmentation du nombre de grands cyclones causés par le changement climatique de ces dernières années font l'objet d'inquiétudes.

Dans ce contexte, le pays a formulé un plan de développement national, le « Plan Emergence Madagascar (2019-2023) », qui vise à atteindre la croissance économique par le développement industriel, y compris l'agriculture. En outre, le « programme sectoriel (2019-2023) », une stratégie commerciale pour le secteur agricole, vise à atteindre l'autosuffisance en riz qui constitue l'aliment de base. Pour atteindre cet objectif, dans le cadre dudit programme sectoriel, le ministère de l'agriculture et de l'élevage (ci-après désigné le « MINAE ») s'est fixé un objectif d'augmentation de la production de paddy de 500.000 tonnes (325.000 tonnes de riz poli). A cette fin, de nouveaux travaux d'irrigation sur 100.000 hectares de terres agricoles et la réhabilitation des installations d'irrigation existantes couvrant 85.000 hectares de terres agricoles seront prévus. En sus de l'aménagement des installations d'irrigation et de drainage, des travaux

de protection des bassins versants tels que la restauration de la végétation dans les zones en amont doivent être mis en œuvre de manière intégrée pour empêcher le ruissellement des sédiments, améliorant ainsi la productivité agricole et protégeant l'environnement en même temps. En outre, la « politique de base sur le développement des bassins versants et des périmètres irrigués (2006) », qui constitue une ligne directrice dans ce domaine, vise à réduire durablement la pauvreté et à améliorer le niveau de vie tout en augmentant les revenus des populations locales dans le but de préserver les bassins versants.

La région d'Alaotra-Mangoro (ci-après désignée « la région d'AM »), située dans les Hautes Terres centrales de Madagascar, produit plus de 12% du total de la production rizicole du pays. Il convient de noter en particulier que le périmètre irrigué de Maharivana, qui est désigné comme prioritaire pour le développement dans le cadre du programme sectoriel du MINAE, rencontre actuellement des difficultés entravant l'amélioration de la productivité, à savoir notamment la gestion insuffisante de l'eau, les pratiques agricoles inadéquates et l'accumulation dans les canaux des sédiments venant des zones en amont. Par ailleurs, à la suite des résultats de l'« Etude du développement rural et de l'aménagement des bassins versants dans le sud-ouest de la région d'Alaotra » qui a eu lieu en 2008, la région d'AM est considérée comme une zone prioritaire dans le cadre de la coopération japonaise dans le secteur agricole. Cela se justifie par la réalisation d'un projet de coopération technique « Projet de Développement de l'Approche Intégrée pour promouvoir la Restauration Environnementale et le Développement Rural à Morarano Chrome » (2012-2017) qui a contribué au développement des zones montagneuses et au renforcement des capacités en matière de conservation des sols, et d'un projet d'aide financière non-remboursable « Projet de réhabilitation du système d'irrigation dans le Sud-Ouest du Lac Alaotra PC23 » (2017, ci-après désigné « le Projet d'aide non-remboursable PC23 »), dans le cadre duquel les installations d'irrigation du périmètre PC23, situé à proximité vers le nord-est du site du « Projet de conservation du bassin-versant et de réhabilitation de l'irrigation dans la région d'Alaotra-Mangoro » (ci-après désigné « le présent projet », ont fait l'objet d'une réhabilitation. En outre, d'autres projets de coopération technique notamment le « Projet d'appui à l'amélioration de la productivité et à l'industrialisation de la filière riz » ont été mis en œuvre visant, d'une part, à renforcer les capacités des agriculteurs à assurer la gestion et l'entretien des installations d'irrigation, et, d'autre part, à améliorer la productivité du riz. Dans le souhait de mettre en valeur et développer les résultats obtenus de ces projets, le gouvernement de Madagascar a demandé à la JICA la réalisation du présent projet.

Le présent projet prévoit l'aménagement du périmètre irrigué de Maharivana, et en sus, la réalisation des travaux simples de lutte contre l'érosion et le ruissellement des sols en amont du périmètre irrigué (correction des torrents et restauration des terrains en montagne), la restauration de la végétation, les changements dans l'utilisation des terres et différentes autres actions qui permettront de renforcer des moyens de subsistances des populations locales, réduisant l'utilisation abusive des ressources naturelles etc. pour ainsi accroître la production rizicole et, au final, contribuer à la fois au développement socio-économique et à l'utilisation durable des ressources naturelles de la zone cible, mais aussi à la sécurité alimentaire de Madagascar.

Le tableau suivant présente un aperçu du contenu envisageable du projet.

Tableau 1.2.1 Description générale du projet

Rubrique	Description
(1) Nom de projet	Projet de conservation du bassin-versant et de réhabilitation de l'irrigation dans la région d'Alaoatra-Mangoro
(2) But du projet	Réaliser l'aménagement des installations d'irrigation et de drainage, la conservation du bassin-versant et le renforcement des moyens de subsistance en vue d'assurer un approvisionnement stable en eau d'irrigation, d'augmenter la production rizicole et d'améliorer les conditions de vie des populations, et ainsi contribuer au développement socio-économique durable de la zone cible dans la région d'AM.
(3) Composantes générales	1) Aménagement d'installations d'irrigation et de drainage ✓ Contenu : Construction d'installations d'irrigation et de drainage ; réhabilitation de voies d'accès ; fourniture d'équipements ; appui au renforcement des associations d'usagers de l'eau visant à améliorer la gestion et l'entretien et augmenter la production des cultures, etc. Site prévu : Périmètre irrigué de Maharivana (environ 3.000 ha de rizières)
	2) Lutte contre le ruissellement des sédiments / Conservation du bassin-versant ✓ Contenu : Travaux simples de lutte contre l'érosion et le ruissellement des sols (correction des torrents et restauration des terrains en montagne) visant la réduction des apports de sédiments dans les installations d'irrigation et de drainage et dans les périmètres irrigués ; formation pratique portant sur les travaux simples de lutte contre l'érosion et le ruissellement des sols ; restauration de la végétation. Site prévu : Le bassin-versant dans la région d'AM, principalement dans les zones en amont du périmètre irrigué de Maharivana et du périmètre PC23 (ci-après désignés « les zones en amont cibles »)
	3) Renforcement des moyens de subsistance des populations ✓ Contenu : Activités impliquant les populations, entre autres celles relatives aux changements dans l'utilisation des terres ayant pour but de réduire l'usage abusif des ressources naturelles telles que les forêts, les sols etc. On prévoit de réaliser des activités liées à la restauration de la végétation contribuant à l'amélioration des revenus sans déforestation, des activités d'amélioration de la nutrition, entre autres. Des activités profitables seront proposées à l'issue de la présente étude. Site prévu : Les zones en amont cibles
	4) Services de conseil Conception détaillée ; assistance dans le processus d'appel d'offres ; supervision des travaux ; considérations environnementales, etc.
(4) Zone cible	Région d'AM, Madagascar
(5) Ministères et organismes concernés	1) Organisme d'exécution : ✓ Direction du Génie Rural, Direction Générale de l'Agriculture, Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage ✓ Direction Générale de la Gouvernance Environnementale, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable 2) Autres départements ministériels et organismes concernés : Direction Générale du Contrôle Financier, Ministère de l'Économie et des Finances / Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène / Direction Régionale de l'Agriculture d'Alaoatra-Mangoro / Direction Régionale de l'Environnement d'Alaoatra-Mangoro / Direction des Évaluations Environnementales, Office Nationale de l'Environnement.
(6) Catégorie environnementale / Raison de sa classification	1) Catégorie de classification : A 2) Raison : Selon la liste indicative des secteurs vulnérables, des spécificités et des zones sensibles, fournie dans les lignes directrices de la JICA pour les considérations environnementales et sociales (version de janvier 2022), le présent projet relève du « secteur vulnérable (agriculture) », ayant la spécificité présentant

Rubrique	Description
	des risques d'impacts négatifs notables sur l'environnement et la société, et son site se trouve dans une zone sensible. (*).Toutefois, les enquêtes indiquées dans les lignes directrices qui n'ont pas pu être achevées car, comme cela est expliqué plus bas, la présente étude a été interrompue en raison de la situation sécuritaire.

Source: Tableau établi par l'équipe d'étude, sur la base du cahier des prescriptions spéciales

1.3 But de l'étude

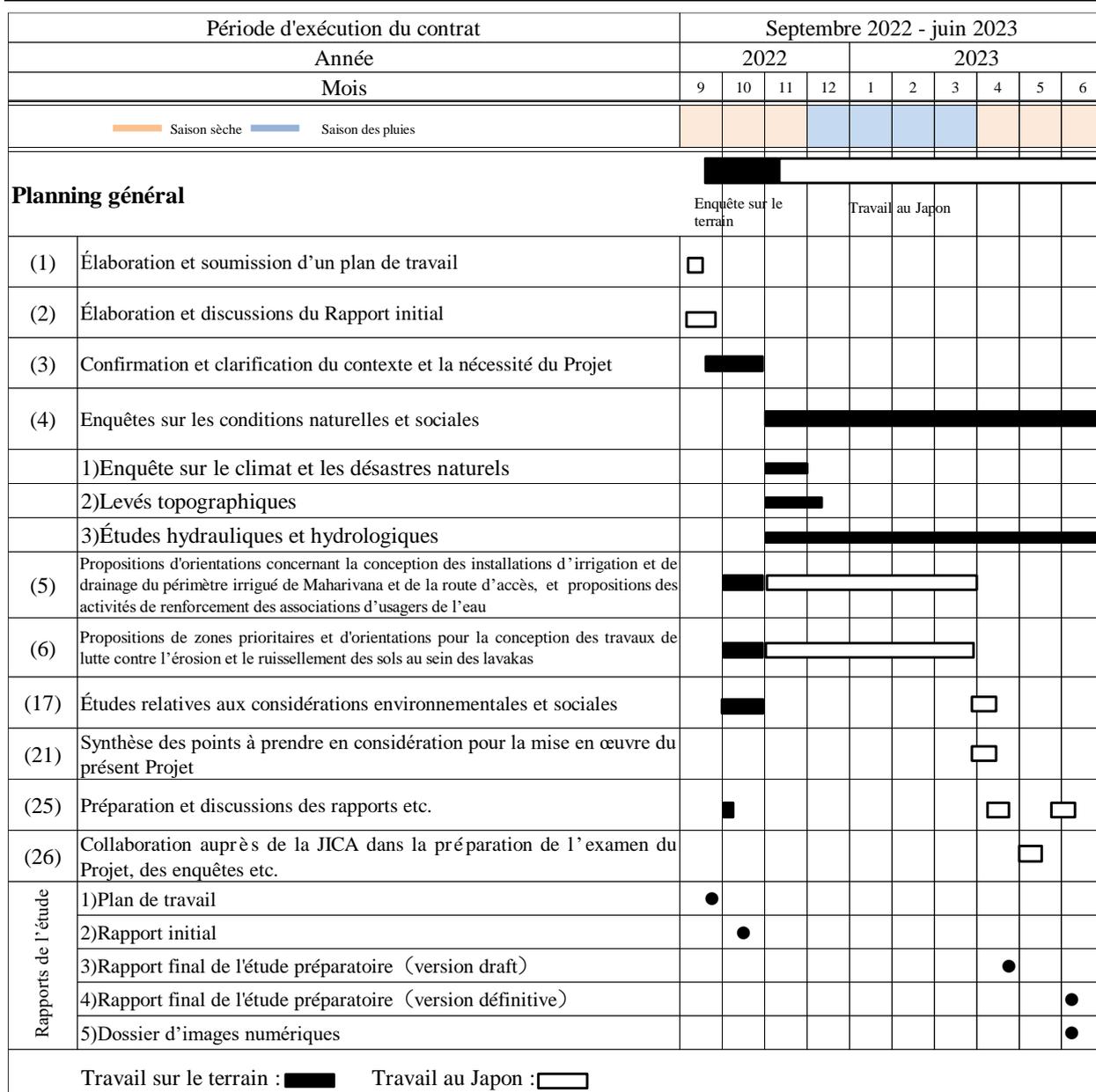
La présente étude avait été entreprise à la suite de la requête formulée par le gouvernement de Madagascar, ayant pour objectif d'étudier les éléments nécessaires pour examiner la réalisation du projet en tant que projet de coopération financière sous forme de prêt du gouvernement du Japon, entre autres le but du projet, ses grandes lignes, ses coûts, la structure organisationnelle de la mise en œuvre, la structure organisationnelle de la gestion et de l'entretien, l'aspect des considérations environnementales et sociales etc. Cependant, au vu de la dégradation soudaine de la situation sécuritaire dans les alentours de la zone d'étude, la JICA et l'équipe d'étude ont tenu des discussions, à l'issue desquelles il a été jugé qu'il était raisonnable d'interrompre tous les travaux sur le terrain, y compris ceux qui étaient confiés à des sous-traitants locaux. Dans ces conditions, il s'est avéré difficile d'atteindre l'objectif initial de l'étude. Compte tenu de ces circonstances, la JICA et l'équipe d'étude se sont concertées à plusieurs reprises et, en fin de compte, il fut décidé de viser, dans le cadre de cette étude, à cerner les situations actuelles en analysant les résultats de la première enquête menée sur le terrain et à étudier les défis existants, afin de formuler des recommandations dans la perspective de projets futurs.

1.4 Zone d'étude

La zone cible de la présente étude se trouve, comme le montre la carte de localisation, dans le bassin versant dans la région d'AM, principalement dans les zones en amont du périmètre irrigué de Maharivana et du périmètre PC23.

1.5 Calendrier de mise en œuvre de l'étude

La figure 1.5.1 présente le calendrier de mise en œuvre de la présente étude.



Source : Équipe d'étude

Figure 1.5-1 Calendrier de mise en œuvre de l'étude

CHAPITRE 2 Politiques nationales et régionales, Systèmes des secteurs de l'agriculture et de la gestion du bassin versant

2.1 Plans de développement

2.1.1 Plan Emergence Madagascar 2019-2023 (PEM 2019-2023)

Le PEM 2019-2023 constitue des lignes directrices pour le développement socio-économique de Madagascar. Il indique 13 engagements thématiques parmi lesquels l'autosuffisance alimentaire, avec comme priorité : « Faire de Madagascar un grenier de l'Océan Indien avec une agriculture modernisée ».

En ce qui concerne la situation actuelle de l'agriculture du pays, ce document constate que les valeurs que possède le secteur agricole demeurent sous-exploitées. En effet, bien que l'agriculture dispose de fortes potentialités et soit exercée par 80 pourcent de la population du pays, la productivité du secteur reste faible en raison du fait que les exploitations sont souvent de type familial de petite taille et leur mode d'exploitation demeure traditionnel, et que les infrastructures et les intrants agricoles sont peu accessibles. D'autres facteurs tels que les questions foncières, les changements climatiques etc., constituent également des entraves. Les rendements unitaires restent faibles, à savoir 2,6 t/ha pour le riz, 1,0 t/ha pour le maïs et 0,9 t/ha pour le haricot. Les semences améliorées, les engrais et les pesticides ne sont pas suffisamment utilisés. La production rizicole qui est de 4 Mt ne suffit pas pour satisfaire la demande de consommation nationale. La production sucrière et cotonnière quant à elle, restent encore marginale (10.500 t et 7.000 t, respectivement).

Le secteur agricole représente 29 pourcent du PIB de Madagascar, avec des produits d'exportations notamment les crevettes et les produits halieutiques (20.000 t), les litchis (18.000 t), la vanille (1.900 t), entre autres, permettant des rentrées de devises importantes. Toutefois, compte tenu des potentialités dont dispose Madagascar, on peut difficilement affirmer que les volumes de production et d'exportation de ces produits agricoles et halieutiques soient satisfaisants. D'ailleurs, dans les différentes régions notamment dans le Sud, les effets combinés de la pauvreté, des aléas de la production agricole et des dysfonctionnements de marché sont à l'origine de crises alimentaires récurrentes. Et en milieu urbain, les populations sont souvent confrontées à des problèmes de malnutrition.

Vu ces circonstances, le gouvernement de Madagascar a récapitulé dans le PEM les défis à relever et les actions à prendre, comme suit :

(1) Défis à relever

- Accroître la productivité d'une manière durable ;
- Garantir le développement des systèmes de production compétitifs basés sur l'agrobusiness afin de répondre aux besoins des marchés nationaux, régionaux et internationaux ;
- Développer les infrastructures d'exploitation normalisées et étendre les zones de production;
- Augmenter les revenus des producteurs agricoles et des pêcheurs, et procurer des emplois

décents à la population rurale.

- Contribuer à la sécurisation alimentaire et nutritionnelle, et à l'amélioration de la résilience face au changement climatique ;
- Faire de Madagascar le grenier alimentaire de l'Océan Indien et de la sous-région ;
- Renforcer les recherches en matières agricoles.

(2) Objectifs sectoriels pour l'agriculture

- Exploiter rationnellement et durablement les espaces de production et les ressources ;
- Augmenter continuellement la productivité et la promotion de systèmes de productions compétitifs ;
- Contribuer à la sécurisation alimentaire, à l'amélioration nutritionnelle et à la réduction des risques ;
- Améliorer l'accès aux marchés nationaux et repositionner l'exportation ;
- Améliorer la gouvernance des institutions et renforcer la capacité des acteurs.

(3) Réformes, mesures et actions

(a) Réformes

- La réforme du cadre juridique du secteur agricole, de l'élevage et des pêches ;
- Le renforcement et le recadrage de la législation sur la pêche en eau marine et eau douce ;
- La mise en place d'un dispositif législatif nouveau sur l'économie bleue;
- La réforme des dispositions légales sur la délivrance des permis de pêche ;
- L'élaboration de la Stratégie Nationale sur l'Agrobusiness.

(b) Mesures

- Mettre en place des mesures de protection de l'environnement marin ;
- L'appui et la facilitation de l'installation d'investisseurs directs dans l'agro-business et l'agro-industrie ;
- La promotion de l'élevage intensif à forte potentialité tels que la pisciculture, l'aviculture ou l'apiculture ;
- L'augmentation de 20% des territoires à vocation agricole biologique et le développement du label BIO Malagasy ;
- La promotion de la formation Agricole, le développement de l'entrepreneuriat et le financement du monde rural ;
- L'accroissement de la production de riz à 500.000 t/an ;
- La dynamisation d'autres filières telles que l'algoculture, l'horticulture et la production de banane ;
- Le renforcement des actions pour la promotion des produits «Made in Madagascar » sur le marché international ;
- Le renforcement du partenariat et du transfert de technologie avec d'autres pays producteurs de cacao pour au moins doubler la production de Madagascar.

(c) Actions

- Augmenter de 100.000 ha la surface cultivable en 5 ans;
- Renforcer la diffusion et l'adoption du système de riziculture intensive (SRI) ;
- Utiliser des semences améliorées;
- Utiliser des techniques de production améliorées et adaptées au changement climatique;
- Développer des filières prioritaires;
- Créer des industries de transformation dans les régions à forte potentialité;
- Intensifier les recherches sur l'amélioration de production et de transformation des produits de rente, principalement la vanille et letchi ;
- Mettre en place des Zones de Transformation Agricoles (ZTA) et des ZEA en vue d'améliorer la potentialité agricole et de gagner des marchés au niveau mondial ;
- Développer l'agrobusiness et l'agro-industrie;
- Développer et améliorer l'élevage bovin (bovin viande, race zébu Malagasy)
- Aménager 100.000 ha de nouveaux périmètres irrigués;
- Promouvoir des variétés de riz hybride ;
- Appuyer le développement des chaînes de valeur maïs et des autres filières à forte valeur ajoutée ;
- Appuyer et renforcer les organisations professionnelles des producteurs;
- Développer des infrastructures structurantes d'appui à la production et à la transformation;
- Créer des fermes pilotes et des fermes franchisées;
- Construire des abattoirs aux normes de proximité;
- Mettre en place un système national d'identification et de traçabilité animale par l'utilisation de puces électroniques ;
- Valoriser les filières de l'économie bleue en lien avec l'agriculture et l'élevage ;
- Restaurer 10.000 ha d'écosystèmes marins;
- Développer l'agrobusiness par la mise en place des Zones d'Émergence Agricole (ZEA) et l'installation des jeunes «mediums fermiers» ;
- Doter de Titre Vert pour les jeunes agriculteurs formés en agriculture et en élevage.

(4) Plan Emergence Madagascar 2024-2028 (PEM 2024-2028)

Successeur du PEM 2019-2023 relaté plus haut, le PEM 2024-2028 a toujours pour objectif, en ce qui concerne le secteur agricole, d'atteindre l'autosuffisance alimentaire en accélérant la réforme et la transformation des systèmes alimentaires (production, transformation et distribution). Il présente une feuille de route ayant trait aux objectifs du présent projet et visant la réalisation des objectifs de développement durables (ODD), avec des valeurs cibles.

Les trois axes d'orientation stratégique indiqués dans la feuille de route sont les suivantes :

- Promouvoir l'accès à une alimentation diversifiée, saine et nutritive, en priorisant la disponibilité et l'accès à de la nourriture produite de manière agroécologique par des structures locales responsables.

- Promouvoir une gouvernance favorisant des moyens de subsistance équitables et résilients, en facilitant la décentralisation des interventions de développement structurantes.
- Promouvoir une production résiliente face au changement climatique assurant la durabilité des ressources naturelles (sols et eau).

Avec les axes d'orientations ci-dessus, les 13 actions suivantes sont définies en vue d'atteindre les objectifs visés :

(a) Atteindre l'autosuffisance en riz (en 2023) et exporter (en 2027)

- Aménager une superficie rizicole de 257.933 ha avec 203 nouveaux barrages hydroagricoles.
- Revaloriser des rizières d'une superficie totale de 384.474 ha à travers la réhabilitation de 1.027 barrages hydroagricoles.
- Réaliser une riziculture industrielle sur une superficie de 100.000 ha par le biais de négociations avec le secteur privé.
- Réaliser l'extension de la pratique de riz pluvial (30.000 ha en 2023 et 50.000 ha en 2027).
- Augmenter le nombre d'arbres reboisés (2.000.000 d'arbres reboisés en 2023 et 10.000.000 en 2027) pour la protection de bassins versants sur 30.000 ha en totalité.
- Améliorer les capacités des Associations des Usagers de l'Eau (AUE) et opérationnaliser le Fonds Régional d'Entretien des Réseaux Hydroagricoles (FRERHA) pour l'entretien garantissant la pérennisation des périmètres.
- Réaliser l'intensification agricole par la facilitation de l'accès de proximité aux intrants (semences performantes, engrais chimiques/organiques etc.) et l'application de techniques culturales modernes.
- Mettre en place des périmètres de démonstration pour la vulgarisation de techniques améliorées en riziculture (irriguée : 675.000 ha / pluviale : 160.000 ha).
- Mettre en place des Champs Ecoles Paysans (CEP)/Sites modèles d'Emergence Rizicole (SMER) : 5.000 CEP/SMER en 2023 et 75.000 en 2017, appuyant au total 2.750.000 riziculteurs.
- Fournir aux producteurs 8.500 t de semences certifiées de riz irrigué ainsi que 2.500 t de semences certifiées de riz pluvial.
- Fournir aux producteurs 700.000 t d'engrais organiques et 40.000 t d'engrais NPK (azote, phosphore, potassium).
- Réduire des pertes post récolte en riz (au cours du processus de stockage, transformation et distribution) de 20% à 10% en 2 ans à travers la promotion de la mécanisation.
- Acquérir 110 unités de batteuses-vanneuses motorisées, 110 unités de faucheuses automotrices et 110 unités de mini Moissonneuses-batteuses, et les mettre à la disposition des producteurs, à raison de 6 par région dans les pôles rizicoles et 2 par région pour les autres.
- Acquérir 40 unités de repiqueuses motorisées et 40 unités de sarcleuses motorisées, et les mettre à la disposition des producteurs, à raison de 2 par région dans les pôles rizicoles et 1

par région pour les autres.

- Acquérir 35 décortiqueuses modernes et les mettre à la disposition des producteurs.
- Mettre en place 16 rizeries combinées dans 16 pôles rizicoles.
- Mettre en place une loi permettant l'octroi des certificats fonciers des terrains agricoles déjà exploités par les producteurs malagasy.
- Mettre en place des textes réglementaires pour la mise en valeur et la distribution de parcelle avec la facilitation de l'accès à la terre des femmes et des jeunes.
- Mettre en place au sein des régions des Offices Régionaux du Riz.
- Appliquer strictement les textes réglementaires sur la commercialisation du riz, notamment au niveau des sorties des pôles de production, pour assurer la traçabilité des produits.

Par ailleurs, une superficie totale de 257.933 ha est identifiée pour la réalisation d'un projet de riziculture incluant les vulgarisation de techniques rizicoles sur le territoire national, dont 10.400 ha pour la Région d'Alaotra-Mangoro.

(b) Mettre en place des Guichets Agricoles au niveau des Districts

Chaque Guichet Agricole, composé de plusieurs Centres de services, aura pour vocation de faciliter aux producteurs d'accéder aux matériels et services agricoles de proximité. La gestion de chaque Guichet sera assurée avec une implication des associations d'agriculteurs et du secteur privé, toutefois, les services régaliens de l'État seront fournis par les Secteurs Techniques Déconcentrés (STD). Les Centres de Services qui constitueront un Guichet Agricole sont énumérés dans le même document, à savoir :

- Centre de Gestion en Matériels Agricoles (CGMA)
- Centre d'Approvisionnement en Intrants (CAI)
- Centre d'Appui à la Gestion Foncière Décentralisée (CAGFD)
- Centre de service d'Appui et Conseil (CAC)
- Centre d'Information et gestion des bases des données
- Centre d'appui au financement
- Centre de formation et d'encadrement technique
- Centre de service et d'entretien
- Unité semi-industrielle de transformation

(c) Améliorer l'accès des acteurs des chaînes de valeurs agricoles aux financements

Un nouveau mécanisme de financement sera mis en place au niveau du Fonds de Développement Agricole (FDA) en partenariat avec FIHARIANA¹ et les institutions financières. Une mesure visant à alléger le taux d'intérêt au niveau des IMF ainsi que l'allègement des procédures de financement devront être mis en place en concertation avec les IMF, le MEF et la Banque Centrale de Madagascar. La mise en place d'un fonds d'urgence pouvant être mobilisé en cas de survenance d'aléas climatiques ou de maladies des bétails ou ravageurs sera étudiée.

1 : FIHARIANA est un programme national initié par le Président Andry Rajoelina, qui a pour objectif de fournir des appuis financiers et techniques aux entrepreneurs.

(d) Améliorer la disponibilité, l'accessibilité et le taux d'utilisation des intrants

- Augmenter la production de semences de qualité (5.000 tonnes en 2023 et 24.000 tonnes en 2027).
- Étendre le réseau de banques communautaires de semences (l'installation de 17 BCS en 2023 et d'au moins une BCS par Région en 2027).
- Construire des laboratoires de semences au niveau régional (5 laboratoires en 2023).
- Construire des laboratoires de recherches en biotechnologie végétales avec des équipements modernes (5 laboratoires) pour le FOFIFA.
- Réhabiliter et opérationnaliser les Centres Multiplicateurs de Semences (CMS) existants (10 centres en 2023 et 30 en 2027).
- Créer de nouveaux CMS (350 centres en 2023 et 1030 en 2027).
- Recruter de nouveaux Inspecteurs/Contrôleurs semenciers (46 personnes en 2023 et 92 en 2027).
- Accroître l'utilisation d'engrais par les producteurs malagasy (en passant de 5 kg/ha à 50 kg en 2023 et 100 kg/ha en 2027).
- Mettre en place des usines d'engrais incluant celles d'engrais biologique (dont 2 seront fonctionnelles d'ici 2023 et les 3 autres, en partenariat avec le secteur privé, en 2027).
- Augmenter la production d'engrais biologique, le compostage/lombricompostage et valoriser les matières premières existantes dans le pays dont les déchets ménagers.

(e) Améliorer la productivité agricole par la promotion de la mécanisation

- Acquérir des tracteurs avec charrue, pulvérisateur, semoir et remorques (à raison de 20 par région, dont 160 unités de tracteurs de 40 à 60CV 4WD et 300 unités de tracteurs de 70 à 80CV 4WD).
- Acquérir des motoculteurs de 13 à 22CV, à raison de 80 par région).

Les matériels agricoles seront gérés et mis à la disposition des utilisateurs par le Centre de gestion matériels agricoles (CGMA). Ils sont soit vendus ou mis en location en fonction de la superficie et des filières pratiquées par les demandeurs, avec un accompagnement ou encadrement technique.

(f) Augmenter la production des autres filières vivrières

i) **Manioc**

Augmenter la production (atteindre une production de 4.000.000 tonnes en 2023 et 6.000.000 tonnes en 2027) via : la vulgarisation de bonnes pratiques culturales / la distribution de boutures saines de variétés existantes / la contractualisation de la transformation en farine de manioc et en tapioca avec des opérateurs privés nationaux et internationaux, avec la mise en place des unités de transformation dans au moins 5 régions productrices de manioc.

ii) **Maïs**

Accroître la production (atteindre une production de 639.000 tonnes en 2023 et 1.400.000 tonnes en 2027, soit double de la production actuelle) par le biais de : la vulgarisation de bonnes pratiques culturales / la production et la distribution de nouvelles semences performantes (9.619

tonnes) / la contractualisation de la culture et de la transformation avec des opérateurs privés nationaux et internationaux (avec la mise en place d'unités de transformation dans au moins 5 régions productrices de Maïs).

iii) **Blé**

Réaliser la substitution partielle et progressive de la farine de blé par les farines d'autres céréales produites dans le pays (manioc, sorgho et patate douce), afin d'augmenter l'autosuffisance (une hausse de production des farines de substitution de 10% en 2023, de 20% en 2024 et de 30% en 2025).

(g) Renforcer la résilience et assurer l'autonomisation alimentaire des populations dans le Grand Sud

Réaliser, sur une superficie de 20.000 ha, la production de sorgho et de mil de 20.000 tonnes en 2023, et la quadrupler en 2027 par l'introduction de semences performantes par FOFIFA, etc.

- Mettre en place 3 réserves publiques de céréales alimentaires d'une capacité de 8.000 t, dans les 3 régions du sud.
- Mettre en place des points d'eau à usage multiples (200 points d'eau en 2023 et 300 en 2027).
- Construire des forages agricoles (10 forages en 2023 et 50 en 2027).
- Mettre à échelle les blocs agroécologiques (2.500 ha en 2023 et 10.000 ha en 2027)
- Augmenter la production de la patate douce à chair orange et d'autres cultures à haute valeur nutritionnelle.

(h) Développer l'agrobusiness, promouvoir l'industrialisation et la création d'emplois

- Favoriser la création d'emplois aux jeunes par la valorisation de 96 sites de Titres Verts sur 66 265 Ha identifiés: (8 site sur 1.510 ha dans la Région d'Alaotra-Mangolo)
- Par la valorisation des sites de Titres Verts économiques sur 45.000 ha ou plus, permettre aux jeunes de faire des études aux Écoles des Ingénieurs et d'obtenir leurs diplômes (500 jeunes sortants des Écoles des Ingénieurs en 2023 et 3.000 jusqu'en 2027). En outre, former 5.000 jeunes en 2023 et 20.000 d'ici en 2027.
- Faire bénéficier des Titres verts sociaux sur 21.265 ha, 35 mille exploitants agricoles familiales vulnérables (dont la moitié sont des femmes).
- Faire conclure 120 contrats entre organisations de producteurs et opérateurs de marchés : 250 couples OP/OM seront nés à travers l'agrégation agricole pour 150 coopératives créées en 2023.
- Mettre en place 5 sites agropoles et 2 parcs agro industriels d'ici 2027.
- Créer 3 centres d'incubation/formation pour l'entrepreneuriat et la transformation des produits agricoles en 2023.
- Cartographier des filières prioritaires par District pour faciliter le ciblage d'installation des unités de transformation et la promotion des pépinières industrielles.

(i) Assurer la compétitivité mondiale des filières à forte valeur ajoutée au bénéfice des Producteurs

- Entreprendre, entre autres, la redynamisation de la station de recherche d'Antalaha et la vulgarisation des bonnes pratiques agricoles pour que Madagascar reste 1^{er} producteur mondial de qualité de vanille.
- Mettre en place un centre d'analyse de la qualité du cacao, créer un label « Vita Malagasy » et assurer la mise en place systématique des marchés contrôlés de 5.000.000 plants de cacaoyers, en vue de garantir la compétitivité des cacaos.
- Augmenter de 30% la production de café et améliorer la qualité.
- Augmenter de 100.000 t la production d'arachide pour la transformation.
- Augmenter de 100.000 ha les territoires à vocation BIO.

(j) Rehausser la consommation en protéine animale

- Augmenter le cheptel bovin à viande (1.580.000 têtes supplémentaires en 2023 et environ 11.800.000 têtes en 2027 à travers).
- Créer 5 centres de multiplicateurs de géniteurs.
- Mettre en place, en 2023, 2 feedlots dans les régions d'Anosy et d'Ihorombe.
- Réaliser l'aménagement de zones de pâturage améliorée avec infrastructure d'abreuvement (10.000 ha en 2023 et 100.000 ha en 2027).
- Doubler la consommation de lait.
- Doubler l'effectif de cheptel de petits ruminants.
- Doubler la consommation de viande de volaille.
- Accroître de 25% l'effectif du cheptel porcin (2.200.000 têtes en 2023 et doublement en 2027).

(k) Accroître la production halieutique et aquacole

- Augmenter la production annuelle de la pêche et de l'aquaculture continentale
- Augmenter la production annuelle de la pêche continentale (de 30.000 t à 300.000 t en 2027).
- Mettre en place et opérationnaliser 10 Zones d'Émergence Piscicole (ZEP).
- Amélioration des activités de poste captures (6 unités de froid et 0 unités de transformation).
- Développer la riziculture et de la pisciculture en étangs et en cage.
- Développer la mariculture ou permaculture en eau de mer.
- Développer la pêche au large.
- Mise en place des centres d'excellence : mettre en place des centres de formation et des centres de recherches (laboratoires).
- Faciliter l'accès aux informations météorologiques, hydrologique terrestre et maritime.
- Mettre en place des mesures d'allégement fiscal sur les équipements/intrants pour les pêches.

- Renforcer la sécurisation et le système d'alerte précoce en zone maritime.
- Augmenter la consommation moyenne annuelle en produits halieutiques (de 4,26 kg à 11 kg/hab/an, à l'horizon 2027).

(l) Améliorer la gouvernance et les mesures d'accompagnement au secteur agricole, de l'élevage et des pêches

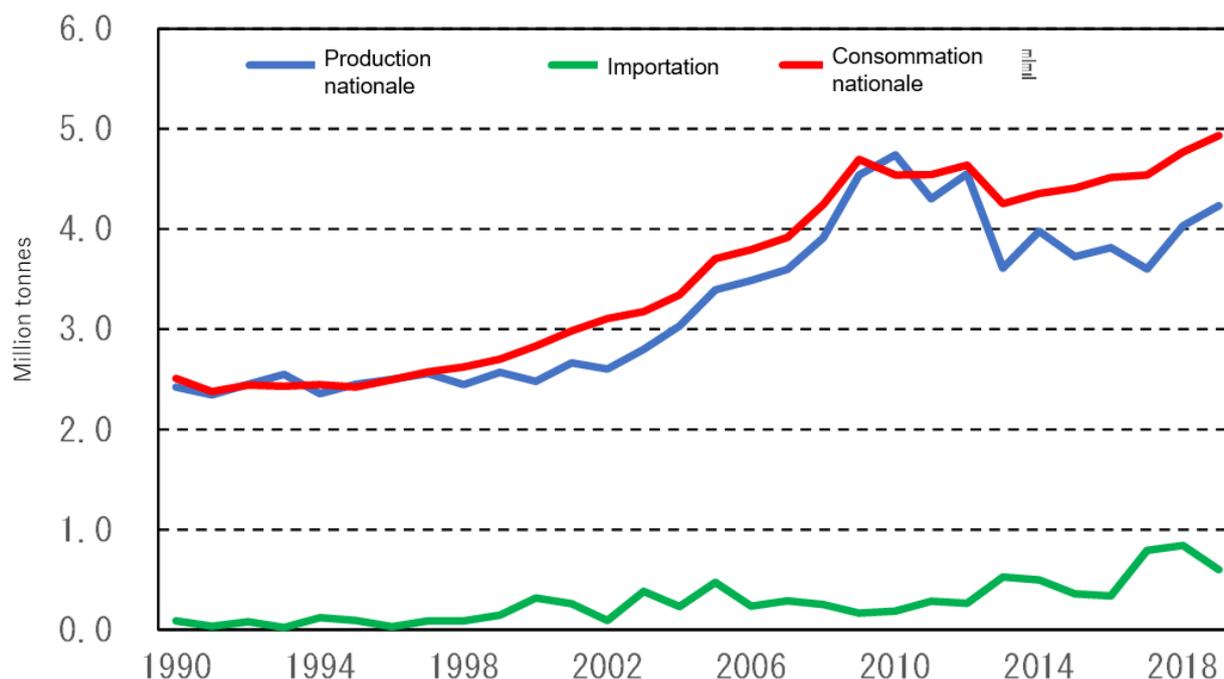
- Rehausser la place de la Chambre d'Agriculture
- Développer la digitalisation du secteur agricole / Mise en place d'un Centre d'information au niveau du Guichet Agricole.
- Désenclaver les zones de production : réhabiliter 103 pistes de désenclavement pour 3.020 km.
- Préserver la production et renforcer les activités phytosanitaires et de lutte contre les ravageurs.
- Améliorer la sécurité en milieu rural.
- Développer la sécurité sociale des producteurs.
- Renforcer le dispositif d'encadrement et de formation.

(m) Pistes de collaboration avec les autres départements ministériels

Un protocole d'accord, ayant pour objectif d'atteindre l'autosuffisance alimentaire et le développement du secteur agricole, a été établi entre le MINAE et les autres Ministères concernés à savoir : le Ministère de la Justice, le Ministère de l'Industrialisation, du Commerce et de la Consommation, le Ministère des Travaux Publics, le Ministère du Travail, de l'Emploi, de la Fonction Publique et des Lois Sociales, le Ministère de la Communication et de la Culture, le Ministère de l'Éducation Nationale, le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, le Ministère de l'Énergie et des Hydrocarbures, le Ministère des Affaires Etrangères, le Ministère des Jeunesses et Sports, le Ministère de l'Artisanat et des Métiers, le Ministère de l'Enseignement technique et de la Formation professionnelle, le Ministère des Mines et des Ressources stratégiques, Ministère de l'Aménagement du territoire et des services fonciers, le Ministère du Développement numérique, de la Transformation digitale, des Télécommunications et des Postes, le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, l'Office National de Nutrition (ONN), FIHARIANA, le Ministère du Tourisme, le Ministère de la Santé Publique, le Ministère de la Population, de la Protection sociale et de la Promotion féminine, le Ministère de l'Économie et des Finances (MEF), le Ministère de l'Intérieur et de la Décentralisation et le Ministère des Transports et de la Météorologie, entre autres. Le protocole conclu avec le Ministère de l'Environnement et de Développement Durable porte sur : 1) « la Complémentarité Production/Protection de l'environnement, gestion de la terre, et 2) « l'agriculture durable, Changement Climatique : Adaptation, atténuation ».

(5) Statistiques sur la production rizicole

La figure ci-dessous illustre l'évolution de la production, de la consommation et du volume des importations de riz :



Source: FAOSTAT

Figure 2.1.1 Évolution de l'offre et de la demande de riz à Madagascar

Comme cela est mentionné plus haut, Madagascar n'a pas encore atteint l'autosuffisance en riz, denrée alimentaire de base : quant au volume des importations de riz, il ne dépasse pas 1 million de tonnes/an, mais ces dernières années, une tendance à l'augmentation est observée.

Le tableau 2.1.1 montre la production de riz des campagnes 2017/18 à 2019/20 et les superficies emblavées en riz des campagnes 2018/19 à 2019/20 (rizières irriguées et pluviales) de chaque région de Madagascar.

Tableau 2.1.1 Évolution des superficies emblavées et de la production du riz

Région	Production du riz (1.000 t)			Superficie emblavée (ha)			
	2017/18	2018/19	2019/20	Rizière irriguée		Rizière pluviale	
				2018/19	2019/20	2018/19	2019/20
Alaotra-Mangoro	507.000	564.800	603.807	160.000	169.700	20.000	18.500
Amoron'i Mania	105.000	131.203	120.422	34.868	34.868	2.040	2.020
Analamanga	257.000	326.739	337.507	82.756	92.780	10.348	11.208
Analanjirofo	205.000	280.780	234.404	112.851	105.156	8.950	16.970
Androy	5.000	12.453	5.414	5.017	1.900	-	-
Anôsy	108.000	132.955	11.629	43.791	4.942	3.452	-
Atsimo-Andrefana	84.000	153.600	81.265	38.400	28.790	-	-
Atsimo-Atsinanana	100.000	101.767	161.282	40.250	63.030	6.167	6.895
Atsinanana	101.000	52.361	131.500	24.956	90.000	13.953	20.000
Betsiboka	56.000	35.401	87.930	12.438	2.660	25.600	53.300
Boeny	312.000	452.648	215.796	130.110	130.890	60.000	3.385
Bongolava	261.000	58.119	55.073	17.823	14.565	5.500	8.000
Diana	135.000	194.460	57.449	23.404	11.851	89.605	23.150
Haute Matsiatra	168.000	156.565	160.136	50.300	53.629	3.000	-

Région	Production du riz (1.000 t)			Superficie emblavée (ha)			
	2017/18	2018/19	2019/20	Rizièrre irriguée		Rizièrre pluviale	
				2018/19	2019/20	2018/19	2019/20
Ihorombe	37.000	23.166	5.367	7.895	2.547	960	-
Itasy	175.000	286.209	320.954	61.570	70.804	10.920	13.400
Melaky	110.000	143.531	129.480	37.135	35.850	9.480	10.450
Menabe	192.000	179.559	149.969	76.175	69.020	2.405	-
Sava	229.000	172.736	265.819	53.338	86.550	24.861	-
Sofia	336.000	227.167	439.033	51.775	153.894	38.580	29.862
Vakinankaratra	402.000	352.959	453.651	90.766	109.383	27.345	26.463
Vatovavy-Fitovinany	145.000	191.968	204.155	69.327	84.601	12.491	13.527

Source: MINAE

Comme l'indique le tableau, la Région d'Alaotra-Mangoro se classe au premier rang du pays en ce qui concerne la production de riz et la superficie irriguée. En d'autres termes, on peut dire que cette région revêt la plus grande importance pour la production rizicole à Madagascar.

2.1.2 Plan de développement régional : Plan de mise en œuvre du MAP d'Alaotra-Mangoro

Avant la crise politique, la Région d'Alaotra-Mangoro avait formulé, pour la réalisation au niveau régional du « Madagascar Action Plan (MAP) » qui était alors le plan national global pour le développement, le Plan de mise en œuvre du MAP au niveau régional pour la période 2008-2012. À la date d'aujourd'hui, en janvier 2023, bien que le MAP soit remplacé par le PEM, la Région d'Araotra-Mangoro considère toujours ledit plan de mise en œuvre du MAP comme plan de développement de la Région.

Ce Plan de mise en œuvre du MAP est élaboré en tant que deuxième plan de développement de la Région d'Araotra-Mangoro avec la participation des représentants de toutes les parties prenantes concernées telles que les Communes, les Districts, les députés régionaux et les habitants. De plus, il est de nature à : (i) se conformer au MAP dont le système de suivi-évaluation est aussi respecté dans ce plan ; (ii) être accordé par tout promoteur, exécutant ou toute Commune qui sont bénéficiaires du plan ; (iii) proposer en tant qu'exécutant du MAP les directives de développement à suivre par la Région et définir une vision régionale symbolisant sa vocation de « la Région d'Alaotra-Mangoro, berceau de la nature et grenier national du riz », sur la base du concept de l'économie du marché et de la gestion pérenne des ressources naturelles.

Tous les projets et actions inscrits dans ce Plan s'inspirent de l'état d'avancement du programme de développement prévu dans le premier plan régional de développement aux niveaux des 79 Communes des 5 Districts de la Région d'Alaotra-Mangoro, et se conforment aux 8 engagements du MAP à savoir : (i) Gouvernance responsable, (ii) Infrastructures, (iii) Réforme de l'éducation, (iv) Développement rural et révolution verte, (v) Santé, planning familial et lutte contre le VIH/SIDA, (vi) Forte croissance économique, (vii) Prendre soin de l'environnement et (8) Solidarité nationale.

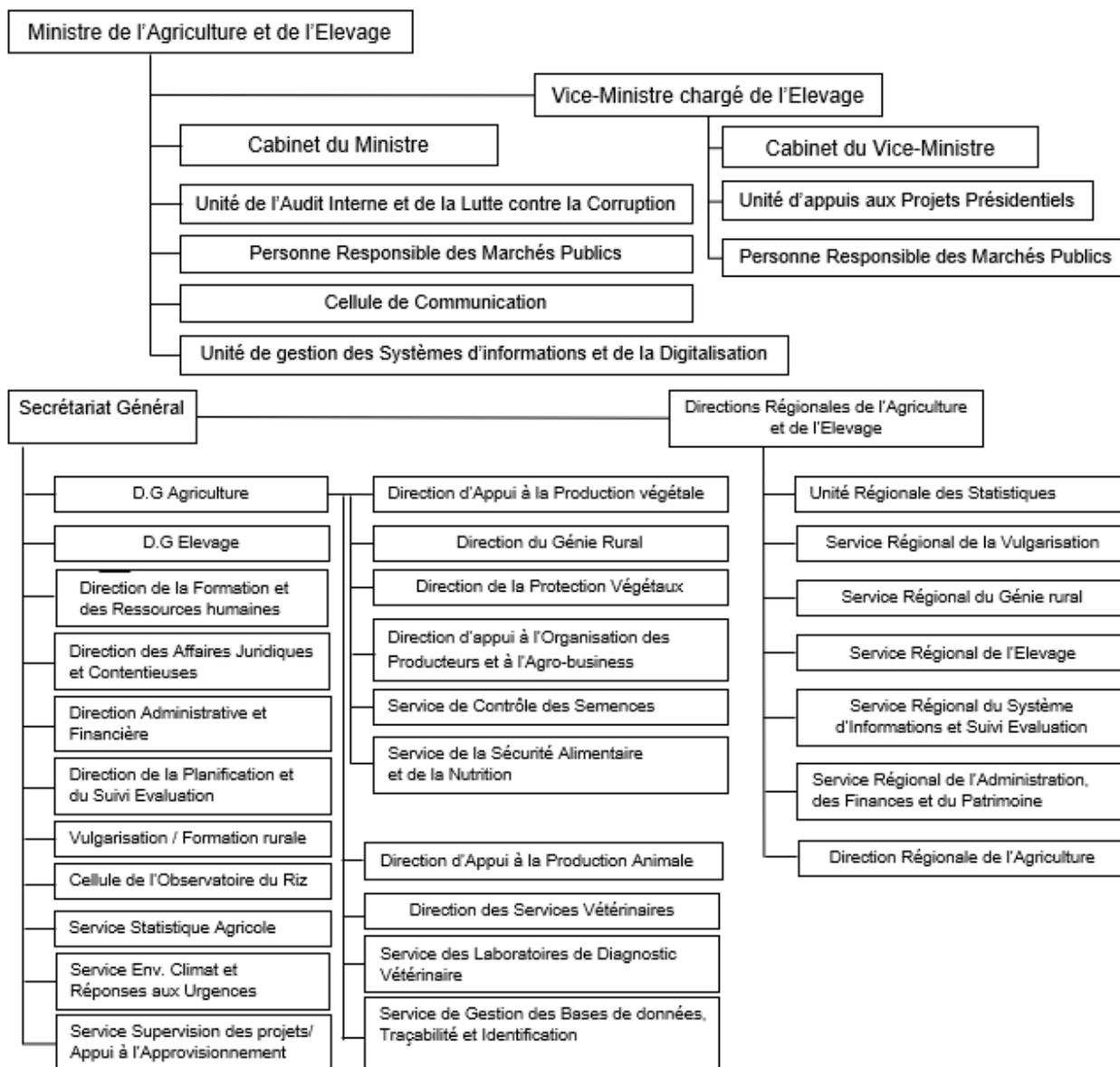
Ce Plan consiste en (i) le plan d'action, (ii) le plan financier, (iii) le résultat, (iv) le suivi-évaluation, (v) le suivi de l'état d'avancement de l'exercice fiscale, (vi) le résumé du budget demandé et (vii) l'annexe

indiquant tout projet exécuté au niveau communal entre 2008 et 2012. A noter qu'il est précisé dans ce plan que tout projet ou action qu'il prévoit n'est pas fixe et définitif et donc révisable selon la situation.

2.2 Cadre de réalisation du développement agricole et de gestion du bassin versant

2.2-1 Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage (MINAE)

La figure ci-dessous présente l'organigramme du MINAE qui sera l'organe d'exécution du présent projet.



Source: MINAE

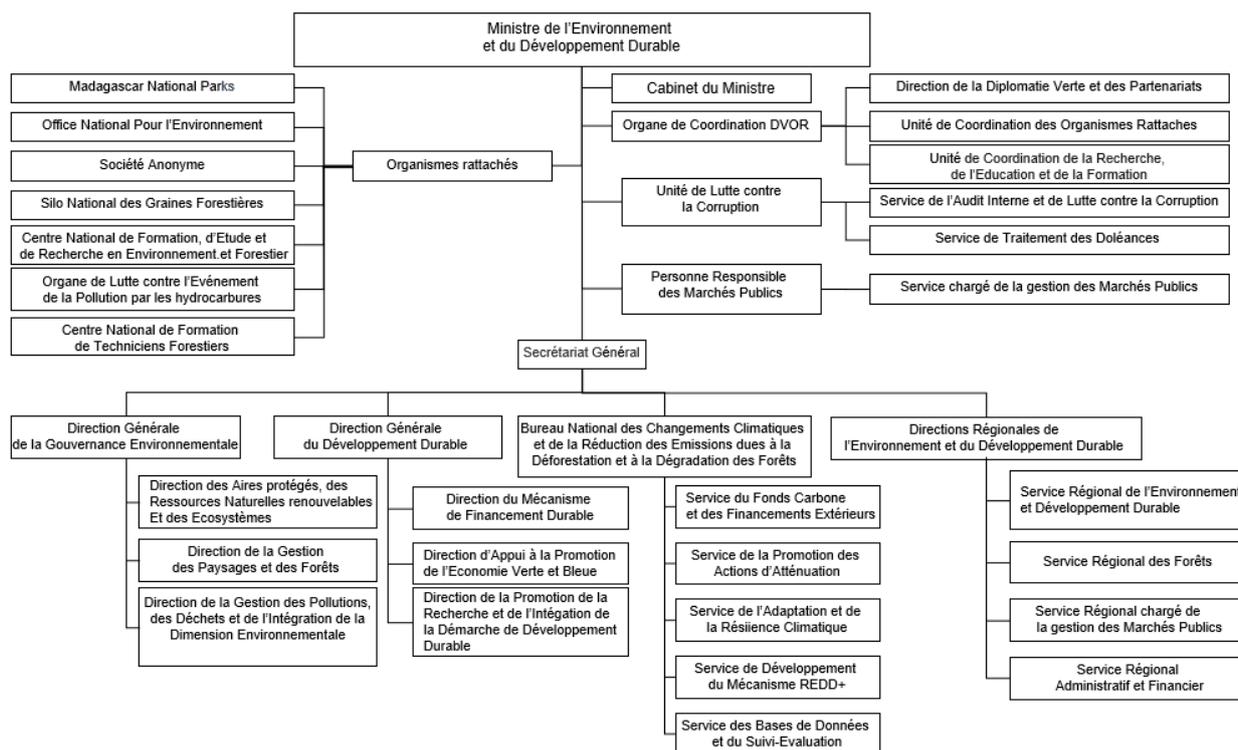
Figure 2.2.1 Organigramme du MINAE

Sous l'autorité du Ministre de l'Agriculture et de l'Élevage (MINAE), sont placés le Vice-Ministre de l'Élevage, le Secrétariat Général et différents services et unités. La Direction Générale de l'Agriculture, la

Direction Générale de l'Élevage et les Directions Régionales de l'Agriculture et de l'Élevage (DRAE), laquelle est chargée de la gestion du projet sur le terrain, sont rattachées directement au Secrétariat Général.

2.2.2 Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

L'organigramme du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD), qui sera aussi l'un des organes d'exécution du présent projet, est le suivant.



Source: MEDD

Figure 2.2.2 Organigramme du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

2.2.3 Directions Régionales de l'Agriculture et de l'Élevage (DRAE)

Comme cela est illustré dans la figure 2.2.1, les DRAE sont rattachées directement au Secrétariat Général, et sont responsable pour la mise en œuvre des plans et la mise en application des normes qui sont élaborés par le Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage au niveau central, tout en les adaptant aux caractéristiques spécifiques de chaque région. Les tâches qui leur sont assignées incluent les suivantes :

- ✓ Coordonner les activités menées dans leur zone de compétence par les différentes parties prenantes impliquées dans l'agriculture et l'élevage, et mettre en place une plateforme de collaboration.
- ✓ Promouvoir la rationalisation de la chaîne de valeur agricole (alimentaire).
- ✓ Développer les capacités des acteurs des secteurs privé et public impliqués dans l'agriculture.
- ✓ Appuyer les acteurs du secteur privé dans leurs recherches de financements publics (subventions), et créer des opportunités d'affaires.

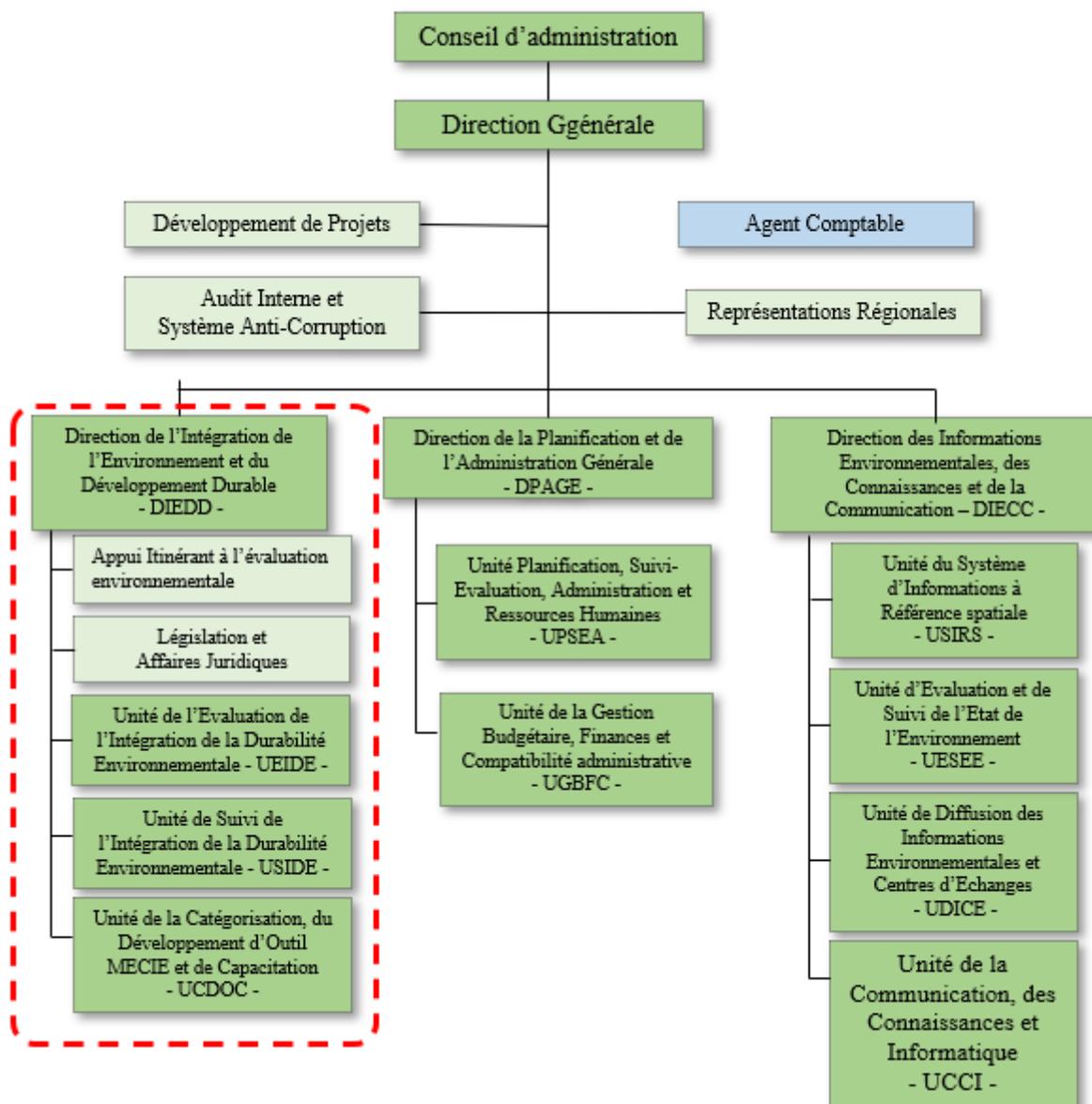
2.2.4 Directions Régionales de l'Environnement et du Développement Durable (DREDD)

L'organisation des DREDD est montrée dans la figure 2.2-2. Au sein du Ministère, elles sont placées sous l'autorité du Secrétaire Général comme c'est le cas pour les DRAE du MINA, et chargées de gérer les activités du MEDD à mettre en œuvre dans chaque région relevant de leur compétence. Elles ont des liens hiérarchiques avec la Direction Générale de la Gouvernance Environnementale et la Direction Générale du Développement durable, ces dernières assurant leur supervision technique. À ce titre, elles ont l'obligation de présenter des rapports aux Secrétariat Général et aux deux Directeurs Généraux.

2.2.5 Office National pour l'Environnement (ONE)

Placé sous la tutelle du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, l'ONE a pour mission d'assurer la direction de l'évaluation des études d'impact sur l'environnement (EIE), la délivrance des permis environnementaux et la coordination du suivi de la mise en œuvre du Cahier de Charges Environnementales, entre autres. Il se charge également de la mise en œuvre des activités de vulgarisation, de sensibilisation, d'éducation environnementale, de relation publique, etc. Sa structure organisationnelle se divise en deux volets : l'un est composé des services techniques et l'autre des services administratifs. Les Représentations Régionales et l'Audit Interne et Système Anti-Corruption sont placées au même niveau hiérarchique assurant des services d'administration générale. Dans le volet des services techniques se trouvent la Direction de l'Intégration de l'Environnement et du Développement Durable (DIEDD) et la Direction des Informations Environnementales, des Connaissances et de la Communication (DIECC). La DIEDD est chargée de l'examen des dossiers de l'EIE et la délivrance des permis environnementaux.

Lors de sa réorganisation en 2019, les services chargés de l'EIE et de la délivrance des permis environnementaux ont été davantage renforcés afin de faire face aux pressions de développement de plus en plus fortes (voir la figure 2.2.3).



Source: La figure a été produite par l'équipe d'étude de la JICA sur la base du Rapport d'Activités de l'ONE(2020)

Figure 2.2.3 Organigramme de l'ONE

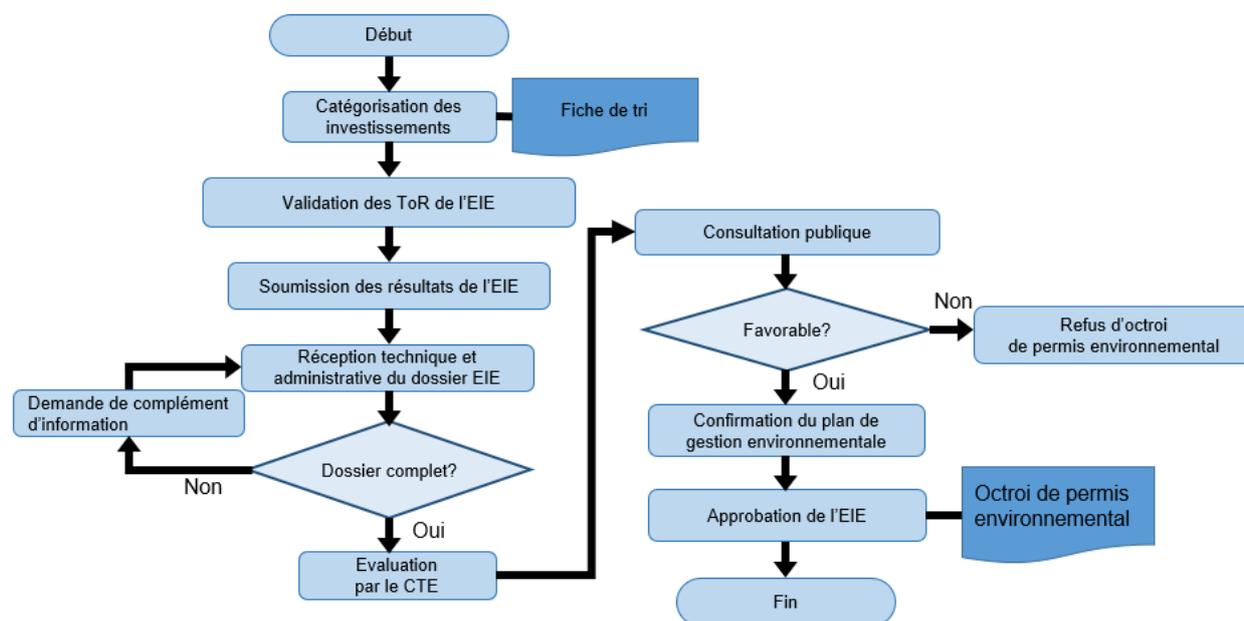
Les procédures à suivre pour l'obtention d'un permis environnemental sont définies en rapport avec l'envergure des projets envisagés. Il y a lieu, soit de réaliser une Étude d'Impact Environnementale (EIE) ou de produire un Programme d'Engagement Environnemental (PREE), selon la nature et l'envergure du projet prévu. Le dossier sera soumis à l'ONE pour évaluation. Le tableau suivant indique différents types de projets dans le domaine agricole soumis à l'EIE ou au PREE.

Tableau 2.2.1 Projets soumis soit à l'EIE ou au PREE selon leur envergure

Catégorie	Seuils relatifs à l'envergure de projets à réaliser dans le domaine agricole (extraits de la liste en annexe)
Projet obligatoirement soumis à l'Étude d'Impact Environnemental (EIE)	Tous aménagements, ouvrages et travaux pouvant affecter les zones sensibles / Tout projet d'aménagement ou de réhabilitation hydroagricole ou agricole de plus de 1000 ha / Tout projet de construction et d'aménagement de route.
Projet obligatoirement soumis à un Programme d'Engagement Environnemental (PREE)	Tout projet d'aménagement ou de réhabilitation hydroagricole ou agricole d'une superficie comprise entre 200 et 1000 ha / Tout projet d'entretien périodique de route revêtue de plus de 20 km / Tout projet d'entretien périodique de route non revêtue de plus de 30 km.

Source: Décret N° 99-954 du 15 Décembre 1999 modifié par le décret n° 2004 -167 du 03 février 2004 relatif à la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement

La figure 2.2.4 illustre les étapes à suivre par des projets soumis à l'EIE, commençant par la constitution du dossier d'EIE jusqu'à l'obtention du permis environnemental. Le temps requis pour chaque étape de la procédure est indiqué, à titre indicatif, dans les textes législatifs, mais varie en fonction entre autres de la nature du projet envisagé et la nécessité ou non du déplacement de population. Selon les renseignements recueillis auprès de l'ONE et les mentions dans les textes législatifs y afférents, en général, l'évaluation par le Comité Technique d'Évaluation (CTE) interministériel qui est convoqué pour chaque dossier termine dans les 60 jours qui suivent la date de la présentation de la demande, et 120 maximum lorsqu'il s'agit d'un projet de grande envergure. Il faudrait, en général, compter un délai d'environ 6 mois pour obtenir le permis environnemental.



Source: La figure a été produite par l'équipe d'étude de la JICA sur la base de documents fournis par l'ONE

Figure 2.2.4 Étapes à suivre pour l'obtention d'un permis environnemental

2.2.6 Acquisition de terrains et déplacement de population

En ce qui concerne l'acquisition de terrains, l'Article 34 de la Constitution de la République de Madagascar, révisée en 2010, stipule que « l'État garantit le droit à la propriété individuelle » et que « Nul ne peut en être privé sauf par voie d'expropriation pour cause d'utilité publique et moyennant une juste et préalable indemnité ». Le tableau 2.2.2 ci-dessous résume d'autres textes pertinents.

Tableau 2.2.2 Lois, ordonnances et décrets relatifs à l'acquisition de terrains

Titre	Aperçu
Ordonnance n° 62-023 du 19 septembre 1962	Cet ordonnance règle les conditions d'expropriation de terrains ou d'acquisition de biens immobiliers pour cause d'utilité publique par l'Etat ou les collectivités publiques secondaires, d'évaluation des terrains, etc.
Décret n° 98-610 du 13 août 1998	Ce décret définit les règles et les règlements concernant la gestion foncière communautaire.
Loi n°06-031 du 24 novembre 2006	Cette loi fixe le régime juridique de la propriété foncière privée non titrée, y compris les terrains utilisés de façon coutumière ou illégalement

Source: Ordonnance n° 62-023 du 19 septembre 1962, DECRET N° 64-205 du 21 mai 1964, Loi 2006-031 du 24 novembre 2006

Ces lois et règlements définissent les orientations en matière d'indemnités nécessaires en cas d'expropriation de terrains pour cause d'utilité publique ainsi que les règlements relatifs au cadastre des terrains, cependant, non pas de dispositions précises pour les terrains de petites surface comme que l'on trouve dans la zone cible du présent projet.

Selon des rapports d'autres projets qui ont été réalisés dans la même zone et l'analyse faite par la Banque Mondiale, les dispositions relatives au cadastre des terrains sont définies par plusieurs textes législatifs de différents niveaux, et quant à la propriété foncière, il a été constaté qu'il existe deux formes distinctes à savoir la forme moderne et celle traditionnelle. On peut supposer que la propriété foncière de

forme moderne est régie par le bureau foncier de chaque commune, tandis que la propriété foncière de forme traditionnelle est régie par la communauté local, et ce, sur la base de droits coutumiers : dans certains cas, les habitants ayant résidé dans un endroit pendant une certaine période de temps, ou les individus qui cultivent ou reboisent des terrains qui n'appartiennent à personne, sont reconnus comme étant les propriétaires coutumiers des terres. Compte tenu de tout ceci, il sera nécessaire, lors de la réalisation effective du projet, de déterminer les orientations à suivre en ce qui concerne l'expropriation et le déplacement de la population en se fondant sur des lois nationales, des lignes directrices des bailleurs de fonds etc., et de recueillir un consensus auprès des habitants qui subiront l'impact.

2.3 Budgets engagés pour développement agricole et à la gestion du bassin versant, et projets en cours de réalisation

2.3.1 Situation financière du secteur agricole

(1) MINAE

Le tableau ci-dessous récapitule l'évolution des budgets annuels du MINAE.

Tableau 2.3.1 Évolution des budgets annuels du MINAE

(Unité: million Ariary)

Catégorie de budget	2018	2019	2020	2021	2022	Augmentation ou diminution exprimé en pourcentage ^(*)
Fonctionnement	19.063	21.500	15.956	6.954	13.155	69,0%
Investissement						
<i>Financement Interne</i>	<i>65.098</i>	<i>510.270</i>	<i>18.436</i>	<i>7.055</i>	<i>30.648</i>	<i>47,1%</i>
<i>Financement Externe</i>	<i>298.114</i>	<i>20.981</i>	<i>479.285</i>	<i>282.704</i>	<i>563.542</i>	<i>189,0%</i>
Sous-total	363.212	531.251	497.721	289.759	594.190	163,6%
Total	382.275	552.751	513.677	296.713	607.345	158,9%

(*) Montant 2022 / montant 2018

N.B.: Les montants indiqués dans le tableau sont ceux des crédits modifiés.

Les budgets sont catégorisés selon le mode conventionnel de Madagascar.

Fonctionnement : Frais généraux (frais de mission du personnel etc.)

Financement Interne : Investissement avec des fonds internes

Financement Externe : Investissement avec des fonds provenant de l'extérieur

Source: Direction Administrative et Financière, MINAE

Par rapport à l'année 2018, le montant du Fonctionnement (frais généraux) a diminué de plus de 30%, tandis que l'Investissement a augmenté de plus de 160%. Si l'on examine de près le détail des investissements pour la même période, on peut constater que le montant des investissements avec des fonds internes a diminué de plus de 50%, alors que le montant des investissements provenant de l'extérieur a augmenté de près de 190%. Ceci laisse apercevoir que, d'un côté, la dépendance à l'égard des financements extérieurs devient grande, tandis que de l'autre côté, la situation ne permet pas de disposer de suffisamment de personnel pour assurer la gestion de ces investissements.

(2) MEDD

Le tableau ci-dessous indique l'évolution des budgets annuels du MEDD.

Tableau 2.3.2 Évolution des budgets annuels du MEDD

(Unité: million Ariary)

Catégorie de budget	2018	2019	2020	2021	2022	Augmentation ou diminution exprimé en pourcentage ^(*)
Biens et Services	13.459	12.674	11.962	19.996	13.757	102,2%
Indemnités	2.271	2.445	3.322	2.833	1.193	52,5%
PIP sur Financement Externe	—	—	—	30.601	56.586	—
PIP sur Financement Interne	8.851	9.992	7.610	63	4.358	49,2%
Solde	13.319	13.603	14.004	14.979	17.966	134,9%
Transferts	4.313	2.218	818	806	10.583	245,4%
Total	42.213	40.932	37.716	69.277	104.444	247,4%

(*) Montant 2022 / montant 2018

N.B.: les montants indiqués dans le tableau sont ceux des crédits modifiés.

Le montant des investissements avec des fonds internes a diminué de plus de 50% au cours de la période de 2018 à 2022, et l'apport de fonds externes a commencé en 2021. Ceci permet de constater que la dépendance à l'égard des fonds d'investissement étranger s'est accrue au cours de ces dernières années.

(3) DRAE d'Alaotra-Mangoro

Voici la brève récapitulation de l'évolution des budgets annuels de la DRAE de la Région d'Alaotra-Mangoro :

Tableau 2.3.3 Évolution des budgets annuels de la DRAE d'Alaotra-Mangoro

(Unité: million Ariary)

Catégorie de budget	2018	2019	2020	2021	2022	Augmentation ou diminution exprimé en pourcentage ^(*)
Fonctionnement	213	191	183	61	65	30,5%
Investissement						
Financement Interne	777	641	699	0	199	25,6%
Financement Externe	0	0	0	0	0	-
Sous-total	777	640	699	0	199	25,6%
Total	990	832	882	61	265	26,8%

(*) Montant 2022 / montant 2018

N.B.: Les montants indiqués dans le tableau sont ceux des crédits modifiés.

Les budgets sont catégorisés selon le mode conventionnel de Madagascar.

Fonctionnement : Frais généraux (frais de mission du personnel etc.)

Financement Interne : Investissement avec des fonds internes

Financement Externe : Investissement avec des fonds provenant de l'extérieur

Source: Direction Administrative et Financière, MINAE

Les frais généraux ont diminué de 30% au cours de la période de 2018 à 2022. La baisse des frais généraux a été plus marquée au niveau de la DRAE d'Araotra-Mangoro qu'au niveau central. Par contre, le montant des investissements a augmenté au niveau central tandis qu'il a diminué au niveau de la DRAE. Cette tendance laisse supposer que la DRAE ne soit pas dotée de ressources financières et humaines suffisantes. Les budgets de la DRAE sont attribués par le biais du MINAE, sauf les fonds investis

directement par des partenaires de développement et des ONG pour la mise en œuvre des activités de leurs projets.

2.3.2 Plans et projets du secteur agricole en cours de réalisation

(1) Madagascar Agriculture Rural Growth and Land Management Project²

Ce projet a été mis en œuvre ayant pour objectif d'améliorer le régime de propriété foncière en milieu rural, de favoriser l'accès des agriculteurs au marché et d'assurer la fourniture rapide et efficace des services d'aide en cas de situations d'urgence telles les catastrophes naturelles. La période d'exécution du projet s'étend de 2016 à 2022, et pour sa réalisation, un montant d'environ 53 millions de dollars US a été financé par la Banque mondiale sous forme d'un prêt. Les principales composantes de ce projet sont les suivantes :

- Développement de chaînes de valeur de l'agrobusiness.
- Soutien législatif et institutionnel en matière de gestion foncier et soutien aux mesures d'enregistrement des droits fonciers.
- Appui à la construction d'installations du marché.

En outre, des montants sont inscrits au budget pour la gestion du projet et pour les mesures d'urgence.

La zone cible du projet inclut la Région d'Alaotra-Mangoro, mais l'organe d'exécution est le Secrétariat Général du MINAE.

(2) Rural Livelihoods Productivity and Resilience Project³

Ce projet, qui a pour objectif d'améliorer de la productivité agricole et de renforcer la résilience des moyens de subsistance ruraux dans la zone cible, devrait être mis en œuvre avec un financement d'un montant total de 200 millions de dollars US octroyé sous la forme de prêts par des partenaires de développement notamment la Banque mondiale.

Les trois composantes principales de ce projet sont les suivantes :

- Conservation et gestion du bassin versant dans la zone cible, par l'initiative Communautaire.
- Développement durable et amélioration de la gestion des installations et services d'irrigation.
- Renforcement des chaînes de valeur et amélioration des moyens de subsistance.

Ce projet, bénéficiant d'un financement de la Banque mondiale d'un montant de 180 mille dollars sous la forme de prêt, met un accent particulier sur la restauration de la forêt et l'agroforesterie pour la conservation et la gestion du bassin versant de la zone cible. Plus précisément, les activités du projet consistent en des mesures de reboisement visant à prévenir l'érosion du sol, à protéger les ressources en

² <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P151469>

³ Project Information Document (PID), Appraisal Stage, 06-Dec-2022, Report No: PIDA35198

https://documents1.worldbank.org/curated/en/099215001082340079/pdf/P17526904c19ea090_aa000860b52253587.pdf

eau, à restaurer les paysages et à favoriser la biodiversité, etc. En outre, il est prévu de réaliser des reboisements avec des espèces d'arbres choisies en fonction des besoins des populations locales (bois d'œuvre, arbres fruitiers, etc.).

En sus de ce qui précède, des montants sont inscrits au budget pour la gestion du projet et pour les mesures d'urgence.

La zone cible du projet inclut 20.000 ha de terres agricoles de la Région d'Alaoatra-Mangoro, pour lesquelles la réhabilitation d'installations d'irrigation, l'appui à la gestion du bassin versant, la formation à l'intention des AUE, le transfert de techniques culturelles, etc. L'organe d'exécution est le MINAE et le MEDD se positionne comme un organisme d'appui.

En date de mars 2023, ce projet est au stade de la préparation pour sa réalisation.

(3) Adapting rice systems for enhanced food and nutrition security ⁴

Ce projet est réalisé ayant pour but d'accroître la production rizicole et de renforcer la sécurité alimentaire et nutritionnelle des communautés rurales incluant celles de la Région d'Alaoatra-Mangoro. Un montant de 100 millions de dollars est financé par la Banque mondiale sous la forme d'un prêt. Ses principales composantes sont les suivantes.

- Amélioration de la qualité des installations et services d'irrigation et renforcement des capacités.
- Renforcement des systèmes de production rizicole et de l'accès au marché.
- Renforcement de la gouvernance et du pouvoir de la filière riz.

(4) Programme de développement des filières agricoles inclusives⁵

Ce programme vise à augmenter durablement les revenus, à assurer la sécurité alimentaire et à améliorer la nutrition des populations rurales vivant dans des conditions vulnérables. Sa réalisation est prévue pour la période allant de 2017 à 2028. Le montant totale du programme, qui s'élève à 250 millions de dollars, financé par plusieurs organisations, se divise grosso modo en trois parts dont « Amélioration de la productivité et de la résilience du système de production agricole et de l'élevage », « Chaînes de valeur inclusives » et « Appui institutionnel, Engagement politique et Coordination et gestion des ressources du programme » .

Le FIDA finance 50% des coûts du programme, pour réaliser la rationalisation de la production agricole, le renforcement de la résilience etc., chez les exploitants agricoles familiaux à travers les composantes suivantes :

⁴ D'Alessandro, Stephen Paul.

Concept Project Information Document (PID) - Adapting Rice Systems for Enhanced Food and Nutrition Security - P175269 (en anglais). Washington, D.C. : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/199331613660774715/Concept-Project-Information-Documents-PID-Adapting-Rice-Systems-for-Enhanced-Food-and-Nutrition-Security-P175269>

⁵ Rapport de conception finale, Programme de développement des filières agricoles inclusives (DEFIS)

(https://www.ifad.org/documents/38711624/40089492/Rapport+de+conception+finale_1.pdf/567423e8-f392-4f67-9-ab5-96b03bddfb8c?t=1611230535000)

- Amélioration de la productivité et de la résilience des systèmes de production agricole et de l'élevage.
- Développement des filières inclusives.
- Appui institutionnel et coordination des institutions impliquées.

À noter toutefois que la zone d'intervention de ce programme est la partie australe de Madagascar, et n'inclut donc pas la Région d'Alaotra-Mangoro.

Tableau 2.3.4 Plan de financement du Programme par institution

(Unité : mille dollars US)

Destination du fonds	FIDA Prêt PBAS 2016-2018	IFAD Subvention	FIDA Prêt PBAS 2019-2021	OFID	BAD	Fonds pour le climat	Bénéficiaires	Gouv.	Total
1. Amélioration de la productivité et de la résilience des systèmes de production agricole et de l'élevage									
1.1. Mobilisation efficiente des eaux	6.271 (8,5%)	3.752 (5,1%)	4.331 (5,9%)	14.470 (19,6%)	17.303 (23,4%)	9.957 (13,5%)	3.792 (5,1%)	13.958 (18,9%)	73.833
1.2. Accès de proximité à des réseaux d'intrants agricoles	1.155 (5,9%)	1.588 (8,1%)	7.252 (37,1%)	—	4.716 (24,1%)	528 (2,7%)	2.936 (15,0%)	1.385 (7,1%)	19.560
1.3. Appui-conseil agricole de proximité et éducation nutritionnelle	5.244 (16,1%)	5.240 (16,1%)	11.570 (35,5%)	—	7.039 (21,6%)	—	778 (2,4%)	2.764 (8,5%)	32.635
Sous-total 1.	12.670 (10,1%)	10.580 (8,4%)	23.152 (18,4%)	14.470 (11,5%)	29.058 (23,1%)	10.485 (8,3%)	7.506 (6,0%)	18.107 (14,4%)	126.028
2. Chaînes de valeur inclusives									
2.1. Renforcement organisation producteurs pour accès aux marchés et développement des PPPP	1.396 (6,4%)	1.396 (6,4%)	11.025 (50,5%)	—	5.552 (25,4%)	—	—	2.468 (11,3%)	21.836
2.2. Accès au financement	1.426 (15,5%)	1.426 (15,5%)	5.684 (61,9%)	—	—	—	—	644 (7,0%)	9.180
2.3. Développement infrastructures de stockage, de conditionnement et de mise en marché	3.641 (6,8%)	5.751 (10,8%)	4.827 (9,1%)	5.530 (10,4%)	15.390 (28,9%)	2.260 (4,2%)	6.033 (11,3%)	9.843 (18,5%)	53.275
Sous-total 2.	6.462 (7,7%)	8.572 (10,2%)	21.536 (25,5%)	5.530 (6,6%)	20.942 (24,8%)	2.260 (2,7%)	6.033 (7,2%)	12.955 (15,4%)	84.290
3. Appui institutionnel, engagement politique, coordination et gestion des ressources du Programme									
3.1. Appui institutionnel et engagement politique	5.162 (22,0%)	5.143 (21,9%)	8.837 (37,6%)	—	—	2.000 (8,5%)	744 (3,2%)	1.629 (6,9%)	23.514
3.2. Coordination du programme	1.838 (13,4%)	1.838 (13,4%)	8.988 (65,7%)	—	—	212 (1,5%)	—	813 (5,9%)	13.688
3.3. Suivi & Évaluation du programme	368 (14,9%)	368 (14,9%)	1.486 (59,9%)	—	—	43 (1,7%)	—	214 (8,6%)	2.479
Sous-total 3.	7.367 (18,6%)	7.348 (18,5%)	19.312 (48,7%)	—	—	2.255 (5,7%)	744 (1,9%)	2.656 (6,7%)	39.681
Total	26.500 (10,6%)	26.500 (10,6%)	64.000 (25,6%)	20.000 (8,0%)	50.000 (20,0%)	15.000 (6,0%)	14.283 (5,7%)	33.718 (13,5%)	250.000

Source: Project design report, Programme de développement des filières agricoles inclusives (DEFIS)
(https://www.ifad.org/documents/38711624/40089492/Rapport+de+conception+finale_1.pdf/567423_e8-f392-4_f67-9_ab5-96_b03_bddf8c?t=1611230535000)

(5) Programme de formation professionnelle et d'amélioration de la productivité agricole⁶

Ce projet est réalisé pour la période de 2012 à 2023, ayant pour objectif de contribuer à l'amélioration de la productivité agricole et à l'augmentation des revenus des exploitations agricoles familiales, par la formation professionnelle des jeunes ruraux. Les coûts du projet s'élèvent à un total de 84 millions de dollars environ, dont 46 millions sont pris en charge par le FIDA. Ses principales composantes sont les suivantes :

- Appui à la mise en œuvre de la Stratégie Nationale de la Formation Agricole et Rurale.
- Formation Professionnelle des jeunes ruraux et opérationnalisation régionale de la Formation Agricole et Rurale.
- Amélioration de la productivité dans les pôles de développement agricoles.

Ce projet couvre 6 Régions du pays, n'incluant toutefois pas la Région d'Araotra-Mangoro.

(6) Projet d'Appui au Développement du Menabe et du Melaky (Phase II)⁷

Ce projet est réalisé pour la période de 2015 à 2023, ayant pour objectif de contribuer à l'amélioration durable des revenus et de la sécurité alimentaire des exploitants agricoles des Régions de Menabe et de Melaky. Les coûts du projet s'élèvent à un total de 57 millions de dollars environ, dont 40 millions sont pris en charge par le FIDA. Ses principales composantes sont les suivantes :

- Établissement des systèmes de production résilients au changement climatique.
- Amélioration de l'accès aux marchés et aux opportunités économiques.

À noter toutefois que ce projet intervient dans les Régions de Menabe et de Melaky, et ne cible donc pas la Région d'Alaotra-Mangoro.

(7) Projet d'extension du périmètre de Bas-Mangoky

Ce projet est réalisé ayant pour objectif de contribuer au renforcement de la sécurité alimentaire, par le biais de la diminution de l'indice de la faim au moins de 20 en 2019 contre 25,4 en 2014. La majorité des coûts du projet sont financés par la Banque Africaine de Développement sous la forme d'un prêt.

À noter toutefois que la zone cible de ce projet s'étend sur la partie sud-ouest de Madagascar, et n'inclut donc pas la Région d'Alaotra-Mangoro.

⁶ Rapport de conception finale , PROGRAMME DE FORMATION PROFESSIONNELLE ET D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITE AGRICOLE

(https://www.ifad.org/documents/38711624/40089492/Project+design+report_1.pdf/b13f924f-083d-4ee3-889e-e6ddb1e5f366?t=1611224963000)

⁷ Revue à mi-parcours, Project to Support Development in the Menabe and Melaky Regions - Phase II

(<https://www.ifad.org/documents/38711624/40089495/Madagascar+2000000850+AD2M+Phase+II+Interim+Mid-term+Review+Report+November+2019.pdf/dea54980-1248-6fc1-be2d-85da406c6097?t=1574091968000>)

(8) Programme d'appui au financement de l'agriculture et aux filières inclusives dans le Sud de Madagascar

Ce projet est réalisé visant à réduire la pauvreté et à renforcer la sécurité alimentaire et nutritionnelle au sein de la population malagasy. La majorité des coûts du projet sont financés par la Banque Africaine de Développement sous la forme d'un prêt.

À noter toutefois que la zone cible de ce projet s'étend sur la partie sud de Madagascar, et n'inclut donc pas la Région d'Alaotra-Mangoro.

(9) Projet protection réhabilitation sols pour améliorer la sécurité alimentaire⁸

Ce projet est réalisé dans le cadre l'initiative « protection réhabilitation sols pour améliorer la sécurité alimentaire » mise en œuvre par la Coopération allemande (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - GIZ) dans 7 pays du monde, à savoir l'Éthiopie, le Bénin, le Burkina-Faso, l'Inde, le Kenya et Madagascar. Ce projet a pour objectif de fournir des appuis aux pays bénéficiaires pour que ceux-ci puissent réaliser efficacement la protection des sols et la réhabilitation des terres dégradées en s'appuyant sur des méthodologies dont l'efficacité est scientifiquement prouvée. Il vise aussi à transmettre, ou à permettre de partager, aux pays bénéficiaires des connaissances et des expériences de manière systématique. Les coûts de réalisation de ce projet, qui a démarré en 2015, s'élève à 175 millions d'Euros environ. Les résultats qui ont été obtenus jusqu'ici sont les suivants.

- 2.500 parcelles pour la démonstration de pratiques en matière de gestion intégrée de la fertilité des sols sont mises en place chaque année dans les hautes terres en Éthiopie.
- Plus de 34.000 exploitants agricoles et plus de 6.000 métayers ont participé aux formations.
- La méthode de gestion intégrée de la fertilité des sols est introduite sur 55.500 ha de périmètres.
- Les rendements ont augmenté de 50% dans les périmètres où la gestion intégrée de la fertilité des sols est introduite.
- L'application supplémentaire de chaux dans les sols acides a permis d'augmenter de 70% les rendements.

À noter toutefois que la zone d'intervention de ce projet à Madagascar est la Région de Boeny, et n'inclut donc pas la Région d'Alaotra-Mangoro.

(10) Programme « Sécurité alimentaire et nutritionnelle, renforcement de la résilience » (ProSAR)⁹

Ce programme intervient dans 12 pays du monde (le Bénin, le Burkina Faso, le Cambodge, l'Éthiopie, l'Inde, le Kenya, Madagascar, le Malawi, le Mali, le Togo, le Yémen et la Zambie, Par la Coopération Allemande (GIZ). Il a pour objectif de renforcer la résilience aux crises alimentaires et la sécurité alimentaire et nutritionnelle des personnes, surtout des femmes en âge de procréer, des femmes enceintes, des mères allaitantes et des jeunes enfants. L'approche que ce programme adopte est la suivante :

⁸ GIZ (https://www.weltoehnehunger.org/projects_details/fertile-soils-by-the-right-mix-of-methods.html)

⁹ GIZ (<https://www.giz.de/en/worldwide/32194.html>)

- Renforcement de la collaboration entre les différents secteurs parmi lesquels l'agriculture, la santé, l'éducation, la sécurité sociale, l'hygiène publique.
- Éducation des femmes (alimentation saine et équilibrée, culture, stockage et préparation des aliments, etc.).

À Madagascar, les activités suivantes sont en cours de mise en œuvre :

- Amélioration de la nutrition et des habitudes hygiéniques.
- Amélioration de l'accès aux aliments hautement nutritifs.
- Renforcement des capacités à gérer les fonds par chaque ménage.
- Renforcement de la gouvernance nutritionnelle.

Tableau 0.5 Aperçu du ProSAR à Madagascar

Intitulé du projet	Programme « Sécurité alimentaire et nutritionnelle, renforcement de la résilience » (ProSAR)
Commandé par	Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement
Zone cible	Région d'Atsimo Atsinanana
Organisme tutel	MINAE
Partenaires de mise en œuvre	GSDM, Inter Aide, Welthungerhilfe, Directions nationale et régionales de la nutrition
Période de réalisation	D'octobre 2019 à mars 2026
Bénéficiaires cibles	Environ 15.000 femmes en âge de procréer, des femmes enceintes, des mères allaitantes âgées de 15 à 49 ans et environ 5.000 jeunes enfants de moins de 2 ans.

(11) Projet d'Appui pour l'Amélioration de la Productivité et de l'Industrialisation du Secteur Riz¹⁰

Ce projet a pour objectif de renforcer les chaînes de valeur du riz par la vulgarisation sur l'ensemble du territoire national des techniques qui ont été développées dans le cadre du Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres - PAPRiz (12 techniques efficaces pour l'amélioration de la productivité rizicole de Madagascar, incluant entre autres celles de sélection semencière, de production de plants, de nivellement des rizières, d'application d'engrais, de sarclage, de traitement post-récolte etc.), le renforcement des capacités du gouvernement relatives aux chaînes de valeur du riz, le renforcement des capacités des agriculteurs en matière de gestion et le renforcement des systèmes d'approvisionnement en intrants et des opérations post-récolte, afin de contribuer à l'industrialisation du secteur riz. C'est un projet de coopération technique de la JICA qui est réalisé sur la période de 2020 à 2026, ciblant tout le territoire de Madagascar incluant la Région d'Araotra-Mangoro.

Les résultats escomptés de ce projet sont les suivants.

- Le système de mise en œuvre de la vulgarisation des techniques rizicoles et de la chaîne de

¹⁰ "Site de visualisation de l'aide publique au développement de la JICA (<https://www.jica.go.jp/oda/project/1700342/index.html>)

valeur riz est renforcé au niveau central.

- Le système de mise en œuvre de la vulgarisation des techniques rizicoles dans les régions d'intervention est mis en place au niveau régional
- La capacité de gestion des organisations paysannes / paysans est renforcée au niveau des sites modèles.
- La capacité de gestion des organisations paysannes / paysans est renforcée au niveau des sites modèles.
- La post-récolte (récolte, collecte, décortiquerie, stockage, transport, commercialisation) est renforcée dans les sites modèles.

CHAPITRE 3 Situation actuelle de la zone cible de l'étude

3.1 La situation actuelle de la Région d'Alaotra-Mangoro

3.1.1 Topographie / Climat

La Région d'Alaotra-Mangoro est située à l'intérieur du territoire, à l'est d'Antananarivo, la capitale. Elle est entourée de 6 Régions à savoir la Région de Sofina au nord, la Région d'Analanjirifo au nord-est, la Région d'Atsinanana au sud-est, la Région de Vakinankaratra au sud-ouest, la Région d'Analamanga à l'ouest et la Région de Betsiboka au nord-ouest. Ambatondrazaka, Chef-lieu de la Région d'Alaotra-Mangoro, se trouve à environ 150 km au nord-est de la capitale. Le lac Alaotra, situé au centre-nord de la Région, est le plus grand lac en superficie de Madagascar, ayant ses sources principalement dans sa partie sud-ouest. Le bassin versant de ce lac est considéré comme disposant de grandes potentialités en termes de riziculture irriguée. Le périmètre irrigué de Maharivana qui est ciblé pour la réalisation du projet se situe aussi au sud-ouest du lac d'Alaotra et, la rivière Sahabe, qui est l'une des principales sources d'eau du lac Alaotra, traverse ce périmètre.

La partie nord de la Région d'Alaotra-Mangoro est située sur le plateau central de Madagascar, à une altitude moyenne de 700 m, où se forment les cuvettes de l'Alaotra, de Andilamena, de Didy etc. Le sol est principalement latéritique, et souvent exposé à l'érosion. Quant à sa partie sud, elle est caractérisée par des terres accidentées, avec des pentes abruptes et, en arrière-plan, des zones marécageuses.

Les zones autour du lac Alaotra sont marquées par la présence des dépressions formées par des failles. Une chaîne montagneuse plus ou moins abrupte, d'une altitude de l'ordre de 1.000 m, s'étend jusqu'à la rive est du lac. Les zones montagneuses et les zones de plaines sont relativement nettement divisées par les failles¹. Il n'y a presque pas de forêt dans les montagnes en amont du lac Alaotra : on trouve seulement des arbrisseaux qui couvrent les pentes des montagnes, et des effondrements de terrain de grande envergure (lavaka) par ci-par-là. Ces zones, qui se caractérisent en général par une faible végétation et un éparpillement d'escarpements abrupts et de terres nues se manifestant sous forme de lavaka, avec des cours d'eau qui se serpentent, sont hautement exposées à l'érosion des sols, des pentes



Source : Figure a été créée par l'équip d'étude sur la base de :AW3D30 ©JAXA

Figure 0.1 Topographie de la Région d'Alaotra-Mangoro et ses alentours

¹ Rapport de l'étude du concept de base pour le Projet d'amélioration du réseau d'irrigation dans le sud-ouest du Lac Alaotra (2009), JICA

et des berges, et d'importants risques de ruissellements de sédiments. (pour plus de détail, voir 3.3 « Situation actuelle de la zone en amont ») Les sédiments provenant de l'amont peuvent s'accumuler dans les cours d'eau en aval, diminuant les capacités d'écoulement de ceux-ci, ce qui pourra provoquer ou favoriser les débordements et inondations.

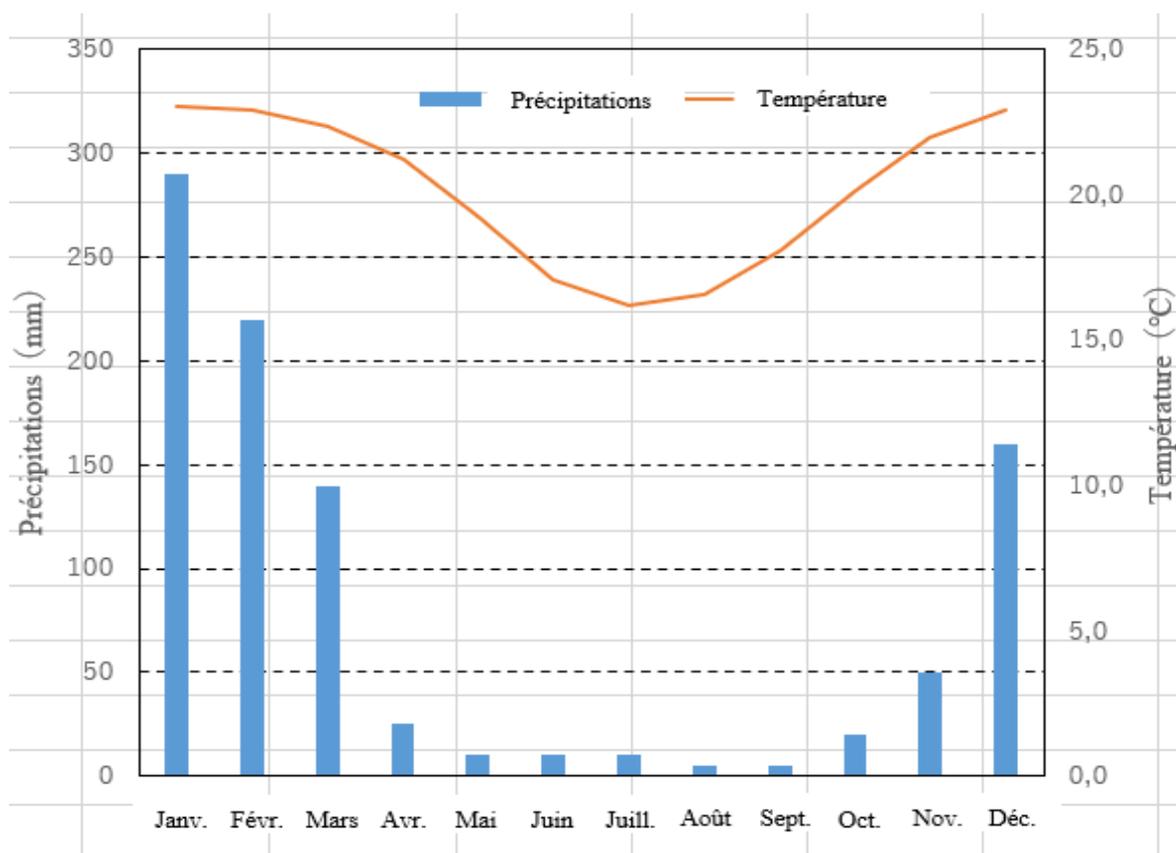
Les zones aux alentours du lac Alaotra ont un climat tropical semi-humide et influencé par la mousson. Il y a deux saisons bien tranchées à savoir la saison pluvieuse et la saison sèche. La saison pluvieuse s'étend, en principe, d'octobre à mars mais ces dernières années, les pluies ont tendance à commencer tardivement, ce qui exerce une influence sur l'exploitation agricole, entraînant par exemple des retards dans les semis.

Le tableau 3.1.1 et la figure 3.1.2 ci-dessous présentent les précipitations et températures mensuelles moyennes enregistrées à la station météorologique d'Ambohitsilaozana, située au nord du lac Alaotra.

Tableau 0.1 Précipitations et températures mensuelles moyennes

Désignation	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total/Moyenne
Précipitations	290	220	140	25	10	10	10	5	5	20	50	160	945
Température	23.0	22.9	22.4	21.2	19.3	17.1	16.2	16.6	18.1	20.2	22.0	22.9	20.2

N.B. : valeurs Les valeurs mensuelles indiquées représentent la moyenne de 1991 à 2020
 Source: Station météorologique d'Ambohitsilaozana



Source: Station météorologique d'Ambohitsilaozana
Figure 0.2 Précipitations et températures mensuelles moyennes

En ce qui concerne les précipitations mensuelles, ces données permettent de constater que plus de 85% des pluies de l'année sont concentrées sur la période de 4 mois, de décembre à mars. Quant à la température, la moyenne mensuelle varie de 16°C à 23°C. On peut dire que le climat est doux durant toute l'année.

3.1.2 Administration

La Région d'Alaotra-Mangoro a été créée à la suite de la fusion des deux anciennes régions Alaotra et Mangoro. Le tableau ci-dessous résume son organisation administrative en date de 2020.

Tableau 0.2 Découpage administratif de la Région d'Alaotra-Mangoro

District	Nombre de communes	Nombre de villages
Ambatondrazaka	22	174
Amparafaravola	22	190
Andilamena	9	59
Moramanga	23	187
Anosibe An'ala	11	96
soit 5 Districts	soit 87 communes	soit 712 villages

Source: *Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2020*

3.1.3 Population

L'évolution des populations de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro (2015-2020) est récapitulée dans le tableau 3.1.3 et la figure 3.1.4 ci-dessous.

De 2015 à 2020, la population de la Région d'Alaotra-Mangoro a diminué d'environ 110.000 personnes. En particulier, pendant la période allant de 2017 à 2018, une diminution d'environ 80% a été enregistrée pour les Districts d'Ambatondrazaka et d'Amparafaravola, et d'environ 60% pour le District d'Anosibe An'ala. Depuis lors, la population a augmenté dans tous les Districts, cependant, pour les trois Districts ci-dessus relatés, les chiffres restent toujours inférieurs à leur niveau de 2017.

Il convient de noter par ailleurs que, le Professeur RAZAFIARISON Zo Lalaina de l'Université d'Antananarivo explique, à titre d'information générale, que les immigrants du sud de Madagascar seraient impliqués dans l'extraction de minéraux et de pierres précieuses, et que beaucoup d'entre eux résident dans la Région d'Alaotra-Mangoro.



Source:
- Humanitarian Data Exchange, OCHA
- OpenStreetMap (openstreetmap.org)

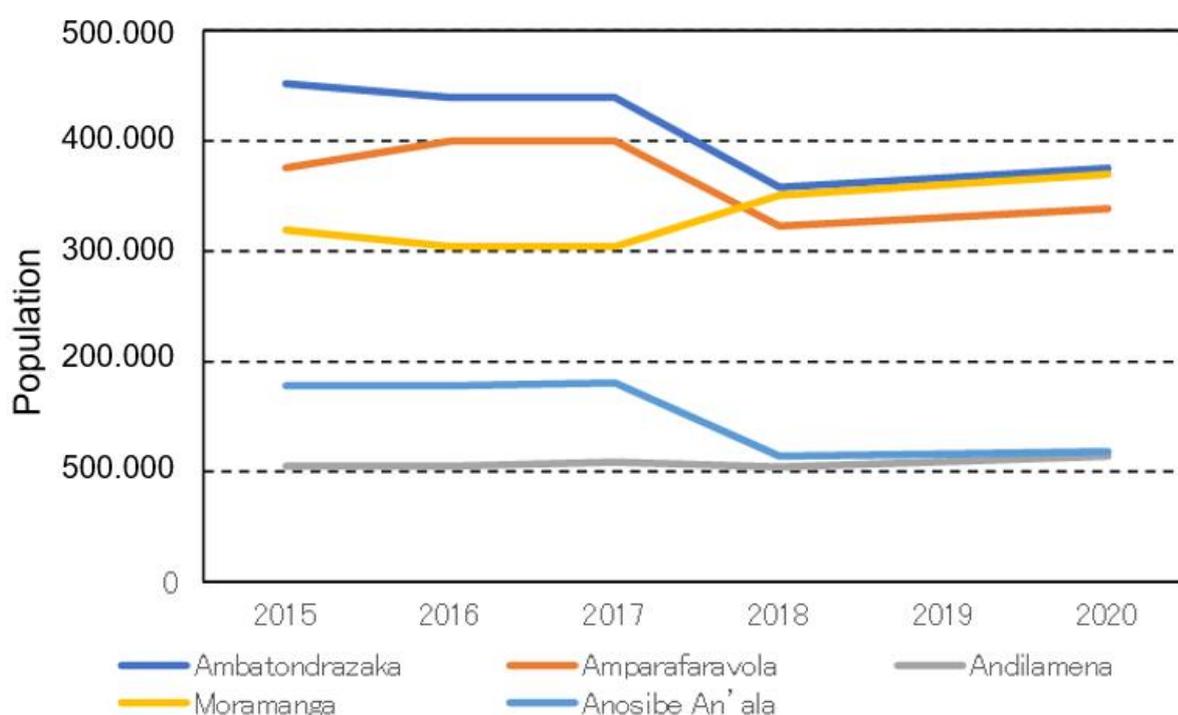
Figure 0.3 Topographie des zones autour de la Région d'Alaotra-Mangoro

Tableau 0.3 Évolution de la population de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro

Zone (District / Région)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ambatondrazaka	451.878	439.570	439.570	358.164	366.470	375.183
Amparafaravola	375.742	399.729	399.729	322.691	330.415	338.494
Andilamena	104.908	104.908	108.904	104.236	109.232(*)	114.206
Moramanga	319.148	304.175	304.175	350.724	360.113	369.814
Anosibe An'ala	178.202	178.202	180.709	114.116	116.185	118.439
AM 県	1.429.878	1.426.584	1.433.087	1.249.931	1.282.415	1.316.136

(*) : Selon la source d'information utilisée, ce nombre est de 360.113, cependant, il s'élèverait à 109.232 si on l'estime en tenant compte de la population de la Région d'Alaotra-Mangoro de la même année et des années précédentes et suivantes.

Source: Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2020



Source: Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2020

Figure 0.4 Évolution de la population de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro

3.1.4 Ethnies

Les Sihanaka forment l'ethnie la plus nombreuse de la Région d'Alaotra-Mangoro. Les Merina viennent en deuxième position en termes de nombre et les Betsimisaraka en troisième, suivis des Betsileo et des Antandroy. Le reste de la population se compose de groupes ethniques minoritaires.

Les Sihanaka se subdivisent en trois sous-groupes ethniques à savoir :

- i) Les Tamoronala : Ils vivent dans les forêts près de l'équateur. Leurs caractéristiques ressemblent à celles des Betsimisaraka.
- ii) Les Tetivohitra : Ils vivent dans les collines. Leurs caractéristiques et coutumes ressemblent à celles des Merina.
- iii) Les Tanaroro : Ils exercent des activités d'élevage dans les alentours du lac Alaotra

Par ailleurs, les Betsimisaraka maintiennent leur tradition d'exploitation forestière consistant à déboiser et collecter des produits forestiers dans les forêts naturelles. Certaines ONG signalent que leurs activités de subsistances traditionnelles ont un rapport négatif avec la conservation des forêts naturelles dans les montagnes.

3.1.5 Agriculture

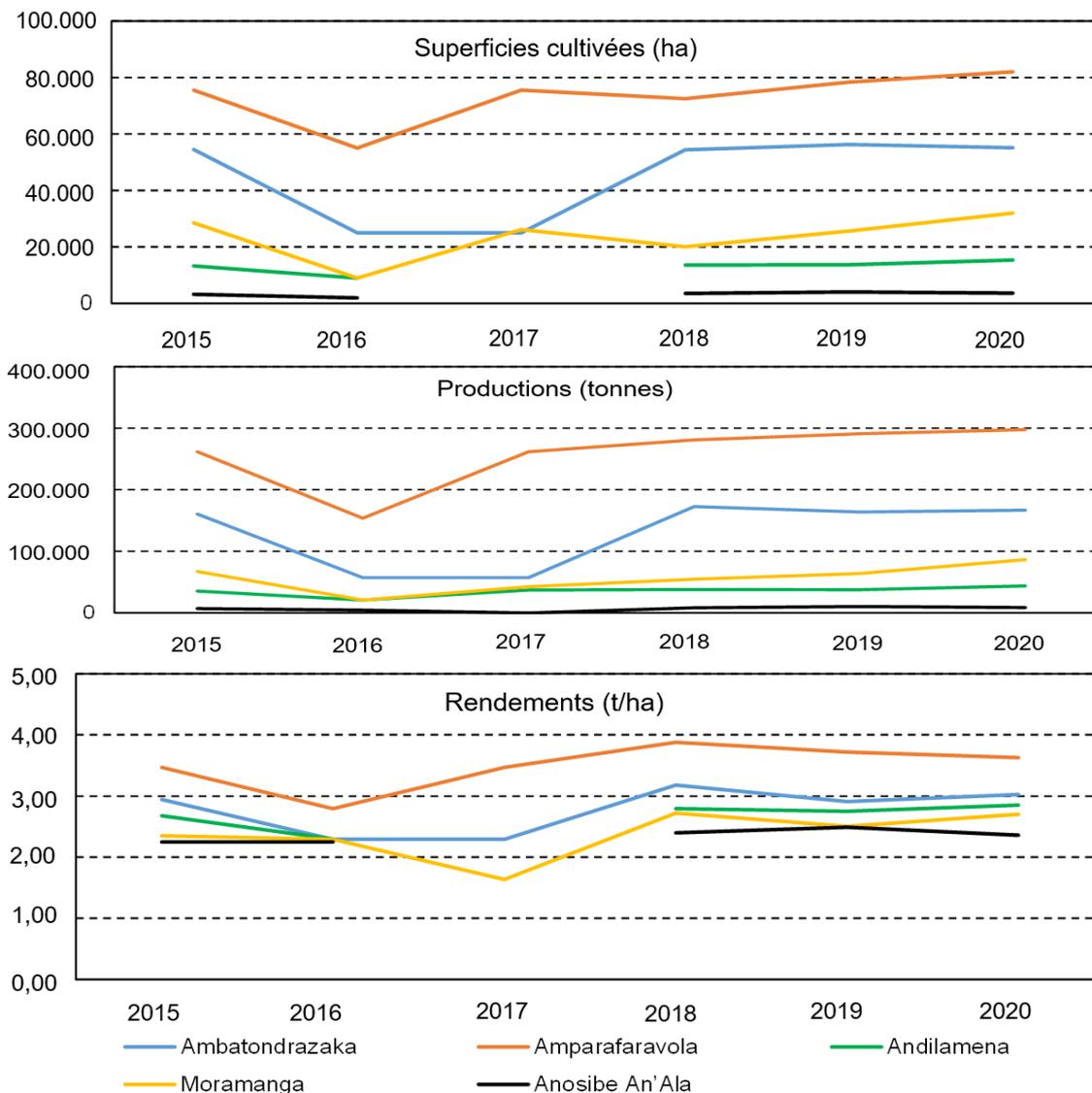
(1) Riziculture

La production de riz de la Région d'Alaotra-Mangoro représente plus de 12% de la production nationale, et la riziculture peut être considérée comme la principale industrie de cette Région. Le tableau 3.1.4 et la figure 3.1.5 indiquent les superficies cultivées, les productions et les rendements unitaires de riz de chaque District de la Région pour la période 2015-2020.

Tableau 0.4 Superficies cultivées, productions et rendements de riz de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro

Dist rict	Désignation (unité)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ambatondrazaka							
	Superficie cultivée (ha)	54.500	25.000	25.000	54.350	56.300	55.100
	Production (t)	160.450	57.300	57,300	172.765	163.900	166.800
	Rendement unitaire (t/ha)	2,94	2,29	2,29	3,18	2,91	3,03
Amparafaravola							
	Superficie cultivée (ha)	75.500	55.000	75.500	72.500	78.300	82.050
	Production (t)	261.950	153.712	261.950	281.275	291.050	297.743
	Rendement unitaire (t/ha)	3,47	2,79	3,47	3,88	3,72	3,63
Andilamena							
	Superficie cultivée (ha)	13.250	9.000	1.580*	13.580	13.700	15.400
	Production (t)	35.500	20.666	37.200	37.914	37.700	43.932
	Rendement unitaire (t/ha)	2,68	2,30	23,54*	2,79	2,75	2,85
Moramanga							
	Superficie cultivée (ha)	28.550	9.000	26.140	20.045	25.600	32.000
	Production (t)	67.100	20.635	42.708	54.581	64.100	86.467
	Rendement unitaire (t/ha)	2,35	2,29	1,63	2,72	2,50	2,70
Anosibe An'ala							
	Superficie cultivée (ha)	3.200	2.000	32.000*	3.525	4.100	3.650
	Production (t)	7.200	4.495	-	8.445	10.200	8.615
	Rendement unitaire (t/ha)	2,25	2,25	-	2,40	2,49	2,36
Total de la Région d'Alaotra-Mangoro							
	Superficie cultivée (ha)	175.000	100.000	160.220	164.000	178.000	188.200
	Production (t)	532.200	256.808	399.158	554.980	566.950	603.557
	Rendement unitaire (t/ha)	3,04	2,57	2,82	3,38	3,19	3,21

N.B. : (*) Valeurs exclues de la figure 3.1.3 étant considérées comme aberrantes
Source: Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2020



Source: Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2015-2020
Figure 0.5 Superficies cultivées, productions et rendements de riz de chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro

En termes de superficie cultivée et de production, le District d'Amparafaravola est au premier rang, suivi de Moramanga, Andilamena et Anosibe An'ala par ordre décroissant. En ce qui concerne le rendement unitaire, l'ordre entre les Districts de Moramanga et Andilamena a été légèrement inversé, tandis que les autres Districts ont maintenu les mêmes positions.

(2) Autres cultures

Pour les autres principaux produits agricoles, les données (2016-2020) sont récapitulées dans le tableau 3.1.5. À noter toutefois que les données de production autres que celles de riz n'ont pas été trouvées dans le document de statistiques 2015.

Tableau 0.5 Production des principaux produits autres que le riz dans la Région d'Alaotra-Mangoro

(Unité: tonne)

Culture	2016	2017	2018	2019	2020
Maïs	30.000	30.000	30.000	9.525	9.225
Haricot	33.000	33.000	33.000	4.959	5.200
Manioc	60.000	60.000	60.000	31.200	250
Arachide	16.000	16.000	16.000	-	935

Source: Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2016-2020

Les données présentées sont identiques pour trois années consécutives de 2016 à 2018, ce qui laisse supposer que les enquêtes et les agrégations des données n'ont pas été effectués avec précision. Il a lieu également d'étudier la cause de la baisse subite de la production de chaque culture enregistrée en 2018-2019.

(3) Élevage

Les nombres de têtes des 4 principaux types de bétail (bovin, porcine, volaille et ovin) élevés dans chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro et sur tout le territoire malagasy sont récapitulés dans le tableau 3.1.6. Les nombres des principaux animaux élevés dans chaque District sont illustrés également sous forme de graphiques à la figure 3.1.6. Dans la Région de l'Alaotra-Mangoro, parmi ces 4 principaux types de bétail, bien que les effectifs de bovins, de porcins et d'ovins ne représentent que 2% des chiffres au niveau national, ceux de volailles représente près de 20% de la production nationale. On peut dire, en d'autres termes, que l'aviculture occupe aussi une place importante dans les industries de cette Région.

Les tendances en termes d'effectifs de bétail varient d'un district à l'autre : le District d'Andilamena se place en premier rang pour le nombre de têtes de bovins, tandis que les porcins et les volailles sont le plus souvent élevés dans le District d'Ambatondrazaka, et les ovins dans le District d'Ambatondrazaka.

Il convient toutefois de noter que les statistiques montrent que les effectifs des animaux d'élevage restaient inchangés de 2018 à 2019 à l'exception des bovins, ce qui laisse supposer que les enquêtes et les agrégations des données ont été insuffisamment mises en œuvre pour l'année 2019.

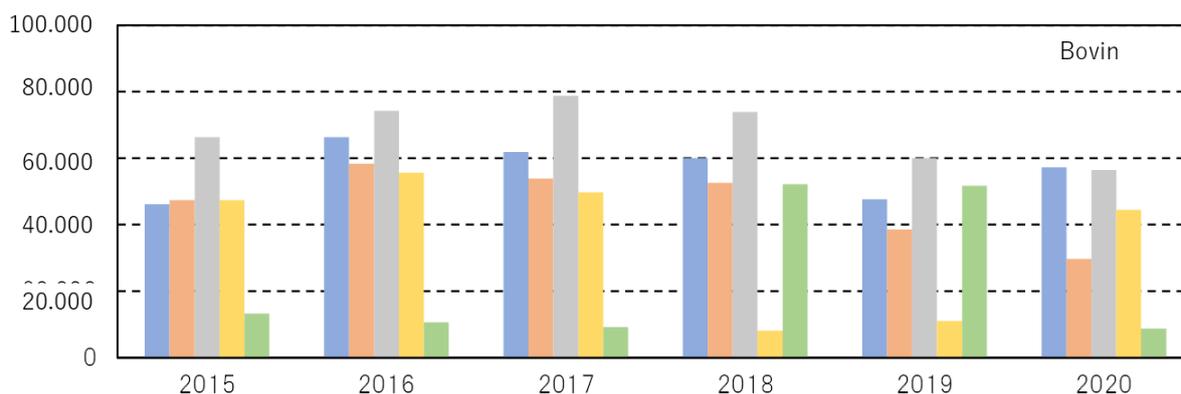
Tableau 0.6 Nombre de têtes de bétail dans chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro et dans tout Madagascar

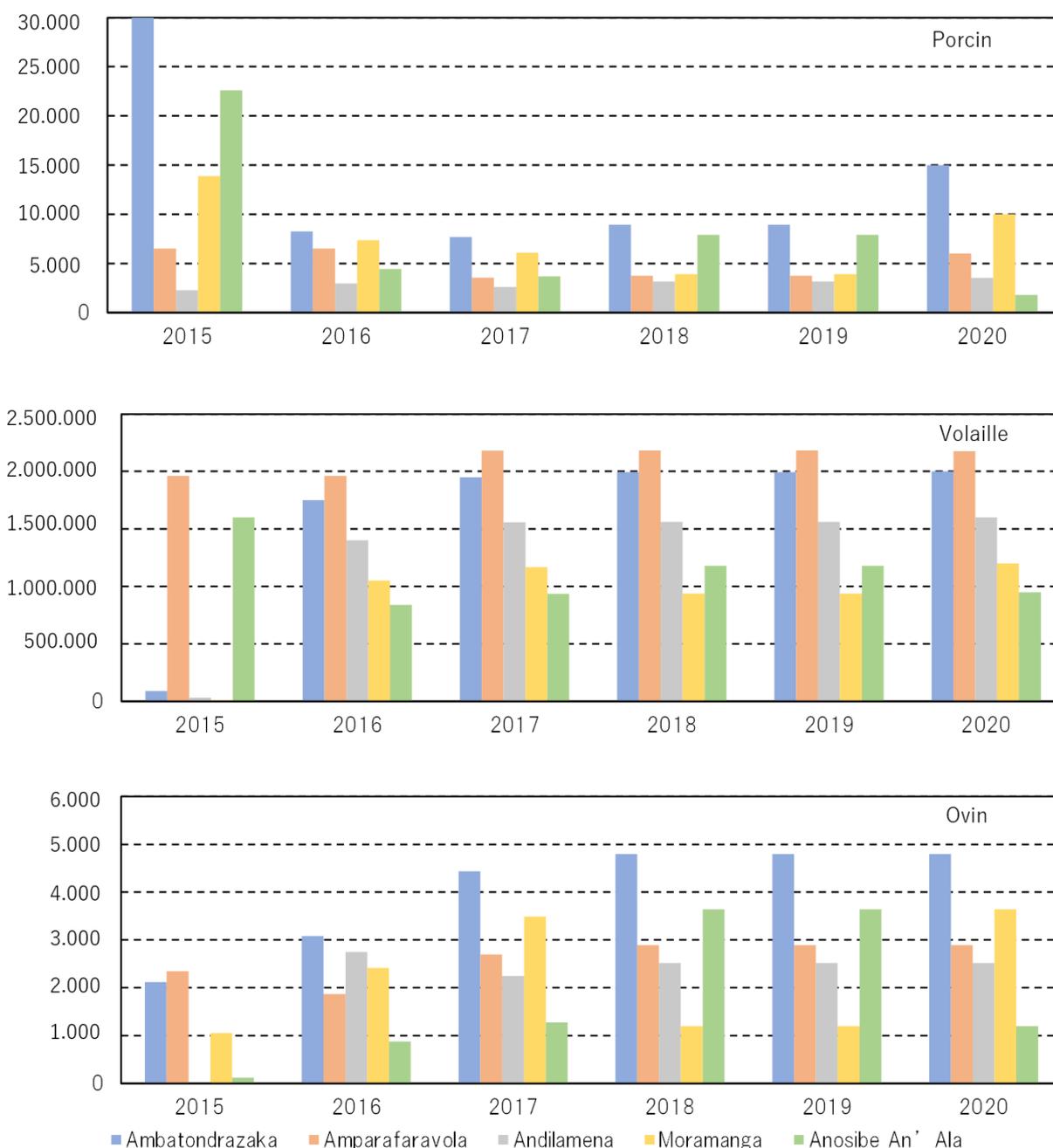
(Unité: tête)

District	Type de bétail	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ambatondrazaka ¹⁾							
	Bovin	46.184	66.250	61.888	59.998	47.646	57.164
	Porcin	63.910	8.260	7.684	8.932	8.932	15.000
	Volaille	90.137	1.750.000	1.947.750	1.992.682	1.992.682	2.000.000
	Ovin	2.121	3.080	4.435	4.801	4.801	4.801
Amparafaravola ¹⁾							
	Bovin	47.299	58.300	53.842	52.540	38.521	29.704
	Porcin	6.490	6.490	3.534	3.759	3.759	6.000
	Volaille	1.960.000	1.960.000	2.181.480	2.182.539	2.182.539	2.200.000
	Ovin	2.345	1.870	2.694	2.894	2.894	2.894

District	Type de bétail	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Andilamena ¹⁾							
	Bovin	66.324	74.200	78.682	73.855	59.956	56.426
	Porcin	2.275	2.950	2.609	3.165	3.165	3.500
	Volaille	31.400	1.400.000	1.558.200	1.560.365	1.560.365	1.600.000
	Ovin	-	2.750	2.250	2.519	2.519	2.519
Moramanga ¹⁾							
	Bovin	47.336	55.650	49.710	8.132	10.992	44.451
	Porcin	13.869	7.375	6.084	3.886	3.886	10.000
	Volaille	11.496	1.050.000	1.168.650	936.606	936.606	1.200.000
	Ovin	1.057	2.420	3.489	1.200	1.200	3.642
Anosibe An'ala ¹⁾							
	Bovin	13.300	10.600	9.239	52.169	51.680	8.716
	Porcin	22.600	4.425	3.700	7.901	7.901	1.800
	Volaille	1.600.000	840.000	934.920	1.179.551	1.179.551	950.000
	Ovin	120	880	1.278	3.642	3.642	1.200
Toute la Région d'Alaotra-Mangoro ¹⁾							
	Bovin	220.443	265.000	253.361	246.694	208.795	196.461
	Porcin	109.144	29.500	23.611	27.643	27.643	36.300
	Volaille	3.693.033	7.000.000	7.791.000	7.851.743	7.851.743	7.950.000
	Ovin	5.643	11.000	14.146	15.056	15.056	15.056
Tout Madagascar ²⁾							
	Bovin	10.280.300	10.301.490	10.322.680	8.605.900	8.700.000	8.598.979
	Porcin	1.625.200	1.669.000	1.703.000	1.731.100	1.763.200	1.755.609
	Volaille	37.124.000	37.920.000	38.717.000	39.488.000	40.276.000	41.142.000
	Ovin	858.300	854.700	851.000	841.270	856.150	869.323
Région d'Alaotra-Mangoro / Tout Madagascar							
	Bovin	2,1%	2,6%	2,5%	2,9%	2,4%	2,3%
	Porcin	6,7%	1,8%	1,4%	1,6%	1,6%	2,1%
	Volaille	9,9%	18,5%	20,1%	19,9%	19,5%	19,3%
	Ovin	0,7%	1,3%	1,7%	1,8%	1,8%	1,7%

Source: 1) Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2015-2020
2) FAOSTAT





Source: Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2015-2020

Figure 0.6 Nombre de têtes de bétail dans chaque District de la Région d'Alaotra-Mangoro

(4) Pêche

La Région d'Alaotra-Mangoro est située à l'intérieur du pays. Bien que le principal lieu des activités de pêche soit le lac Alaotra, le document statistique « Monographie Régionale Alaotra Mangoro » rapporte des volumes de captures réalisés dans d'autres lieux.

Ledit document statistique présente des volumes agrégés de consommations locales et d'exportation hors de la région ainsi que des nombres de pêcheurs et d'associations de pêcheurs existants dans la région, dont les données depuis 2015 sont récapitulées dans le tableau 3.1.7.

Tableau 0.7 Volume de poissons capturés, nombre de pêcheurs et nombre d'associations de pêcheurs dans la Région d'Alaotra-Mangoro

Désignation		2015	2016	2017	2018	2019	2020
Production halieutique (tonne)	Consommation dans la Région	181	60.300	400	500	623	1.538
	Exportation vers d'autres régions	603	20.119	150	330	330	553
Nombre de pêcheurs		1184	467	7224	1.750	3.550	3.700
Nombre d'associations		32	13	36	47	ND	ND

Source: Monographie Régionale Alaotra Mangoro Année: 2015-2020

Il y a lieu de confirmer les raisons pour lesquelles, en 2016, le volume de captures a considérablement augmenté tandis que le nombre de pêcheurs a significativement diminué. Depuis 2017, le volume de captures a tendance à augmenter progressivement, ainsi que les volumes de consommation dans la Région et l'exportation hors de la Région.

Il est à noter toutefois que, alors que le document statistique de 2019 présente la récapitulation des données sur les volumes de captures réalisés dans les Districts d'Ambatondrazaka, d'Amparafaravola et de Moramanga respectivement, dans le document de 2020, on ne trouve que des chiffres totaux des trois Districts. Des méthodes cohérentes d'agrégation des données ou de mise en œuvre d'enquêtes s'avèrent nécessaires afin d'augmenter la crédibilité des documents statistiques.

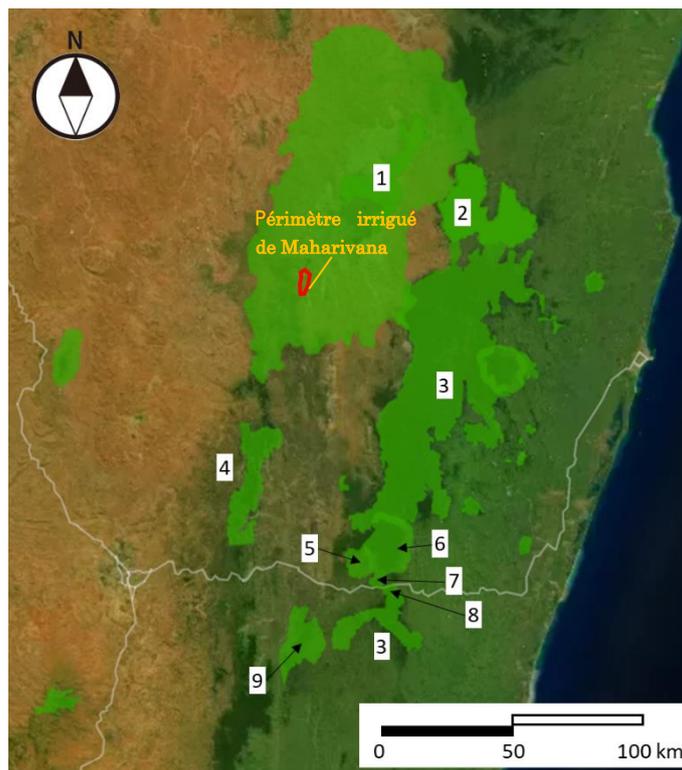
3.1.6 Environnement

(1) Environnement naturel de la Région d'Alaotra-Mangoro

Dans la Région d'Alaotra, la représentation de la végétation est très variée selon la situation géographique, et peut être divisée grossièrement en deux catégories : la zone englobant le lac Alaotra et le bassin versant d'Andilamena qui se trouve dans le Nord, et le corridor forestier qui s'étend dans les parties sud et est de la Région. La zone englobant le lac Alaotra et le bassin versant d'Andilama dispose principalement de deux types de végétation, dont la prairie à graminée (bozaka) et les fougères et arbustes qui se plaisent en sols siliceux. En outre, dans cette dernière, notamment dans la zone humide alluviale riveraine, se développe le Zozolo (*Typhonodorum LiudleYanum*), une plante vivace à feuilles persistantes de la famille des Araceae. Par ailleurs, des forêts hydrophiles se répartissent dans la partie sud-est du bassin, cependant, dont la majorité de ces forêts ont disparu dû, entre autres, à la culture sur brûlis. Quant à la végétation de la partie sud-est de la Région, elle se caractérise par une forêt naturelle, considérée comme importante aussi bien en termes de qualité qu'en termes de quantité.

(a) Parcs nationaux et aires protégées

La figure 3.1.7 et le tableau 3.1.8 montrent les parcs nationaux et les aires protégées de la Région d'Alaotra-Mangoro, qui figurent dans la Base de données mondiale sur les aires protégées (WDPA). Dans la zone cible de la présente étude se trouvent le lac Alaotra et la zone humide de Totorofotsy, qui sont inscrits sur la liste Zones humides d'importance internationale Ramsar. La zone d'étude inclut, en outre, des zones classées ou protégées en tant que parcs nationaux ou lieux de production des ressources naturelles. La zone cible du présent projet inclut le lac Alaotra et les zones humides qui l'entourent.



Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude en se référant à : <https://www.protectedplanet.net>
Figure 0.7 Localisation des parcs nationaux et des aires protégées dans la Région d'Alaotra-Mangoro (zone encadrée en rouge : le périmètre irrigué de Maharivana)

Tableau 0.8 Liste des aires protégées dans la Région d'Alaotra-Mangoro

No.	Désignation	Catégorie UICN	Superficie(km ²)	Catégorie (mentionnée en anglais ou en français dans le document de source)
1	Lac Alaotra : les zones humides et bassins versants	V	7.225 (dont sur face du lac : 424,8)	Ramsar Site, Wetland of International Importance
2	Forêt Zahamena	II	692,49	National Park
3	Forêt Ankeniheny Zahamena	VI	3.691,9	Reserve de ressource naturel
4	Complexe Anjozorobe-Angavo	V	411,02	Paysage Harmonieux Protégé
5	zone humide de Torotorofotsy	-	97,64	Ramsar Site, Wetland of International Importance
6	Parc national Mantadia	II	330,07	National Park
7	Parc national Analamazaotra	II	26,53	National Park
8	Parc national Maromizaha	-	19,4	National Park
9	Parc national Mangabe-Ranomena- Sahasarotra	-	271,32	National Park

Catégorie UICN II: Parc national(zone gérée principalement dans le but de protéger les écosystèmes et à des fins récréatives)
V:Paysage protégé (zone gérée principalement dans le but d'assurer la conservation de paysages et à des fins récréatives)

VI: Zone de gestion de ressources protégées (zone gérée principalement à des fins d'utilisation durable des écosystèmes naturels)

Source: le tableau a été établi par l'équipe d'étude en se référant à : <https://www.protectedplanet.net>

Un document statistique publié par la Région, bien que ses données ne concordent pas avec celles de la WDPA, indique qu'il existe trois zones classées en aires protégées dans la partie sud-est d'Alaotra-Mangoro à savoir : (i) le Parc national d'Andasibe-Mantadia (10.000 ha), (ii) la Réserve spéciale d'Andasibe-Mantadia (810 ha), et (iii) la forêt d'Ankeniheny faisant partie d'une aire protégée (26.500 ha). Ces zones protégées abritent une grande diversité végétale: 150 espèces observées dans celle d'Ankeniheny et 700 espèces dans celle d'Andasibe-Mantadia, dont 77% sont des espèces originaires.

(b) Flore

Le tableau 3.1.9 présente des espèces de plantes représentatives de la Région d'Alaotra-Mangoro. La bande forestière qui s'étend dans la partie orientale de la Région est constituée en majeure partie de forêts primaires tropicales avec des populations d'arbres de 15 m à 25 m de hauteur, voire parfois jusqu'à 30 m (Hintsina, Nanto, Kijy, Varongy, Rotra, Palissandre, Ramy etc.). On y trouve également de nombreuses espèces d'orchidées. Cependant, ces forêts sont en diminution constante, dû notamment à la surexploitation pour le bois d'œuvre et la déboisement pour la plantation d'arbustes. La forêt secondaire se développent un certain temps après le déboisement de la forêt primaire, toutefois, elle devient un taillis, composé de fougères, de bambous et de ravenala. Les espèces de plantes prolifiques et dominantes sont celles d'arbustes comme harongana (*Harungana madagascariensis*:LC), dingadingana (*Psiadia altissima*:LC), takoaka (*Rubus mollucanus*: -), longoza (*Aframomum Angustifolium*:LC), etc.

À noter que les espèces classifiées dans les différentes catégories dans la liste rouge de l'UICN sont énumérées ici avec leur nom scientifique et leur catégorie. Les catégories taxonomiques utilisées dans ce document sont les suivantes, énumérées dans l'ordre décroissant du degré de préoccupation : « Éteint (EX) », « En danger critique (CR) » « En danger (EN) » « Vulnérable (VU) » « Quasi menacé (NT) » « Préoccupation mineure (LC) » , «Données insuffisantes (DD) ».

Tableau 0.9 Principales espèces végétales répertoriées dans la Région d'Alaotra-Mangoro

Catégorie	Espèce (nom local ou nom scientifique)
Espèce originaire	Varongy, Nanto, Rotra, Tavolo, Voamboana, Famelona, Volomborona
Espèce d'origine étrangère	Kinina (<i>Eucalyptys spp</i>), <i>Accacia spp</i> , <i>Grevillea spp</i> , <i>Pinus spp</i> , Polonia
Plante médicinale	Mandravasaroetra, Vahona, Vonenina, Talapetraka, Ravitsara, Rambiazina

Source: le tableau a été établi par l'équipe d'étude en se référant à : Monographie Régionale Alaotra-Mangoro (2020)

(c) Faune

La faune de la Région d'Alaotra-Mangoro peut être classée en cinq catégories, selon leur zone géographique, à savoir : le corridor forestier Zahamena à l'est du lac, la zone humide d'Alaotra, le corridor forestier sud-est, la zone humide de Totorofotsy et la zone forestière d'Amboasary. Parmi celles-ci, deux zones sont d'une importance majeure dont une description est donnée ci-dessous.

1) Corridor forestier Zahamena

La Région concernée, et notamment le Parc national de Zahamana, abrite le plus d'espèces de reptiles et d'amphibiens parmi toutes les aires protégées de Madagascar : jusqu'à présent, 46 espèces de reptiles et 62 espèces d'amphibiens ont été identifiées. En outre, *Paloedura masobe*, une nouvelle et précieuse espèce de reptile, a été découverte, à laquelle une haute priorité en matière de protection est accordée. En ce qui concerne les mammifères de petite taille, 18 espèces ont été identifiées dans le Parc national de Zahamana dont 2 sont des nouvelles espèces de Tenrecidae.

2) Zone humide d'Alaotra

La zone humide d'Alaotra est connue notamment pour la présence d'habitats des espèces de poissons, d'oiseaux et de lémuriens, cependant, de nombreux animaux de cette zone sont menacés d'extinction :

Oiseaux: Le Fuligule de Madagascar <connu localement sous le nom d' Onjy> (nom scientifique : *Aythya innotata* : CR) est menacé d'extinction, le Grèbe de Delacour < Vivin' Alaotra > (*Tachybaptus rufolavatus* : EX) a déjà disparu et d'autres espèces sont déclarées en danger parmi lesquelles le Grèbe malgache (*Tachybaptus pelzelinii* :EN) et le Héron de Humblot (*Ardea humbloti* : EN).

Poissons: À l'heure actuelle, le lac d'Alaotra et la zone humide qui l'entoure n'abritent que 4 à 5 espèces de poissons. Elles sont majoritairement des espèces d'origine étrangères à l'exception de quelques espèces originaires dont le nombre d'habitats est minime. Les carpes royales, les black-bass etc., sont en diminution, tant en nombre qu'en taille (poids).

Lémuriens: Les plantes qui poussent dans la zone humide d'Alaotra constituent les seuls habitats des familles de lémuriens. Cependant ces habitats sont en déclin en raison des pressions de développement, entre autres celles entraînées par la pratique de cultures sur brûlis. Dans ces circonstances, Hapalémur gris d'Alaotra ou bandro (*Hapalemur griseus alaotrensis*) est classé en « CR » sur la liste rouge de l'UICN.

Tableau 0.10 Principales espèces animales répertoriées dans la Région d'Alaotra-Mangoro

Classification	Espèce (nom local ou nom scientifique)
Lemuridae	Bandro, AieAie, Tsitsihy, Varika mavo, Hataka, Antidy, Godroka, Simpona, Varikandana, Babakoto, Varika mena
Reptiles	Tanalahy, Do, Menarana, mandotra, Bemavo, maroandavaka
Amphibiens	Sahona Mena (<i>Mantella spp</i>)
Oiseaux	Aythia innotata, Tachybatus rufolavatus
Mammifère	Fanihy
Poissons	Rheocles sikorae, Ratsikia legedrii

Source: le tableau a été établi par l'équipe d'étude en se référant à : Monographie Régionale Alaotra-Mangoro (2020)

(2) Environnement du lac Alaotra et de ses alentours

(a) Généralités

Le lac Alaotra et les zones humides qui l'entourent, s'étendant sur une superficie totale de 722.500 incluant entre autres la surface du lac d'environ 20.000 ha, celle d'une plaine marécageuse de 23.500 ha, et aussi des rizières inondées de 117.000 ha, ont été inscrits sur la Liste de Ramsar le 09 septembre 2003.

Ce site est un bon exemple représentatif d'une zone humide naturelle de la région biogéographique de la partie orientale de Madagascar, englobant neuf des vingt types de marécages existants à l'intérieur des terres identifiés par le système de classification de Ramsar, et sept des dix types de marécages artificiels. La cuvette d'Alaotra, située dans la partie nord de la zone, abrite la végétation pouvant grosso modo être classée en trois types: Premièrement, la végétation de prairie dominée par les zozoro (*Cyperus madagascariensis*), appelée « Zetra », qui occupe la majorité des surfaces des bassins versants d'Alaotra. Ensuite, il y a la végétation qui se présente sous forme d'éponge et qui flotte à la surface du lac. Et en fin, les forêts ombrophiles qui se développent notamment dans les parties est et sud de la cuvette.

En ce qui concerne la faune, neuf espèces de mammifères sont identifiées, parmi lesquelles la Petite civette indienne (*Viverricula indica*:LC), la galidie unicolore (*Salanoia concolor*:VU), des rongeurs (*Brachyuromys betsileonsis*, *Rattus*:LC, *Suncus marinus*, *Microgalus cowani*, *Suncus marinus*) et dont deux sont originaires du pays (l'Hapalémur gris d'Alaotra (*Hapalemur griseus alaotrensis*: CR) et le Microcèbe roux (*Microcebus rufus*: VU)¹

Comme oiseaux, soixante-douze espèces sont identifiées dont environ cinquante sont présentes en permanence. Les espèces dont la présence est souvent observée sont : *Anas melleri* (EN), *Anas hottentota* (LC), etc.² Comme cela est mentionné plus haut, deux espèces sont en danger d'extinction.

Quant aux poissons, neuf espèces sont présentes dont six sont originaires du pays (Fony gasy ou Marakely (*Paratilapia polleni*: VU), Le Katrana (*Rheocles alaotrensis*: EN), *Ratsirakia legendrei*:DD Zono, Pirina (*Rheocles sikorae*: DD), Menazipo (*Aurecleus alaotrensis*) Toho ou Sondry (*Gobuis aenofuseus*). *Tilapia zillii*, *Oreochromis macrochir*, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus*, le Fibata (*Ophiocephalus striatus*), *Gambusia holbrooki*, *Cyprinus carpio* et *Carassius auratus* sont des espèces d'origine étrangère identifiées, dont le tilapia représente 84,02% des populations de poissons³.

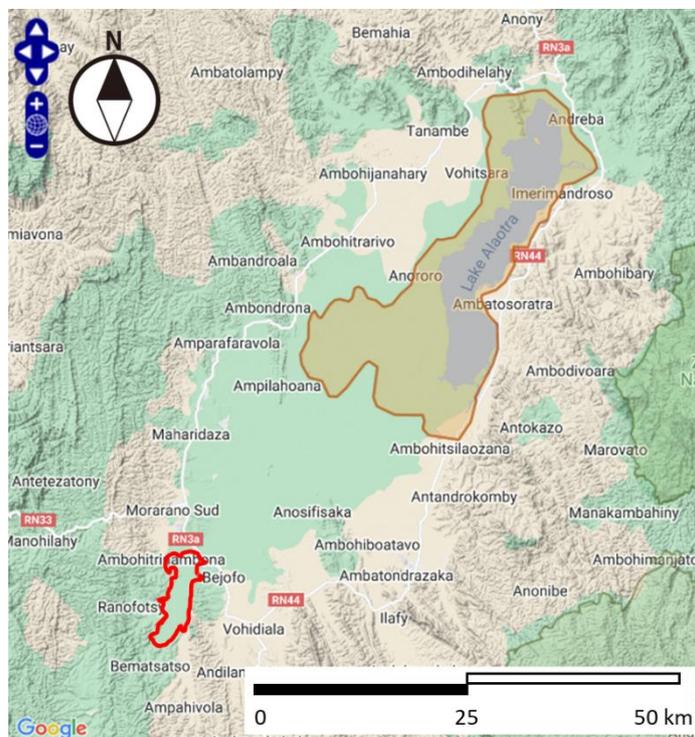
¹ Pidgeon (1996)

² Mutschler(2001)

³ Pidgeon(1996)

(b) Écosystème

Le lac d'Alaotra et les zones qui l'entourent sont classés sur les listes des ZICO et des ZCB sous le nom de NPA Lac Alaotra. La figure 3.1.9 montre la Délimitation du site NPA Lac Alaotra, et le tableau 3.1.11 récapitule les espèces précieuses observées .



Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude en se référant à: BirdLife International (2023)

Figure 0.9 Délimitation du site NPA Lac Alaotra (zone encadrée en rouge: périmètre irrigué de Maharivana)

Tableau 0.11 Espèces précieuses observées sur le site de NPA Lac Alaotra

Nom/Appellation	Nom scientifique	Catégorie de l'UICN pour la liste rouge	Critère IBA	Critère KBA
Oiseaux				
Madagascar Pochard	<i>Aythya innotata</i>	CR	A1, A2, A3	
Meller's Duck	<i>Anas melleri</i>	EN	A1, A2, A3, A4i	
Madagascar Grebe	<i>Tachybaptus pelzelinii</i>	EN · VU	A1	
Alaotra Grebe	<i>Tachybaptus rufolavatus</i>	EX · CR	A1, A2, A3	
Madagascar Rail	<i>Rallus madagascariensis</i>	VU · —	A2, A3	
Madagascar Pond-heron	<i>Ardeola idea</i>	EN	A1	
Madagascar Heron	<i>Ardea humbloti</i>	EN	A1	
Madagascar Snipe	<i>Gallinago macrodactyla</i>	VU	A2, A3	A1b
Madagascar Marsh-harrier	<i>Circus macroscelis</i>	EN	A1	
-	<i>Circus maillardi</i>	-		
Poissons				
-	<i>Paratilapia polleni</i>	VU	-	

Nom/Appellation	Nom scientifique	Catégorie de l'UICN pour la liste rouge	Critère IBA	Critère KBA
Katrana	<i>Rheocles alaotrensis</i>	EN	-	
Mammifères				
Alaotra Reed Lemur	<i>Hapalemur alaotrensis</i>	CR		A1e

N.B. : valeurs A1) Espèces menacées à l'échelle mondiale, A2) Espèces à aire réduite, A3) Espèces à biome restreint, A4) Congrégations, A1b) $\geq 1.0\%$ de la population mondiale et ≥ 10 unités reproductrices d'une espèce vulnérable, A1e) Taille de la population entière d'une espèce en danger ou en danger critique d'extinction

Source: *Tableau compilé par l'équipe d'étude sur la base de « BirdLife International (2023) »*
www.keybiodiversityareas.org

(c) Activités de conservation

Trois niveaux officiels de systèmes de gestion pour la conservation des zones humides Ramsar ont été mis en place. Il s'agit du niveau national CONARAMS (Comité national Ramsar), du niveau régional Alaotra RANOSOA et du niveau communal des associations de gestion (avec la participation des Communes, des associations de pêche et d'agriculture). Cependant, selon des enquêtes menées, il n'existe pas d'allocation de budget public, ce qui fait que les ONG et autres organisations développent leurs propres plans d'activités, préparent des propositions et reçoivent des financements de la part de partenaires de développement étrangers pour mener à bien leurs activités.

DURRELL, qui est également l'ONG qui a soutenu l'inscription du lac Alaotra et de ses environs en tant que site Ramsar, est une organisation dont l'activité principale est la gestion environnementale des sites Ramsar, visant ainsi à maintenir l'écosystème grâce à une gestion appropriée de quatre zones : les plans d'eau, les zones humides, les rizières et les périmètres d'irrigation. DURRELL est basée au bord du lac Alaotra ainsi que dans la capitale Antananarivo, et vise à une gestion efficace de l'environnement en soutenant le tourisme écologique (Eco Tours) sur les sites, de concert avec les différentes associations et les chefs de quartiers. Elle n'effectue pas son propre suivi environnemental, mais mène des enquêtes concernant les populations végétales et animales lorsque des fonds sont disponibles, généralement une fois tous les cinq ans, afin de suivre les tendances en matière d'augmentation et de diminution desdites populations. Le représentant de DURRELL a fait remarquer que la plus grande pression sur le lac Alaotra vient des activités de subsistance des personnes vivant à proximité, telles que la conversion des zones humides en terres agricoles par la culture sur brûlis et la pêche, et qu'il pourrait être possible d'assurer la conservation des zones humides en offrant différentes options de subsistance ou en améliorant les installations d'irrigation afin d'augmenter le rendement des terres cultivées.

TOLOTANANA, une autre ONG, vise à améliorer l'environnement autour des rivières, de la source à l'aval, principalement par des activités de conservation de l'environnement telles que la plantation d'arbres et la sensibilisation des populations locales. Par ailleurs, elle encourage les populations locales à utiliser du compost fabriqué à partir de peaux de bananes, d'épluchures de légumes, etc. En tant qu'organisation conseillère dans le projet de reboisement visant ainsi à endiguer l'érosion des sols, dans ses récentes activités, TOLOTANANA collabore notamment avec Conservation International (CI) dont les activités sont financées par les fonds du GCF/GEF. Le projet de reboisement est mené sous la forme d'une activité d'une durée de trois ans, pouvant se poursuivre sur une période de 10 ans si l'évaluation est positive.

3.2 Situation actuelle du périmètre irrigué de Maharivana

3.2.1 Étendue et topographie du périmètre irrigué

(1) Levés topographiques

La seule carte topographique existante couvrant le périmètre irrigué de Maharivana est celle de l'Institut géographique national de Madagascar (FTM), à l'échelle 1 :10.000. Comme l'élaboration du plan des installations d'irrigation nécessite une carte à l'échelle 1 :10.000, nous avons effectué des levés topographiques de la zone concernée.

Étant donné que la zone cible de l'étude est très vaste, s'étendant sur une surface de 219 km², nous nous sommes dirigés vers l'utilisation de produits satellites et avons acheté des données AW3D de haute résolution et des ortho-images AW3D. Les données AW3D sont des produits développés et mis en vente par une collaboration entre Remote Sensing Technology Center of Japan (RESTEC) et NTT DATA Corporation.

(a) Spécification des produits achetés

Les spécifications des produits qui ont été achetés sont les suivantes :

- Surface cartographiée : 219 km²
- Données topographiques AW3D haute résolution
 - Type : MNT (Modèle numérique de terrain)
 - Résolution : 1 m
 - Option : courbes de niveau 1 m, Temps et zones désignés sur une partie de la zone
 - Précision de la position (horizontale)
 - ◇ Sans GCP, Précision absolue : 2 m RMSE (erreur quadratique moyenne) / 3 m CE90 (erreur de calcul au 90ème centile)
 - ◇ Sans GCP, Précision relative : 1 m RMSE / 1,5 m CE90
 - Précision de la position (verticale)
 - ◇ Sans GCP, Précision absolue : 2 m RMSE / 3 m CE90
 - ◇ Sans GCP, Précision relative : 1 m RMSE / 1,5 m CE90
- Ortho-images AW3D
 - Type : Quatre bandes de couleurs
 - Résolution : 50 cm
 - Date de prise de vue : le 12 août 2021 (un jour avec un ciel peu nuageux a été choisi)

(b) Levé en utilisant des points de contrôle au sol

L'orthoréctification en utilisation des points de contrôles au sol (abrégé « GCP » en anglais) permet de rehausser la précision des produits satellites. Dans le cadre de la présente étude, il était prévu de réaliser un levé en utilisant des GCP par le biais d'une sous-traitance locale, cependant, en raison de l'aggravation des situations sécuritaires, la majeure partie de la zone d'étude est devenue inaccessible pour l'équipe d'étude et l'entreprise sous-traitante qu'elle a engagée. A titre d'alternative, l'équipe a décidé de demander à la DRAE la mise en œuvre du levé en utilisant des GCP.

- Nom de l'étude : Levé avec l'utilisation de GCP
- Période de mise en œuvre du levé : De novembre à décembre 2022
- Entité de réalisation : DRAE

Toutefois il a été décidé de ne pas procéder à l'orthorectification des données AW3D à l'aide des GCP, compte tenu des erreurs importantes qui ont été identifiées à l'issue d'une comparaison entre les résultats du levé en utilisation des GCP et les données des réseaux géodésiques nationaux. Le détail du levé avec l'utilisation de GCP est présenté en annexe 1.



Source: DRAE
Figure 3.2.1 Levé avec l'utilisation de GCP



Source: DRAE
Figure 3.2.2 Levé de la hauteur de végétation

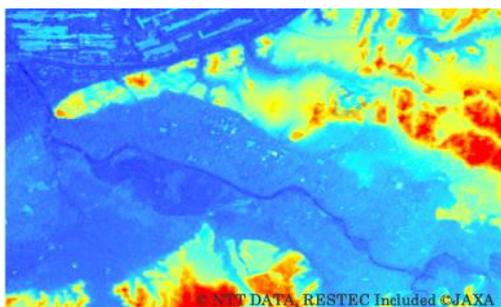
(c) Levé de la hauteur de végétation

Les données d'élévation que l'on peut acquérir directement des satellites sont sous la forme de modèles numériques de surface (MNS), qui incluent les hauteurs des entités géographiques (arbres, bâtiments, etc.). Or, les données à utiliser pour l'élaboration du plan des installations d'irrigation devront être sous la forme de modèles numériques de terrain (MNT). Il y a lieu alors de supprimer les données des entités géographiques des MNS pour créer des modèles MNT. Ce procédé est appelé « filtrage ».

Pour les endroits où une végétation dense s'étend sur une vaste surface, rendant difficile d'évaluer la hauteur du sol, l'équipe d'étude s'est proposée de réaliser un levé de la hauteur de la végétation sur le terrain pour acquérir des données à utiliser comme référence pour le filtrage. Cependant, en raison de la dégradation des situations sécuritaires, l'équipe a demandé à la DRAE de mettre en œuvre ces travaux de levé sur le terrain.

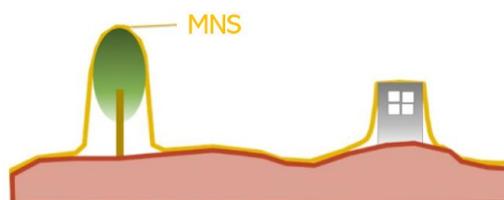
- Nom de l'étude : Levé de la hauteur de végétation
- Période de mise en œuvre du levé : Novembre 2022
- Entité de réalisation : DRAE

Le détail du levé de la hauteur de végétation est présenté en annexe 1.

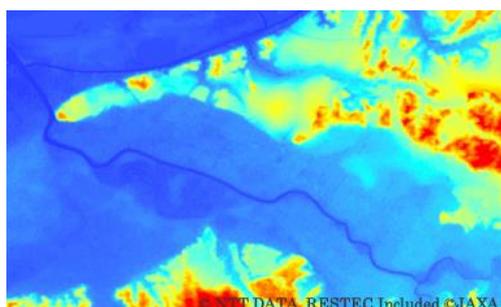


Source: NITDATA Corporation et RESTEC

Figure 3.2.3

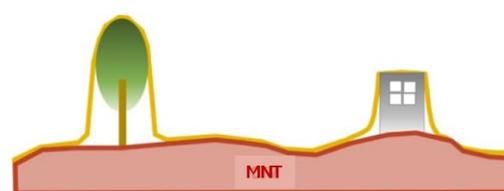


Exemple du MNS



Source: NITDATA Corporation et RESTEC

Figure 3.2.4



Exemple du MNT

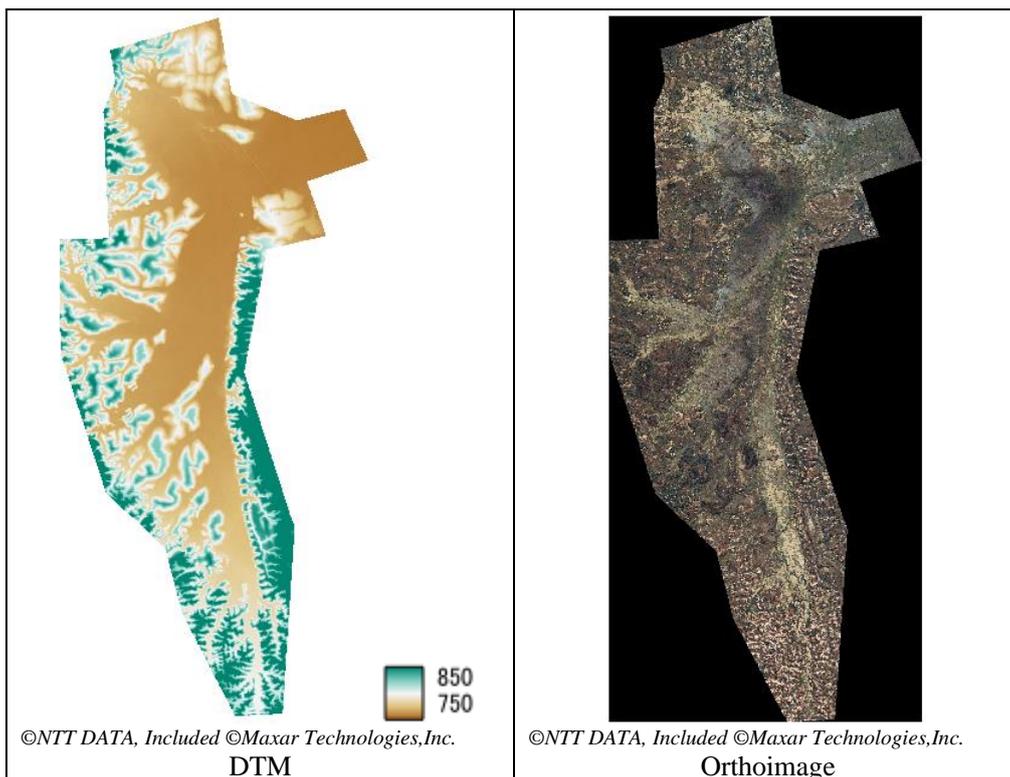
(d) Temps et zones désignés sur une partie de la zone

La zone d'étude se présente sous l'apparence d'une zone humide et, partiellement inondée durant une longue période en saison des pluies. Comme l'imagerie satellitaire ne permet pas de mesurer la surface du sol sous l'eau, il est nécessaire d'effectuer, pour les terres inondées en saison pluvieuse, une mesure avec des images qui ont été prises pendant la saison sèche.

La précision de mesure des données AW3D est renforcée par l'utilisation des images stéréo Crosstrack prises sur différentes orbites et celles qui sont traitées en masse par le biais du procédé stéréoscopique multi-vues. Comme les données des images qui ont été prises pendant la saison des pluies et celles qui ont été prises pendant la saison sèche sont mitigées, l'analyse des images de la saison sèche des endroits inondés durant la saison des pluies a été effectué à part, avec les données extraites à cette fin.

(e) Données topographiques mises en place

Un MNT et une orthoimage du périmètre irrigué de Maharivana sont présentés ci-dessous :



Source: Equipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure 3.2.5 MNT et Orthoimage du périmètre irrigué de Maharivana

(2) Images satellitaires

Des images satellites ont été achetées en vue de confirmer l'étendue des inondations causées par la rupture de barrages. Les spécifications des produits achetés sont les suivantes :

- Images du satellite QuickBird (Maxar)
 - Date de prise de vue : Le 12 novembre 2004
 - Résolution: 60 cm
 - Superficie de la zone d'imagerie : 52 km²
- Images des satellites Pleiades (Airbus)
 - Date de prise de vue : Le 05 mai 2018
 - Résolution: 50 cm
 - Superficie de la zone d'imagerie : 53 km²

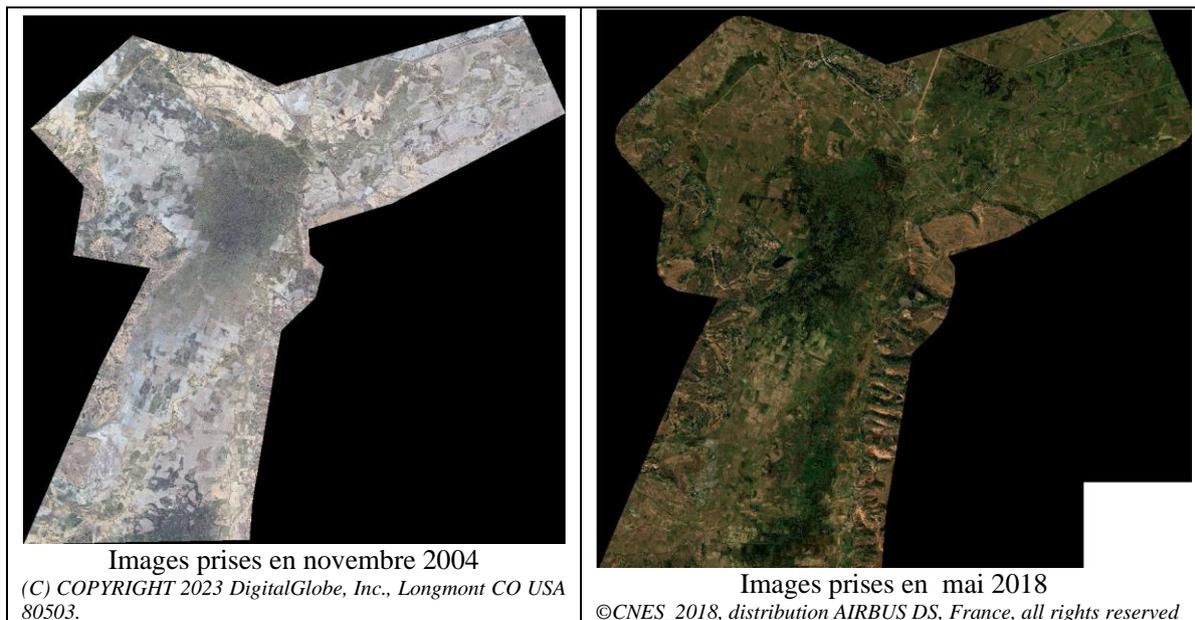


Figure 3.2.6 Images satellitaires utilisées pour l'identification de l'étendue des inondations dans le périmètre irrigué de Maharivana

3.2.2 Météorologie, Hydrologie, Cours d'eau

(1) Cours d'eau

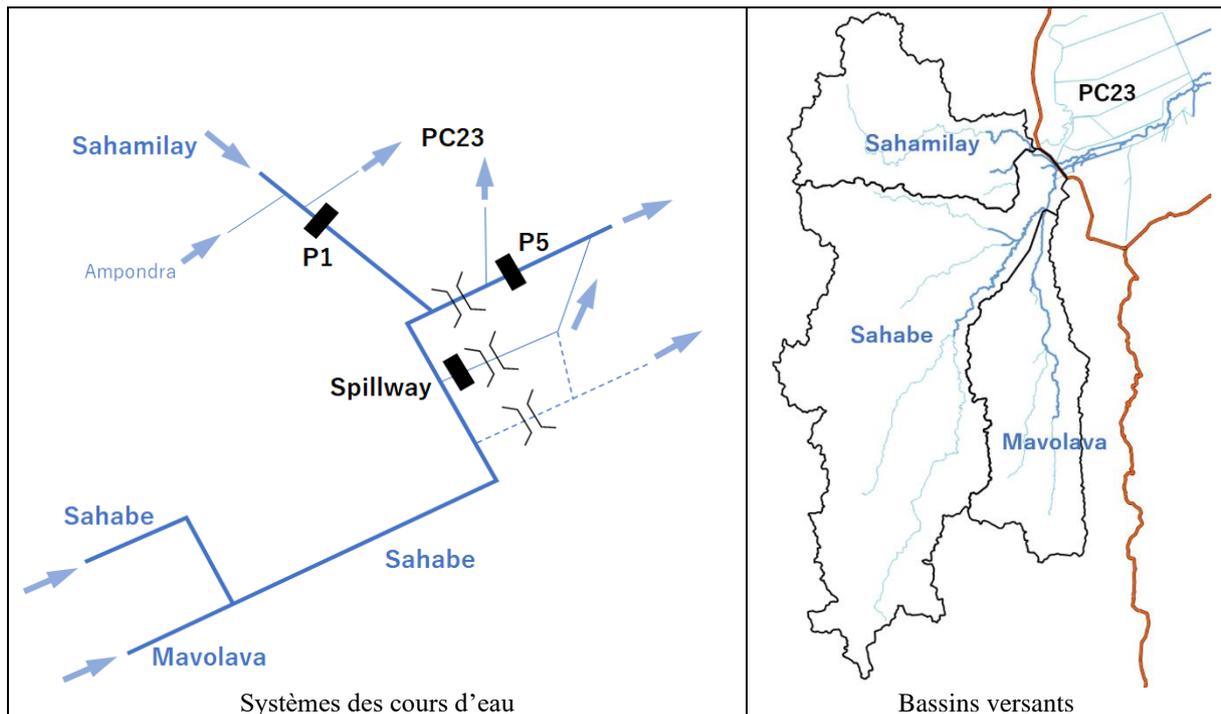
(a) Systèmes des cours d'eau

La Sahabe, d'une longueur approximative de 150 km, prenant sa source au sommet de la montagne, coule dans la partie sud-ouest du lac d'Alaotra. Le périmètre de Maharivana est situé vers le milieu du parcours de cette rivière. Son affluent en rive droite, la Mavolava, et son affluent en rive gauche, la Sahamilahy, la rejoignent respectivement dans les alentours du périmètre irrigué de Maharivana. En aval du confluent de la Sahamilahy, la Sahabe se divise en plusieurs branches, les quelles se rejoignent et se divisent à plusieurs reprises avant de déboucher sur le lac d'Alaotra.

Tableau 3.2.1 Description générale des principaux bassins versants et cours d'eau

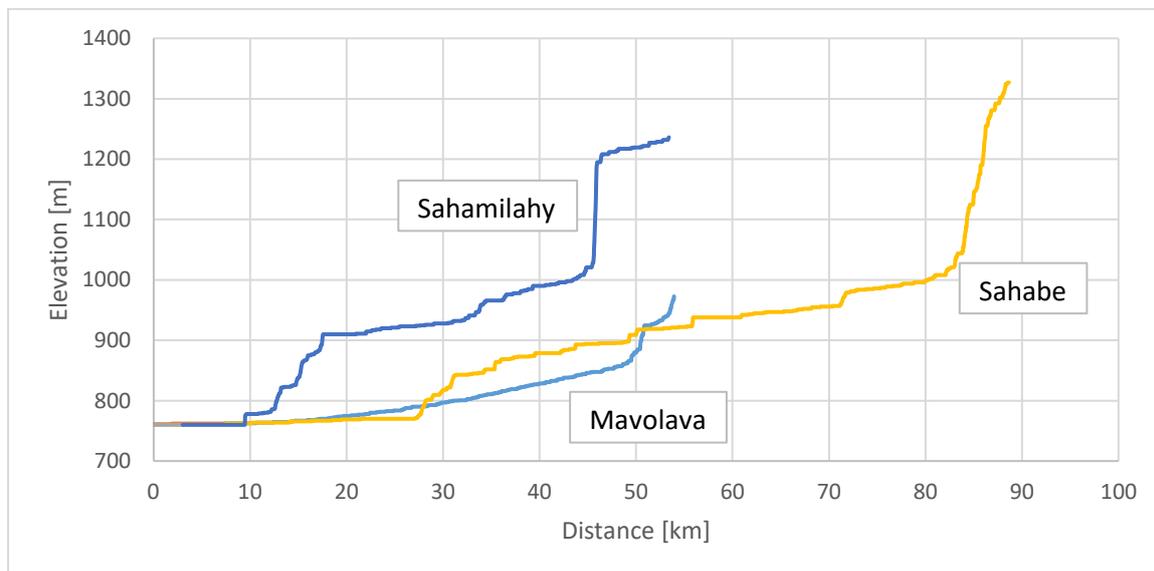
Nom du cours d'eau	Point de mesure	Superficie du bassin versant	Longueur du cours d'eau	Pente du cours d'eau
Rivière Sahabe	RN 3	1.210 km ²	89 km	1:150
Rivière Sahamilahy	Déversoir P1	250 km ²	53 km	1:110
Rivière Mavolava	Confluent avec la Sahabe	257 km ²	54 km	1:250

Source: Équipe d'étude



Source: Equipe d'étude

Figure 3.2.7 Systèmes des cours d'eau et bassins versants dans les alentours du périmètre irrigué de Maharivana



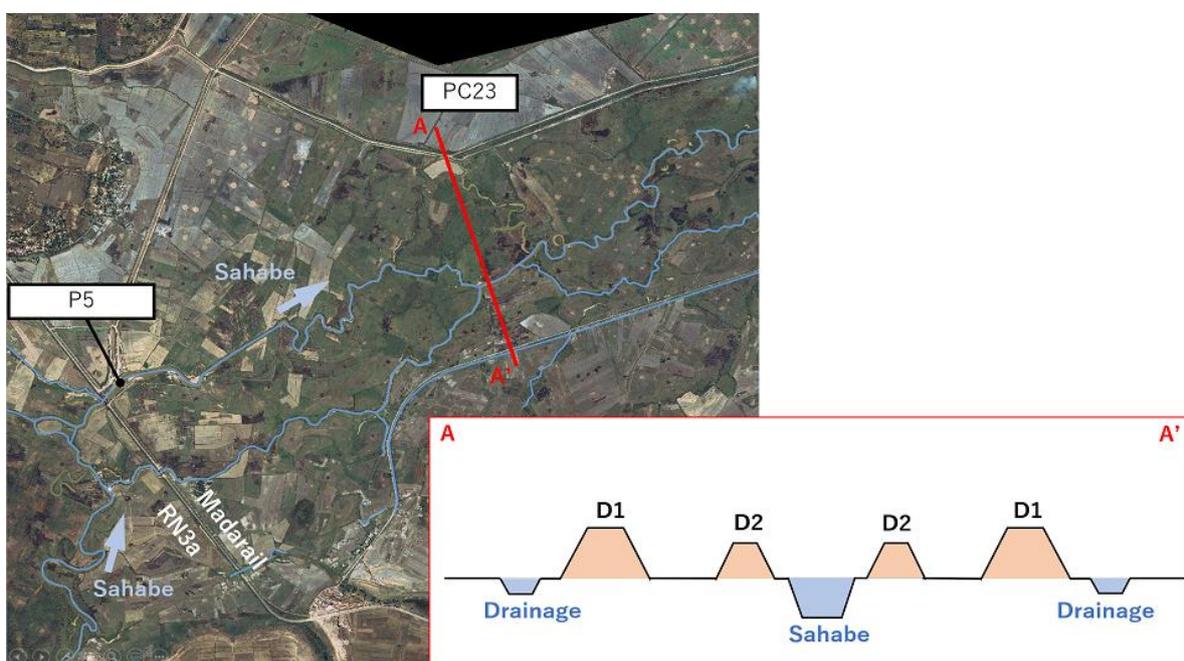
Source: Equipe d'étude

Figure 3.2.8 Profils longitudinaux des cours d'eau

(b) Ouvrages hydrauliques

1) Tronçon de la rivière Sahabe en aval de la RN3 a

Le système d'endiguement sur le tronçon en aval de la RN3 a de la rivière Sahabe se compose de deux digues construites en parallèle. Les digues du côté intérieur (D1 de la figure 3.2.9) ont été construites par la France pour l'assèchement des zones marécageuses le long de la Sahabe. Leur tracé en plan et leur profil en travers se présentent sous forme de lignes droites. Les digues du côté rive (D2 de la figure 3.2.9), quant à elles, semblent avoir été construites par une collaboration entre les agriculteurs, et sont impraticables pour les véhicules : en effet, leur tracé en plan serpente en suivant le cours d'eau, et leur profil en travers présente des irrégularités de la surface. On trouve par endroits des mottes et des pieux en bois, qui semblent avoir été utiliser pour la réparation des brèches (figure3.2.10).



Source: Equipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure 3.2.9 Section transversale de la rivière Sahabe



Lit de la rivière Sahabe, en aval du déversoir P5
(17°48'38.59"S, 48°11'39.58"E)

Partie restaurée de la digue sur la rivière Sahabe
(17°48'29.87"S, 48°12'6.69"E)

Source: Equipe d'étude

Figure 3.2.10 Photos prises lors de l'enquête sur le terrain sur les rives de la rivière Sahabe

2) Ouvrages liés au développement du périmètre PC23

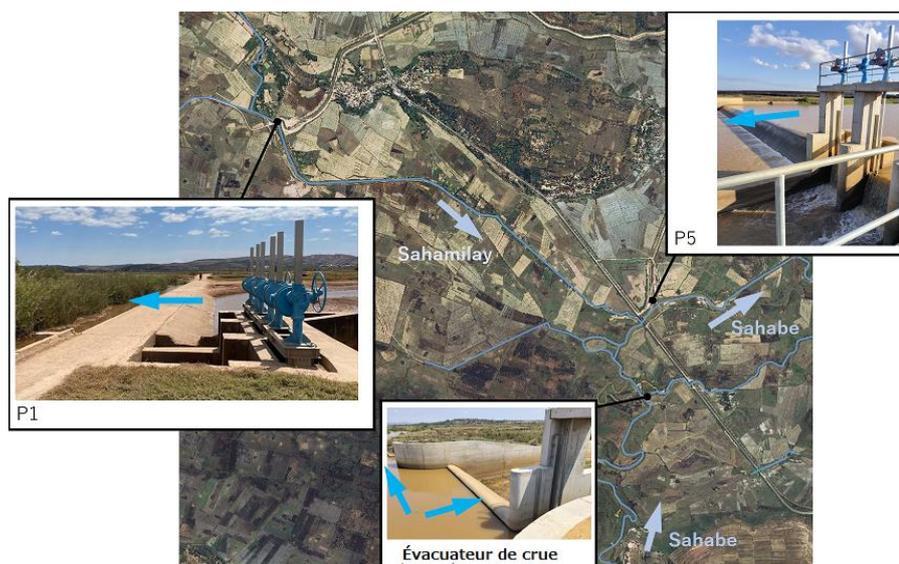
a) Historique du développement

Le périmètre PC23 a été développé depuis les années 1950 et, au fil du temps, le déversoir sur la rivière Sahabe et d'autres ouvrages hydrauliques transversaux ont été réhabilités dans le cadre des projets de coopération financière non remboursable de la JICA.

Tableau 3.2.2 Historique du développement du périmètre PC23

Période	Évènement
1956–1960	Construction d'une digue sur la rive nord (rive gauche) de la rivière Sahabe. – Début du développement du périmètre PC23.
1971–1976	Construction d'un ouvrage de prise d'eau sur la rivière Sahamilahy. Construction d'une prise d'eau provisoire sur la rivière Sahabe. – Achèvement du prototype du système d'irrigation et de drainage du périmètre irrigué PC23
1984–1990	Projet de réhabilitation des installations d'irrigations (incluant des études, les travaux de réhabilitation des installations et le nivellement des rizières) mis en œuvre par la Société malgache d'aménagement du lac Alaotra (SOMALAC) qui est l'organe chargé de l'exécution des projets d'irrigation.
2013	Projet de coopération technique de la JICA : Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres Centrales Madagascar (PAPRiz) : – Construction d'un évacuateur de crue sur un défluent de la rivière Sahabe
2017-2022	Projet de réhabilitation du système d'Irrigation dans le Sud-Ouest du Lac Alaotra (Projet de réhabilitation du PC23 dans le cadre de la coopération financière non remboursable de la JICA) : – Réhabilitation du déversoir sur la rivière Sahamilahy (P1) – Réhabilitation du déversoir sur la rivière Sahabe (P5) – Réhabilitation de l'évacuateur de crue sur le défluent de la rivière Sahabe.

Source: Tableau compilé par l'équipe d'étude en se référant au rapport de l'« Assistance spéciale pour la formation de projet pour le Projet d'irrigation et de gestion des bassins versants dans le sud-ouest du lac Alaotra (PC23 SAPROF), page II-3-29



Source: Equipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure 3.2.11 Localisation des ouvrages concernés dans le périmètre PC23

b) Déversoir sur la rivière Sahamilahy (P1)

Au niveau du déversoir P1, le renouvellement de vannes déversoirs, la réhabilitation de l'ouvrage de prise d'eau, la construction du dessableur et la construction d'ouvrages connexes ont été réalisés dans le cadre du projet de réhabilitation du PC23, financé par la coopération financière non remboursable de la JICA. Il convient de noter toutefois que quant au déversoir de débordement qui était déjà en place, il n'a pas fait l'objet de la réhabilitation dans ce cadre.

c) Déversoir sur la rivière Sahabe (P5)

Au niveau du déversoir P5, la réhabilitation totale de l'évacuateur de crue et de l'écluse, la construction d'une nouvelle prise d'eau, la construction d'un dessableur et la construction d'ouvrages connexes ont été réalisés dans le cadre du projet de réhabilitation du PC23.

Ces ouvrages sont conçus pour évacuer un débit de 160 m³/s dans la section transversal de la rivière Sahabe, dont 107 m³/s par l'évacuateur de crue et 53 m³/s par l'écluse. Le niveau d'eau le plus haut est estimé à 761,3 m. La hauteur du sommet de l'évacuateur de crue est de 760,3 m, et donc la profondeur de débordement est de 1,0 m.

Les vannes de l'écluse s'ouvrent lorsque les sédiments s'accumulent devant le déversoir, pour évacuer les sédiments. Les vannes ne restent pas ouvertes en permanence en cas de crues. Les vannes de l'écluse sont fonctionnelles depuis 2018. Ce sont des vannes de haute performance, n'ayant jamais provoqué de problème pour la prise d'eau. Aucun registre des opérations des vannes n'est tenu.

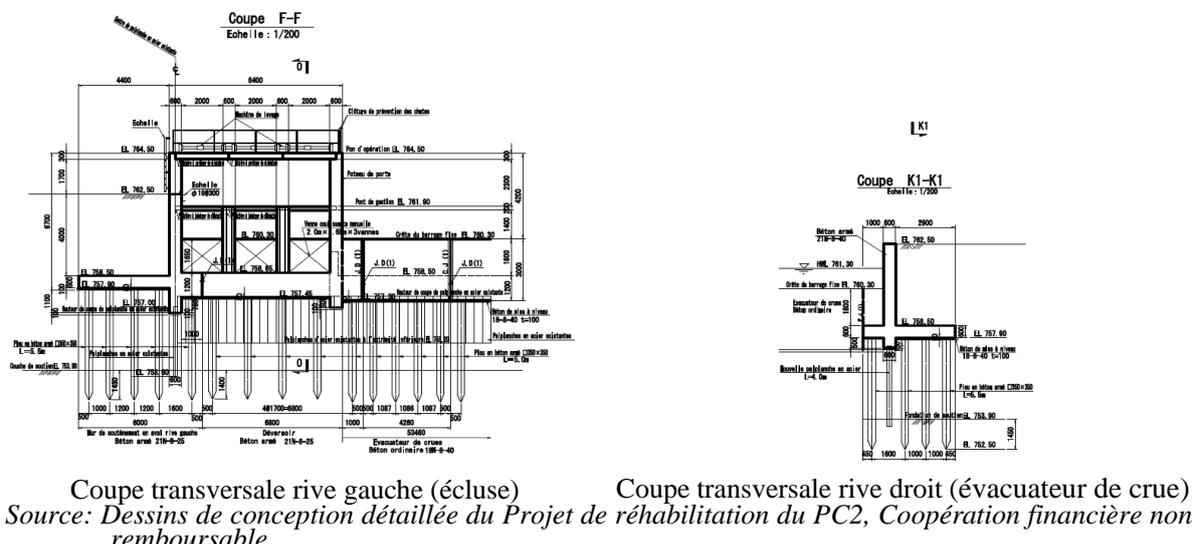


Figure 3.2.12 Coupes transversales des ouvrages P5

d) Évacuateur de crue sur le défluent de la rivière Sahabe.

L'évacuateur de crue a été construit en 2013 dans le cadre du Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les Hautes Terres Centrales Madagascar (PAPRiz), puis réhabilité entièrement grâce au projet de réhabilitation du PC23 financé sous forme de don. Bien qu'il soit appelé « évacuateur de crue », il s'agit en fait d'une installation d'irrigation. Les vannes restent fermées au début de la saison des pluies pour laisser remonter le niveau d'eau de la rivière Sahabe et faire inonder le tronçon en aval. Elles se réouvrent lors des pluies diluviennes pouvant causer des dégâts sur le riz planté dans les rizières.



Pas de pluies (le 19 octobre 2022)

Source: Equipe d'étude



Après les pluies (le 31 octobre 2022)

Figure 3.2.13 Photos prises lors de l'enquête sur le terrain autour de l'évacuateur de crue

Dans le cadre de l'élaboration de la conception de base, l'évacuateur de crue avait été conçu en estimant un débit maximal de $41.5 \text{ m}^3/\text{s}$ dont $29,9 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la partie barrage et $11.9 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la partie vannes. Le niveau d'eau le plus haut était estimé à $761,3 \text{ m}$, la hauteur du sommet du barrage prévue était de $760,5 \text{ m}$, et la profondeur de débordement prévue était donc de $1,3 \text{ m}$. Cependant plus tard, le niveau d'eau maximal a été modifié à 761.8 m lors de l'élaboration de la conception détaillée. Seules les dessins de conception détaillée sont disponibles sans rapport de conception, ce qui ne permet pas de connaître l'historique de ce changement ni la modification éventuelle de l'estimation du débit d'évacuation.

Le fonctionnement de l'évacuateur de crue est assuré par le service administratif de la DRAE et la FAUE. L'ouverture et la fermeture des vannes sont opérées de manière à éviter les dommages causés par les inondations en amont, tout en tenant compte du fait que le niveau d'eau commence à monter environ 24 heures après le début des pluies. Il n'existe aucun registre des opérations de ces vannes.

(c) Observations des niveaux et débits d'eau

Il n'existe aucune station d'observation des niveaux et des débits d'eau dans et autour du périmètre irrigué de Maharivana. Dans le cadre du projet de coopération financière non remboursable de la JICA, une observation des niveaux et des débits a été effectuée sur une période de 4 mois. Et dans le cadre de la présente étude, des jauges de niveau d'eau et des échelles limnimétriques ont été installées sur le site.

1) Observation des niveaux et débits d'eau (2022-2022)

Une observation continue des niveaux et débits d'eau a été effectuée au moyen de jauges de niveau automatique, pour 9 mesures consécutives sur la période de décembre 2021 à mars 2022, dans le cadre du Projet d'irrigation et de gestion des bassins versants dans le sud-ouest du lac Alaotra financé par la coopération financière non remboursable de la JICA (ci-après désigné le Projet de coopération financière non remboursable PC23)

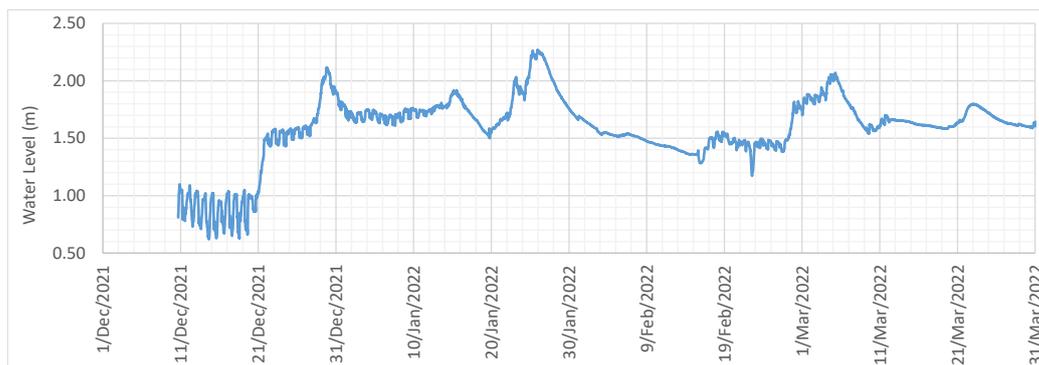
a) Données d'observation

On trouvera ci-dessous la localisation des points d'observation et les résultats de l'observation incluant les données des niveaux et débits d'eau enregistrées par AWLR (Automated Water Level Recorder ou système d'enregistrement automatique du niveau d'eau).



Source : *Projet de coopération financière non remboursable PC23*

Figure 3.2.16 Localisation des points d'observation des niveaux et débits d'eau



Niveau d'eau de référence pour les jauges : inconnu

Source : Projet de coopération financière non remboursable PC23

Figure 3.2.17 Données sur les niveaux d'eau de la rivière Sahabe (Site-1)

Tableau 3.2.3 Résultat de l'observation des niveaux et débits d'eau de la rivière Sahabe

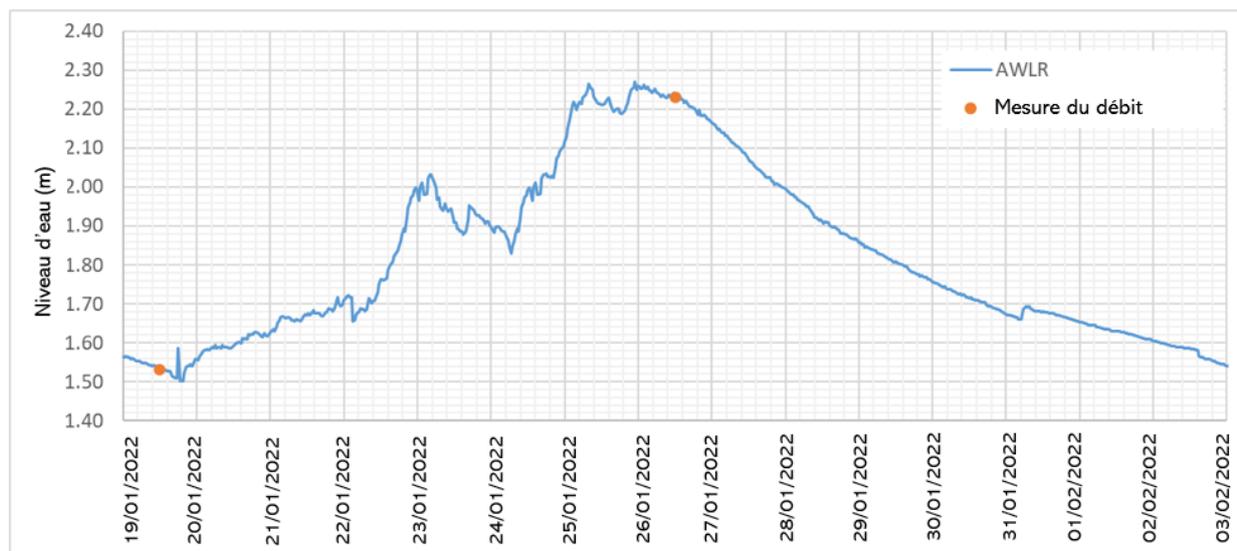
	Site-1			Site-2			Site-3		
	WL	WL	Q	WL	WL	Q	WL	WL	Q
	(m)	(m, AMSL)	(m ³ /s)	(m)	(m, AMSL)	(m ³ /s)	(m)	(m, AMSL)	(m ³ /s)
9-Dec-21	0.85	759.71	0.90						
23-Dec-21	1.48	760.34	13.68						
18-Jan-22	1.62	760.48	23.79	2.76	759.32	5.41	2.05	759.49	0.19
19-Jan-22	1.53	760.30	25.40	2.62	759.18	4.53	2.10	759.54	-
26-Jan-22	2.23	761.09	80.36	3.65	760.21	38.25	2.65	760.09	2.42
16-Feb-22	1.59	760.45	9.68	1.33	757.89	-	1.88	759.32	-
25-Feb-22	1.42	760.28	7.36	1.23	757.79	-	1.85	759.29	-
12-Mar-22	1.61	760.47	23.49	2.35	758.91	1.66	2.33	759.77	-
30-Mar-22	1.54	760.40	18.30	2.30	758.86	-	2.40	759.84	-

Source : Projet de coopération financière non remboursable PC23

b) Inondations (Janvier 2022)

Durant la période d'observation, de grandes inondations ont été enregistrées du 19 janvier au 3 février 2022 : Durant la période d'observation, de grandes inondations ont été enregistrées du 19 janvier au 3 février 2022. Le lendemain, 26 janvier 2022, le niveau de l'eau a atteint une hauteur de 2,23 m et le débit enregistré était de 121,03 mètres cubes par seconde. Le même jour, le niveau de l'eau aurait atteint le sommet de la digue causant ainsi des inondations.

Bien que le manque de données d'observation rende difficile l'évaluation de la probabilité, une pluviométrie de 103,3 mm sur deux jours entre le 22 et le 23 janvier 2022 à la station d'Ambohitsilaozana correspondrait à une probabilité de deux ans (voir tableau 3.2 11). En raison du manque de données, la probabilité ne peut pas être évaluée pour le 25 janvier 2022, date à laquelle le niveau de l'eau et le débit ont atteint leur maximum.



Niveau d'eau de référence pour les jauges : inconnu
Source : Projet de coopération financière non remboursable PC23

Figure 3.2.18 Niveaux et débits d'eau observés de la rivière Sahabe (janvier 2022)



Site-1



Site-3

Source : Projet de coopération financière non remboursable PC23

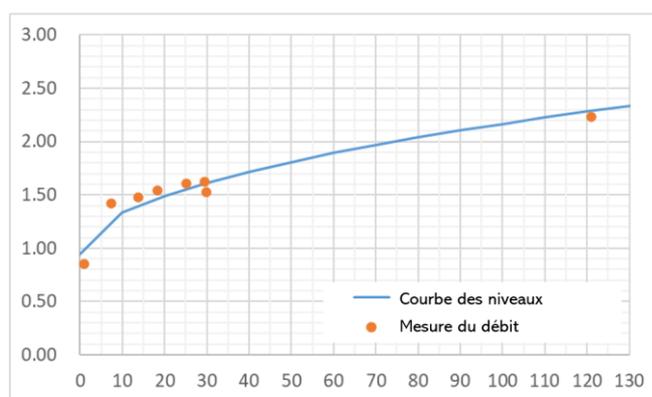
Figure 3.2.19 Images montrant la mise en œuvre de l'observation des niveaux et débits d'eau (le 26 janvier 2022)

2) Analyse des résultats de l'observation des niveaux et débits d'eau (2021-2022)

a) Formule de la relation débit/niveau

L'équipe d'étude a créé une formule de la relation entre le débit et le niveau d'eau, sur la base des données des débits et des niveaux présentées plus haut, pour convertir les valeurs du niveau en débit. Dans cette formule, le niveau d'eau est celui du Site-1, et le débit est la valeur totale des Sites 1,2 et 3.

$$D = A (N - B)^2$$

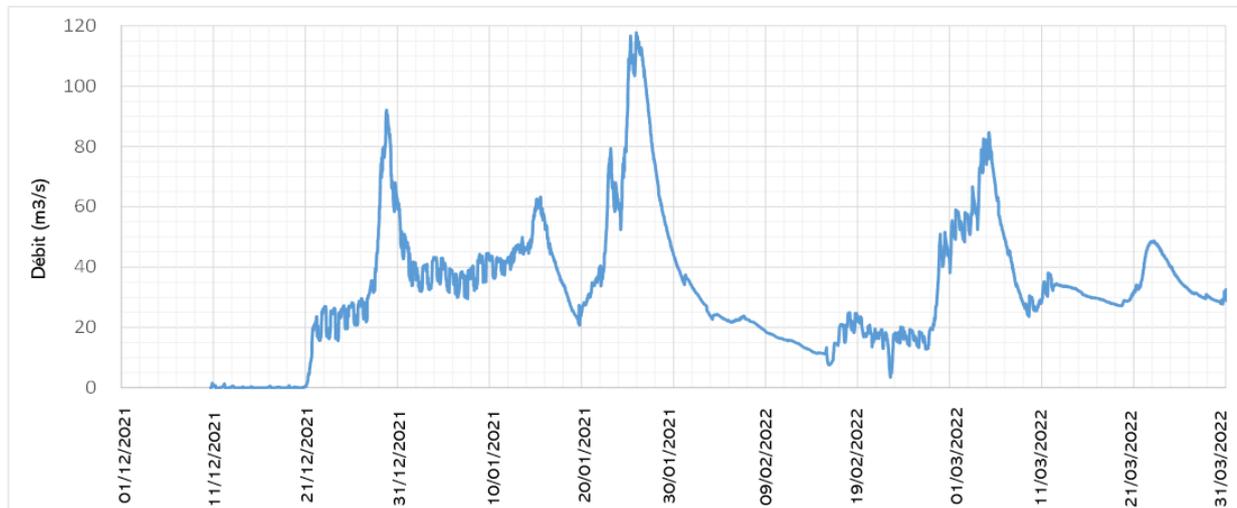


Source: Équipe d'étude

Figure 3.2.20 Relation débit/niveau de la rivière Sahabe

A = 67,36 B = 0,95

D:Débit (m³/s), N:Niveau d'eau (m)



Source: Equipe d'étude

Figure 3.2.21 Débits de crue de la rivière Sahabe

b) Capacité d'écoulement des cours d'eau

La capacité d'écoulement des eaux de crue des cours d'eau y compris la Sahabe (et ses affluents), mesurée au niveau du point d'observation de la RN3 a, était de l'ordre de 120 m³/s (niveau du sommet de la digue). Il est à noter cependant que parcelles alentours sont irriguées par l'ouverture des vannes d'écluse et, sont totalement inondées lorsque le niveau d'eau atteint celui du sommet de la digue. Il faudra effectuer des levés topographiques sur les parcelles irriguées et sur les cours d'eau, pour déterminer le niveau et le débit que la rivière Sahabe peut supporter lors de l'ouverture des vannes d'écluse.

3) Observation des niveaux d'eau (2022-2023)

Des jauges de niveau d'eau ont été fournies et installées sur les sites dans le cadre de la présente étude.

a) Spécifications de la jauge de niveau d'eau

Les jauges de niveau d'eau, dont les spécifications sont présentées ci-dessous, sont fournies. Ce sont des jauges de type Pression absolue de taille réduite, qui permettent de mesurer séparément la pression de l'eau et la pression atmosphérique.

- Fabricant : Geo 5
- Nom du produit : S&DLminiModel-4900
- Types/Qté : Jauge de pression absolue taille réduite x 3 unités,
Baromètre de taille réduite x1 unité
- Plage de mesure : 20 m
- Résolution : 0.03% de la pleine échelle (20.000 mm x 0.03% = 6 mm)
- Nombre de mesures (capacité de mémoire): 60.000
- Durée de vie de la batterie: 6 à 8 ans (si les mesures sont effectuées à intervalles de 10 minutes)
- Dimension : $\varnothing 22$ mm x L160 mm
- Poids : 166 g



<http://www.geo5.co.jp/item/6777>

Figure 3.2.22 Apparence de la jauge de niveau d'eau

b) Installation des jauges de niveau d'eau

Les travaux d'installation des jauges de niveau d'eau et des levés topographiques ont été réalisés du 04 au 07 novembre 2022 par le biais d'une sous-traitance locale.

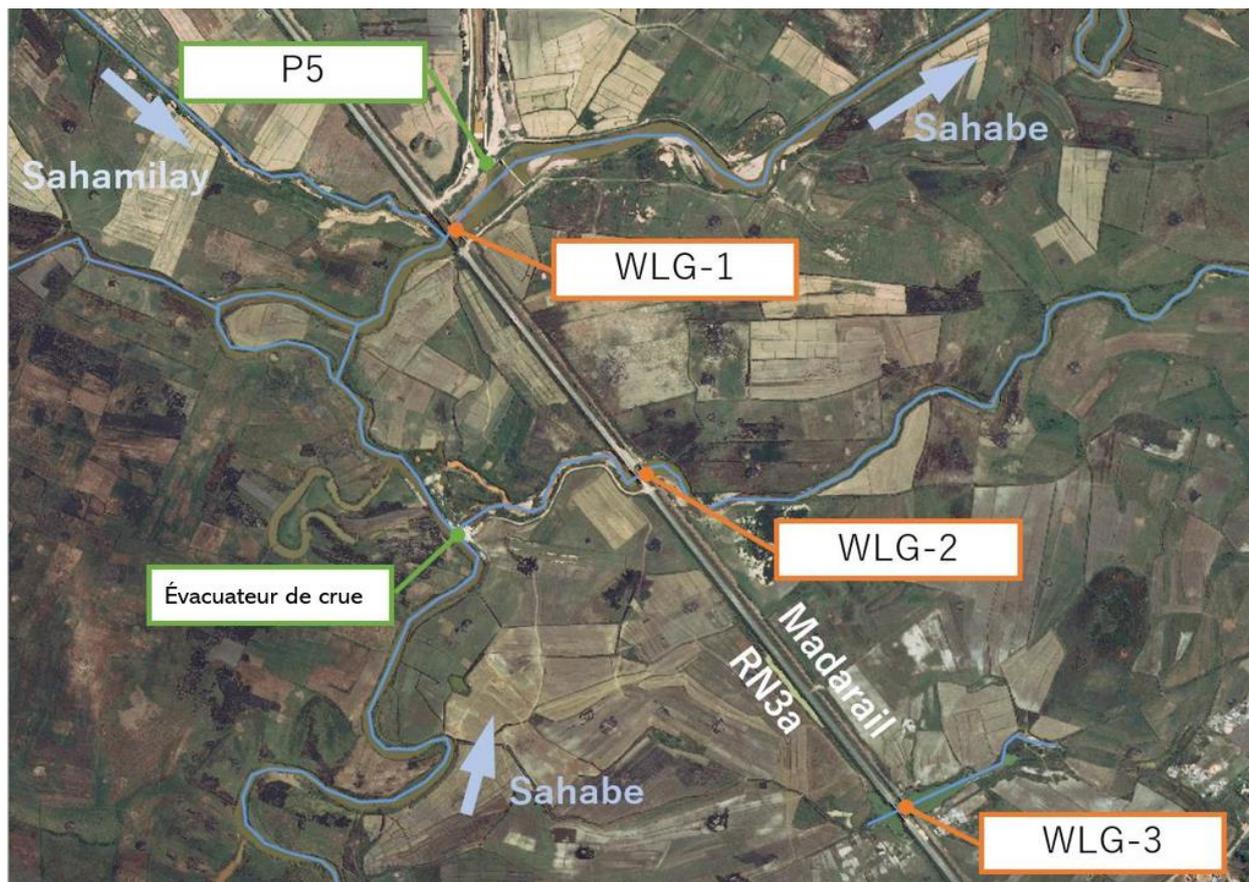
Tableau 3.2.4 Localisation des jauges de niveau d'eau et d'autres équipements

Équipement	Lieu d'installation	Coordonnées géographiques	Hauteur du sommet de l'échelle limnimétrique (m)	Hauteur du pied de l'échelle limnimétrique (m)
Jauge de niveau d'eau / Échelle limnimétrique (WLG-1)	Rivière Sahabe, Pilier du pont ferroviaire	17°48'41.73"S, 48°11'35.81"E	764,48	759,98
Jauge de niveau d'eau / Échelle limnimétrique (WLG-2)	Affluent de la Sahabe, Pilier du pont ferroviaire	17°48'55.51"S, 48°11'46.50"E	761,00	756,50
Jauge de niveau d'eau / Échelle limnimétrique (WLG-3)	Affluent de la Sahabe, Pilier du pont ferroviaire	17°49'14.38"S, 48°12'1.23"E	760,66	756,16
Baromètre	Bâtiment de la DRAE	17°49'41.6"S, 48°25'31.3"E		

Altitude de la référence pour l'échelle limnimétrique : Évacuateur de crue, 764,30 m au-dessus du niveau moyen de la mer

Altitude de la référence pour la jauge de niveau d'eau : Pied de l'échelle limnimétrique, 0 m

Source: Equipe d'étude



Source: Equipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure 3.2.23 Localisation des jauges de niveau d'eau et de l'échelle limnimétriques



WL1



WL2



WL3

Source: Equipe d'étude

Figure 3.2.24 Jauge de niveau d'eau et de l'échelle limnimétriques installées

c) Gestion du limnimètre

Deux villageois ont été employés à proximité de la station limnimétrique et ont assuré la surveillance nuit et jour afin de prévenir les vols.

d) Collecte de données sur le niveau de l'eau

Des jauges de niveau d'eau ont été installées sur les sites lors de la première enquête sur le terrain (novembre 2022) et les données sur les niveaux d'eau devaient être collectées lors de la deuxième enquête sur le terrain (mars 2023), mais la deuxième enquête sur le terrain n'a pas eu lieu en raison de la détérioration de la situation sécuritaire dans la région. Les jauges ont été récupérées par la JICA en mai 2023 avec les données collectées jusque-là.

(2) Précipitations

(a) Observatoires météorologiques et réseaux de stations terrestres

Les observations météorologiques dans la Région d'Alaotra-Mangoro sont principalement effectuées par METEO. Les données météorologiques présentées dans le Tableau 3.2.5 ont été achetées. À l'observatoire d'Ambohitsilaozana, des données à long terme ont été accumulées depuis 1981 et diverses observations météorologiques sont effectuées à intervalles de trois heures. Depuis 2019, trois stations météorologiques automatiques ont été installées.

La DRAE effectuait des observations pluviométriques au centre de semences d'Anosyboribory, mais aucune donnée n'a été stockée dans les bâtiments de la DRAE.

- Organe chargé de l'observation météorologique 1 :
Service Régional de la Météorologie, Direction Régionale des Transports et de la Météorologie, Alaotra Mangoro (METEO)
- Organe chargé de l'observation météorologique 2 :
Direction Régionale de l'Agriculture et de l'Élevage (DRAE)

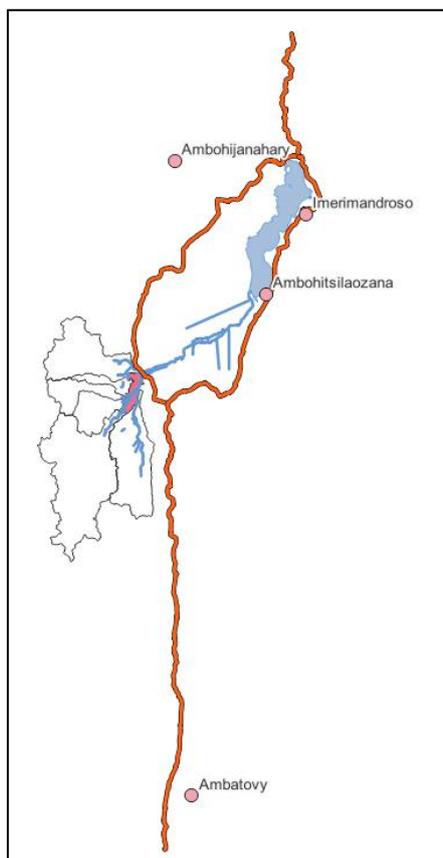
Tableau 3.2.5 Liste des données météorologiques achetées

Station météo	Type de station	Localisation de la station	Facteur météorologique	Unité de temps	Période des données
Ambohitsilaozana	Synoptic	Long. : 48.50 Lat. : -17.63 Alt : 780 m	Précipitations	Mois	1981-2022
			Précipitations	Pluie journalière maximale par mois	1981-2022
			Précipitations	Jour	1981-2022
			Précipitations	Valeurs météorologiques	1991-2020
			Température	Valeurs météorologiques	1991-2020
			Humidité relative	Valeurs météorologiques	1971-2000
			Durée d'ensoleillement	Valeurs météorologiques	1971-2000
			Vitesse de vent	Valeurs météorologiques	1971-2000
Ambatovy	AWS	Long. : 48.30 Lat. : -18.82	Précipitations	Mois	2022
			Précipitations	Pluie journalière maximale par mois	2022

Station météo	Type de station	Localisation de la station	Facteur météorologique	Unité de temps	Période des données
Ambohijanahary	Semi AWS	Long. : 48.28 Lat. : -17.31	Précipitations	Mois	2019-2022
			Précipitations	Pluie journalière maximale par mois	2019-2022
Imerimandroso	AWS	Long. : 48.60 Lat. : -17.44	Précipitations	Mois	2020-2022
			Précipitations	Pluie journalière maximale par mois	2020-2022

AWS: Automatic Weather Station

Source: METEO



Source: Equipe d'étude

Figure 3.2.25 Localisation des stations météorologiques au sol

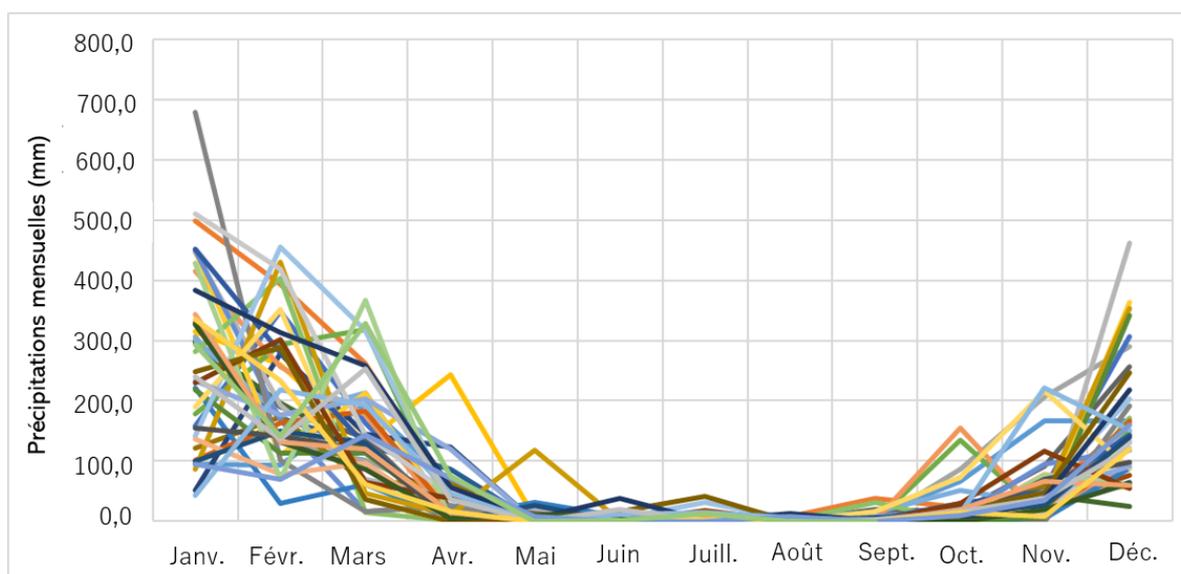
(b) Valeurs climatiques et précipitations mensuelles

Une valeur moyenne sur 30 ans est calculée comme la valeur normale de l'élément météorologique à la station météorologique et est appelée valeur climatique. Les valeurs climatiques de la station d'Ambohitsilaozana sont présentées dans le tableau ci-dessous. En termes de précipitations, la saison pluvieuse s'étend de novembre à mars, la saison sèche de mai à septembre, tandis que les mois d'avril et d'octobre sont les mois de transition entre la saison pluvieuse et la saison sèche.

Tableau 3.2.6 Valeurs météorologiques (Station d'Ambohitsilaozana)

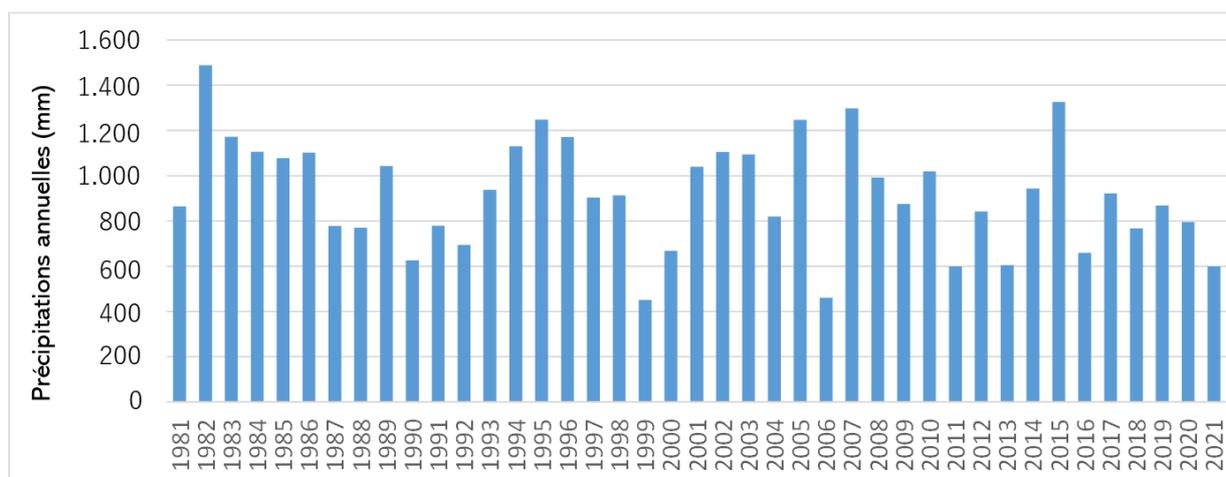
Élément observé	Période	JANV.	FÉVR.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUILL.	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
Précipitations (mm)	1991-2020	290	220	140	25	10	10	10	5	5	20	50	160
Température (°C)	1991-2020	23,0	22,9	22,4	21,2	19,3	17,1	16,2	16,6	18,1	20,2	22,0	22,9
Humidité relative (%)	1971-2000	77,3	78,9	78,5	76,9	76,0	75,8	75,4	72,0	68,7	67,8	68,9	73,5
Durée d'ensoleillement (h)	1971-2000	199,5	180,8	201,9	197,7	185,3	184,2	198,3	221,9	223,3	238,2	229,3	213,0
Vitesse de vent (km/h)	1971-2000	7	5	5	5	4	8	9	8	9	9	8	6

Source: METEO



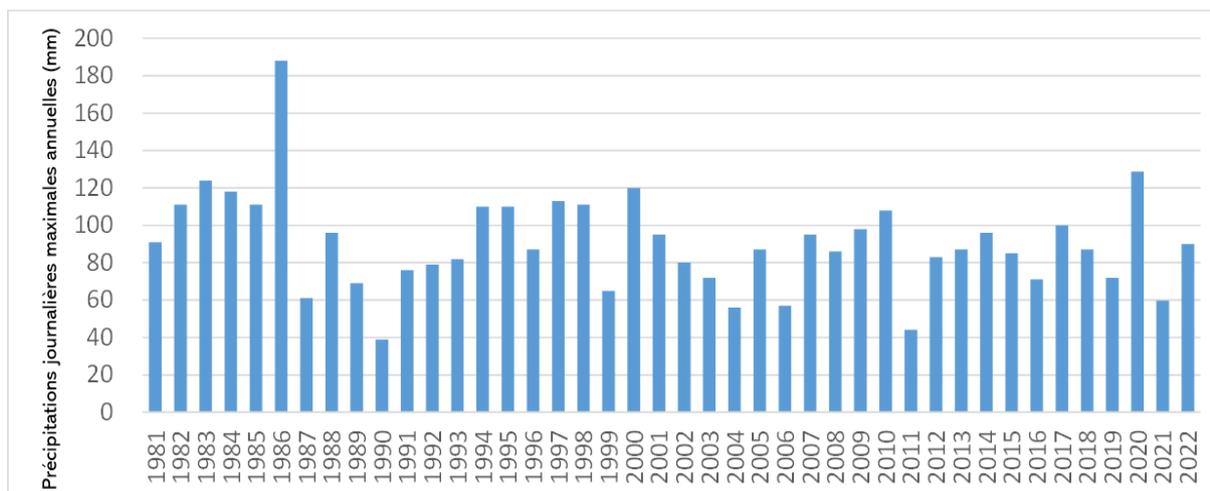
Source: METEO

Figure 3.2.26 Précipitations mensuelles (Station Ambohitsilaozana)



Source: METEO

Figure 3.2.27 Précipitations annuelles (Station Ambohitsilaozana)



Source: METEO

Figure 3.2.28 Précipitations journalières maximales annuelles (Station Ambohitsilaozana)

(c) Pluies torrentielles

Les huit épisodes de pluies torrentielles suivants ont été enregistrés nominativement à l'observatoire d'Ambohitsilaozana.

Tableau 3.2.7 Liste des événements de pluies torrentielles

Nom	Date de la pluie	Précipitations journalières (mm)
Stimulation de la zone de convergence tropicale par le cyclone tropical ELINAH (ZCIT/ITCZ renforcé par le cyclone tropical ELINAH)	Le 19 janv. 1983	124,0
Cyclone tropical intense KAMISSY	Le 12 avr. 1984	118,0
Cyclone tropical intense HONORININA	Le 15 mars 1986	188,0
Cyclone tropical très intense GERALDA	Le 02 févr. 1994	110,0
Cyclone tropical GRETELE	Le 26 janv. 1997	113,0
Tempête tropicale GLORIA	Le 02 mars 2000	120,0
Forte tempête tropicale HUBERT	Le 10 mars 2010	108,0
Stimulation de la zone de convergence tropicale par le cyclone tropical DIANE (ZCIT/ITCZ renforcée par la tempête tropicale DIANE)	Le 25 févr. 2020	128,8

Source: METEO

(d) Précipitations probables

Les précipitations probables (1-4 jours) ont été calculées à partir des données pluviométriques journalières de l'observatoire d'Ambohitsilaozana.

Tableau 3.2.8 Précipitations probables (Observatoire d'Ambohitsilaozana)

Année de probabilité	2	3	5	10	20	30	50	80	100	150	200
Précipitations journalières probables (mm)	89	101	112	125	136	142	149	154	157	162	165
Précipitations probables sur 2 jours (mm)	120	137	155	176	194	204	216	226	231	240	246
Précipitations probables sur 3 jours (mm)	138	159	181	206	229	242	257	270	276	287	295
Précipitations probables sur 4 jours (mm)	156	179	203	229	251	263	276	288	293	302	308

Loi de probabilité : Distribution de Pearson de type III
Source: Equipe d'étude

(3) Inondations

(a) Statistiques sur les dommages causés par les inondations

Aucune donnée statistique sur les dommages causés par les inondations dans le périmètre irrigué de Maharivana n'a été compilée.

Les statistiques mondiales sur les catastrophes sont disponibles dans la base de données EM-DAT créée par le Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes de l'Université de Louvain avec le soutien de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et du gouvernement belge. Des dégâts dus aux inondations et aux cyclones tropicaux dans la Région d'Alaotra-Mangoro, y compris dans le périmètre irrigué de Maharivana, ont été recensés.

- Aucun dommage classé comme inondation.
- Parmi les dommages classés comme cyclones tropicaux, six cas d'inondations ont simultanément été enregistrés entre 2001 et 2021 (pendant 21 ans).

Tableau 3.2.9 Statistiques sur les dommages causés par les inondations (Région d'Alaotra-Mangoro)

Year	Event Name	Location	Start	End	Total Deaths	Total Affected	Total Damages ('000 US\$)	Total Damages, Adjusted ('000 US\$)
2008	Cyclone "Ivan"	Analamanga, Betsiboka, Vatovavy Fitovavy, Analanjirofo, Alaotra Mangoro , Atsinanana, Atsimo Atsinanana, Boeny, Sofia, Menabe, Bongolava, Haute Matsiatra provinces	17 February 2008	03 March 2008	93	524,153	60,000	75,513
2010	Tropical storm "Hubert"	Farafangana, Vangaindrano districts (Atsimo Atsinanana province), Ambatondrazaka district (Alaotra Mangoro province) , Vatovavy Fitoviny province	10 March 2010	12 March 2010	120	192,132		
2012	Tropical depression "Irina"	Vatovavy Fitovinany, Sava, Diana, Atsimo Atsinanana, Anosy, Analanjirofo, Analamanga, Alaotra Mangoro provinces	26 February 2012	26 February 2012	77	85,015		
2015	Tropical storm "Chedza"	Ambatondrazaka district (Alaotra Mangoro province) , Ambatofinandrahana district (Amaron I Mania province), Ambohidratrimo, Andramasina, Ankazobe, Antananarivo Avaradrano, Antananarivo Atsimondrano, Antananarivo I, Antananarivo II, Antananarivo III, Antananarivo IV, Antananarivo V; Antananarivo VI districts (Analamanga province), Maewatanana district (Betsiboka province), Ambato Boeni, Mahajanga II districts (Boeny province), Tsiroanomandidy district (Bongolava province), Ambanja district (Diana province), Ambalavao, Ambohimahasoa, Fianarantsoa I, Vohibato, Lalangina districts (Haute Matsiatra province), Soavinandriana district (Itasy province), Besalampy district (Melaky province), Belo Sur Tsiribihina, Mahabo, Miandrivazo, Morondava districts (Menabe province), Mampikony district (Sofia province) Farafangana, Vangaindrano, Vondrozo districts (Atsimo Atsinanana province), Antanifotsy district (Vakinankaratra province), Ikongo, Manakara Atsimo, Mananjary, Nosy-Varika, Vohipeno districts (Vatovavy Fitovinany)	16 January 2015	17 January 2015	89	174,007	36,000	41,157
2017	Cyclone "Enawo"	Antalaha district (Sava province), Analanjirofo, Alaotra Mangoro , Atsinanana, Analamanga, Vakinankaratra, Bongolava, Itasy, Ihorombe, Amoron I Mania, Haute Matsiatra, Vatovavy Fitovinany provinces	07 March 2017	10 March 2017	81	434,253	20,000	22,109
2018	Tropical storm "Etiakim"	Mandritsara, Soanierana Ivongo, Masoala, SAVA, Analanjirofo, Sofia, Alaotra Mangoro , Antsinana, Diana, Vatovavy Fitovinany regions	14 March 2017	20 March 2018	21	50,872		

Data Source: <https://public.emdat.be/>
{Note}

Total deaths: deaths + missing people

Total affected: The total affected is the sum of injured, affected and homeless

Total estimated damages ('000 US\$): in the value of the year of occurrence, unadjusted for inflation

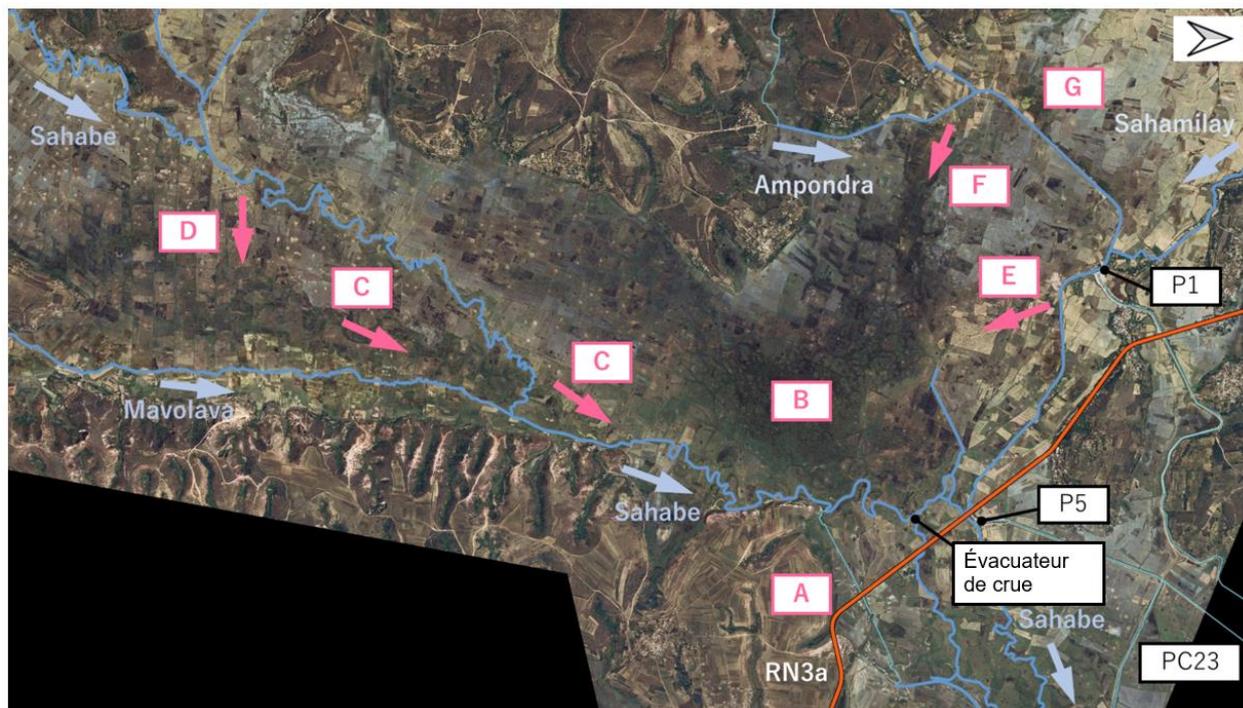
Total estimated damages ('000 US\$ adjusted value): Same indicators but adjusted to the 2021 US\$ value.

(b) Formes de crues

1) Aperçu des crues et des inondations

La figure 3.2.29 illustre les situations de crue dans le périmètre de Maharivana. Les spécificités de chaque zone sont les suivantes.

- Zone A dans la figure : La route nationale 3 a est construite sur un remblai surélevé et il y a trois ponts qui enjambent la Sahabe et ses défluent. L'ouverture étroite empêche l'écoulement des eaux de crue, causant des inondations en amont.
- Zone B dans la figure : C'est une zone basse et marécageuse, qui est largement inondée en saison pluvieuse. Elle constitue un bassin retardateur naturel, et n'est pas utilisée pour l'irrigation.
- Zone C dans la figure : Il s'agit de la direction de l'écoulement des eaux de crue, qui a été confirmée lors de l'entretien avec les AUE. Les images satellitaires permettent de constater la présence de nombreuses traces d'inondation.
- Zone D dans la figure : Traces des crues identifiées sur des images satellitaires prises en 2018.
- Zone E dans la figure : Traces des crues identifiées sur des images satellitaires prises en 2004.
- Zone F dans la figure : Traces des crues identifiées sur des orthoimages qui ont été créées en 2021.
- Zone G dans la figure: C'est une zone où des inondations se produisent dû à la surverse de digues.



Source: Équipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

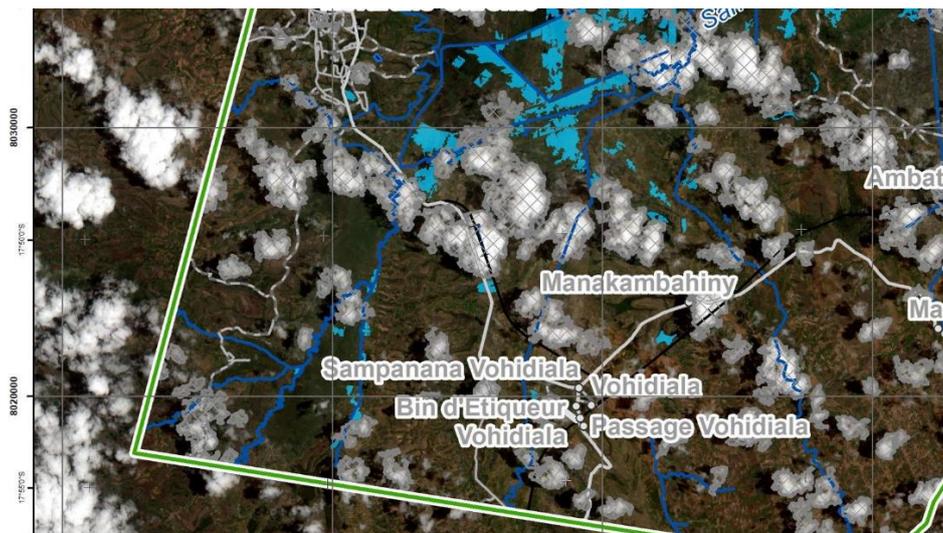
Figure 3.2.29 Formes de crues

2) Inondations identifiables à partir de l'imagerie satellitaire

a) Analyse des images satellites par Copernicus (31 janvier 2020)

Copernicus est un service gratuit d'information par satellite fourni par la Commission européenne. Le service de gestion des urgences Copernicus (Copernicus-EMS) analyse les images captées par le satellite Sentinel-2 et diffuse des informations sur l'envergure des inondations.

D'après l'étendue des inondations suivant l'imagerie Sentinel-2B captée le 31 janvier 2020 (Figure 3.2.30) à 7 h40 en temps universel coordonné (UTC), des inondations ont eu lieu autour du périmètre PC23.



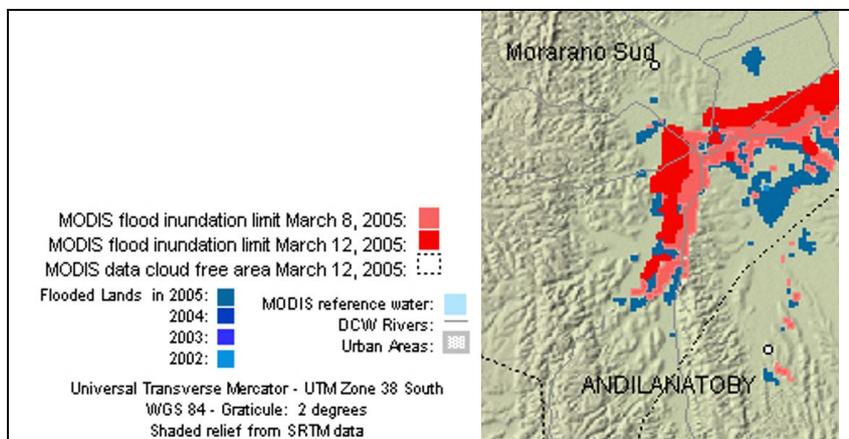
<https://emergency.copernicus.eu/mapping>

Figure 3.2.30 Étendue des inondations (le 31 janvier 2021)

b) Analyse d'images satellites par l'Observatoire des inondations de Dartmouth (DFO) (du 8 au 12 mars 2005)

Le Dartmouth Flood Observatory (DFO) de l'Université du Colorado diffuse des informations sur l'étendue des inondations suivant l'analyse d'images satellites.

L'étendue des inondations d'après les images satellites MODIS des 8 et 12 mars 2005 (Figure 3.2.31) indiquant la présence des inondations dans l'ensemble du périmètre irrigué de Maharivana :



<https://floodobservatory.colorado.edu/>

Figure 3.2.31 Étendue des inondations (du 8 au 12 mars 2005)

c) Images des satellites Pleiades (05 mai 2018)

Les images acquises le 5 mai 2018 par les satellites Pléiades montrent une brèche dans la rive droite de la rivière Sahabe en amont du confluent de la rivière Mavolava, provoquant l'écoulement des eaux d'inondation dans le périmètre irrigué de Maharivana.

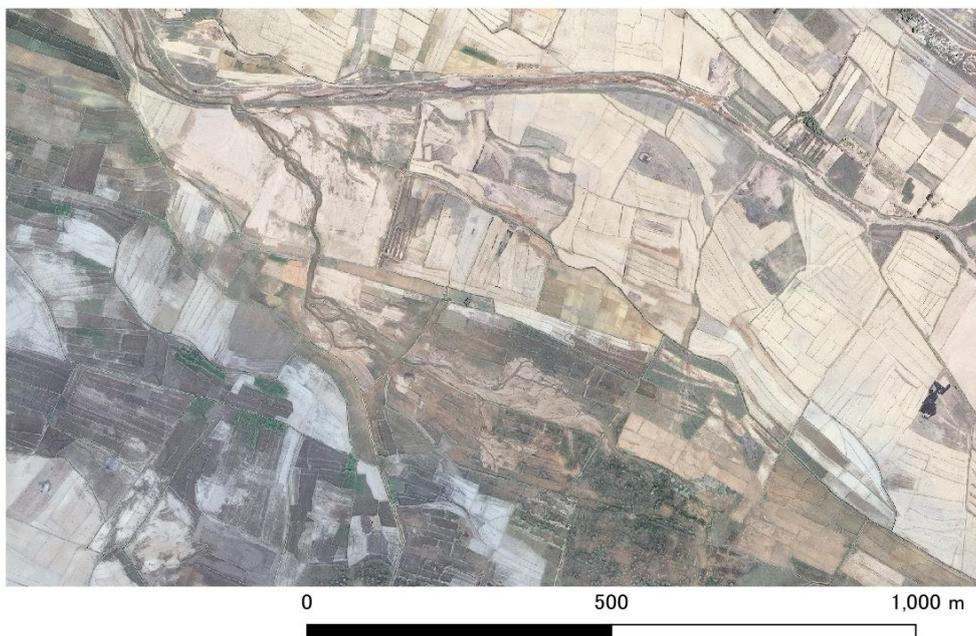


©CNES_2018, distribution AIRBUS DS, France, all rights reserved

Figure 3.2.32 Brèche dans une digue de la rivière Sahabe (images prises le 05 mai 2018)

d) Images satellites QuickBird (12 novembre 2004)

Les images satellites QuickBird prises le 12 novembre 2004 montrent une brèche dans la rive droite de la rivière Sahamilahy en aval du déversoir P1, provoquant l'écoulement des eaux d'inondation dans le périmètre irrigué de Maharivana.

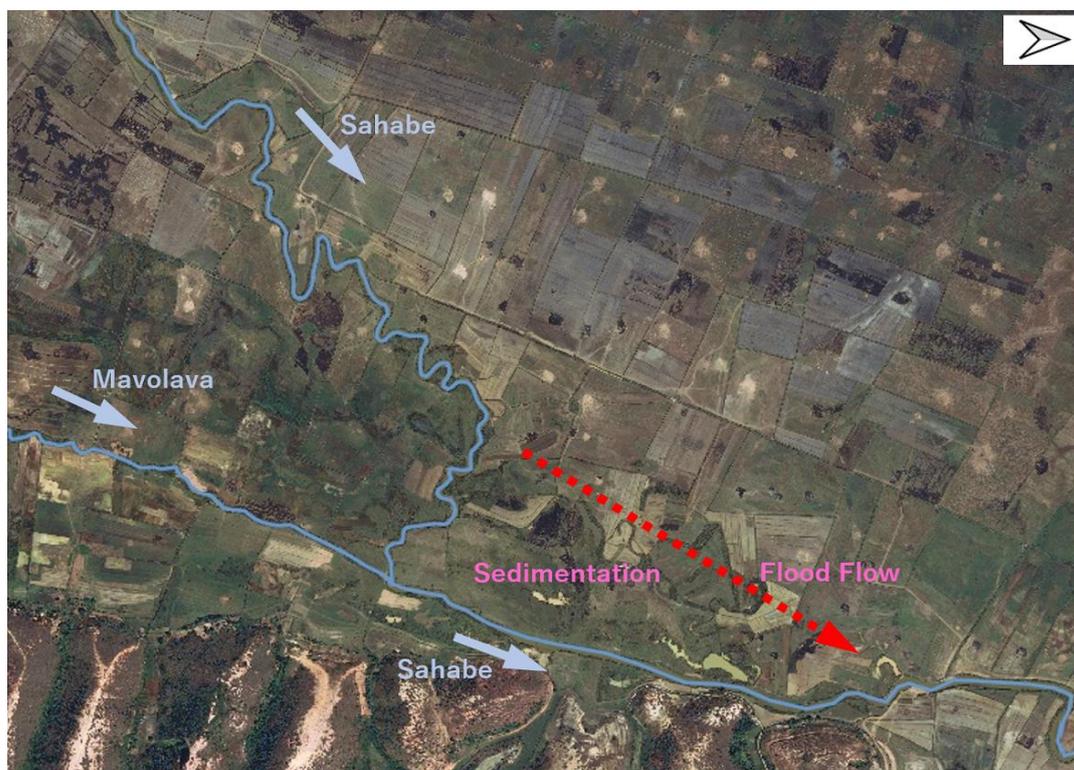


(C) COPYRIGHT 2023 DigitalGlobe, Inc., Longmont CO USA 80503.

Figure 3.2.33 Brèche dans une digue de la rivière Sahamilahy (images prises le 12 novembre 2004)

3) Formes des inondations identifiées lors d'entretiens avec des associations d'utilisateurs de l'eau (AUE)

D'après les entretiens avec les AUE, les terres basses situées entre les rivières Sahabe et Mavolava sont gorgées d'eau, avec des profondeurs d'engorgement pouvant atteindre 1,5 mètre. La durée de l'engorgement est d'environ une semaine et l'engorgement est aussi dit avoir été causé par la rupture d'un affluent de la rivière Sahabe. Les terres agricoles du côté de la rivière Mavolava ont un problème de sédimentation, tandis que les terres agricoles du côté de la rivière Sahabe ont un problème d'engorgement. L'engorgement dû aux fortes pluies a également provoqué l'effondrement des digues. Si la digue de la rivière Sahabe s'effondre près du confluent, le flux d'inondations s'écoulera dans la direction de la flèche rouge de la figure 3.2.34, déposant du sable sur les terres agricoles du côté droit du flux d'inondations.



Source: Équipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure 3.2.34 Topographie de la zone autour du point de confluent entre la Sahabe et la Mavolava

(c) Analyse du ruissellement pluvial

L'analyse du ruissellement pluvial a été effectuée à l'aide du système intégré d'analyse des inondations (Integrated Flood Analysis System) développé par le Centre international sur les risques liés à l'eau et leur gestion (ICHARM) de l'Institut de recherche sur les travaux publics (PWRI).

1) Durée des précipitations

La durée prévue des précipitations est de 2 jours, sur la base de la durée de l'inondation principale. La base de calcul est donnée en annexe 1.

2) Précipitations moyennes sur le bassin versant

Comme les données pluviométriques observées dans le bassin versant de Maharivana n'étaient pas disponibles, la moyenne des précipitations sur deux jours du bassin versant a été calculée en multipliant les précipitations observées à la station d'Ambohitsilaozana, qui est située en dehors du bassin versant, par le facteur de réduction de la superficie. La base de calcul est présentée en annexe 1.

Tableau 3.2-10 Précipitations probables sur 2 jours (Station d'Ambohitsilaozana et la moyenne dans le bassin versant)

Période de retour	2	3	5	10	20	30	50	80	100	150	200
Précipitations à la station	117	134	152	176	198	211	227	242	249	262	271
Précipitations moyennes dans le bassin versant	94	107	122	141	159	169	182	194	199	210	217

Unité: mm, Modèle de distribution de probabilité: Distribution de Gumbel, Area Reduction Factor: 0,8
Source : Equipe d'étude

3) Évaluation des probabilités sur les crues antérieures

L'évaluation des probabilités sur les crues survenues dans le périmètre irrigué de Maharivana a été effectuée à l'aide des données pluviométriques sur deux jours telles que observées à la station d'Ambohitsilaozana. Cette évaluation a permis d'estimer une probabilité d'environ 10 ans pour les inondations de janvier 2020 et une probabilité d'environ 2 ans pour les inondations de janvier 2022.

Tableau 3.2.11 Évaluation des probabilités sur les crues antérieures

No.	Cas	Cas type	Précipitations observées (2 jours)			Débit de pointe		
			Date	Ambohitsilaozana	Évaluation des probabilités	Date	Débit observé	Débit calculé
1	3	-	Du 22 au 23 janvier 2020	172,2 mm	10 ans	Le 23 janvier 2020	-	136 m ³ /s
2	-	1	Du 27 au 28 décembre 2021	25,7 mm	-	Le 29 janvier 2021	92 m ³ /s	-
3	5	2	Du 22 au 23 janvier 2022	103,3 mm	2 ans	Le 23 janvier 2022	79 m ³ /s	100 m ³ /s
4	5	2	Du 23 au 24 janvier 2022	44,4 mm	-	Le 25 janvier 2022	118 m ³ /s	-
5	-	3	Du 01 au 02 mars 2022	111,5 mm	2 ans	Le 05 mars 2022	85 m ³ /s	-

Source : Equipe d'étude

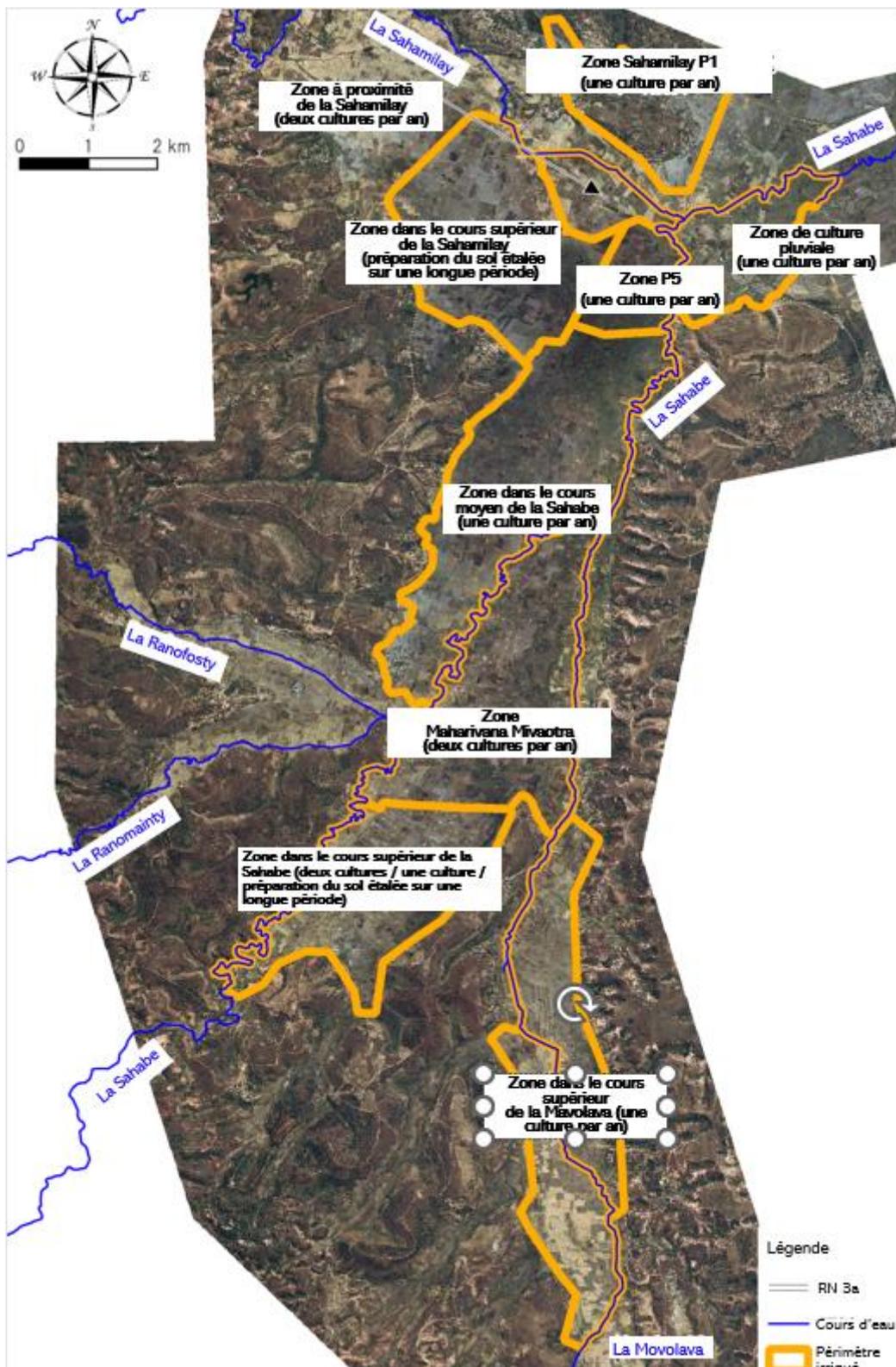
(d) Analyse des crues

L'analyse des crues n'a pas eu lieu car l'étude préparatoire du projet a été interrompue en raison de l'aggravation de la situation sécuritaire sur le terrain.

3.2.3 Systèmes d'irrigation et de drainage

(1) Systèmes de cultures

Le périmètre irrigué de Maharivana est principalement irrigué par l'eau provenant de cinq rivières : Sahabe, Sahamilay, Mavolava, Ranofosty et Ranomainty. Des cultures pluviales sont également pratiquées près de l'intersection de la rivière Sahabe et de la route nationale numéro 3. Sur la base d'entretiens avec les AUE, les systèmes de cultures pratiqués dans le périmètre irrigué de Maharivana ont été reproduits et classés comme suit. Les zones où chaque système de cultures est appliqué sont indiquées dans la figure 3.2.35. Cependant, étant donné qu'aucun calcul de bilan hydrique ni aucune vérification de l'état des cultures sur le terrain n'ont été effectués dans le cadre de cette étude, et que l'état réel des systèmes de cultures et des zones où ils sont appliqués n'a pas pu être vérifié, ces informations ne sont fournies ici qu'à titre de référence.

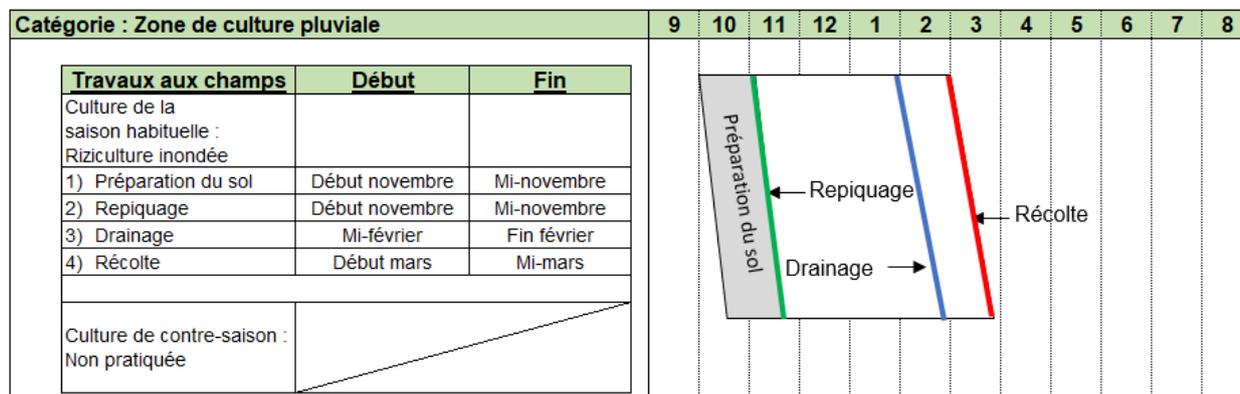


Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE, avec © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure 3.2.35 Systèmes de cultures et répartition des zones des différentes AUE

(a) Culture pluviale

Au niveau de l'intersection de la route nationale 3 a et la rivière Sahabe, sur la rive droite, étant donné que les ouvrages de prise d'eau et de drainage ne sont pas aménagés, le riz est cultivé en saison pluvieuse, en dépendant des eaux de débordement du déversoir P5 et des eaux de pluies. Le système de culture adopté est le suivant.

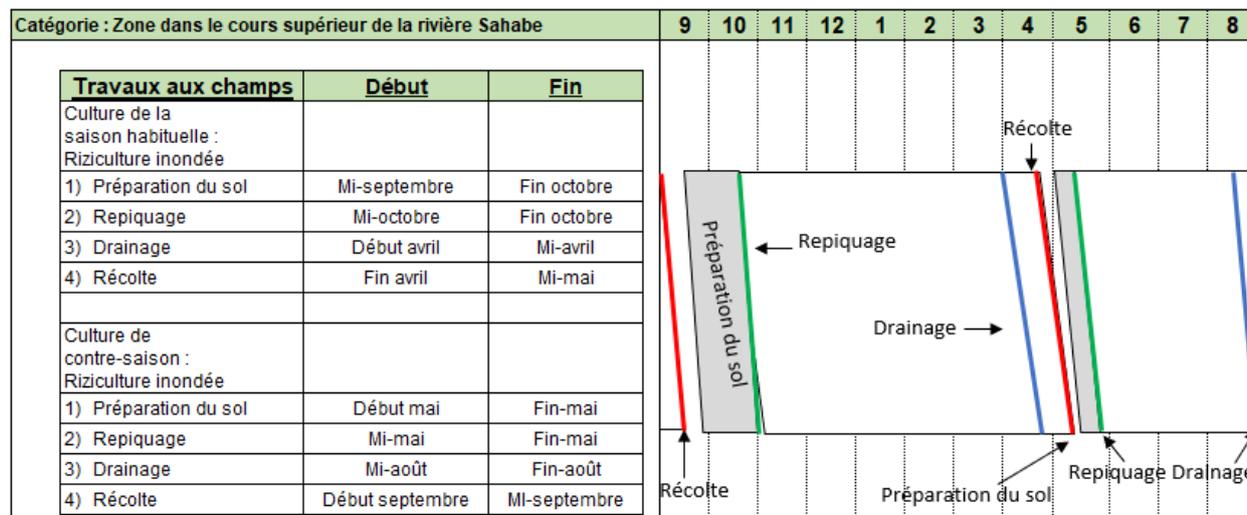


Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE

Figure 3.2.36 Système de culture pluviale

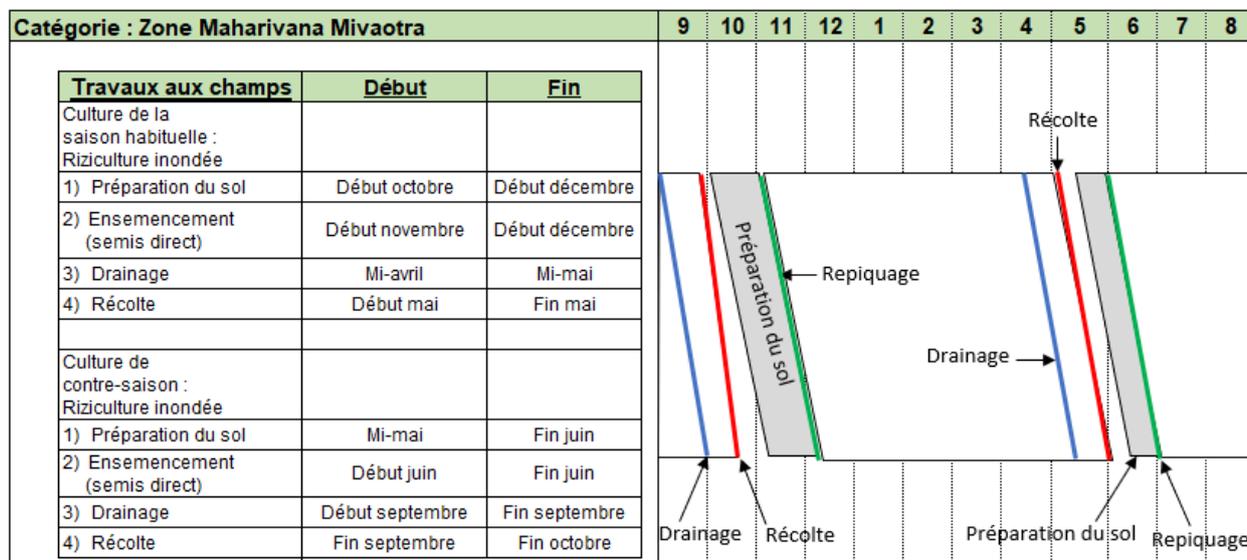
(b) Zones de double culture du riz

Certains agriculteurs des zones concernées pratiquent la culture du riz sur deux saisons, car il est relativement facile d'obtenir de l'eau à partir de sources (rivières et bassins de rétention), même pendant la saison sèche. Les systèmes de cultures sont présentés dans les figures 3.2.37-39. Cependant, il est peu probable que les systèmes de cultures présentés dans les figures 3.2-37 à 3.39 soient utilisés dans l'ensemble des zones concernées dans la figure 3.2-35. En particulier, la zone de Maharivana Mivaotra, qui couvre une étendue relativement importante dans la figure 3.2-35, est considérée comme relativement riche en ressources en eau et possède une nappe phréatique élevée grâce à l'accès aux rivières Sahabe et Mavolava, mais elle est également vulnérable aux dommages causés par les inondations. Sur les terres agricoles présentant de telles conditions favorables, même si elles ne représentent que des surfaces limitées, on peut s'attendre à ce que la double culture puisse être pratiquée. Toutefois, comme l'analyse hydrologique (analyse des inondations et analyse des eaux basses) et le calcul des besoins en eau de chaque champ n'ont pas été effectués dans cette étude, il n'a pas été possible d'évaluer quantitativement la répartition et la superficie des champs où la culture à deux saisons peut être pratiquée. Les zones où la pratique de la double culture est possible et leur superficie doivent être soigneusement étudiées sur la base des résultats des analyses ci-dessus et des conditions locales.



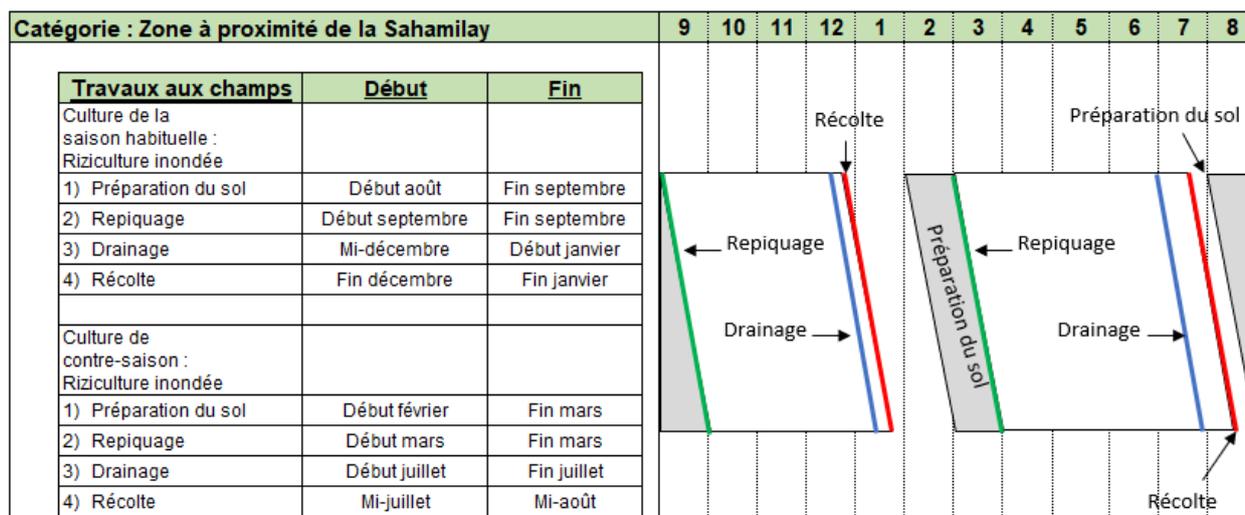
Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE

Figure 3.2.37 Système de culture dans la zone de double culture (zone dans le cours supérieur de la Sahabe)



Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE

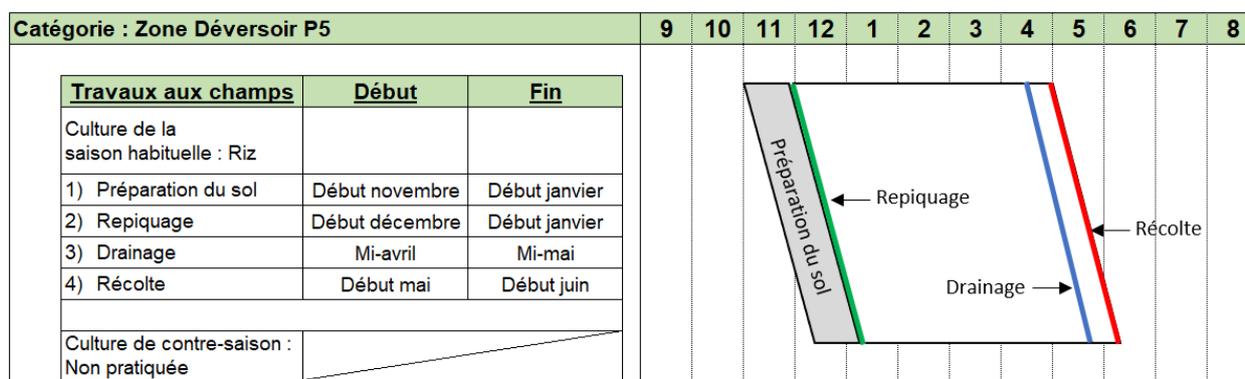
Figure 3.2.38 Système de culture dans la zone de double culture (zone Maharivana Mivaotra)



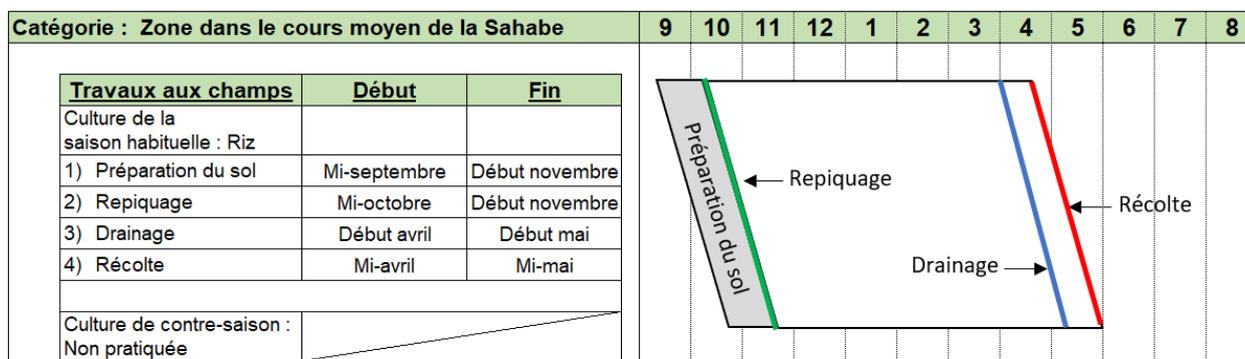
Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE
Figure 3.2.39 Système de culture dans la zone de double culture (zone à proximité de la Sahamila)

(c) Zones de monoculture du riz

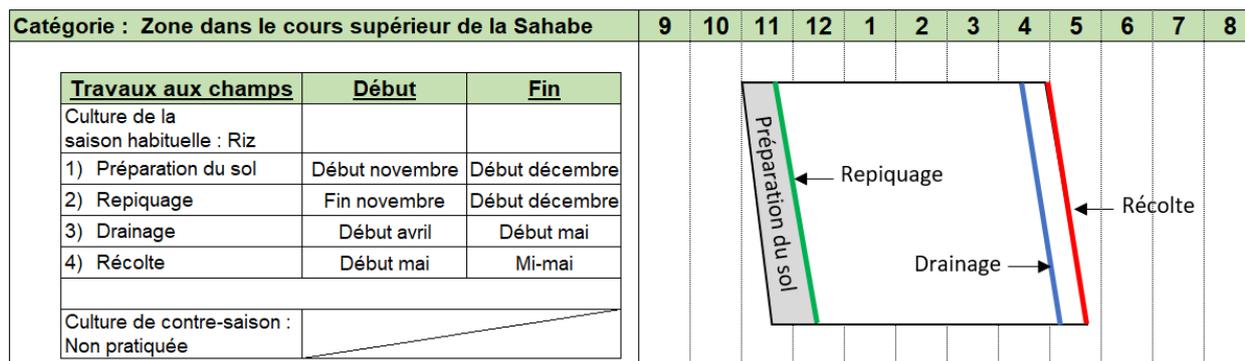
Il s'agit de zones où l'irrigation est possible, mais où l'eau n'est pas disponible en quantité suffisante pour permettre la double culture du riz. Il s'agit du système de culture le plus courant dans le périmètre irrigué de Maharivana, mais le calendrier varie d'une zone à l'autre, comme le montre le tableau ci-dessous.



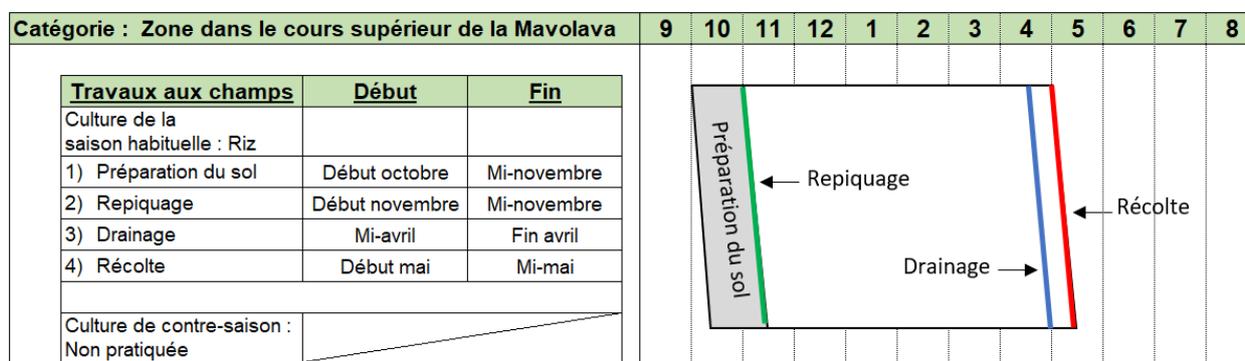
Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE
Figure 3.2.40 Système de culture dans la zone de monoculture (Zone du déversoir P5)



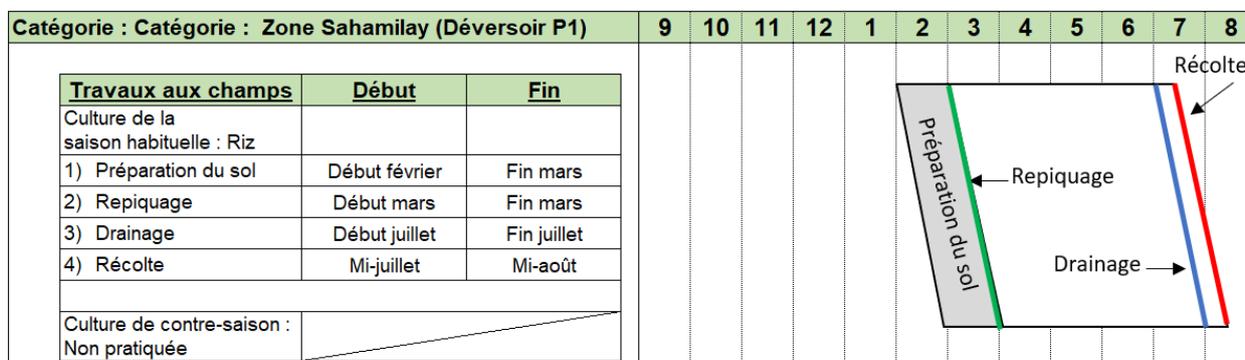
Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE
Figure 3.2.41 Système de culture dans la zone de monoculture (Zone dans le cours moyen de la Sahabe)



Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE
Figure 3.2.42 Système de culture dans la zone de monoculture (zone dans le cours supérieur de la Sahabe)



Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE
Figure 3.2.43 Système de culture dans la zone de monoculture (zone dans le cours supérieur de la Mavolava)

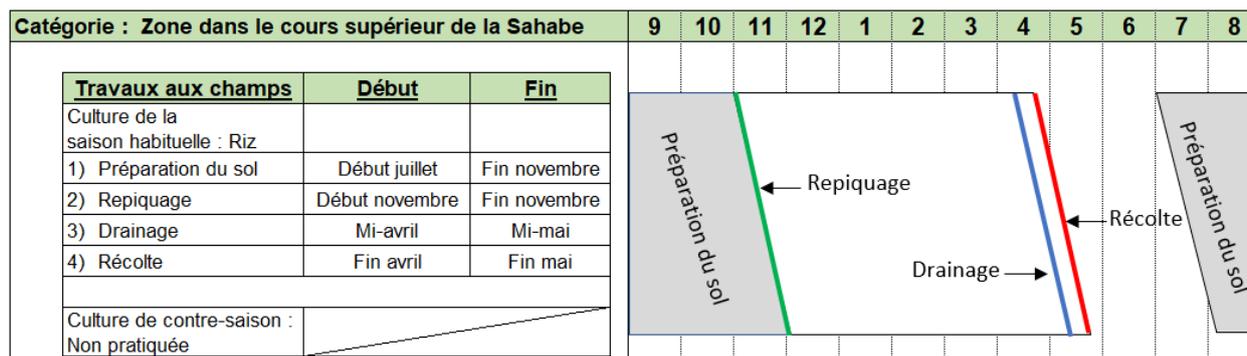


Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE
Figure 3.2.44 Système de culture dans la zone de monoculture (Zone Sahamilay, Déversoir P1)

(d) Zone caractérisée par une longue période de préparation du sol avant le repiquage

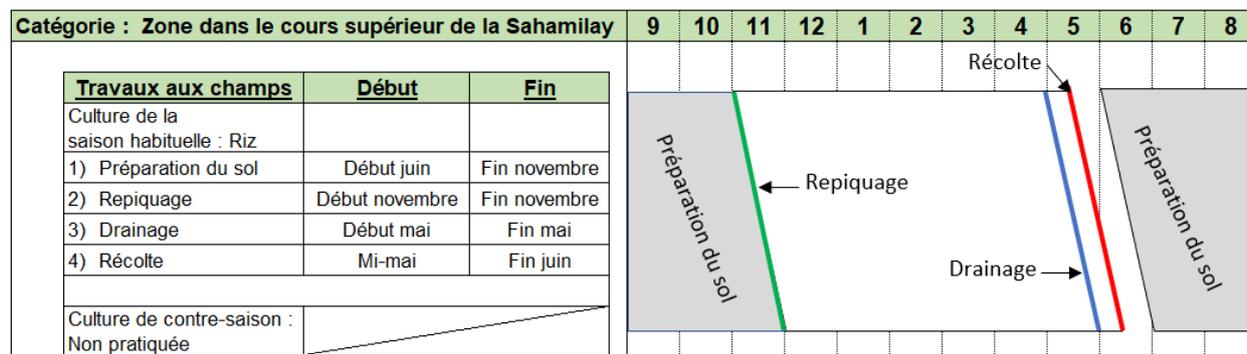
Dans les zones où l'approvisionnement en eau n'est pas stable, la préparation du sol pour le repiquage commence dans la saison sèche et dure parfois jusqu'en octobre ou en novembre, ce qui constitue un facteur causant la baisse de la productivité du travail.

Des exemples de systèmes de culture dans les bassins versants supérieurs de la Sahabe et de la Sahamilay sont donnés ci-dessous, bien que ces systèmes puissent aussi être variables selon les situations des ressources en eau.



Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE

Figure 3.2.45 Système de culture dans la zone où la préparation du sol s'étale sur une longue période (zone dans les cours supérieurs de la Sahabe et de la Ranofosty)



Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des AUE

Figure 3.2.46 Système de culture dans la zone où la préparation du sol s'étale sur une longue période (zone dans le cours supérieur de la Sahamilay)

(2) Associations d'usagers de l'eau (AUE)

(a) Aperçu général

Dans le périmètre irrigué de Maharivana, plusieurs AUE se regroupent pour former la Fédération des associations des usagers de l'eau (FAUE). Plusieurs FAUE sont en place, pour coordonner l'utilisation de l'eau et l'entretien des installations entre ses membres. Chaque FAUE discute des plans d'utilisation de l'eau avec les institutions gouvernementales telles que la DRAE et les autres FAUE.

Dans le cadre de la présente étude une interview a été menée auprès de huit FAUE ayant chacune des parcelles à gérer dans le périmètre irrigué de Maharivana et a recueilli des informations sur les systèmes de cultures susmentionnés. L'étude a également identifié et organisé les défis auxquels les FAUE sont actuellement confrontées. Un aperçu général de ces FAUE est présentée dans le tableau 3.2-12.

Tableau 3.2.12 Aperçu général des FAUE

No	Nom de la FAUE	Source d'eau	Superficie de la rizière (ha)	Zone d'intervention
(1)	Maharivana Mivaotra	La rivière Sahabe	785	La zone située entre la Sahabe et la Mavolova, en amont de leur confluent.
(2)	Bemiray Finaigo	La Sahabe	349	Sur la rive gauche de la Sahabe, en aval du confluent de la Mavolava.
(3)	Miara Mientana	Des eaux provenant de l'ouvrage de surverse construit sur la Sahabe et des eaux de pluies.	108	Au niveau de l'intersection entre la Sahabe et la RN3 a, sur la rive gauche.
(4)	Nanovomamy	Des eaux provenant de l'ouvrage de surverse construit sur la Sahabe et des eaux de pluies.	154	Côté est de la zone d'intervention de Miara Mientana
(5)	Tsarabohya	La Sahabe	4.520	Côté sud de la zone PC23
(6)	Teikration Sahamilay	La Sahamilay	Inconnue	La zone située entre la Sahabe et la Sahamilay, en amont de leur confluent.
(7)	Mangarahera	La Sahamilay	4.540	Côté nord de la partie nord de la zone PC23
(8)	Mirindra	La Sahamilay		Côté sud de la partie nord de la zone PC23

Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des FAUE

Une description plus détaillée est donnée dans le tableau suivant, pour 4 FAUE parmi celles qui sont mentionnées ci-dessus, (Maharivana Mivaotra, Bemiray Finaigo, Miara Mientana, Nanovomamy).

Tableau 3.2.13 Données détaillées des FAUE

Données	Maharivana Mivaotra	Bemiray Finaigo	Miara Mientana	Nanovomamy
Nombre de membres (Pourcentage de femmes)	500 (20%)	171 (50%)	60 (5%)	70 (11%)
Surface d'intervention (ha)	700 à 800	349	100	> 100
Année de création / enregistrement	2008 /2013	2009 /2012	2008 /2008	1985 /2010
Éligibilité des membres	Propriétaire de terrain	Propriétaire de terrain	Propriétaire de terrain	Propriétaire de terrain
Frais d'adhésion (Ar/ha/an)	10.000	10.000	10.000	10.000

Données	Maharivana Mivaotra	Bemiray Finaigo	Miara Mientana	Nanovomamy
Principales cultures/variétés (Pourcentage d'agriculteurs)	Riz inondé / Tsemaka (60%) X1648 (20%) Dista (10%) Makaolika (10%)	Riz inondé (irriguée) / Dista (80%) Makaolika (15%) Tsemaka (5%) Riz de plateau Prima Vera (60%) Maso-Poza (30%) Sebota 410 & Debora (10%) Haricots (culture de contre saison, proportion inconnue)	Riz inondé (irriguée) / Dista (80%) Makaolika (15%) Tsemaka (5%) Riz de plateau Prima Vera (60%) Maso-Poza (30%) Sebota 410 & Debora (10%) Haricots (culture de contre saison, proportion inconnue)	Riz inondé (irriguée) / Dista (80%) Makaolika (15%) Tsemaka (5%) Riz de plateau Prima Vera (60%) Maso-Poza (30%) Sebota 410 & Debora (10%) Haricots (culture de contre saison, proportion inconnue)

Source: Figure a été créée par l'équipe d'étude sur la base des résultats de l'interview auprès des FAUE

L'un des rôles clés des AUE est d'entretenir les installations d'irrigation et d'assurer la gestion de l'eau, rôle qui est partagé avec la DRAE. Le partage des rôles entre les AUE, les FAUE et la DRAE est récapitulé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.2.14 Répartition des tâches concernant la gestion et l'entretien des installations d'irrigation et la gestion de l'eau

Installation	Responsable de la gestion et de l'entretien
Digue de protection	FAUE
Ouvrage de surverse *1	DRAE, FAUE, Comités des usagers de l'eau *3
Déversoir *1	DRAE, FAUE
Canal d'irrigation principal	FAUE
Canal de drainage principal	FAUE
Piste de maintenance	FAUE
Canaux secondaires / de drainage, Piste de maintenance*2	FAUE, AUE
Canaux tertiaires / de drainage, pistes à l'intérieur du périmètre	AUE

*1: DRAE est responsable en matière de gestion, mais elle confie le fonctionnement et l'entretien au Comité des usagers de l'eau et aux FAUE.

*2: Organe responsable diffère selon l'envergure de l'installation (FAUE est responsable pour les installations de grande envergure, et les AUE pour les installations de petite envergure).

*3: Les statuts du Comité des usagers de l'eau ne sont pas encore définis et établis.

Source: Rapport de l'Etude préparatoire pour le projet de réhabilitation du système d'irrigation (PC23) et de gestion des bassins versants dans le sud-ouest du lac Alaotra(2016)

(b) Défis

1) Approvisionnement en eau insuffisant pendant la saison sèche lors de la préparation du sol pour le repiquage

a) Cours moyen et inférieur de la rivière Sahabe

Fédérations des associations des usagers de l'eau concernées : Maharivana Mivaotra, Bemiray Finaigo, Tsarabohya

Dans les cours moyen et inférieur de la rivière Sahabe qui relève de la compétence des fédérations des associations des usagers de l'eau de Maharivana Mivaotra et de Bemiray Finaigo, la préparation du sol pour le repiquage a lieu entre septembre et novembre, période qui correspond à la fin de la saison sèche et au début de la saison des pluies. Par contre, en aval, dans la partie sud du périmètre PC23, sous la juridiction de la fédération des associations des usagers de l'eau de Tsarabohya, la préparation du sol pour le repiquage est effectuée à partir de novembre. C'est la période de l'année où le débit des rivières est le plus faible, ce qui occasionne facilement une concurrence dans les prélèvements d'eau suite à la forte consommation d'eau lors des opérations de labour. Ces dernières années en particulier, le début de la saison des pluies a souvent été retardé, ce qui a rendu le problème de concurrence encore plus grave.

b) Cours supérieur et inférieur de la rivière Sahamilay

Fédérations des associations des usagers de l'eau concernées : Teikration Sahamilay, Mangarahere, Mirindra

La culture du riz paddy en deux saisons est pratiquée dans certaines zones où les conditions sont favorables telle que la proximité avec la rivière Sahamilay qui constitue la source d'eau, au sein de la partie nord du périmètre PC 23, qui relève des fédérations des associations d'usagers de l'eau de Mangarahere et de Mirindra. La préparation du sol pour le repiquage lors de la deuxième saison est effectuée en août. D'autre part, la fédération des associations des usagers de l'eau de Teikration Sahamilay également alimentée par la rivière Sahamilay et qui est située en amont du périmètre PC 23, effectue la préparation du sol pour le repiquage sur une période de cinq mois, de juin à novembre. Cela signifie qu'au mois d'août se produit une concurrence pour l'eau lors de l'évacuation des eaux en amont et en aval de la rivière Sahamilay, ce qui entraîne parfois des pénuries d'eau.

2) Dommages causés par les sédiments fluviaux

a) Cours inférieur de la rivière Sahabe

Fédérations des associations des usagers de l'eau concernées : Miara Mientana, Nanovomamy, Bemiray Finaigo, Tsarabohya

Dans la zone relevant de la compétence de la fédération des associations des usagers de l'eau de Bemiray Finaigo, située dans le cours moyen de la rivière Sahabe, le niveau d'eau de la rivière Sahabe monte pendant la saison des pluies, causant des dommages par débordement des berges de la rivière. Ces inondations atteignent les zones en aval sous la compétence des fédérations des associations d'usagers de l'eau de Miara Mientana et de Nanovomamy, causant également des dommages dans ces zones. La cause

de ces inondations est estimée être le rétrécissement de la section transversale du canal de la rivière Sahabe depuis le confluent de la rivière Mavolava jusqu'au déversoir P5 en raison de la sédimentation, ce qui réduit la capacité d'écoulement de la rivière.

En outre, le canal d'irrigation (canal Ricardo) dans la partie nord de la zone sous la juridiction de la fédération des associations des usagers de l'eau de Bemiray Finaigo a également connu des débordements et des inondations causés par les sédiments, augmentant ainsi les dommages causés par les inondations dans la zone. La partie centrale de la zone relevant de la compétence de cette fédération des associations d'usagers de l'eau est un bassin bas avec un mauvais drainage, ce qui fait qu'une zone d'environ 100 hectares est inondée pendant plus de 15 jours à partir du début de l'inondation.

b) Autour du confluent des rivières Sahabe et Mavolava

Fédérations des associations des usagers de l'eau concernées : Maharivana Mivaotra

La zone relevant de la compétence de la fédération des associations d'usagers de l'eau de Maharivana Mivaotra est située en amont du confluent des rivières Sahabe et Mavolava et est sujette à des inondations pendant la saison des pluies en raison des débordements des deux rivières. Les inondations dans la région sont concentrées entre janvier et mars et se produisent en moyenne quatre fois par an.

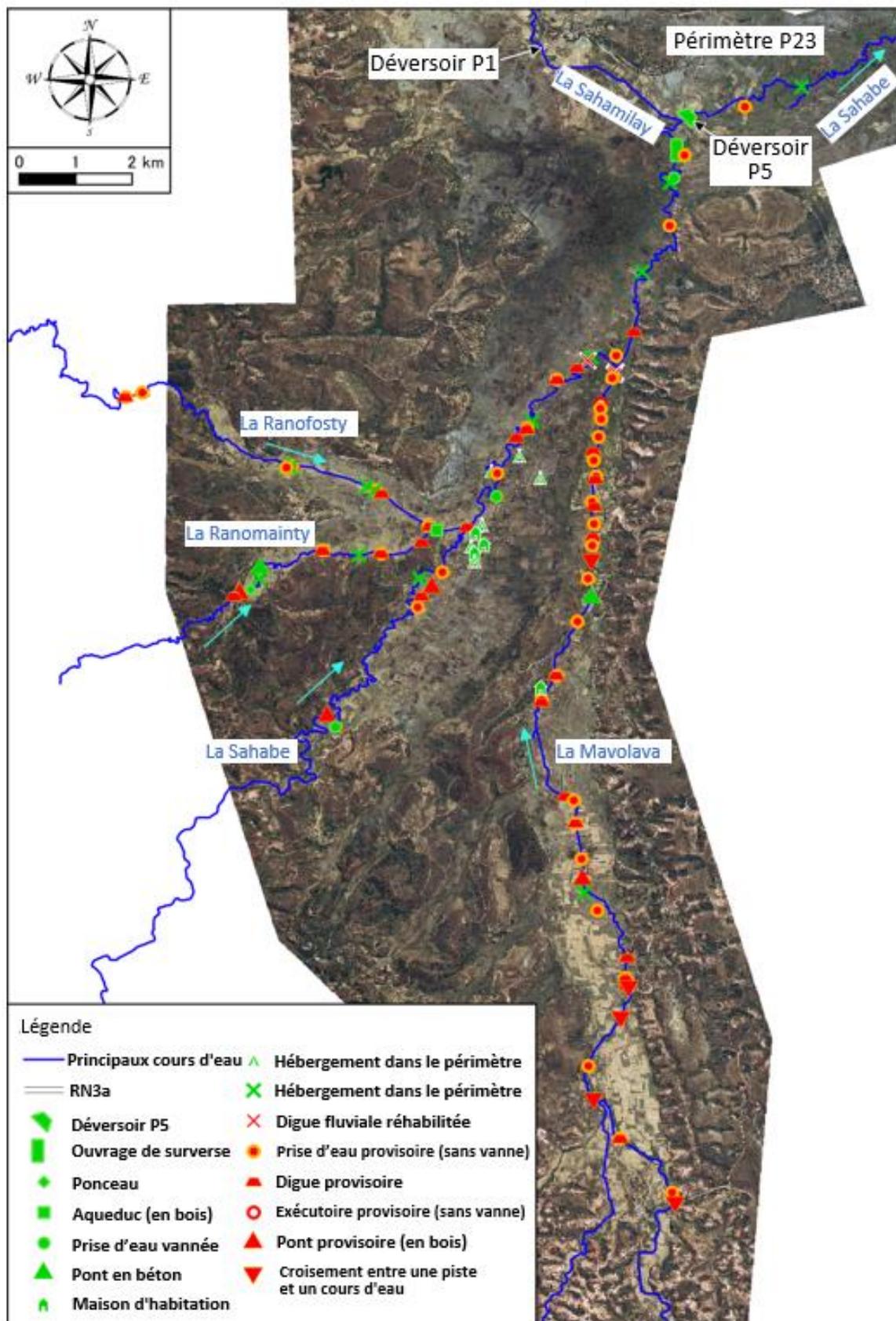
(3) Infrastructures rurales

Une enquête d'inventaire a été menée par le biais d'une visite sur le terrain afin de déterminer le type, le lieu et l'état des infrastructures rurales existantes. Une vue d'ensemble de l'enquête est donnée ci-dessous. Les résultats détaillés de l'enquête sont également présentés dans le document annexe 2.

Tableau 3.2.15 Résumé des résultats de l'enquête d'inventaire

Période d'étude	D'octobre à décembre 2022			
Zones d'étude	Les rivières de Sahabe, de Mavolava, de Ranomainty et de Ranofosty et les zones avoisinantes (voir la figure 3.2.46)			
Méthode d'étude	Visites sur le terrain et interviews auprès d'agriculteurs par le biais d'une sous-traitance locale			
Résumé des résultats de l'inventaire				
	Structure	Ouvrage permanent	Ouvrage provisoire	Total
	Barrage de la prise d'eau	1	42	43
	Ouvrage de prise d'eau	3	38	41
	Digue fluviale réhabilitée	14	0	14
	Pont	4	4	8
	Exutoire	0	2	2
	Déversoir	1	0	1
	Ouvrage de surverse	1	0	1
	Ponceau	1	0	1
	Aqueduc	1	0	1
	Total	26	86	112

Source : Équipe d'étude



Source: Figure créée par l'équipe d'étude, avec © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation
Figure 3.2.47 Localisation des ouvrages identifiés par l'inventaire

(a) Système d'irrigation et de drainage

L'emplacement et l'état des ouvrages ont été identifiés à l'aide d'images satellitaires et d'enquêtes d'inventaire, mais les frontières des périmètres irrigués n'ont pas pu être déterminées avec précision car aucun levé topographique sur les lieux n'a été mené. D'après l'échelle des ouvrages de prise d'eau et les données d'images satellitaires identifiées suivant l'enquête d'inventaire, il n'existerait pas de système d'irrigation systématique au sein du périmètre irrigué de Maharibana, et la majeure partie de l'eau prélevée dans la rivière est acheminée vers chaque champ par des canaux de la taille d'un canal tertiaire. Par ailleurs, la taille de chaque petit bloc d'irrigation a été estimée entre 30 et 100 hectares. Dans chaque petit bloc d'irrigation, il semble qu'il existe un réseau de petits canaux et de canaux de drainage équivalents à un canal tertiaire.

Les deux méthodes de prise d'eau les plus courantes sont la méthode de prise d'eau par un barrage temporaire (construit par les paysans avec du gravier, de l'herbe et des arbres) dans un canal creusé à nu (sans vanne) et celle de prise d'eau libre, dans laquelle l'eau est canalisée sans construire de barrage. Dans les deux méthodes, aucune vanne n'est installée pour réguler le niveau ou le volume de l'eau. La distribution du réseau de canaux a permis de déduire que de nombreux canaux sont des drains à double usage, fonctionnant comme canaux d'irrigation ou de drainage en fonction de la saison de culture.

(b) Réseaux routiers

Les principaux axes routiers autour du périmètre irrigué de Maharivana sont la route nationale numéro 3 a et la route nationale numéro 44, qui traversent du nord au sud les collines à l'est du périmètre irrigué, ainsi que les routes régionales qui y mènent. Cependant, plusieurs de ces routes étaient impraticables au moment de l'enquête sur le terrain, et



Source: Equipe d'étude

Figure 3.2.48 Exemple du barrage et de la prise d'eau construits à titre provisoire



Source: Equipe d'étude

Figure 3.2.49 Digues sur les cours d'eau

(photo en haut : gabion / photo en bas : remblai)

des informations ont indiqué que ce problème était chronique, suggérant que la capacité d'entretien des routes pourrait être inadéquate. Il convient de noter qu'aucune route ne traverse les deux rivières et ne permet l'accès facile aux principaux axes en partant du périmètre irrigué de Maharivana.

(c) Digues sur les cours d'eau

1) Rivière Sahabe

Sur le tronçon Déversoir P5 - Trop plein, la digue a été réhabilitée et le talus du côté rive est partiellement renforcé avec des gabions etc. On trouve certaines traces de crue avec des brèches réparées en aval du déversoir P5.

Les digues des autres sections sont des digues naturelles, sur lesquelles l'on trouve des brèches causées par des inondations et des parties réparées, par endroits. La réhabilitation est faite en remblais de terre mais il semble que la résistance est faible, le compactage par rouleau etc., n'ayant été effectué.

2) Rivière Mavolava

La digue de la rivière Mavolava est une digue naturelle d'amont en aval, avec des preuves de brèches et de réparations observées près de la confluence avec la rivière Sahabe. Il a été observé que le lit de la rivière s'est élevé en amont en raison de l'apport de sédiments provenant des deux rives, ce qui a entraîné une baisse relative de la hauteur de la digue.

3) Rivières Ranomainty et Ranofosty

Dans les cours moyen et inférieur des deux affluents de la rivière Sahabe, des digues naturelles ont été formées et des preuves de brèches et de travaux de restauration ont été observées. Les tronçons les plus élevés de la rivière Ranofosty sont vallonnés avec une roche mère exposée, et aucune digue naturelle n'a été formée.

3.3 Situation actuelle de la zone en amont

3.3.1 Caractéristiques

(1) Topographie

La « zone en amont » à laquelle il est fait référence dans cette section est la zone décrite dans le tableau 3.3.1, c'est-à-dire les six rivières représentées sur la carte de localisation des six rivières en amont, à savoir les rivières Sahamilay, Ampondra, Ranomainty, Andranomainty, Sahabe et Mavorava. La zone autour du lac Alaotra est un relief en creux formé par des failles. Du côté est du lac, une zone montagneuse relativement abrupte, située à environ 1000 m au-dessus du niveau de la mer, domine le lac, mais la faille sépare clairement la zone montagneuse de la plaine. D'autre part, du sud à l'ouest du lac, il y a une plaine alluviale formée par l'apport de grandes et petites rivières dont les rivières Sahabe, Sahamilahy et Ambolotaramadinika. En particulier, dans le sud-ouest où se situe la zone d'étude, il y a un vaste marais formé par le dépôt de sédiments transportés par la rivière Sahabe. La topographie montagneuse du côté ouest du lac est relativement douce par rapport au côté est, et les rivières qui s'écoulent dans la plaine se dirigent initialement vers l'est, mais à une altitude plus élevée, à une limite d'environ 900 m au-dessus du niveau de la mer, une structure de pliage nord-sud prévaut et la rivière change sa direction d'écoulement vers le nord-sud. Ce changement d'orientation suggère l'existence d'une faille s'étendant du nord au sud à une altitude de 900 mètres. On estime que cette faille a créé une topographie d'affaissement et a formé le lac Alaotra. L'eau qui s'écoule dans le lac Alaotra se déverse dans l'océan Indien à travers la rivière Maningory, qui s'écoule à partir du nord-est du lac. Donc, la topographie diffère entre les côtés est et sud-ouest du lac Alaotra. Du côté est, par exemple, la pente est généralement abrupte et de nombreuses rivières sont à sec, tandis que du côté sud-ouest, la pente est relativement douce et on observe le mouvement de l'eau qui coule dans les rivières.

(2) Géologie

Les observations sur le terrain a permis de constater que les sols autour du lac Alaotra sont composée de gneiss et de micaschistes avec des intrusions de granite. Il semble que la migmatite a été formée par un métamorphisme généralisé des gneiss par l'intrusion de granite. Le feldspath alcalin, un minéral formant la roche du granite et de la granodiorite, produit de l'argile kaolinique, qui serait l'une des raisons de la présence fréquente des lavaka (ruptures de pente) dans la région.

(3) Sols

Les sols latéritiques, formés à partir de roches hôtes granitiques et gneissiques, sont largement répandus en tant que sols typiques de la région. Les sols latéritiques qui ne sont pas recouverts d'une couverture végétale sont fortement lessivés. Il s'agit de sols latéritiques sur granite dans les montagnes, de sols latéritiques sur migmatite ou gneiss dans les collines, d'anciens sols alluviaux sur les terrasses et nouveaux sols alluviaux dans les basses plaines et les plaines de fond de vallée. Les résultats de l'analyse physico-chimique des échantillons de sol prélevés dans les rizières et les champs de la zone d'étude sur la base de cette classification des sols montrent les caractéristiques suivantes.

- i) Les sols des collines et des terrasses sont des sols sableux faiblement acides, avec une faible

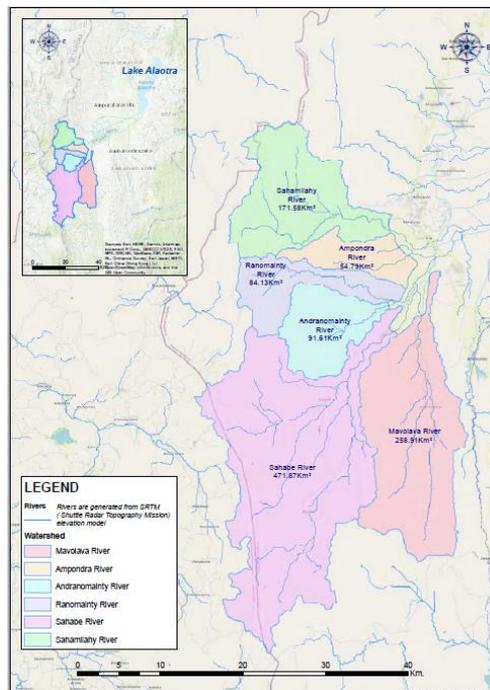
capacité de remplacement des bases et une faible saturation en bases, toutes deux faibles, et un lessivage marqué des bases, une faible teneur en matières organiques et une faible fertilité.

- ii) Les sols des rizières situées entre les vallées et les montagnes ont une teneur accrue en matière organique et une fertilité élevée là où ils sont affectés par une topographie peu drainante, mais deviennent des sols sableux minces là où ils sont directement affectés par le lavaka voisin.
- iii) Les sols alluviaux du périmètre irriguée PC23 présentent des différences marquées en termes de fertilité et de propriétés physiques, en raison des différences de conditions de drainage dues au type de matériau de base déposé, à la durée d'utilisation des rizières et à l'altitude des champs.

(4) Rivières et leurs bassins versants

Sur la base de l'analyse des données satellitaires et des cartes topographiques au 1/200 000, dans la partie en amont de la zone cible, cette fois-ci, six rivières ont été sélectionnées pour l'étude, à savoir : la Sahamilay, l'Ampondra, la Ranomainty, l'Andranomainty, la Sahabe et la Mavorava. La localisation de chaque rivière est présentée dans la figure 3.3-1.

Les différentes caractéristiques des six rivières sont présentées dans le tableau 3.3-1.



Source: Equipe d'étude

Figure 3.3.1 Localisation des six cours d'eau dans la partie en amont de la zone d'étude

Tableau 3.3.1 Caractéristiques des six rivières dans la partie amont de la zone d'étude

Nom de la rivière	Superficie du bassin versant (ha)	Altitude minimale dans le bassin versant (m)	Altitude maximale dans le bassin versant (m)	Altitude moyenne dans le bassin versant (m)	Pente moyenne du bassin versant (degré)
Rivière Sahamilay	17.158	775	1.392	1.070	0,31
Rivière Ampondra	5.479	769	1.066	889	0,29
Rivière Ranomainty	8.413	774	1.156	992	0,33
Rivière Andranomainty	9.161	772	1.115	955	0,25
Rivière Sahabe	47.187	770	1.409	1.091	0,25
Rivière Mavorava	25.891	766	1.051	940	0,24

Source: Equipe d'étude

3.3.2 Végétation et utilisation des terres

Dans l'«Étude de développement rural et de l'aménagement des bassins versants dans le Sud-Ouest de la Région d'Alaotra», menée sur une période de cinq ans à partir de 2003, l'utilisation des terres dans les bassins versants du terrain d'étude a été classée en forêts, prairies/arbustes, terres arables et autres. Le tableau 3.3-2 montre la superficie de terres pour chaque type de végétation et leur utilisation dans les bassins versants supérieurs. Les caractéristiques suivantes ont été mentionnées concernant l'état actuel de l'utilisation des terres lors de l'étude.

- i) Les terres arables de la région sont déjà pleinement utilisées et il n'y a pas de place disponible pour une nouvelle expansion des terres agricoles.
- ii) Les forêts naturelles restent des zones boisées, bien que la strate forestière ait été dégradée suite à des incendies de forêt.
- iii) Aucune réduction de la superficie de bois sur pied, en raison des activités d'exploitation forestière et des dommages causés par les feux de brousse, n'a eu lieu dans les forêts plantées appartenant à la Société FANALAMANGA.
- iv) Le reboisement des prairies dégradées est rarement mis en œuvre.

Tableau 3.3.2 Végétation, superficie et utilisation des terres dans les bassins versants supérieurs lors de l'Étude de développement

Bassin versant / zone	Forêts*		Prairies/arbustes		Terres arables*		Autres*		Total* Superficie
	Superficie / Proportion		Superficie / Proportion		Superficie / Proportion		Superficie / Proportion		
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)
Sahamilahy	1.674	8	15.925	77	1.323	6	1.674	8	20.596
Ampondra	1.126	19	2.708	46	1.059	18	941	16	5.834
Ranomainty	1.732	18	6.524	67	748	8	735	8	9.739
Andranomainty	1.943	23	5.221	60	565	7	925	11	8.654
Sahabe	9.052	18	25.471	52	7.749	16	6.804	14	49.076
Mavorava	4.275	18	13.863	57	2.083	9	4.193	17	24.414
Zone cible de l'étude	19.802	13	69.712	55	13.527	20	15.272	12	118.313

N.B. (*)

La superficie des forêts est la somme des forêts naturelles, des forêts plantées de pins des forêts plantées d'eucalyptus.

La superficie classée comme terre arable est la somme des rizières et des champs ; la superficie classée comme autres est la somme de la végétation riveraine, des zones humides et des plans d'eau.

La superficie de chaque bassin versant mesurée au moment de l'Étude de développement diffère des résultats de l'analyse de la présente étude.

Source: Rapport final de l'Étude de développement de la JICA (janvier 2008)

En ce qui concerne le pourcentage de couverture forestière dans chaque bassin versant de la zone d'étude, la couverture forestière la plus élevée dans chaque bassin versant est de 23% pour la rivière Andranominty, qui appartient au système de la rivière Sahabe, suivi par le bassin versant de la rivière Ampondra avec 19%, et le troisième plus élevé dans le bassin versant de la rivière Sahabe et le bassin versant de la rivière Ranomainty, 18% dans le bassin versant de la rivière Mavorava. D'autre part, le bassin versant ayant la plus faible couverture forestière est le bassin versant de la rivière Sahamilay avec 8 %.

Les forêts de pins plantées par la Société FANALAMANGA sont très répandues dans les trois bassins hydrographiques à forte couverture forestière. Des plantations d'eucalyptus ont également été faites dans ces trois bassins versants. L'eucalyptus, principalement l'eucalyptus robusta, est planté, une espèce bien adaptée aux conditions naturelles de la région et qui pousse bien, sans qu'aucune maladie ou parasite n'ait été signalé. Les forêts naturelles sont répandues dans la partie supérieure du bassin principal de la rivière Sahabe.

D'autre part, tous les bassins versants sont principalement couverts de prairies et d'arbustes, jusqu'à 55 % de la surface totale de la zone cible. Dans les prairies et les arbustes, la majeure partie du sol de surface est emportée par les précipitations et le ruissellement de surface peut facilement se produire lors des épisodes pluvieux. Ces bassins hydrographiques ne comportent pas de grandes zones de plantations telles que des pinèdes, ce qui se traduit par une faible couverture forestière. Quant aux terres arables, elles occupent 20 % du bassin versant.

Par ailleurs, selon les informations recueillies lors des entretiens menés au cours de l'étude de développement précédente, l'une des causes de cette déforestation et de cette dégradation dans la région est que les Betsumisaraka, qui ont migré dans la région depuis le sud, mettent le feu à la forêt pour faire du charbon de bois et défricher, ce qui entraîne la déforestation et la dégradation de la forêt dans la partie supérieure de la région.

3.3.3 Formes d'érosions du sol et répartition des Lavaka dans le bassin versant supérieur

(1) Formes d'érosions du sol

Une grande partie d'érosions du sol se produit dans la partie supérieure du lac Alaotra. D'après les résultats d'une étude préliminaire sur le terrain qui a été conduite par une mission envoyée directement par la JICA avant le commencement de la présente étude, l'érosion du sol peut être classée en trois catégories selon le mécanisme d'occurrence.

- (i) Érosion du sol / de surface
- (ii) Érosion par ravinement
- (iii) Effondrement entraîné par la gravité

Localement, (ii) et (iii) sont appelés lavaka sans distinction et sont reconnus comme des causes d'écoulement de sédiments, mais les mécanismes d'occurrence et les mesures appropriées de contrôle des sédiments sont différents pour chacun d'entre eux.

Comme indiqué dans la section (a) « Effets internes », 3) « Végétation » dans la section (2) « Causes de lavaka » ci-dessous, la couverture végétale de la surface du sol a pour fonction de contrôler l'érosion causée par le ruissellement de surface. Les résultats d'une étude sur l'érosion du sol par type de végétation dans une zone test effectuée au cours de l'Étude de développement ont



Source: Equipe d'étude

Figure 3.3.2 Érosion de surface évoluant vers l'érosion par ravinement

montré que les forêts d'Eucalyptus étaient 1,3 fois plus efficaces pour contrôler l'érosion du sol que les prairies à faible couverture (*Aristida* spp.), et que les forêts de *Grevillea banksii* étaient 4,0 fois plus efficaces pour contrôler l'érosion du sol. Par conséquent, l'érosion de surface ((i) ci-dessus) est considérée comme se produisant dans les zones dénudées avec perte de végétation et dans les prairies dégradées à faible couverture.

Les observations faites au cours de l'Étude de développement et de l'enquête sur le terrain de la présente étude montrent que le ravin s'étend en raison de l'écoulement sélectif de l'eau à la surface du sol. On peut en déduire que l'érosion de surface ((i) ci-dessus) subit un processus qui évolue vers l'érosion par ravinement ((ii) ci-dessus) (Fig. 0.2).



Source: Equipe d'étude

Figure 3.3.3 Érosion des berges

En outre, lorsque les érosions par ravinement s'étendent et atteignent des parties de la structure géologique située en dessous, comme décrit ci-dessous au point (a) « Effets internes », 1) « Géologie », on estime qu'elles interagissent et que les couches de sol déstabilisées qui en résultent provoquent un effondrement par gravité ((iii) ci-dessus), formant les lavaka tel qu'on peut le voir aujourd'hui.

Cela permet de supposer qu'il s'effectue un processus continu caractérisé par l'érosion de surface ((i) ci-dessus) \Rightarrow l'érosion par ravinement ((ii) ci-dessus) \Rightarrow l'effondrement par gravité ((iii) ci-dessus), l'érosion de surface (i) étant aussi un des facteurs dans l'apparition des lavaka et la cause de la dégradation en amont, plutôt que de considérer qu'il s'agit des trois types distincts d'érosion.

Outre les séries d'érosions du sol sur les pentes mentionnées ci-dessus, on peut également constater que dans le cours supérieur de la rivière, le sol est emporté dans la rivière en raison de l'érosion des berges, puis transporté et déposé en aval vers les zones irriguées (Fig. 0.3). Les rivières qui sortent des tronçons supérieurs serpentent sur des pentes douces, provoquant l'érosion des berges du côté de la pente d'attaque. Bien que dans le cadre de cette étude, cela n'ait été qu'observé visuellement sur le terrain, en estimant qu'il peut y avoir également un apport important de sédiments dans la zone en aval, il s'avèrerait important de prendre des mesures à ce niveau.

Les lavaka sont la forme d'érosions la plus caractéristique à Madagascar et sont fréquents dans la partie centrale du pays. La forme d'érosions par lavaka varie en fonction du degré de progression. Dans les environs du lac Alaotra, le site de la présente étude, les lavaka se produisent surtout sur des pentes peu raides. Les lavaka peuvent se produire à partir de n'importe quelle position sur la pente si les conditions sont favorables, mais les principaux sites sur les pentes sont 1) à mi-pente et 2) à faible pente. En outre, elles sont souvent présentes dans les cours d'eau qui s'étendent à partir de petits bassins versants sur des pentes douces.

(2) Facteurs de l'apparition des lavaka

L'érosion joue un rôle fondamental dans la formation du relief, dont les causes varient. Les lavaka sont la forme d'érosions la plus caractéristique autour du lac Alaotra, et ces érosions varient en fonction du degré de progression dans la séquence du processus susmentionnée : (i) Érosion du sol / de surface (ii) Érosion par ravinement (iii) Effondrement entraîné par la gravité. On considère que l'apparition des lavaka est due à l'interaction de plusieurs facteurs internes et externes décrits ci-dessous.

Il convient toutefois de noter que les informations suivantes sont basées sur les résultats de l'enquête sur le terrain qui a été menée dans le cadre de l'Étude de développement.

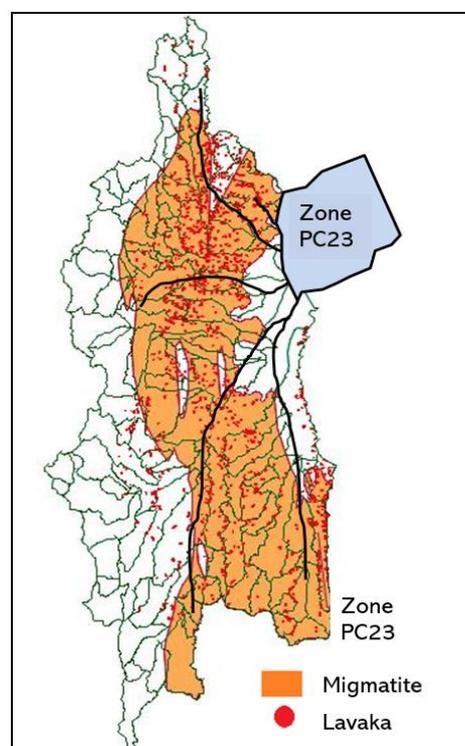
(a) Facteurs internes

1) Géologie

Plusieurs études existantes ont montré que les lavaka sont fréquents dans les formations où les roches de base ont été soumises à une fracturation interne sous l'effet de la chaleur et de la pression souterraines.

Les lavaka sont également présents là où les roches de base ont été altérées. Dans les hautes terres centrales de Madagascar, le granite, la granodiorite, le mélange granite-migmatite et le gneiss constituent les roches de base, mais ces corps intrusifs et les roches métamorphiques largement intrusives ont subi des fractures internes pendant une longue période, de sorte qu'on suppose que dans les hautes terres centrales, y compris le lac Alaotra et les zones environnantes, des couches fortement fracturées et altérées sont présentes sur des épaisseurs considérables. Les roches ignées telles que le granite et la granodiorite sont riches en plagioclase et en feldspath alcalin en tant que minéraux primaires formant les roches, et qui sont régénérés en minéraux secondaires par la fracturation interne et

l'altération pour former des minéraux de type 1:1 tels que la kaolinite. Les minéraux de type 1:1 sont très hydrophiles et ne gonflent pas, et ont donc une faible résistance à l'érosion. On suppose que la présence d'une telle couche minérale de kaolin fournit une surface de glissement pendant l'effondrement et est l'une des causes de la production des lavaka. La figure 3.3-2 montre la relation entre la répartition des lavaka et celle de la migmatite, et l'on peut constater que les lavaka se trouvent très souvent dans la zone de distribution de la migmatite.



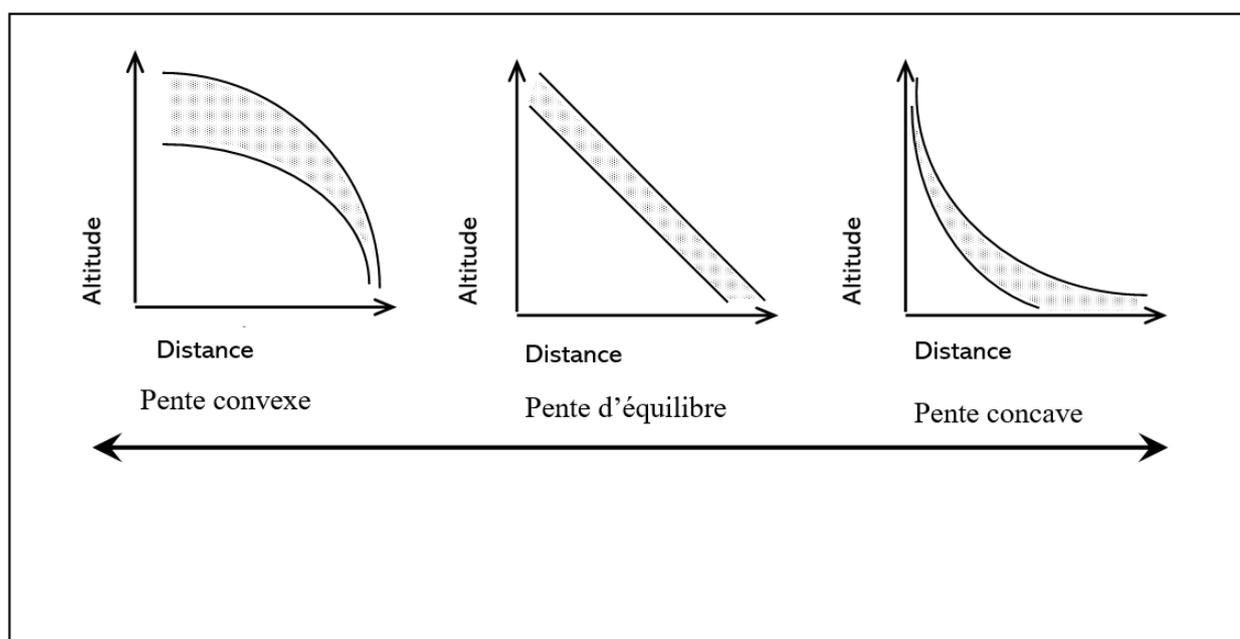
Source : Etude de développement de la JICA (janvier 2008)

Figure 3.3.4 répartition des lavaka et des migmatites

2) Topographie

La forme et le degré de la pente sont également des facteurs importants dans la présence des lavaka. Il a été rapporté que dans la plupart des cas les lavaka apparaissent lorsque la pente est supérieure à 50 %¹. La forme, la longueur et le degré de la pente peuvent être considérés comme des facteurs qui augmentent ou diminuent l'érosion. En effet, la forme et la pente déterminent la vitesse de ruissellement. D'autre part, le profil de la pente, ainsi que les sédiments souterrains qui la composent, sont des facteurs importants impliqués dans l'effondrement. Les profils de pente peuvent être classés en trois types principaux, c'est-à-dire pente convexe, pente d'équilibre et pente concave, comme le montre la figure ci-dessous.

Les observations ont également permis de constater que les types d'effondrements tels que celui des lavaka se produisent principalement sur des pentes convexes. Il est supposé que la partie supérieure des pentes convexes est fortement entassée des couches qui ont subi une fracturation interne et une altération, comme décrit dans la section Géologie, et qu'elle est donc plus sujette à des effondrements à grande échelle tels que celui des lavaka. En revanche, là où les pentes sont plus semblables à des pentes concaves, des vallées en forme de V sont principalement formées. Les collines du côté sud-ouest du lac Alaotra présentent une topographie juvénile résultant du soulèvement du lit du lac, comme le montre l'image de la Figure 0 6, et l'on suppose qu'il s'agit de l'un des facteurs qui ont déclenché les lavaka.



Source : Etude de développement de la JICA (janvier 2008)

Figure 3.3.5 Relation entre la survenance de l'effondrement et la forme de pente

¹ Étude de développement de la JICA(janvier 2008)

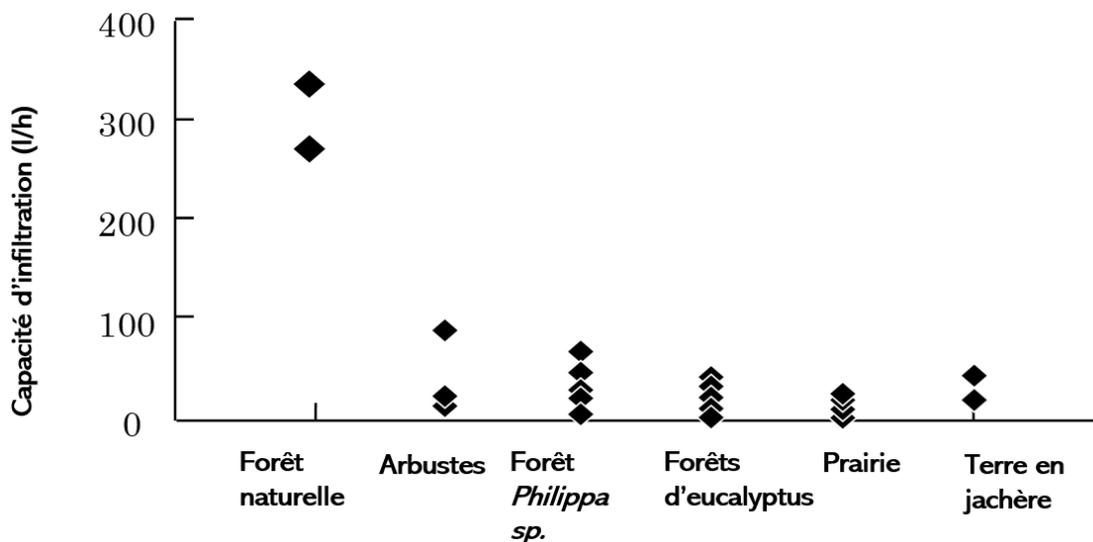


Source : Etude de développement de la JICA (janvier 2008)

Figure 3.3.6 Relation entre la survenance de l'effondrement et la forme de pente

3) Végétation

Il est évident que toute couverture végétale (ligneuse, herbacée, litière, humus, etc.) à la surface du sol a pour effet de ralentir l'érosion qui se produit à la surface du sol. Même dans le bassin versant du lac Alaotra, les lavaka se produisent principalement dans des zones sans ou avec peu de végétation. La végétation a pour fonction de protéger la surface du sol de l'impact des gouttes de pluie et du ruissellement superficiel qui résulte des précipitations. La présence ou l'absence de végétation se traduit également par des différences dans la capacité d'infiltration de la surface du sol. Le graphique de la figure 3.3.7 ci-dessous montre les différences de capacité d'infiltration des différentes végétations et différentes utilisations des terres à Madagascar. Les résultats montrent que la capacité d'infiltration des forêts naturelles est remarquablement élevée par rapport aux autres types de végétation. À l'inverse, la capacité d'infiltration des prairies est faible. Les différences de capacité d'infiltration en surface sont directement liées au ruissellement de surface. Et comme le ruissellement de surface est considéré comme l'un des principaux facteurs de l'apparition et de l'évolution des lavaka, comme nous le verrons plus loin, la présence et l'état de la couverture végétale sont également un facteur important dans l'apparition des lavaka.



Source : Etude de développement de la JICA (janvier 2008)

Figure 3.3.7 Comparaison des capacités d'infiltration entre différents types de couverts végétaux

(b) Facteur externe (conditions naturelles)

1) Précipitations (érosion par les gouttes de pluie)

L'impact et l'érosion due aux gouttes de pluie constituent le premier processus d'érosion que subit la surface du sol lors des précipitations. L'ampleur de l'impact des gouttes de pluie est proportionnelle à la taille et à la fréquence des gouttes de pluie, c'est-à-dire à l'intensité des précipitations. Naturellement, lorsque les précipitations augmentent, le risque d'érosion augmente également. Un élément qui absorbe l'impact des gouttes de pluie, par exemple le couvert végétal, est également efficace pour prévenir l'érosion.

2) Climat

L'existence d'une saison sèche et d'une saison des pluies bien définies à Madagascar, en raison de la répétition des pluies et de l'assèchement, favorise l'altération des roches de base et constitue l'un des facteurs contribuant à l'apparition des lavaka. En outre, les aléas climatiques tels que les cyclones, les précipitations prolongées pendant la saison des pluies et les vents forts ont également un impact significatif sur l'apparition des lavaka. En particulier, les cyclones, qui frappent fréquemment la région, sont considérés comme le facteur externe le plus important dans l'apparition des lavaka, car ils apportent des précipitations d'une intensité et d'une quantité exceptionnelles.

(c) Facteurs extérieurs (conditions socio-économiques)

1) Construction des routes

Les habitants créent des chemins (sentiers) pour se rendre dans d'autres zones et en revenir (dans la plupart des cas, les chemins sont formés naturellement par le piétinement répété). En fonction de l'objectif et de la saison, la direction et l'emplacement du chemin changent à plusieurs reprises, et parfois le chemin n'est plus emprunté. Dans de nombreux cas, les chemins mènent à travers les pentes jusqu'au sommet des collines. Ces sentiers sont les premiers points où des ravins se forment pendant la saison des

pluies. L'eau accumulée le long de la route accélère également l'érosion de la surface, ce qui entraîne en partie l'apparition des lavaka. La construction de routes est donc l'un des facteurs d'apparition des lavaka à prendre en compte.

2) Pâturage

D'après les entretiens avec les résidents locaux, la zone autour du lac Alaotra est une zone où le pâturage a été activement pratiqué du passé à nos jours, en raison des vastes prairies dans la région. Les observations faites lors de l'enquête sur le terrain dans le cadre de l'Étude de développement ont montré que les troupeaux de bovins se déplacent de manière régulière d'un endroit à l'autre quotidiennement ou suivant la saison. Au fur et à mesure de ce déplacements, des chemins se créent en raison de la dégénérescence de la végétation causée par le piétinement. De plus, la végétation autour des chemins est généralement pauvre, car le bétail recherche l'herbe au bord des routes pendant son déplacement. Les agents de la Direction régionale des forêts (lors l'étude de développement, il s'agit maintenant la Direction régionale de l'environnement et du développement durable) ont souligné que cette migration répétée pourrait induire l'érosion du talus, entraînant l'apparition des lavaka.

En outre, il a été observé que les canaux creusés par les agriculteurs sur les pentes pour irriguer leurs champs étaient également un facteur d'apparition des lavaka.

3) Feux ouverts (feux de forêt)

Les feux ouverts ont un lien déterminant avec le pâturage. Les communautés d'éleveurs mettent délibérément le feu aux prairies afin de favoriser la germination de jeunes pousses d'herbes pour leur bétail. Le brûlage commence généralement entre août et octobre, dans l'attente d'une nouvelle croissance de la végétation pendant la saison des pluies, qui commence au début du mois de décembre. Cependant, la perte de végétation causée par le brûlage entraîne un risque d'érosion du sol. Les brûlages répétés provoquent des effets sur le sol et l'anaérobie, empêchant la croissance d'herbes de pâturage de bonne qualité. Tout cela conduit à une érosion superficielle du sol, qui est un facteur d'apparition des lavaka.



Source : Etude de développement de la JICA (janvier 2008)

Figure 3.3.8 Feux de forêt et Lavaka

(3) Classement des types de lavaka

Les lavaka peuvent être classés en trois types selon leurs caractéristiques dynamiques, comme suit :

- Type actif : La partie effondrée à l'intérieur du lavaka n'est pas stabilisée, produisant entraînant activement les écoulements de sédiments.
- Type intermédiaire : Bien que certains effondrements s'observent à l'intérieur du lavaka, le sol est partiellement couvert de végétation et les écoulements de sédiments ont tendance à diminuer et en train de se stabiliser.
- Type stable : Les végétations étant abondantes à l'intérieur du lavaka, les parties effondrées sont stabilisées et les écoulements de sédiments ne se produisent guère.



Lavaka actif (1)



Lavaka actif (2)



Lavaka intermédiaire



Lavaka stable

Source : Étude de développement de la JICA (janvier 2008)

Figure 3.3.9 Classement des types de lavaka

On observe que parmi ces trois types de lavaka, ce sont ceux du type actif et du type intermédiaire qui s'effondrent et que lors des pluies diluviennes, les sédiments qui s'accumulent en leur sein s'écoulent vers les bassins versants en aval.

Dans le rapport de ladite Étude de développement, on trouve également des mentions relatives à l'état de l'apparition des lavaka dans les différents bassins versants. Le tableau 3.3.3 indique le nombre de lavaka répartis dans les bassins versants et leur nombre d'apparitions par 100 ha.

Tableau 3.3.3 Nombre de lavaka répartis dans les bassins versants supérieurs et leur nombre d'apparitions par 100 ha (en date de 2008)

Nom du cours d'eau	Superficie du bassin versant (ha)	Nombre approximative de lavaka	Nombre d'apparitions par 100 ha
Sahamilahy	20.596	209	1,0
Ampondra	5.834	71	1,2
Ranomainty	9.739	37	0,4
Andranomainty	8.654	106	1,2
Sahabe	49.076	276	0,6
Mavorava	24.414	310	1,3
Total	118.313	1.330	0,9

Source : Étude de développement de la JICA (janvier 2008)

(4) Identification des sites d'érosions du sol dans les bassins versants en amont

Pour entreprendre la lutte contre le ruissellement des sédiments dans les zones en amont du lac Alaotra, il y a lieu d'identifier sur quels sites intervenir au stade initial du processus de mesures.

Dans le cadre de la présente étude, la présence ou non de couverture végétale dans les zones en amont a été confirmée et l'emplacement des érosions par ravinement et des effondrements gravitationnels a été visuellement identifié sur Google Earth©Pro, c'est-à-dire des données satellitaires fournies gratuitement.

(i) Érosion du sol / de surface

Comme indiqué dans partie 3.3.3 du présent rapport « Formes d'érosions du sol et répartition des Lavaka dans le bassin versant supérieur », notamment à la section (1) « Formes d'érosions du sol », la couverture végétale à la surface du sol a pour fonction de contenir les érosions provoquées par le ruissellement de surface ; en d'autres termes, les pentes nues sans couverture végétale peuvent être considérées comme des zones où les érosions de surface peuvent avoir lieu.

L'interprétation visuelle à l'aide de Google Earth® Pro a montré que la présence et l'emplacement des forêts (arbustes et arbres hauts et moyens) pouvaient être identifiés à partir de la texture et de la teinte des images. Il a également été constaté qu'il était possible de distinguer les prairies et les zones dénudées sur la base des différents tons de couleur. Sur les images Google Earth® Pro, respectivement, les zones couvertes de forêts sont en vert, les zones couvertes de prairies passent du marron foncé au brun, et les zones n'ayant presque pas de couverture végétale et les zones dénudées sont en orange, en beige et en gris clair.

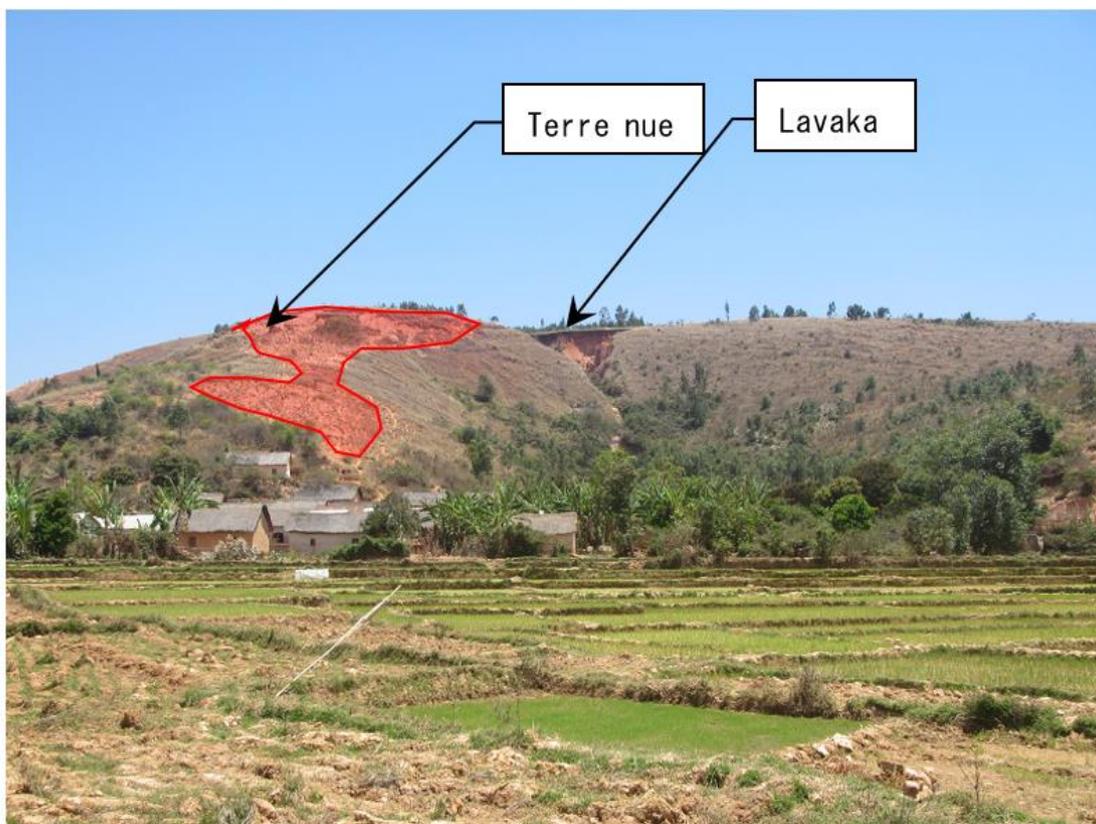
La figure 3.3.10 est une photographie de la couverture végétale autour de la zone où l'équipe d'étude a effectué l'enquête de terrain le 5 octobre 2022. La terre nue et le lavaka qui apparaissent dans la photographie sont également visibles sur l'image de Google Earth® Pro.

Il est donc clair que les zones de pentes nues, considérées comme des sites potentiels d'érosions de surface, peuvent être repérées à partir des données d'images de Google Earth® Pro.

Comme mentionné ci-dessus, il est nécessaire de restaurer la couverture végétale afin d'endiguer les érosions de surface. Les méthodes possibles de restauration de la couverture végétale comprennent le reboisement et la plantation de semences d'espèces herbacées. Les terres dénudées repérées constitueront

donc la cible de ces opérations.

Cependant, il y a lieu de prendre en considération du fait que, bien que les données d'images obtenues à l'aide de Google Earth® Pro permette l'identification des sites du point de vue des conditions naturelles, telles que la présence ou l'absence de végétation, pour les activités de reboisement à proprement parler, il est également nécessaire de tenir compte des conditions socio-économiques, telles que la question de savoir si les droits fonciers et les modes d'utilisation des terres n'interféreront pas avec le reboisement. Par conséquent, afin de déterminer le site réel de reboisement pour lutter contre les érosions de surface, il est nécessaire de visiter la commune locale et de mener des entretiens pour se rendre compte de ces conditions socio-économiques.



Source : Équipe d'étude

Figure 0.2 Photographie de la couverture végétale autour du site où l'équipe d'étude a mené une enquête sur le terrain le 5 octobre 2022

En outre, il y a aussi lieu de rappeler que l'objectif des activités de lutte contre les érosions du sol dans la zone en amont est de réduire l'apport de sédiments dans les rivières et les cours d'eau du périmètre irrigué de Maharivana, de prévenir les inondations et le mauvais drainage dus au dépôt de sédiments, et de contribuer à l'amélioration et à la stabilité de la production agricole et à l'utilisation durable des installations. C'est en gardant cela à l'esprit que l'identification des zones de reboisement pour lutter contre les érosions de surface devrait se faire. Étant donné que les sédiments rejetés des pentes à cause des érosions de surface sont transportés par les rivières vers le périmètre irrigué en aval, il est nécessaire de sélectionner des sites de reboisement à proximité des rivières où l'on peut observer un apport direct de

sédiments. À cet égard, il est possible de déterminer la relation de position entre les pentes dénudées et les rivières à partir des données des images de Google Earth[®] Pro, facilitant de sélectionner des sites de reboisement.

(ii) Érosions par ravinement

Comme indiqué plus haut, les érosions par ravinement sont considérées comme l'expansion par ravinement des érosions de surface sur un sol nu, en raison de l'écoulement sélectif de l'eau sur la surface du sol. Or, les opérations de la présente étude ont par ailleurs démontré que, bien que les érosions par ravinement existent sur les terrains nus où se produisent les érosions de surface, il est difficile de les localiser à partir des données des images Google Earth[®] Pro car elles ne sont pas aussi importantes que les effondrements gravitationnels décrits au point (iii) ci-dessous. Afin d'identifier la position des érosions par ravinement, il est nécessaire d'utiliser des données d'images distinctes à haute résolution et d'identifier réellement leur position à travers une enquête sur le terrain.

En outre, pour empêcher la propagation des érosions par ravinement, il est également efficace d'installer un barrage de contrôle des inondations en forme d'escalier avec une combinaison de plusieurs bouchons de ravinement, comme le montre la figure 3.3.13 dans la section suivante. Ces conceptions nécessitent encore des données d'images à haute résolution distinctes et des enquêtes supplémentaires sur le terrain.

(iii) Effondrements par gravité

Étant donné leur vaste échelle, les effondrements gravitationnels peuvent être localisés et identifiés à partir des données d'images de Google Earth[®] Pro.

La figure 3.3.11 est une photographie d'un effondrement gravitationnel (Lavaka) qui a été prise sur le terrain par l'équipe d'étude le 5 octobre 2022. Sur l'image Google Earth[®] Pro est également identifiée le même lavaka que dans la photographie.

Ainsi, dans le cadre de la présente étude, l'imagerie de Google Earth[®] Pro a été utilisée pour identifier l'emplacement des lavakas en amont de la rivière. Ces opérations ont été interrompues lorsque l'étude a été interrompue, mais un total de 49 emplacements de lavaka ont été identifiés. Le tableau 3.3.4 montre les coordonnées géographiques des lavakas identifiés

Il convient de noter également que l'Étude sur le développement rural et l'aménagement des bassins versants dans le sud-ouest de la Région d'Alaotra, qui a été menée entre 2003 et 2008, a identifié 1.330 sites de lavaka en amont de six rivières, comme le montre le tableau 3.3.3 « Nombre de lavaka répartis dans les bassins versants supérieurs et leur nombre d'apparitions par 100ha (en 2008) » de ce rapport.

Comme décrit dans la section 3.3.3 « Formes d'érosions du sol et répartition des Lavaka dans le bassin versant supérieur », (3) « Classement des types de lavaka » du présent rapport, les lavaka sont classées en trois types : actifs, intermédiaires et stables. Chaque type nécessite des mesures particulières de lutte contre le ruissellement des sédiments.

Une mesure a été effectuée dans le cadre de l'Étude de développement relatée plus haut pour connaître les différences en termes de volume de ruissellement des sédiments entre les trois différents types de lavaka : il s'agissait de délimiter des placettes pour les lavakas de types actifs, intermédiaires et stables

respectivement et mesurer les volumes des sédiments qui s'écoulent de l'intérieur, à chaque fois que la pluie tombe. La figure 3.3.12 présente la relativité entre les précipitations et les volumes de ruissellement des sédiments.

Les résultats de ladite étude permettent de résumer les différences et caractéristiques en termes de volume de ruissellement des sédiments ainsi que leur relativité avec les précipitations, comme suit :

- ✓ Le volume du ruissellement des sédiments depuis le lavaka se rattache aux précipitations : plus les précipitations augmentent, plus le volume du ruissellement augmente.
- ✓ On observe un rapport entre le volume du ruissellement des sédiments et le niveau de couverture végétale : le volume du ruissellement des sédiments depuis le lavaka est relativement élevé quand il s'agit d'un lavaka actif avec une couverture végétale peu dense et, par contre, moins élevé lorsqu'il s'agit d'un lavaka stable avec une couverture dont le niveau de couverture végétale est élevé.
- ✓ Une grande différence est observée en termes de volume du ruissellement des sédiments entre les cas des lavakas actifs et les cas des lavakas stables : chaque fois qu'il y a des précipitations intenses, les volumes des ruissellements des sédiments sur les lavakas stables restent peu importants tournant de 0 à 100kg, tandis que sur les lavakas actifs, ces volumes augmentent considérablement se situant dans une fourchette de 1.000 à 10.000kg.
- ✓ La probabilité de survenance d'un cas de ruissellement des sédiments depuis un lavaka dépend plus de l'intensité des précipitations que du volume total des précipitations.

Les résultats de cette mesure laissent entendre que les ruissellements des sédiments peuvent continuer de se produire au niveau des lavakas actifs, sauf que la couverture végétale des sols est restaurée.

Cependant, les données d'images de Google Earth© Pro sont insuffisantes en termes de résolution pour établir une typologie des lavakas qui ont tendance à causer moins de ruissellements des sédiments, et l'étape suivante devra consister en une analyse avec de données d'images à haute résolution et une vérification supplémentaire par des visites techniques sur le terrain.



Source : Équipe d'étude

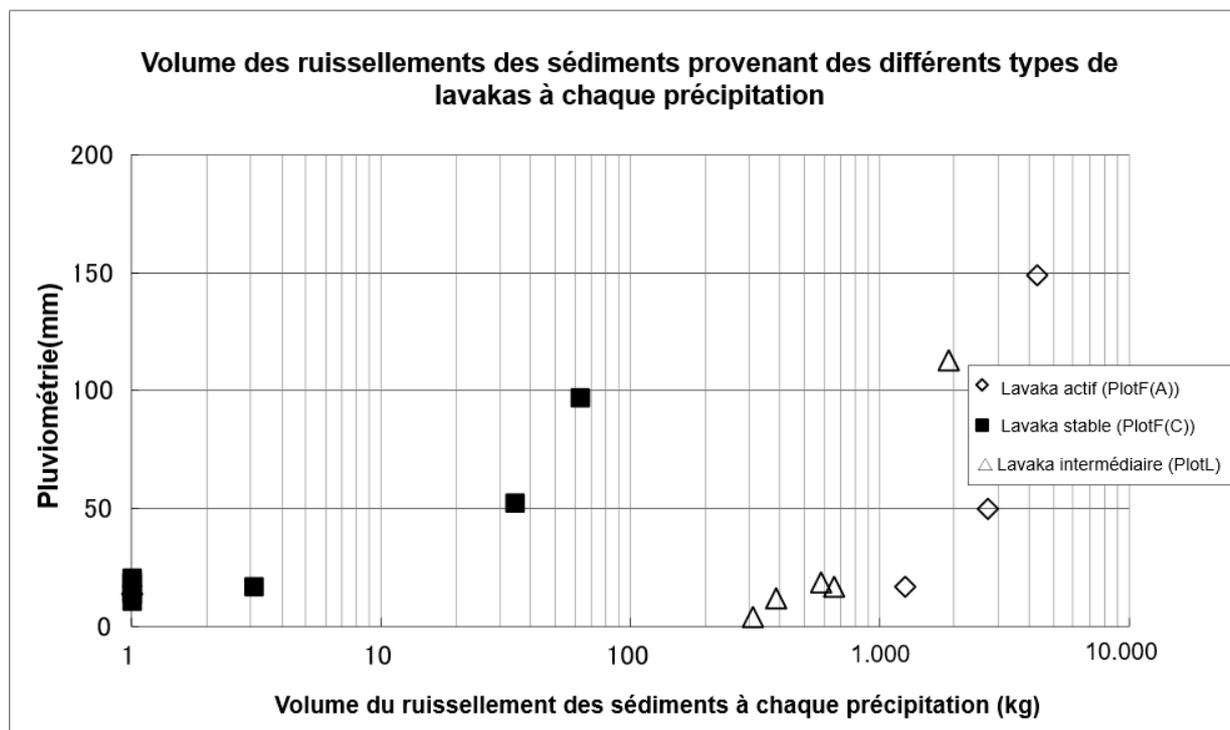
Figure 0.3 Effondrement gravitationnel (lavaka) examiné sur le terrain par l'équipe d'étude le 5 octobre 2022

Tableau 0.2 Coordonnées géographiques des lavakas identifiés au cours de la présente étude

No.	Latitude	Longitude
1	S 17° 53' 55"	E48° 07' 10"
2	S 17° 55' 11"	E48° 07' 26"
3	S 17° 57' 25"	E48° 11' 11"
4	S 18° 03' 02"	E48° 11' 13"
5	S 18° 03' 15"	E48° 11' 09"
6	S 18° 03' 08"	E48° 11' 16"
7	S 18° 03' 25"	E48° 11' 05"
8	S 18° 03' 28"	E48° 10' 58"
9	S 18° 04' 24"	E48° 11' 21"
10	S 18° 04' 19"	E48° 11' 10"
11	S 18° 05' 36"	E48° 11' 08"
12	S 18° 05' 47"	E48° 11' 16"
13	S 18° 06' 51"	E48° 10' 59"
14	S 18° 03' 25"	E48° 11' 19"
15	S 18° 03' 26"	E48° 11' 20"
16	S 18° 03' 27"	E48° 11' 21"
17	S 18° 03' 28"	E48° 11' 22"
18	S 18° 03' 29"	E48° 11' 26"
19	S 18° 03' 30"	E48° 11' 38"
20	S 18° 03' 27"	E48° 11' 38"
21	S 18° 03' 27"	E48° 11' 39"
22	S 18° 03' 27"	E48° 11' 42"
23	S 18° 03' 35"	E48° 11' 26"

No.	Latitude	Longitude
24	S 18° 03' 36"	E48° 11' 29"
25	S 18° 03' 36"	E48° 11' 41"
26	S 18° 03' 36"	E48° 11' 45"
27	S 18° 03' 38"	E48° 11' 43"
28	S 18° 03' 42"	E48° 11' 29"
29	S 18° 03' 42"	E48° 11' 31"
30	S 18° 03' 41"	E48° 11' 33"
31	S 18° 03' 54"	E48° 11' 30"
32	S 18° 03' 52"	E48° 11' 41"
33	S 18° 03' 33"	E48° 10' 59"
34	S 18° 03' 33"	E48° 10' 59"
35	S 18° 03' 34"	E48° 10' 58"
36	S 18° 03' 44"	E48° 10' 52"
37	S 18° 03' 51"	E48° 10' 43"
38	S 18° 04' 03"	E48° 10' 43"
39	S 18° 04' 03"	E48° 10' 58"
40	S 18° 04' 08"	E48° 10' 41"
41	S 18° 04' 06"	E48° 10' 25"
42	S 18° 04' 28"	E48° 10' 49"
43	S 18° 04' 41"	E48° 10' 32"
44	S 18° 04' 41"	E48° 10' 47"
45	S 18° 04' 32"	E48° 10' 56"
46	S 18° 04' 38"	E48° 11' 02"
47	S 18° 04' 42"	E48° 10' 52"
48	S 18° 04' 48"	E48° 11' 04"
49	S 18° 04' 44"	E48° 11' 38"

Source : Équipe d'étude



Source : Étude de développement rural et de l'aménagement des bassins versants dans le Sud-Ouest de la Région d'Alaotra)

Figure 0.4 Relativité entre les précipitations et les volumes des ruissellement des sédiments provenant des différents types de lavakas

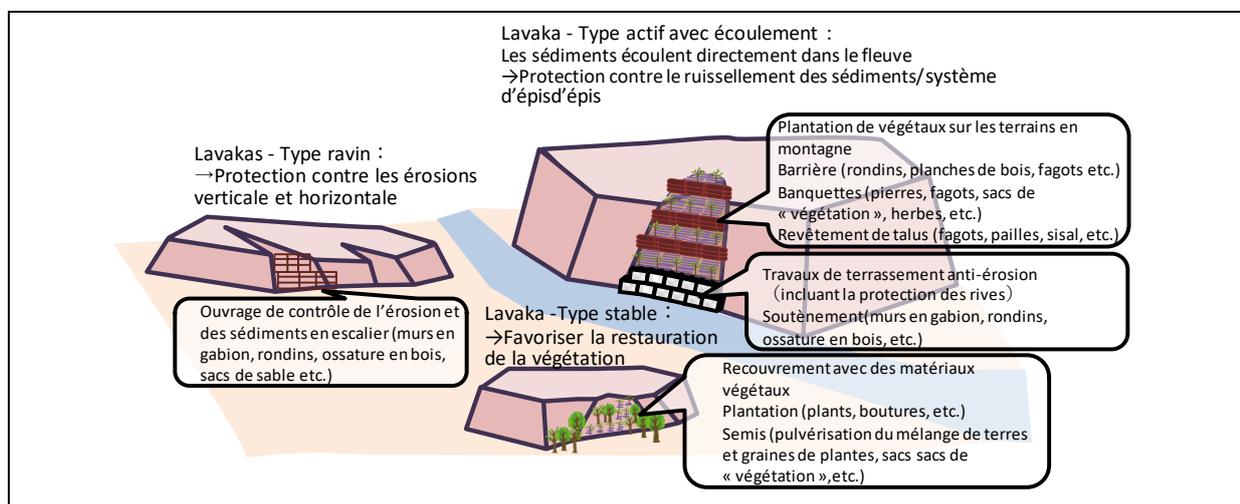
Comme indiqué au point (i) « Érosions de surface » ci-dessus, l'objectif des activités de lutte contre les érosion du sol dans la zone en amont est de contribuer à l'amélioration et à la stabilisation de la production agricole au sein du périmètre irrigué de Maharivana et à l'utilisation durable des installations, de sorte que l'emplacement des lavakas et celui des rivières soient également pris en compte en ce qui touche les mesures visant à empêcher le déversement de sédiments des lavakas. Cela signifie que les lavakas sont d'importantes sources de sédiments. En d'autres termes, les lavakas actifs qui produisent activement des sédiments et sont situés à proximité d'une rivière, où les sédiments s'écoulent directement, sont considérés comme des lavakas hautement prioritaires pour la mise en œuvre de mesures-barrière.

Outre les trois catégories d'érosions du sol, à savoir (i) l'érosion du sol / de surface, (ii) l'érosion par ravinement et (iii) l'effondrement entraîné par la gravité, les érosions des berges, où les berges sont érodées par la puissance de l'eau s'écoulant dans la rivière, sont un autre facteur important de l'apport de sédiments dans les zones situées en aval. Cependant, le travail dans le cadre de la présente étude a montré que, bien que l'on estime qu'il existe de nombreux points d'érosions des berges, l'échelle de chaque point est petite et difficile à déterminer à partir de l'imagerie de Google Earth© Pro. Une série d'enquêtes sur le terrain est considérée comme la méthode la plus efficace, bien que nécessitant beaucoup de travail, pour identifier l'emplacement des érosions des berges.

(5) Mesures de lutte contre l'érosion des sols

On prévoit d'introduire des travaux de lutte contre l'érosion et le ruissellement des sols au titre de la prévention de l'érosion des sols dans les zones en amont. Pour la conception desdits travaux, on part du principe que les matériaux et les techniques à utiliser devront être facilement accessibles sur place.

Comme mentionné plus haut, l'érosion du sol est classée en trois types dont (i) l'érosion du sol / de surface, (ii) l'érosion par ravinement et (iii) l'effondrement entraîné par la gravité et, localement, (ii) et (iii) sont appelés lavaka sans distinction. Etant donné que les mécanismes d'occurrence et les mesures appropriées de contrôle des sédiments sont différents pour chacun d'entre eux, pour la conception des travaux de prévention, un examen est nécessaire pour savoir à quel type d'érosion parmi ces trois correspond le type d'érosion du lieu d'intervention. De façon plus concrète, il s'agira de mettre en œuvre des travaux de prévention de l'érosion de surface, incluant entre autres la restauration de la végétation, en fonction des caractéristiques et buts spécifiques de chaque lieu d'intervention. On trouvera ci-dessous des exemples de méthodes des travaux pouvant être envisagées selon les buts visés.



Source: Equipe d'étude

Figure 3.3.13 Conception et méthodes de construction des ouvrages envisagés pour lutter contre l'érosion et le ruissellement des sols (Exemples)

Concernant les ouvrages de soutènement, il est possible de prévoir des murs en gabion, mais comme le sol local est argileux avec peu de gravillons, la construction d'un ouvrage en utilisant du bois et des sacs de sable, qui sont plus facilement disponibles localement, sera également envisagée. En outre, des méthodes utilisant des matériaux locaux tels que des « sacs en sisal bourrés de sable » et le « recouvrement avec des filets en sisal », mettant à profit le chanvre de sisal qui est cultivé et produit à Madagascar, seront ainsi envisagées.

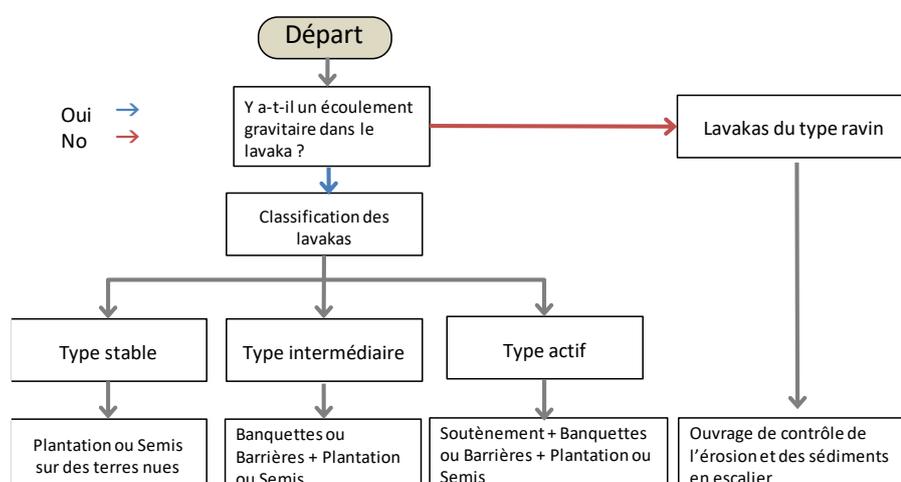
Le tableau 3.3.5 indique types de travaux avec technologies japonaises applicables sur place.

Tableau 3.3.5 Types de travaux avec technologies japonaises applicables sur place en utilisant des matériaux locaux (exemples)

Méthodes/ matériaux	Travaux de terrassement « végétal »	Cadres en bois	Pulvérisation du mélange de terres
Matériaux et équipements	Chanvre de sisal, semences, engrais, terre	Eucalyptus et autres genres de bois	Pompes motorisées, groupes électrogènes, tuyaux d'arrosage, pâte à papier (papiers hygiéniques), semences, engrais, terre
Avantages	Possibilité de production avec des matériaux locaux. Le remplissage avec de la terre mélangée à des semences et des engrais contribue à la restauration de la végétation.	Le bois est facilement disponible et bon marché grâce à la plantation de l'eucalyptus.	Efficace pour le rapide verdissement de grandes zones de terrains nus, notamment entre les bandes de terre, car de grandes surfaces peuvent être construites par un tout petit nombre de personnes.

Source: Équipe d'étude

Par ailleurs, pour la restauration des lavaka, il est proposé de préparer un « schéma de flux du processus de sélection des travaux de stabilisation des lavaka » afin de faciliter aux organismes d'exécution malagasy la sélection des méthodes de travaux même à différents endroits. Le projet de flux du processus de sélection des travaux de stabilisation des lavaka que l'on peut prévoir pour l'instant est présenté dans la figure 3.3.14.



Source : Équipe d'étude

Figure 3.3.14 Schéma de flux du processus de sélection des travaux de stabilisation des lavaka (proposition)

3.4 Besoins et contraintes en matière de développement

(1) Concurrence due aux pénuries d'eau au début de la saison des pluies

D'après les entretiens avec les associations d'usagers de l'eau, Makalioka (une variété de riz), la variété dominante dans la région, est une variété photosensible avec une période de culture de 180 jours. Il est recommandé de la planter en décembre, et la période de préparation du sol pour le repiquage se situe entre octobre et novembre. Toutefois, les changements intervenus dans le régime des précipitations ces dernières années ont retardé l'arrivée des pluies, ce qui a entraîné des pénuries d'eau au début de la saison

des pluies, au moment où l'on avait le plus besoin d'eau. La saison des récoltes a donc été retardée jusqu'en janvier, ce qui a entraîné une baisse des rendements.

D'autre part, selon les résultats d'une étude d'inventaire des installations d'irrigation, la suffisance des installations d'irrigation dans la région est faible et la majeure partie du périmètre irrigué de Maharivana est alimentée en eau d'irrigation par des prises d'eau sur des structures temporaires. L'approvisionnement en eau d'irrigation n'est pas assuré, ce qui entraîne une utilisation inefficace de l'eau, des prélèvements d'eau inutiles à certains endroits et un drainage excessif hors du périmètre. Si les installations d'irrigation étaient systématiquement développées dans les périmètres irrigués et si les règles d'utilisation des eaux usées étaient appliquées sur la base de l'irrigation par rotation, l'utilisation de l'eau serait plus efficace et l'eau pourrait être économisée pendant la saison d'irrigation.

Par ailleurs, la construction d'ouvrages de franchissement, tels que des déversoirs pour stabiliser la prise d'eau, non seulement réduit la capacité de débit de la rivière et peut provoquer des inondations et des engorgements, mais crée également une concurrence pour l'eau avec les périmètres irrigués situés en aval, y compris le périmètre irrigué PC 23. Par conséquent, lors de la construction des structures, il est nécessaire de les rendre mobiles et d'établir un système de gestion des installations d'irrigation qui implique les municipalités et d'autres organes administratifs et intègre les zones en amont et en aval.

(2) Réduction de la section des cours d'eau et inondations fréquentes dues au dépôt de sédiments

Le cours supérieur du périmètre irrigué de Maharivana, connu pour ses lavaka, est géologiquement sujet à l'érosion des sols, et les rivières et les installations d'irrigation en aval sont susceptibles de ruissellement et de dépôt de sédiments. Dans le cours moyen de la rivière Sahabe, en particulier près de la confluence avec la rivière Ranofosti, les enquêtes sur terrain et les entretiens avec les agriculteurs ont confirmé que l'eau de la rivière déborde de ses berges et ouvre des brèches quand les niveaux d'eau sont élevés et lors des inondations pendant la saison des pluies, en raison de l'élévation du lit de la rivière provoquée par la sédimentation. Sur la base des résultats de l'analyse hydrologique, les inondations dans le périmètre irrigué de Maharivana en 2022 sont susceptibles d'avoir été causées par des précipitations se produisant avec une probabilité de deux ans, de sorte qu'il faudra s'attendre à des dommages fréquents à l'avenir.

Inversement, les dommages causés par les inondations dans le périmètre irrigué de Maharivana sont susceptibles d'être réduits de manière significative si des mesures de contrôle des inondations de l'ordre d'une échelle de probabilité de deux ans sont mises en œuvre. Les mesures qui pourraient être prometteuses sont, la construction : i) d'un déversoir (avec des vannes de trop-plein) et ii) d'un système de digues à deux fils similaire à celui du PC 23, où des routes agricoles avec des digues sont construites dans des zones où des ruptures de digues fréquentes se produisent, afin de diriger les eaux d'inondations vers les rivières en aval. D'autres mesures possibles sont la réhabilitation des rivières et la construction de petits barrages, mais elles doivent être envisagées en tenant compte du ruissellement des sédiments en provenance des zones en amont.

Tableau 3.4.1 Comparaison des mesures de lutte contre les inondations proposées

Type	Avantages	Inconvénients
Déversoir (avec des vannes de trop-plein)	Il s'agit d'une mesure efficace à la fois pour le contrôle des crues et pour l'utilisation d'eau : cet ouvrage permet, d'un côté, d'abaisser le niveau d'eau lors des crues afin d'éviter des inondations et, d'un autre côté, facilite l'usage des eaux pour l'exploitation agricole.	Il est nécessaire d'effectuer certaines manœuvre pour le fonctionnement. Il y a un risque élevé de vol d'aciers.
Système de digues à deux fils	Son efficacité en matière de contrôle des crues n'est pas dépendante des situations des cours d'eau en aval. Aucune manœuvre n'est requise.	Les terrains irrigués sont divisés en deux parties à savoir le côté rive et le côté intérieur. Les terrains du côté intérieur bénéficieront alors du contrôle des crues tandis que ceux du côté rive subiront davantage de dégâts causés par des inondations. De ce fait, il faudra, procéder soit à l'expropriation des terrains du côté rive, ou aux dédommagements des dégâts causés par les inondations.
Réhabilitation des rivières	Aucune manœuvre n'est requise.	Comme le niveau d'eau baissera non seulement au moment des crues mais aussi au moment de l'écoulement normal, il y aura lieu de réaliser avec la construction d'un déversoir. L'efficacité en matière de contrôle des crues dépendra des situations des cours d'eau en aval. Étant donné la faible capacité d'évacuation des crues des cours d'eau en aval, il sera nécessaire d'améliorer le canal de la rivière depuis le lac d'Alaotra jusqu'au périmètre irrigué de Maharivana, (environ 40 km), ce qui entraîne des coûts des travaux élevés.

Type	Avantages	Inconvénients
Construction de petits barrages	Il s'agit d'une mesure efficace aussi bien pour le contrôle des crues que pour l'utilisation d'eau : les barrages permettent de retenir les eaux en cas de crues et les décharger au moment de l'utilisation.	Comme la quantité de sédiments provenant des zones en amont est importante, les sédiments peuvent s'accumuler peu de temps après la construction entravant la fonction de rétention du barrage. Il est nécessaire d'effectuer certaines manœuvre pour le fonctionnement. Il y a un risque élevé de vol d'aciers.

Source : Équipe d'étude

(3) Impacts du ruissellement des sédiments sur les écosystèmes en aval.

L'impact du ruissellement des sédiments affecte non seulement l'agriculture, mais aussi l'environnement naturel et les écosystèmes dans les zones en aval : En particulier, il faut tenir en compte du fait que la zone en aval du lac Alaotra et la zone environnante est un site Ramsar. Bien qu'il y ait une distance suffisante entre ce site et la zone de mise en œuvre du projet, de sorte qu'on ne peut s'attendre à aucun impact majeur, le contrôle du ruissellement des sédiments est une question urgente. Afin de contrôler le ruissellement des sédiments en provenance des zones en amont, le reboisement est généralement utilisé pour prévenir l'érosion du sol, mais comme la coopération des populations locales est essentielle pour la mise en œuvre du reboisement et l'entretien de la végétation après le reboisement, il est nécessaire de soutenir des projets qui fournissent des incitations au reboisement ou à la mise en œuvre d'activités de subsistance qui rendent l'exploitation forestière superflue.

En outre, il existe des zones éparses autour du lac Alaotra où l'empiètement dû à la culture sur brûlis par les agriculteurs des environs se poursuit encore aujourd'hui. Les entretiens avec les pêcheurs du lac Alaotra ont permis de confirmer que les conflits entre agriculteurs et pêcheurs sont devenus un problème dans la région, car les activités de pêche sont affectées par l'expansion des terres agricoles par le biais de la culture sur brûlis. Il est urgent de rétablir les moyens de subsistance des agriculteurs en mettant en œuvre des projets d'irrigation efficaces dans l'ensemble du bassin du lac Alaotra, en utilisant l'amélioration des terres agricoles grâce à ce projet comme bonne pratique, et de prendre des mesures pour contrôler le ruissellement des sédiments dans les zones montagneuses grâce au projet de reboisement susmentionné.



Source : Équipe d'étude

Figure 3.4.1 Lac Alaotra et pêcheurs

(4) Amélioration de l'accès aux terres agricoles

Bien qu'il y ait des routes principales à l'est du périmètre irrigué de Maharivana, y compris la route nationale numéro 3 a et la route nationale numéro 44, l'accès aux routes principales à l'intérieur du périmètre irrigué nécessite de se rendre à Morarano Chrome au nord et à Bejofo au sud. De plus, ces routes d'accès ne sont pas goudronnées et sont difficilement praticables pendant la saison des pluies. Même si ces routes pouvaient être utilisées pour accéder au périmètre irrigué de Maharivana, il n'y a pas de route à l'intérieur du périmètre irrigué et l'accès aux terres agricoles par véhicule n'est pas possible, ni pendant la saison des pluies ni pendant la saison sèche. Le développement des routes agricoles est

essentiel pour améliorer l'efficacité du transport des équipements et matériels agricoles et de l'expédition des produits agricoles, et pour augmenter les revenus agricoles en réduisant les coûts de transport et les pertes de récoltes. La protection des terres agricoles peut également être assurée en dotant les routes agricoles de fonctions de protection contre les inondations. Le tracé et la forme optimaux doivent être déterminés en fonction de l'accès aux terres agricoles et de leur protection.

(5) Fourniture d'un soutien approprié à l'exploitation

Actuellement, le riz inondé cultivé autour du périmètre irrigué de Maharivana nécessite une période de croissance de plus de 120 jours pour les variétés à maturation précoce et de 180 jours pour les variétés à maturation tardive. Ces dernières années, de nombreux agriculteurs préfèrent les variétés à maturation précoce en raison du début souvent tardif de la saison des pluies, mais les agriculteurs, en particulier ceux dont l'objectif principal est la consommation domestique, ont tendance à opter pour les variétés à maturation tardive pour des raisons de qualité gustative. D'autre part, il y a aussi un désir de variétés à haut rendement, surtout parmi les agriculteurs dont l'objectif principal est la vente.

D'autre part, dans l'hypothèse de la mise en œuvre de projets d'amélioration de l'irrigation dans le périmètre irrigué de Maharivana, qui se trouve en amont du PC 23, il est très probable que la concurrence pour l'eau due au début retardé de la saison des pluies se produise si le projet n'implique pas un nouveau développement des ressources en eau. Par conséquent, il est probable que des ajustements devront être faits en termes de gestion agricole, tels que l'ajustement des saisons de culture et l'harmonisation de l'utilisation de l'eau. Outre le développement de l'irrigation, une combinaison d'aides à la gestion agricole est nécessaire, telles que la vulgarisation de variétés à maturation précoce, la promotion de cultures en deux saisons réalisables et l'amélioration de l'exploitation agricole par le biais des cultures de contre saison.

(6) Identification des lavaka, principales sources de ruissellement des sédiments, et contre-mesures.

Sur la base des informations collectées dans le cadre des projets antérieurs de la JICA et d'informations disponibles, les lavaka sont considérés comme la principale source de ruissellement des sédiments dans les parties de la zone en amont, mais des recherches plus détaillées sont nécessaires à l'avenir pour déterminer la provenance réelle du ruissellement des sédiments et les contre-mesures les plus efficaces. Il est également nécessaire de prendre des contre-mesures appropriées en fonction de chaque type d'érosion du sol (lavaka (érosion par ravinement, effondrement dû à la gravité) ou érosion de surface), comme décrit ci-haut concernant les mesures-barrière contre les érosions du sol au point 3.3.3.(4) ainsi que les méthodes de conception et de construction pour les travaux envisagés de contrôle des glissements de terrain et des érosions telles que présentées à la figure 3.4-10.

En ce qui concerne les lavaka, comme l'indique le tableau 3.3.3, il y a 1.330 lavaka dans les six bassins versants en amont. Comme mentionné précédemment, les lavaka peuvent être classés en trois types : actifs, intermédiaires et stables. Les lavaka actifs étant ceux qui ont le plus d'impact sur le ruissellement des sédiments, il est nécessaire d'identifier d'abord les lavaka actifs à l'aide de données satellitaires ou d'autres moyens. En outre, comme mentionné dans la section des recommandations, l'objectif principal des activités de contrôle du ruissellement des sédiments provenant des lavaka est de réduire l'apport de

sédiments dans les rivières et les cours d'eau du périmètre irrigué de Maharivana, de prévenir les inondations et le mauvais drainage dus à l'accumulation de sédiments, et de contribuer à l'amélioration et à la stabilité de la production agricole ainsi qu'à l'utilisation durable des installations. Dans cette optique, les activités de contrôle du transport des sédiments doivent être menées dans les lavaka, qui sont directement impliqués dans le ruissellement des sédiments vers le périmètre irrigué de Maharivana. Compte tenu de ce qui précède, la mise en œuvre efficace du projet est cruciale.

(7) Introduction d'activités qui contribuent à la fois au contrôle du ruissellement des sédiments et à l'amélioration des moyens de subsistance des populations locales.

Les zones en amont du lac Alaotra ont été dégradées suite à l'exploitation forestière à long terme par les populations locales, et de nombreuses zones sont devenues des prairies et des terres dénudées. Les fortes précipitations dans ces zones pendant la saison des pluies provoquent la formation de ravins causée par les érosions de surface qui, croit-on, finissent par devenir des lavaka. Dans ce contexte, la plantation d'arbres sur les prairies et les terres dénudées et la restauration du couvert végétal contribueront à contrôler le ruissellement de surface et à empêcher la formation des lavaka à moyen et à long termes. Comme mentionné au point (4) ci-dessus, il est efficace d'intégrer des activités qui profitent directement aux populations locales afin de promouvoir le reboisement, par exemple en introduisant des activités apicoles qui permettent de récolter le miel des arbres plantés, contribuant ainsi à l'amélioration des moyens de subsistance des populations locales. Si les gens comprennent que les arbres qu'ils plantent contribuent à leur subsistance, ils ne les couperont pas inutilement et on peut également s'attendre à ce que les arbres aient un effet positif sur la conservation des sols.

(8) Capacité de mise en œuvre et de coordination des agences gouvernementales

Le projet élaboré dans le cadre de cette étude prévoyait que la DRAE et la DREDD seraient les agences de mise en œuvre du projet du côté de Madagascar. Cependant, il y a eu un manque de coordination et de collaboration entre la DRAE et la DREDD, peut-être en raison d'informations insuffisantes fournies à la DREDD, et il y a eu des différences évidentes entre la DRAE et la DREDD en ce qui concerne les résultats de la collecte d'informations. Ces différences peuvent être considérées comme une manifestation des différences d'appropriation du projet, soutenues par un sentiment de cloisonnement entre les ministères. Comme les activités de contrôle du ruissellement des sédiments dans la zone en amont sont essentielles pour le développement de l'irrigation dans le périmètre irrigué de Maharivana, il est souhaitable que la capacité de coordination entre les deux parties soit améliorée avant la mise en œuvre du projet. D'autre part, le MINAE exige que tous les projets de développement à Madagascar soient mis en œuvre en conjonction avec la gestion des bassins versants, et le Département de l'environnement, du climat et de la préparation aux situations d'urgence au sein du MINAE est responsable de ce domaine. Si le montant de l'investissement dans la composante gestion des bassins versants est nettement inférieur à celui de la composante irrigation, la mise en place au sein du MINAE d'une agence centrale d'exécution pourrait être envisageable.

Chapitre 4 Conclusions et recommandations

Les défis à relever en matière de développement identifiés et classés à travers la présente étude sont présentés dans la section 3.4 précédente. Tout en prenant en considération ces défis, le présent chapitre résume, sous forme de recommandations, les points à examiner et à traiter pour la mise en œuvre du projet à venir.

L'enquête de terrain a permis à plusieurs reprises de se rendre compte de la situation et d'identifier les besoins actuels avec les responsables des associations des usages de l'eau et des Fédérations des associations des usagers de l'eau au sein du périmètre irrigué de Maharivana, qui sont les bénéficiaires potentiels du projet. Les dirigeants des associations des usagers de l'eau ont souligné la gravité des problèmes d'inondation, d'irrigation et d'accès à l'intérieur du périmètre irrigué de Maharivana et ont exprimé leur souhait d'une mise en œuvre rapide du projet. Le processus de formation du projet a été suspendu en raison de la détérioration de la situation en matière de sécurité dans la région, mais si la situation sécuritaire est rétablie, on espère reprendre l'enquête et matérialiser le projet dans le meilleur délai possible.

L'analyse des informations fournies par les dirigeants des Fédérations des associations d'usagers de l'eau a permis de constater que dans le périmètre irrigué de Maharivana et dans les zones environnantes où aucune fédération des associations d'usagers de l'eau n'a été créée, la coordination entre les agriculteurs et la DRAE n'est pas suffisante et la DRAE ne reçoit pas suffisamment d'informations. Des visites de terrain soutenues et la collecte d'informations auprès d'agriculteurs leaders d'opinion s'avèreraient nécessaires pour reprendre l'enquête et entreprendre le projet.

4.1 Périmètre irrigué de Maharivana

(1) Identification des zones et des composantes prioritaires

La présente étude comprenait la préparation de cartes topographiques à l'aide de données d'imageries satellitaires, l'identification des caractéristiques géologiques et une enquête d'inventaire à travers des visites sur le terrain, mais il n'a pas été possible d'effectuer suffisamment d'enquêtes et de visites sur le terrain, ni de recueillir des informations auprès des agriculteurs et des associations d'utilisateurs d'eau sur le terrain, ce qui a rendu difficile la compréhension et la planification du système d'évacuation des eaux. D'autre part, la DRAE s'est vaguement fixé pour objectif cherchant à améliorer les moyens de subsistance des agriculteurs en augmentant la productivité agricole dans les zones en amont du PC23, sans pourtant se faire une idée précise de la portée de l'enquête et du contenu du projet à prendre en considération. Par conséquent, pendant la période d'enquête, de concert avec la DRAE, l'équipe d'étude a identifié environ 200 km² comme zone où les projets prioritaires devraient être mis en œuvre (voir Section 3.2, Figure 3.2.5), dont les informations devraient être utilisées par le Gouvernement de Madagascar comme matériel de support pour des enquêtes futures. Les données d'imageries satellitaires obtenues et les cartes topographiques créées par l'équipe d'étude seront mises à la disposition du gouvernement de Madagascar. Elles devront être utilisées comme matériel de référence avec le présent rapport, pour permettre à la DRAE de vérifier l'état des installations d'irrigation, des rivières et des terres agricoles par elle-même et de

répertorier les besoins de développement des agriculteurs, ce qui devrait faciliter la mise en œuvre de la suite des enquêtes de la présente étude.

La rivière Sahabe, qui traverse le périmètre irrigué de Maharivana, est sujette à l'apport de sédiments en raison de la topographie, de la géologie et de la végétation du bassin, ce qui entraîne une accumulation de sédiments dans les chenaux et des inondations fréquentes dans les cours moyen et inférieur de la rivière. La construction et le développement d'installations de l'irrigation, le reboisement dans les bassins versants supérieurs et les activités d'amélioration des moyens de subsistance dans les zones en amont étaient les composantes du projet envisagées au début de ce travail. Cependant, suite à la collecte d'informations et aux vérifications sur le terrain, la réhabilitation de la rivière Sahabe est également un projet qui devrait être envisagé, et MINAE et la DRAE devraient mener des discussions sur la nécessité d'un tel projet avec les ministères concernés.

(2) Développement d'un système d'observation hydrologique pour l'évaluation de la situation réelle des inondations

Les mesures suivantes doivent être prises pour évaluer la situation réelle des inondations dans le périmètre irrigué de Maharivana et pour développer les composantes de projet nécessaires ou les plans d'amélioration des cours d'eau :

- (i) Collecte des relevés pluviométriques journaliers et reprise des observations au Centre de semences d'Anosiboribori, et entretien du matériel de suivi pluviométrique horaire.
- (ii) Observation de la hauteur d'eau et du débit au niveau du pont de la route nationale numéro 3 a.
- (iii) Enregistrement de la localisation des brèches, de la date et de l'heure de la rupture.
- (iv) Création de registres d'exploitation pour les écluses (décharge de sédiments P1, décharge de sédiments P5, déversoir).
- (v) Surveillance des débits de prise d'eau au niveaux des ouvrages P1 et P5.
- (vi) Observation des précipitations et des niveaux et débits des cours d'eau pendant la période d'étude.

Parmi les points ci-dessus, les points (i) à (v) devraient de préférence être mis en œuvre par la DRAE ou par une fédération des usagers de l'eau sous le contrôle de la DRAE. Il est également envisagé que le point (vi) soit réalisé par l'équipe d'étude lorsqu'elle sera à nouveau envoyée sur le terrain après le rétablissement de la sécurité.

(3) Évaluation de l'impact sur l'environnement

Étant donné que le lac Alaotra et les zones humides inscrits sur la liste de la Convention de Ramsar s'étendent en aval de la rivière Sahabe, il est nécessaire d'examiner la nécessité de la réalisation d'un projet de développement de l'irrigation en tenant compte de son impact sur ces zones. Il convient de noter que le projet envisagé est considéré comme entrant dans la catégorie A des lignes directrices de la JICA relatives aux considérations environnementales et sociales (janvier 2022) en tant que projet susceptible d'avoir des incidences importantes et indésirables sur l'environnement et la société.

En principe, la catégorie A comprend « les projets dans les secteurs exerçant facilement des incidences néfastes, les projets présentant des caractéristiques exerçant facilement des incidences néfastes et les projets situés dans ou à proximité de zones vulnérables aux incidences néfastes ». Étant donné qu'il s'agit d'un projet d'irrigation à grande échelle et que le site du projet proposé se trouve en amont des zones humides

qui sont classées comme site Ramsar, il est supposé que le projet envisagé soit jugé comme étant un projet de catégorie A. Le lac Alaoatra fait partie des «zones vulnérables aux incidences néfastes», comme les «parcs nationaux, les aires protégées désignées au niveau national (les zones côtières désignées au niveau national, les zones humides, les zones pour les minorités et les peuples indigènes, les patrimoines culturels, etc.) ».

Dans le cadre de la présente étude, la tenue d'un entretien a été demandée à l'Office National pour l'Environnement pour des consultations sur les procédures d'évaluation de l'impact sur l'environnement, etc., mais la réponse a été que les consultations ne pouvaient pas avoir lieu tant que le cadre général du projet n'avait pas été décidé. Par conséquent, il n'était pas possible d'obtenir des conseils sur les procédures spécifiques. Cependant, si le projet est réalisé avec un financement sous forme de prêt en Yen, il est souhaitable de prêter attention au calendrier des procédures d'évaluation de l'impact sur l'environnement à Madagascar, car le calendrier du projet devrait être affecté par la nécessité de répondre au Comité consultatif pour la prise en compte des aspects environnementaux et sociaux au niveau du Japon, compte tenu de la classification par catégories indiquée ci-dessus. En outre, comme indiqué plus haut, un site Ramsar étant situé en aval du site du projet proposé, il est souhaitable de mener une étude de l'impact sur l'écosystème couvrant l'ensemble du bassin versant.

Il convient de noter également que, selon les ONG travaillant dans la région, la plus grande menace pour la conservation de l'environnement autour du lac Alaoatra est actuellement le repeuplement par des agriculteurs et la poursuite des activités agricoles dans la zone humide. Si le périmètre irrigué de Maharivana, situé en amont, est considéré comme une zone modèle en créant des emplois et en augmentant les récoltes grâce au développement de l'irrigation, l'expansion des activités agricoles dans les zones humides pourrait être jugulée.

4.2 zones en amont

(1) Objectifs des activités dans les zones en amont

Le projet étant conçu pour être mis en œuvre en tant que projet d'amélioration de l'irrigation, les activités dans les zones en amont sont limitées à celles qui contribuent à l'amélioration de la production agricole et des revenus des agriculteurs ainsi qu'à l'utilisation durable des installations d'irrigation. Autrement dit, l'objectif principal des activités en amont est de réduire l'afflux de sédiments dans les rivières et les canaux au sein du périmètre de Maharivana, de prévenir les inondations et le mauvais drainage dus au dépôt de sédiments, et de contribuer à l'amélioration et à la stabilité de la production agricole ainsi qu'à l'utilisation durable des installations. Les activités de reboisement, qui ont également été envisagées en tant que composante du projet dans cette étude, visaient à prévenir le ruissellement des sédiments et les lavaka en raison de l'érosion des sols, tandis que les activités d'amélioration des moyens de subsistance visaient à promouvoir des activités de subsistance alternatives à celles qui favorisent le ruissellement des sédiments, en l'occurrence le défrichage des forêts et le pâturage. En d'autres termes, même si un fort écoulement de sédiments ou de grands lavaka actifs sont identifiés dans les zones en amont, ils ne feront pas l'objet de ce projet s'ils ne sont pas directement impliqués dans l'écoulement de sédiments vers le périmètre irrigué de Maharivana.

Étant donné que le concept ci-dessus diffère à certains égards de la politique de la DREDD, il convient d'envisager, si nécessaire, une explication minutieuse ou une modification du concept du projet, y compris des objectifs des activités dans les zones en amont.

(2) Identification des zones de glissement de terrain

Il était prévu d'utiliser des données d'imageries satellitaires à haute résolution pour identifier les lavaka actifs dans les zones en amont du périmètre irrigué de Maharivana qui sont directement impliquées dans le ruissellement des sédiments au sein du périmètre irrigué de Maharivana, mais cela n'a pas pu être fait parce que l'enquête a été suspendue. De nombreux lavaka sont situés dans des zones vallonnées difficiles d'accès, mais si ces lavaka actifs peuvent être identifiés avec précision à l'aide de cette méthode, cela devrait contribuer à réduire le ruissellement des sédiments, car les ressources consacrées aux enquêtes peuvent être réorientées pour être utilisées dans la mise en œuvre des mesures-barrière. L'établissement d'une méthode d'identification et d'évaluation des lavaka par télédétection dans le cadre de futures activités, soit de l'étude ou du projet (par exemple un projet de coopération technique auxiliaire), serait utile pour le développement de diverses zones dans les hautes terres centrales de Madagascar où les lavaka sont disséminés. En outre, comme de nombreux détails du mécanisme par lequel les lavaka se produisent doivent encore être élucidés, une collaboration future avec les institutions de recherche locales (par exemple l'Université d'Antananarivo) sera également envisagée.

(3) Portée des composantes du projet.

Comme indiqué ci-dessus, les composantes à réaliser en amont dans le cadre du projet seront limitées à celles qui contribueront à juguler le ruissellement des sédiments vers le périmètre irrigué de Maharivana. En outre, étant donné que la majeure partie du coût du projet sera consacrée à la mise en place d'installations d'irrigation, le montant alloué aux composantes en amont est limité. Par ailleurs, les activités préventives telles que le reboisement, les activités d'amélioration des moyens de subsistance, etc., et le contrôle du ruissellement des sédiments dans les lavaka doivent être mises en œuvre dans le cadre d'un budget limité. En d'autres termes, il n'est pas possible de mettre en œuvre les mesures relatives aux lavaka dans l'ensemble du vaste bassin hydrographique en amont. Il est donc envisagé que les mesures à mettre en œuvre dans le cadre du projet servent de modèle et que le projet soit développé à l'échelle de la zone, en utilisant le budget du gouvernement de Madagascar ou des fonds provenant d'autres donateurs.

(4) Mesures et méthodes de construction possibles

Le ruissellement des sédiments dû à l'érosion du sol et aux lavaka est supposé être atténué grâce aux travaux de protection des collines et d'endiguement des érosions décrits dans la section 3.3.3 (4) du chapitre précédent. Afin de faciliter le déploiement horizontal des fonds du gouvernement malgache, il est important de sélectionner des méthodes de construction rentables et faciles à obtenir localement, telles que des travaux simples de retenue des terres utilisant des matériaux locaux tels que le bois et le bambou, des sacs de sable en sisal, des travaux de sous-sol en filet de sisal et d'autres méthodes de construction qui sont populaires localement et adoptées dans les projets d'autres donateurs, en se référant aux méthodes utilisées sur place. Il est important de sélectionner des méthodes de construction rentables dont les matériaux sont facilement accessibles sur place.

En outre, dans une perspective à moyen et long termes, le reboisement étant la mesure la moins coûteuse et la plus efficace, il est essentiel que le reboisement soit activement promu en conjonction avec des mesures d'incitation impliquant les populations locales.

Annexe 1

Document de base sur les levés topographiques et les observations / analyses hydrologiques

3.1.1 Document annexe sur l'étendue des périmètres irrigués et leur topographie

(1) Réseau géodésique national et repères de nivellement

Réseau géodésique national

EPSG:8441

Order	Name		Xv	Yv	Drawing	Level	
3	AMBATOBE	Tower in sod, stone bollard	576,115.65	908,782.90		Sight	Ground
		Triangle engraved in concrete	576,118.06	908,783.33		969.96	967.44
3	AMBOHIMENA	Sod tower, Coach Screw in concrete	577,106.25	901,859.35		1009.91	1007.41
		Triangle engraved in concrete	577,107.99	901,861.38			
3	AMPASIMPOTSY	Standing stone	576,099.30	906,139.25			
3	AMBOHIMANJAKA DE BETAMBAKO	Tower of sods, stone bollard	585,828.78	915,722.60		850.84	848.84 848.28
3	BETAMBAKO	Tower of sods, stone bollard	587,486.63	922,263.29		792.69	790.94
3	AMBOHITRNINENDRA	Tower of sods.	585,806.34	922,263.29		811.66	809.16
3	AMBOHITROMBY	Tower of sods.	585,705.87	920,851.90		809.14	807.76
3	AMBOHITROMBY	Tomb	585,165.47	921,005.38		807.25	
3	AMPANIVONY	Standing stone	579,166.90	914,175.30			851.00
3	BORNE DE NIVELLEMENT	Km 29.760	584,577.32	931,755.10			
3	AMPASIMANDROATRA ou ANTOKOBE	Tower of sods, stone bollard	578,890.11	920,397.04		965.33	963.78
		Standing stone slightly inclined, cross engraved in the middle	de borne	a 8.00			
3	BORNE N° 2 :	Sod tower, stone bollard IF	585,920.42	918,584.32		766.34	762.14
2	ANKIRITSIKA :	Sod tower, stone bollard - cross engraved on stone bollard.	585,814.40	924,673.42		810.98	807.53
			a 3m,98 de la borne				
3	BORNE N° 3	Sod tower, stone bollard IF	587,504.33	922,788.18		772.51	768.61
3	TSIMANIRY	Tower with sods, Coach Screw in concrete - Triangle engraved in concrete	587,077.50 587,077.75	903,369.30 903,366.77		922.80	920.70
3	RANOMAINTY	Tower of sods, stone bollard	576,042.03	912,198.96		968.90	
1	AMBOHIBOLOLONA	Coach Screw 1959 - Bronze LEPAGE 1932	585,200.10	910,412.38		927.97	
		Socket in bollard S.G. 1932	585,198.12	910,416.47			
		Bollard S.M. - K12 engraved Cross	585,201.02	910,416.35			

Source : FTM

Réseau géodésique national

Name (Mle : Serial Number)	Altitude (Level) (m)
Mle 4	765.959
Mle 5	765.754
Mle 6	763.763
Mle 7	763.449
Mle 8	766.689
Mle 10	770.32
Mle 10a	767.626
Mle 284	789.702
Mle 285	789.339

Source : FTM

Résultat de l'enquête menée par la DRAE sur les points de contrôles au sol (GCP)

Geo reference System: Tetezampotsy				Geo reference System: Pont Andilanatoby					
N°	GPS	Point	Coordinate	Elevation	N°	GPS	Point	Coordinate	Elevation
44		NGM Tetezampotsy	17° 44.679' 48° 10.473'	778m	158		NGM Pont Andilanatoby	17° 56.202' 48° 14.061'	801m
65		GCP 6	17° 45.992' 48° 08.243'	848m	161		GCP 16	17° 59.309' 48° 11.086'	816m
84		GCP 5	17° 46.224' 48° 10.626'	792m	162		GCP 13	17° 56.334' 48° 11.489'	854m
89		NGM 8, Ambodirano	17° 47.650' 48° 10.620'	776m	163		GCP 15	17° 58.206' 48° 10.650'	795m
93		GCP 3	17° 47.678' 48° 11.951'	770m			GCP 14	17° 57.359' 48° 10.260'	789m
94		GCP 4	17° 48.049' 48° 11.603'	767m					
95		GCP 17	17° 48.624' 48° 11.632'	770m					
103		GCP 1	17° 49.843' 48° 12.998'	767m					
111		GCP 2	17° 50.464' 48° 12.131'	805m					
114		GCP 9	17° 52.447' 48° 10.891'	777m					
149		GCP 8	17.84469° 48.15916°	825m					
152		GCP 10	17° 52.405' 48° 07.827'	799m					
155		GCP 11	17° 53.982' 48° 07.635'	827m					
157		GCP 12	17° 55.234' 48° 08.408'	810m					
164		NGM 6, Pont Madarail Sahabe	17° 49.253' 48° 12.028'	769m					
166		GCP 19	17° 48.980' 48° 11.602'	767m					
167		GCP 18	17° 48.845' 48° 11.784'	772m					
168		NGM 7, Dalot Sahabe	17° 48.526' 48° 11.460'	772m					

Source : DRAE

(2) Enquête sur la végétation

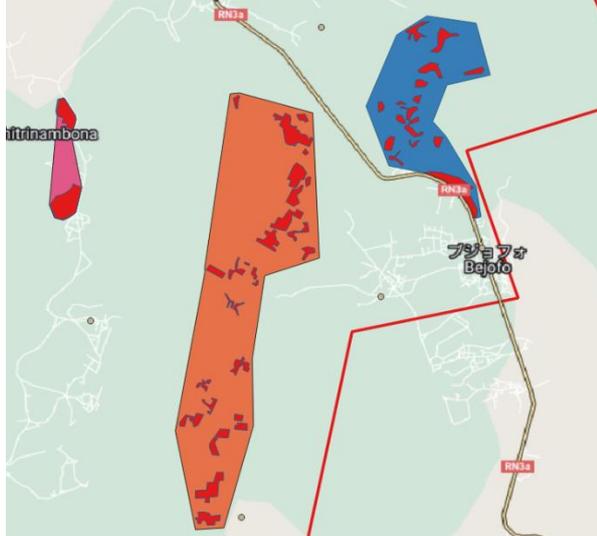
Résultat de l'enquête menée par la DRAE sur la végétation

Date	GPS No	Vegetation No	Latitude S	Longitude E	Height (m)	Date	GPS No	Vegetation No	Latitude S	Longitude E	Height (m)
2022/10/31		1	-17.800016	48.212678	0.8	2022/11/9	1	52	-17.8436	48.18578333	2.4
2022/10/31		2	-17.800042	48.212759	0.2	2022/11/9	2	53	-17.84353333	48.18585	2.4
2022/10/31		3	-17.799404	48.212144	1.2	2022/11/9	3	54	-17.84353333	48.1855	1.2
2022/10/31		4	-17.815031	48.195512	0.8	2022/11/9	4	55	-17.8438	48.18533333	2.2
2022/10/31		5	-17.818538	48.207742	1.6	2022/11/9	5	56	-17.8437	48.18506667	0.7
2022/10/31		6	-17.81332	48.208148	3.0	2022/11/9	6	57	-17.84426667	48.18498333	1.6
2022/10/31		7	-17.809199	48.21583	1.6	2022/11/9	7	58	-17.84456667	48.18521667	2.0
2022/11/7	13	8	-17.81693333	48.19371667	0.8	2022/11/9	8	59	-17.84456667	48.18555	2.0
2022/11/7	14	9	-17.81721667	48.19351667	2.0	2022/11/9	9	60	-17.84436667	48.1854	0.9
2022/11/7	15	10	-17.81836667	48.19235	1.6	2022/11/9	10	61	-17.8452	48.18506667	1.4
2022/11/7	16	11	-17.8187	48.1931	2.5	2022/11/9	11	62	-17.87125	48.17643333	1.2
2022/11/7	17	12	-17.8195	48.19296667	2.0	2022/11/9	12	63	-17.87276667	48.17428333	5.3
2022/11/7	18	13	-17.82055	48.19448333	3.9	2022/11/9	13	64	-17.87305	48.17415	1.0
2022/11/7	19	14	-17.82041667	48.19418333	3.4	2022/11/9	14	65	-17.8729	48.17376667	0.5
2022/11/7	20	15	-17.82075	48.194	3.6	2022/11/9	15	66	-17.87006667	48.1731	1.2
2022/11/7	21	16	-17.82121667	48.19361667	5.2	2022/11/9	16	67	-17.87141667	48.1728	1.3
2022/11/7	22	17	-17.82131667	48.19366667	1.3	2022/11/9	17	68	-17.87185	48.17256667	0.5
2022/11/7	23	18	-17.82403333	48.19365	7.7	2022/11/9	18	69	-17.87153333	48.17308333	2.4
2022/11/7	24	19	-17.82391667	48.1938	3.0	2022/11/9	19	70	-17.8712	48.17313333	2.4
2022/11/7	25	20	-17.82401667	48.19396667	2.8	2022/11/9	20	71	-17.87101667	48.17318333	1.0
2022/11/7	26	21	-17.82483333	48.19331667	1.4	2022/11/10	20	72	-17.8334911	48.1831394	3.0
2022/11/7	27	22	-17.82533333	48.19348333	7.6	2022/11/10	21	73	-17.83361667	48.18171667	1.5
2022/11/7	28	23	-17.8248	48.19176667	2.5	2022/11/10	22	74	-17.83213333	48.18	2.4
2022/11/7	29	24	-17.82506667	48.19165	10.0	2022/11/10	23	75	-17.83045	48.17825	2.2
2022/11/7	30	25	-17.82523333	48.19161667	4.0	2022/11/10	24	76	-17.8298	48.17685	2.0
2022/11/7	31	26	-17.8261	48.19125	3.2	2022/11/10	25	77	-17.82748333	48.1794	2.2
2022/11/7	32	27	-17.82751667	48.19165	8.0	2022/11/10	26	78	-17.83128333	48.18251667	2.2
2022/11/7	33	28	-17.82851667	48.19175	5.3	2022/11/10	27	79	-17.83063333	48.18405	2.4
2022/11/7	34	29	-17.82913333	48.19195	5.1	2022/11/10	28	80	-17.82978333	48.18506667	2.2
2022/11/7	35	30	-17.82951667	48.19218333	7.0	2022/11/10	29	81	-17.82878333	48.18551667	5.8
2022/11/7	36	31	-17.8299	48.19205	3.0	2022/11/10	30	82	-17.82613333	48.18606667	2.2
2022/11/7	37	32	-17.83103333	48.19233333	3.8	2022/11/11	31	83	-17.79928333	48.21406667	1.1
2022/11/7	38	33	-17.83148333	48.19241667	3.4	2022/11/11	32	84	-17.7998	48.21458333	2.0
2022/11/7	39	34	-17.83193333	48.1924	12.5	2022/11/11	33	85	-17.79971667	48.2151	1.1
2022/11/7	40	35	-17.83263333	48.19233333	4.0	2022/11/11	34	86	-17.8007	48.21491667	1.0
2022/11/7	41	36	-17.83281667	48.19223333	1.4	2022/11/11	35	87	-17.80176667	48.2148	1.2
2022/11/7	42	37	-17.83348333	48.19235	4.9	2022/11/11	36	88	-17.80153333	48.21373333	2.6
2022/11/7	43	38	-17.83405	48.19253333	5.4	2022/11/11	37	89	-17.80091667	48.21316667	0.7
2022/11/7	44	39	-17.83445	48.19333333	1.5	2022/11/11	38	90	-17.8001	48.21271667	1.9
2022/11/7	45	40	-17.8359	48.19491667	3.5	2022/11/11	39	91	-17.79941667	48.2131	1.8
2022/11/7	46	41	-17.8363	48.19513333	5.9	2022/11/11	40	92	-17.79901667	48.21296667	1.4
2022/11/7	47	42	-17.83683333	48.19516667	0.8	2022/11/11	41	93	-17.79875	48.21416667	1.2
2022/11/7	48	43	-17.8374	48.19486667	0.4	2022/11/11	42	94	-17.79941667	48.2123	1.3
2022/11/7	49	44	-17.83718333	48.19355	1.2						
2022/11/7	50	45	-17.83773333	48.19348333	1.8						
2022/11/7	51	46	-17.83831667	48.19286667	1.6						
2022/11/7	52	47	-17.83853333	48.19266667	4.7						
2022/11/7	53	48	-17.83798333	48.19093333	0.8						
2022/11/7	54	49	-17.8384	48.19048333	5.8						
2022/11/7	55	50	-17.83848333	48.19021667	1.5						
2022/11/7	56	51	-17.83986667	48.18986667	2.1						

Source : DRAE

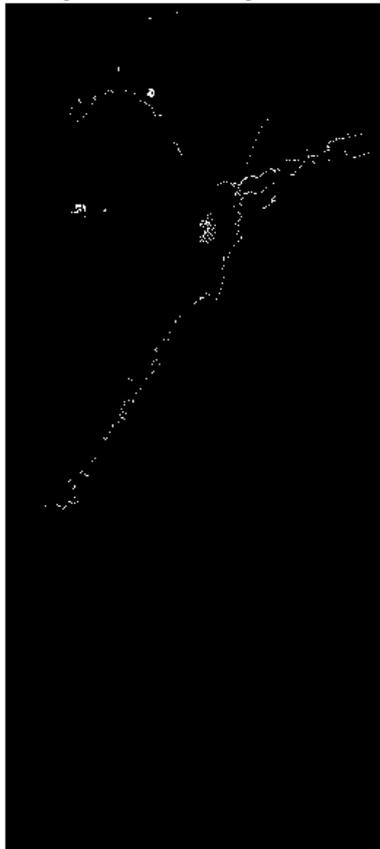
(3) Création d'images

Zones cibles de l'imagerie dans la période désignée



Source : NTT DATA et RESTEC

Masque créé sur les plans d'eau



Source : Equipe d'étude Incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

1. Zone faisant l'objet du produit

- Madagascar

2. Fichiers du produit

- S17752E048113_S18036E048237_UM_DTM.tif

- S17752E048113_S18036E048237_UM_MSK.tif

3. Spécifications

3.1 MNT (S17752E048113_S18036E048237_UM_DTM.tif)

[Format de fichier] GeoTiff
[Projection] UTM ZONE 39S
[Spheroïd] WGS 84
[Datum] WGS 84
[Upper Left (Coin supérieur gauche) X] 193817.50
[Upper Left (Coin supérieur gauche) Y] 8034927.5
[Width (Largeur)] 13680
[Height (Hauteur)] 31289
[Pixel Size (Taille de pixel) X] 1.0000000 mètres
[Pixel Size (Taille de pixel) Y] 1.0000000 mètres
[Type de données] Float
[Données d'altitude] EGM2008

3.2 MSK (S17752E048113_S18036E048237_UM_MSK.tif)

[Format de fichier] GeoTiff
[Projection] UTM ZONE 39S
[Spheroïd] WGS 84
[Datum] WGS 84
[Upper Left (Supérieur gauche) X] 193817.50
[Upper Left (Supérieur gauche) Y] 8034927.5
[Width (Largeur)] 13680
[Height (Hauteur)] 31289
[Pixel Size (Taille de pixel) X] 1.0000000 mètres
[Pixel Size (Taille de pixel) Y] 1.0000000 mètres
[Type de données] Unsigned 8-bit
[Valeur] 0 = Available Area (Zone disponible), 1 = Mask Area (Zone Masquée)

3.1.2 Document annexe sur les conditions hydrométéorologiques et l'état des cours d'eau

(1) Profils en travers des stations limnimétriques

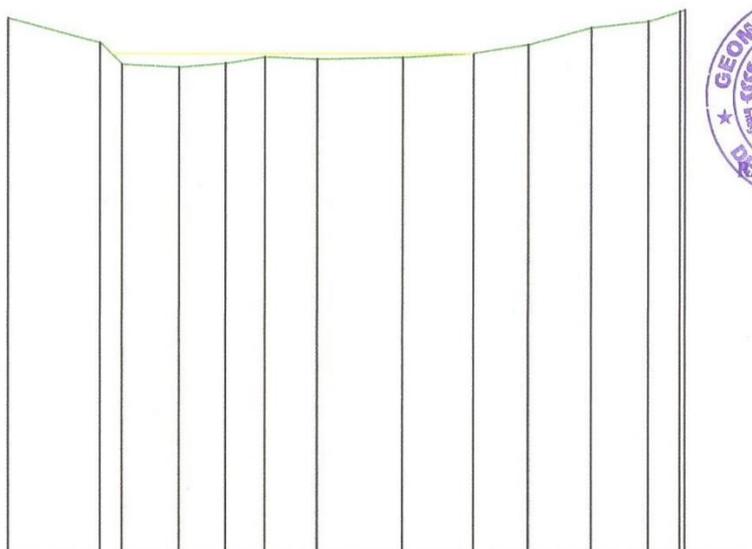
Résultats du levé de profils en travers (WLG-1)

Echelle en X : 1/500

Echelle en Y : 1/500

Profil n°1
 Niveau d'eau le 07 Nov 2022
 à 11h30 mn

PC : 715.00 m



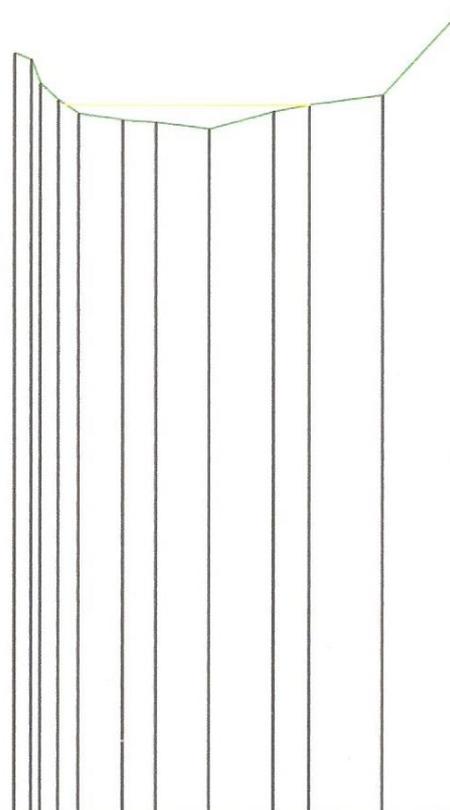
Numéro de profils en travers	P1											P2	
Altitudes TN	714.00	715.80	715.87	716.01	716.97	718.54	718.35	718.00	718.92	718.70	718.25	718.86	714.25
Altitudes Projet													
Ecart TN - Projet													
Distances partielles TN		61.52											
Distances cumulées TN	0.00												61.52
Distances partielles Projet													
Distances cumulées Projet													
Pentes et rampes													
Alignements droits et courbes		DROITE L = 8.35 m	^{11.14}	DROITE L = 5.18 m	DROITE L = 4.21 m	DROITE L = 3.59 m	DROITE L = 4.74 m	DROITE L = 7.77 m	DROITE L = 6.46 m	DROITE L = 4.97 m	DROITE L = 5.72 m	DROITE L = 5.18 m	DROITE L = 3.37 m

Source : Equipe d'étude

Résultats du levé de profils en travers (WLG-2)

Echelle en X : 1/500

Echelle en Y : 1/500



Profil n°2

Niveau d'eau le 07 Nov 2022
 à 09h00 mn

PC : 713.00 m

Numéro de profils en travers	P1									P2	
Altitudes TN	760.97	760.66	760.01	757.16	756.76	756.60	756.20	757.29	757.71	758.31	763.77
Altitudes Projet											
Ecart TN - Projet											
Distances partielles TN		28.01									
Distances cumulées TN	0.00										28.01
Distances partielles Projet											
Distances cumulées Projet											
Pentes et rampes											
Alignements droits et courbes	DROITE L = 1.04 m	DROITE L = 1.04 m	DROITE L = 1.53 m	DROITE L = 1.38 m	DROITE L = 2.75 m	DROITE L = 3.32 m	DROITE L = 4.03 m	DROITE L = 2.28 m	DROITE L = 4.56 m	DROITE L = 4.99 m	

Source : Equipe d'étude

Résultats du levé de profils en travers (WLG-3)

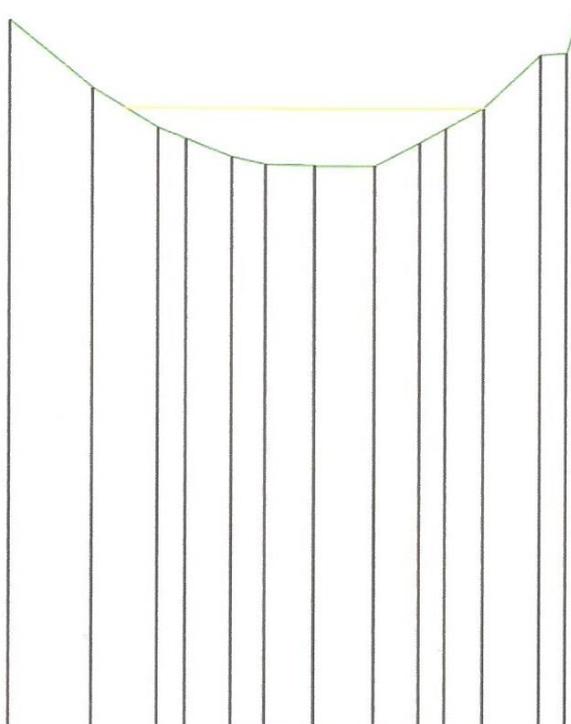
Echelle en X : 1/500

Echelle en Y : 1/500

Profil n°3

Niveau d'eau le 07 Nov 2022
 à 10h00 mn

PC : 712.00 m



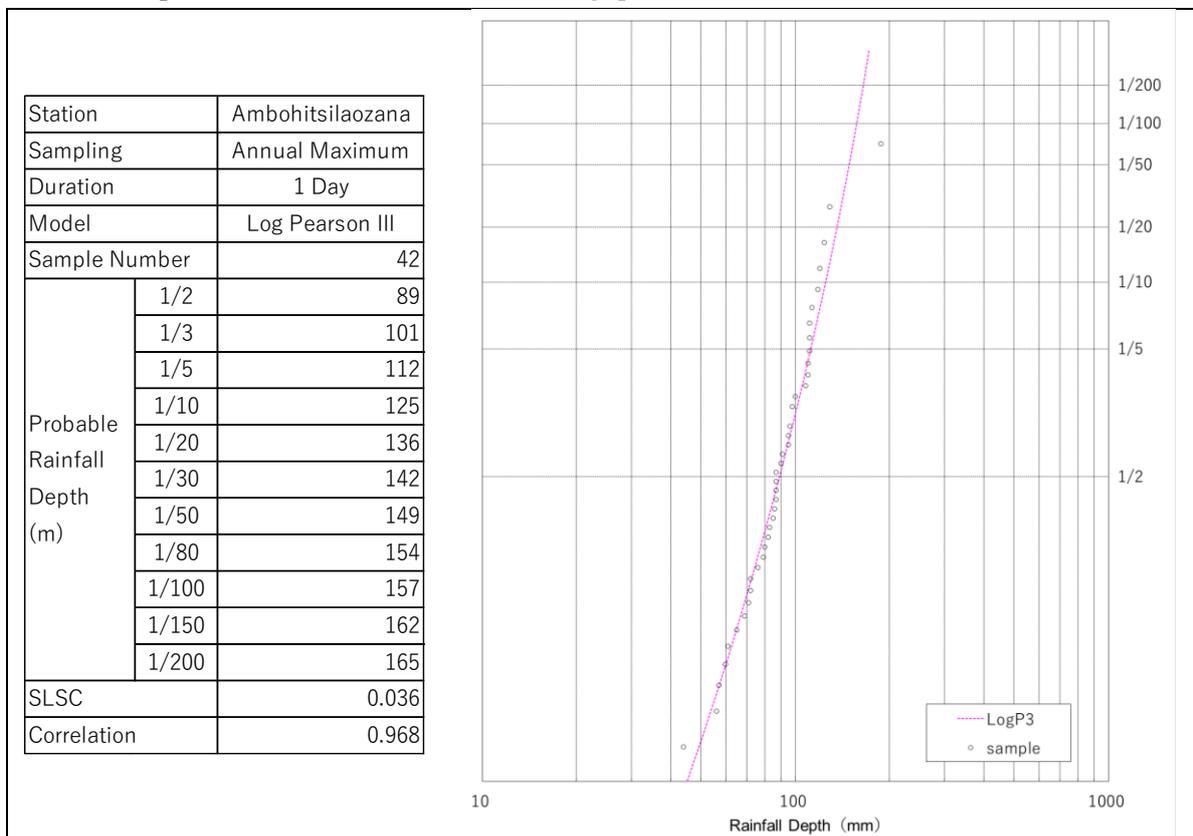
Numéro de profils en travers	P1											P2													
Altitudes TN	763.93	758.98	756.08	755.26	753.93	753.38	753.30	753.27	754.97	756.01	757.54	761.39	761.52	764.70											
Altitudes Projet																									
Ecart TN - Projet																									
Distances partielles TN																									
Distances cumulées TN	0.00											40.93													
Distances partielles Projet																									
Distances cumulées Projet																									
Pentes et rampes																									
Alignements droits et courbes		DROITE L = 6.03 m	DROITE L = 4.78 m	DROITE L = 5.36 m	DROITE L = 2.44 m	DROITE L = 3.58 m	DROITE L = 4.37 m	DROITE L = 3.29 m	DROITE L = 1.69 m	DROITE L = 2.77 m	DROITE L = 4.12 m	DROITE L = 1.18 m	DROITE L = 0.88 m												

Source : Equipe d'étude

(2) Analyses des précipitations et des ruissellements

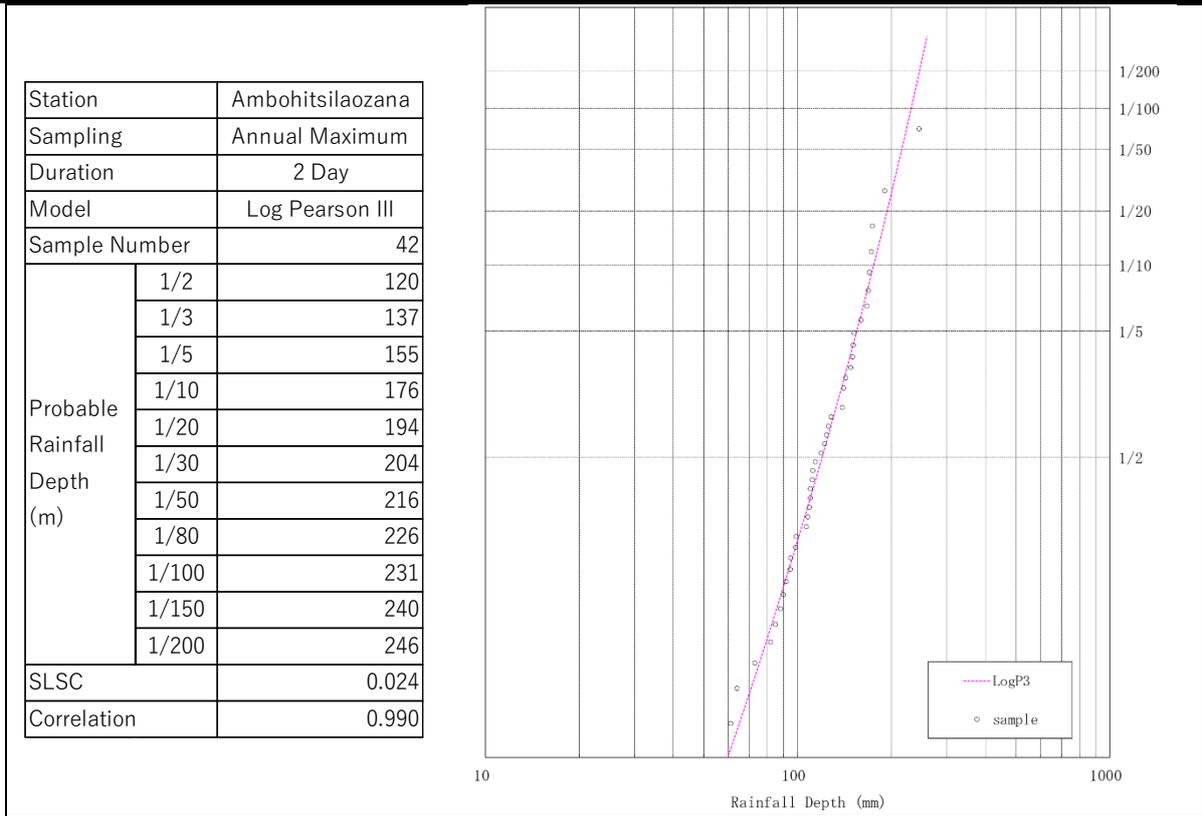
(a) Probabilités pluviométriques

Une estimation des probabilités pluviométriques (1 à 4 jours) a été faite en utilisant des données journalières de pluviométrie de la station météorologique d'Ambohitsilaozana.



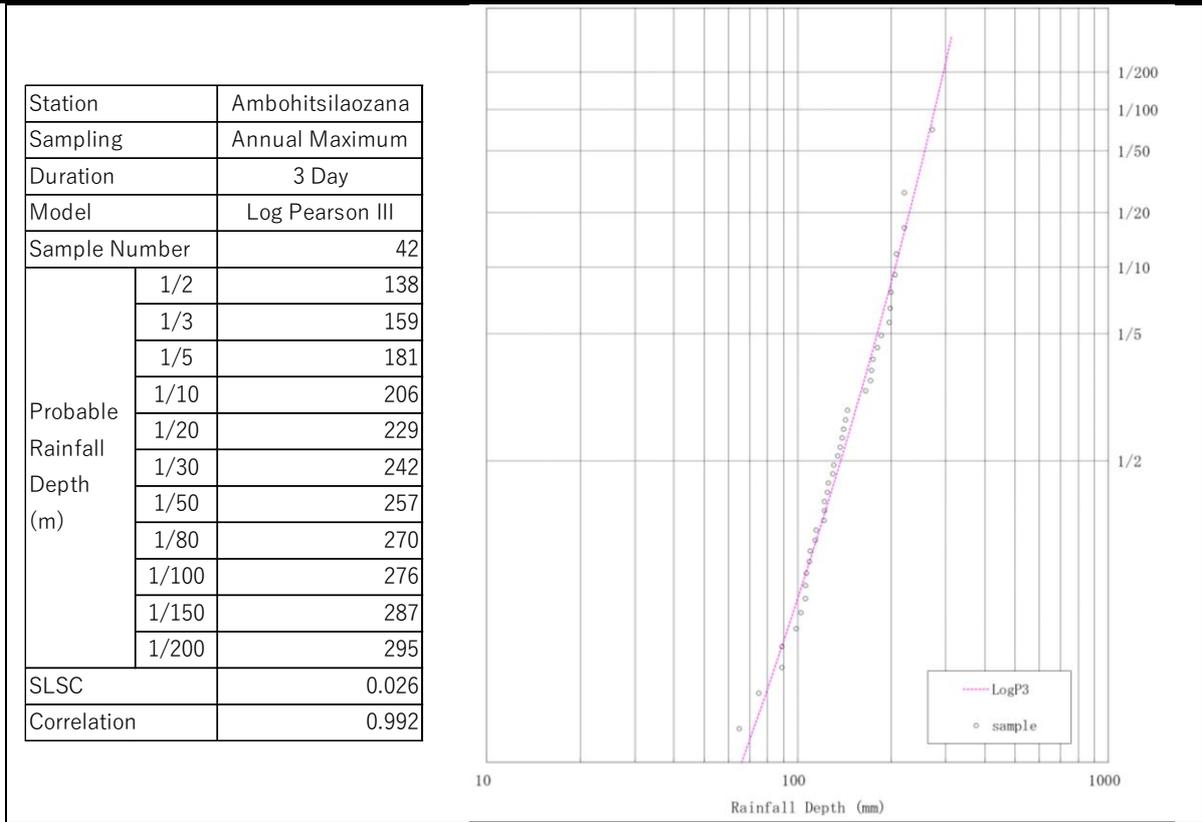
Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-1 Précipitations probables en un jour (Station Ambohitsilaozana)



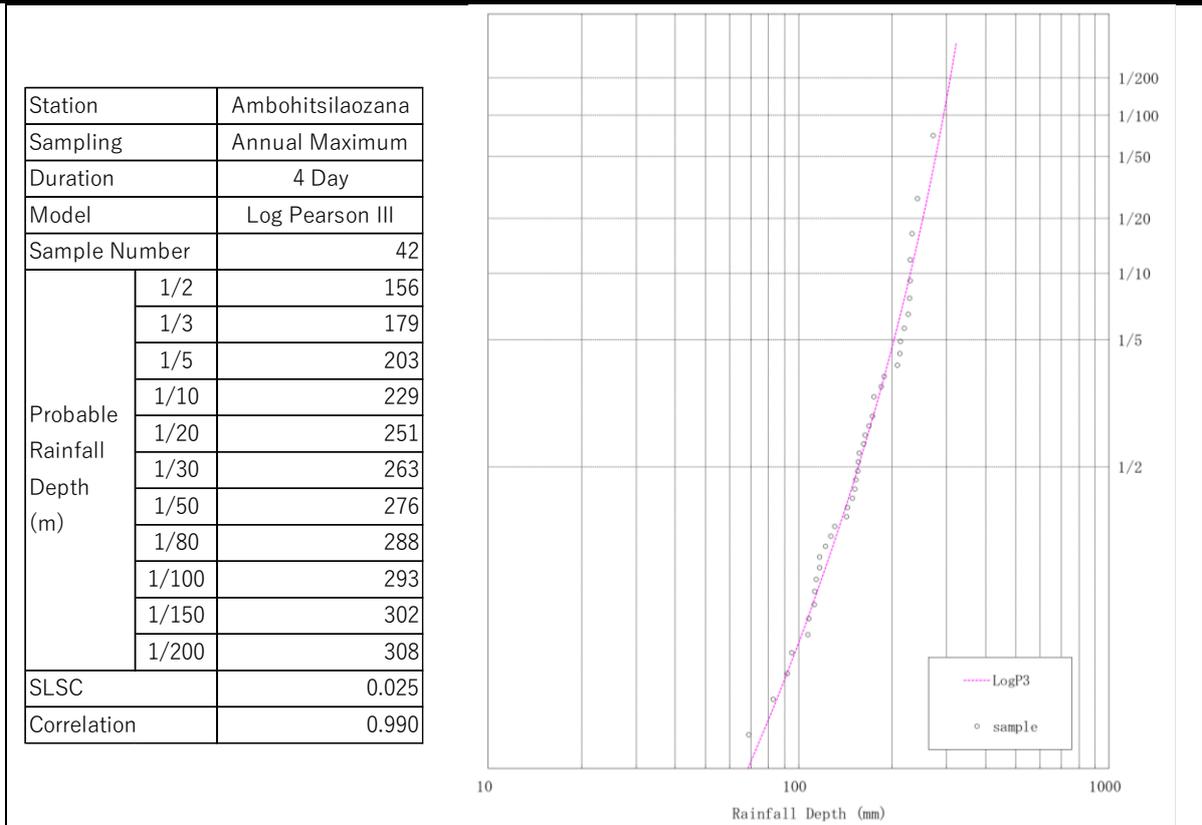
Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-2 Précipitations probables en deux jours (Station Ambohitsilaozana)



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-3 Précipitations probables en trois jours (Station Ambohitsilaozana)



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-4 Précipitations probables en quatre jours (Station Ambohitsilaozana)

Tableau 3.2-1 Précipitations journalières maximales annuelles (Station Ambohitsilaozana)

Year	1-Day	2-Day	3-Day	4-Day
1981	91.0	126.0	131.0	162.0
1982	111.0	169.0	181.0	189.0
1983	124.0	143.0	156.0	175.0
1984	118.0	139.0	143.0	208.0
1985	111.0	152.0	173.0	173.0
1986	188.0	245.0	272.0	272.0
1987	61.0	95.0	110.0	117.0
1988	96.0	110.0	122.0	122.0
1989	69.0	73.0	89.0	92.0
1990	39.0	64.0	65.0	65.0
1991	76.0	88.0	99.0	108.0
1992	79.0	85.0	89.0	95.0
1993	82.0	82.0	125.0	152.0
1994	110.0	128.0	172.0	229.0
1995	110.0	174.0	200.0	242.0
1996	87.0	151.0	166.0	185.0
1997	113.0	190.0	208.0	213.0
1998	111.0	170.0	186.0	219.0
1999	65.0	114.0	141.0	169.0
2000	120.0	141.0	145.0	157.0
2001	95.0	150.0	199.0	232.0
2002	80.0	112.0	130.0	153.0
2003	72.0	108.0	135.0	156.0
2004	56.0	92.0	106.0	117.0
2005	87.0	141.0	197.0	212.0
2006	57.0	57.0	61.0	69.0
2007	95.0	119.0	137.0	155.0
2008	86.0	160.0	221.0	226.0
2009	98.0	110.0	115.0	127.0
2010	108.0	148.0	206.0	229.0
2011	44.0	61.0	75.0	83.0
2012	83.0	90.0	122.0	143.0
2013	87.0	99.0	107.0	113.0
2014	96.0	107.0	114.0	131.0
2015	85.0	122.0	126.0	164.0
2016	71.0	124.0	139.0	144.0
2017	100.0	167.0	175.0	175.0
2018	87.0	109.0	109.0	114.0
2019	72.0	98.6	106.1	112.6
2020	128.8	172.2	220.7	228.0
2021	59.8	94.7	102.7	107.4
2022	90.0	111.5	121.6	149.1

Source : Equipe d'étude

(b) Répartition des pluies

Etant donné qu'il n'existe aucune station pluviométrique dans le périmètre irrigué de Maharivana, nous avons étudié la répartition spatio-temporelle des précipitations à l'aide des produits pluviométriques satellitaires.

1) Sélection de produits pluviométriques satellitaires

Nous avons utilisé, comme produits pluviométriques satellitaires, ceux de GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation, ou Cartographie mondiale des précipitations par satellite) développé par l'Agence japonaise d'exploration spatiale (JAXA), dont les principales spécifications sont les suivantes :

- ✓ Quantité physique: Intensité de pluie [mm/h]
- ✓ Couverture : Planète entière (60S-60N)
- ✓ Résolution spatiale: Grille de 0.1°x 0.1° en latitude et longitude (maillage de 11 km environ dans les zones équatoriales)
- ✓ Résolution temporelle: 1 heure

GSMaP offre différents produits à choisir selon le but de l'utilisation. Dans le cadre de la présente étude, les deux produits suivants ont été utilisés.

- ✓ Version standard « pluviomètre corrigé » : GSMaP_Gauge v7, du 01 mars 2014 à ce jour
- ✓ Version standard : GSMaP_MVK v7, du 01 mars 2014 à ce jour



Source : JAXA

Figure 3.2-5 Schéma explicatif de GSMaP

2) Vérification de la précision

La précision des produits pluviométriques satellitaires reste généralement faible, même si l'on constate une amélioration constante au fil des années. En outre, en raison du fait que les données d'observation provenant de différents satellites sont utilisées, la précision varie d'une précipitation à l'autre. C'est pourquoi nous avons procédé à une comparaison des données journalières de pluviométrie de la station d'Ambohitsilaozana avec les données de GSMaP, en vue de vérifier leur précision. Nous avons étudié les données de différentes périodes après 2018 pour en extraire celles des cas où une quantité de précipitations égale ou supérieure à 70 mm a été enregistrée.

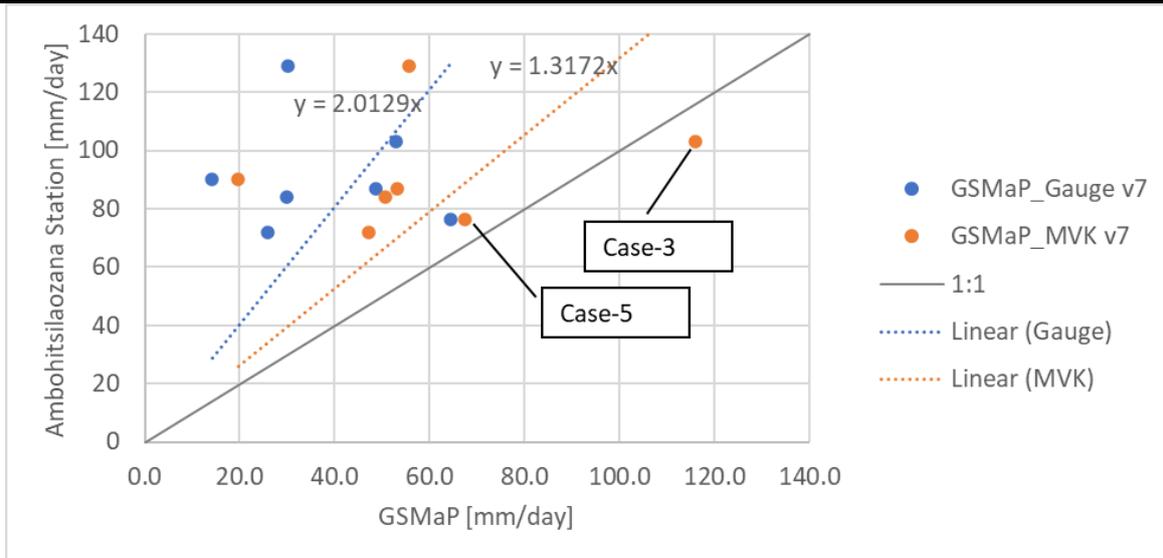
Tableau 3.2-2 Précipitations qui ont fait l'objet de la vérification de précision

No.	Période	Précipitations journalières maximales (Station Ambohitsilaozana)
Cas-1	Du 09 au 10 janvier 2018	Le 10 janvier 2018 : 87,0 mm
Cas-2	Du 22 au 24 février 2019	Le 23 février 2019 : 72,0 mm
Cas-3	Du 17 au 23 janvier 2020	Le 2 janvier 2020 : 103,0 mm
Cas-4	Du 24 au 25 février 2020	Le 25 février 2020 : 128,8 mm
Cas-5	Du 15 au 26 janvier 2022	Le 22 janvier 2022 : 76,3 mm
Cas-6	Du 26 février au 03 mars 2022	Le 01 mars 2022 : 90,0 mm
Cas-7	Le 19 mars 2022	Le 19 mars 2022 : 84,0 mm

Source : Equipe d'étude

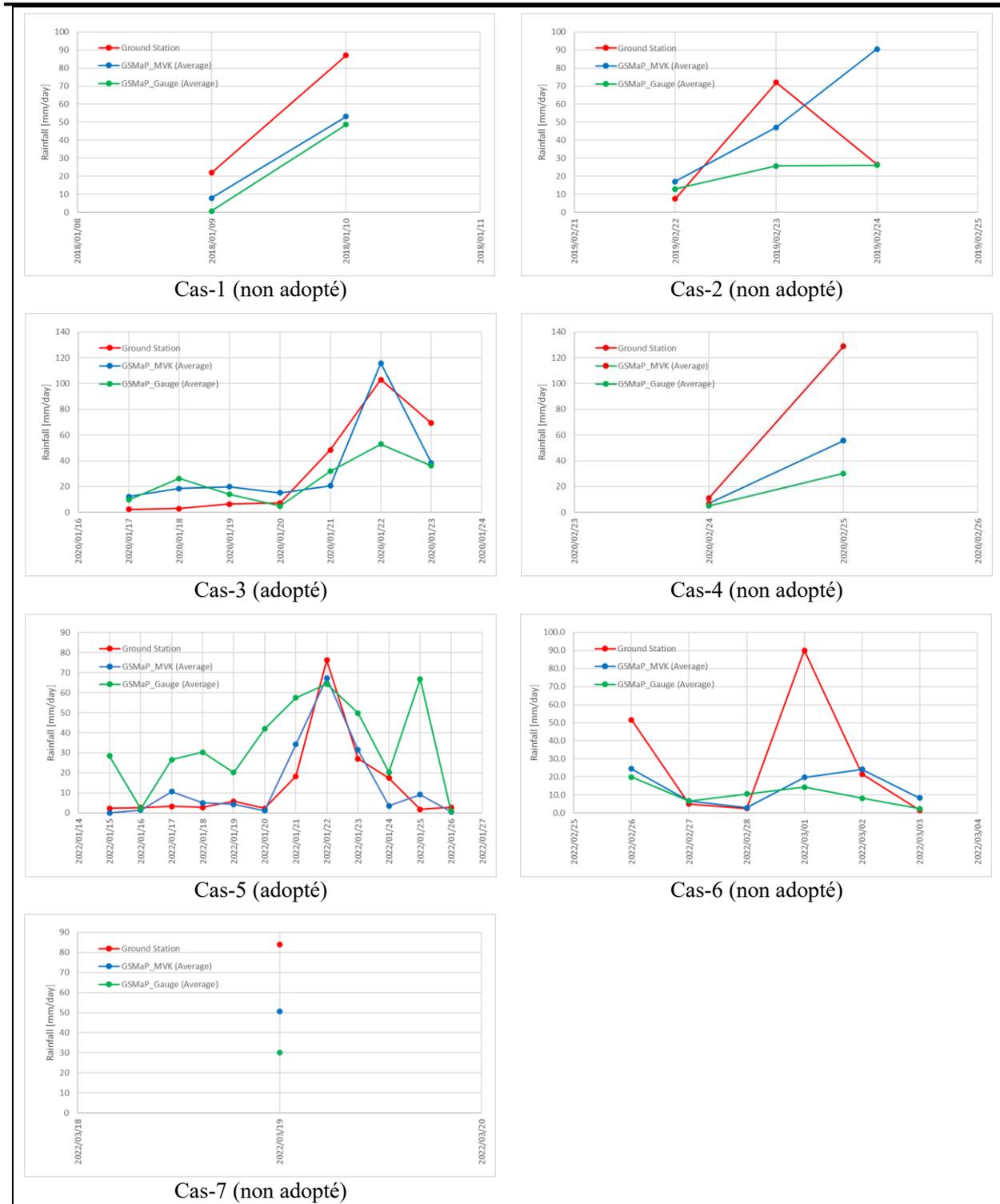
Les figures 3.2.6 et 3.2.7 ci-dessous récapitulent les données de la station au sol, de GSMaP_Gauge v7 et de GSMaP_MVK v7 respectivement. La figure 3.2.6 présente les précipitations journalières maximales enregistrées dans chaque cas sous forme de diagramme de dispersion. L'analyse de régression linéaire nous a permis de constater que celles de GSMaP_MVK v7 sont les plus proches de la droite 1:1, témoignant d'une bonne précision. Nous avons alors retenu les données des cas-3 et cas-5, dont le degré de précision était meilleur que ceux des autres, pour la suite de l'étude. Il convient de noter que, d'après le graphique linéaire, il semble que le cas-5 de GSMaP_Gauge v7 représente une bonne précision, cependant, le graphique chronologique (figure 3.2.7) démontre une faiblesse du niveau de précision juste avant et après les pics des pluies.

Comme la station d'Ambohitsilaozana se situe à la limite de deux grilles, nous utilisons la valeur moyenne des deux grilles pour toutes les données de GSMaP. La figure 3.2.8 permet de nous assurer que l'utilisation des valeurs moyennes n'affecte pas la précision.



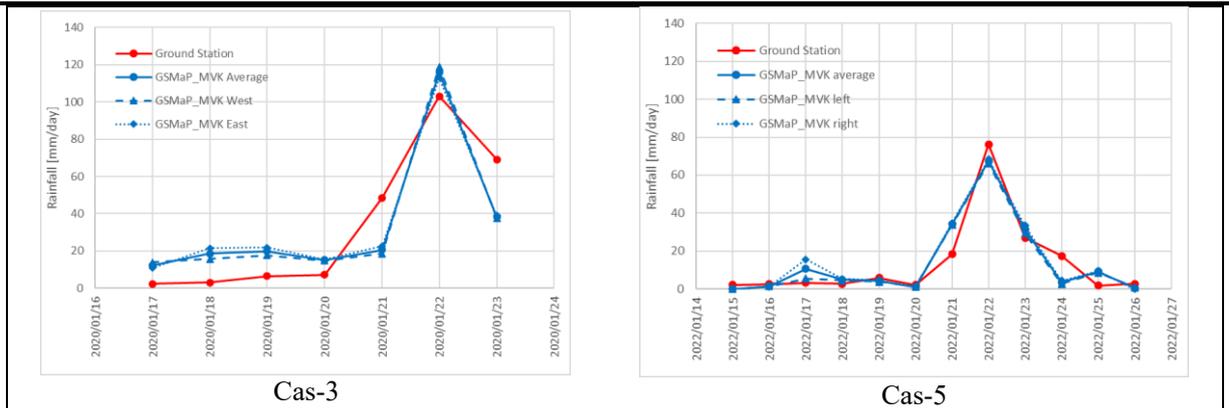
Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-6 Résultats de la vérification de la précision à la station d'Ambohitsilaozana (régression linéaire des données des jours de pic de précipitations)



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-7 Résultats de la vérification de la précision à la station d'Ambohitsilaozana (chronologiques)

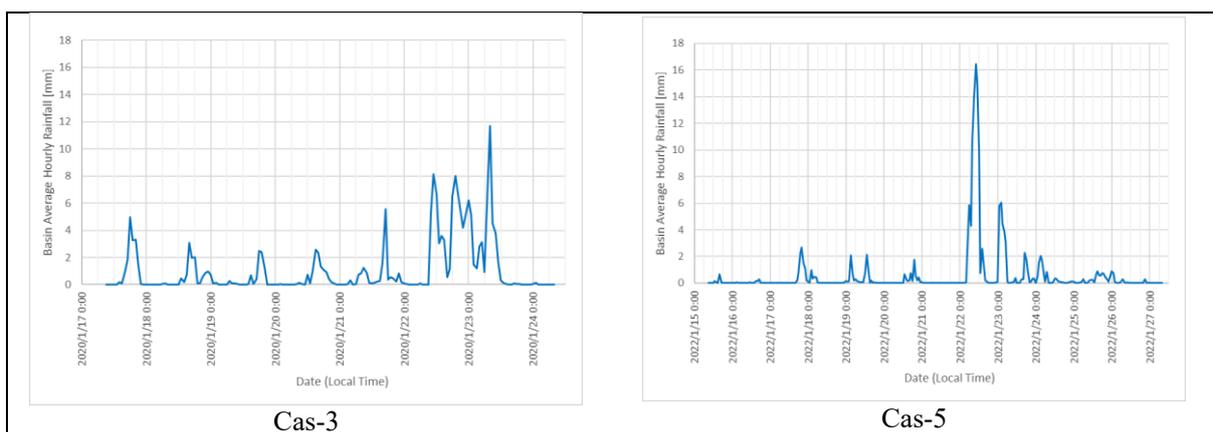


Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-8 Comparaison des deux grilles adjacentes

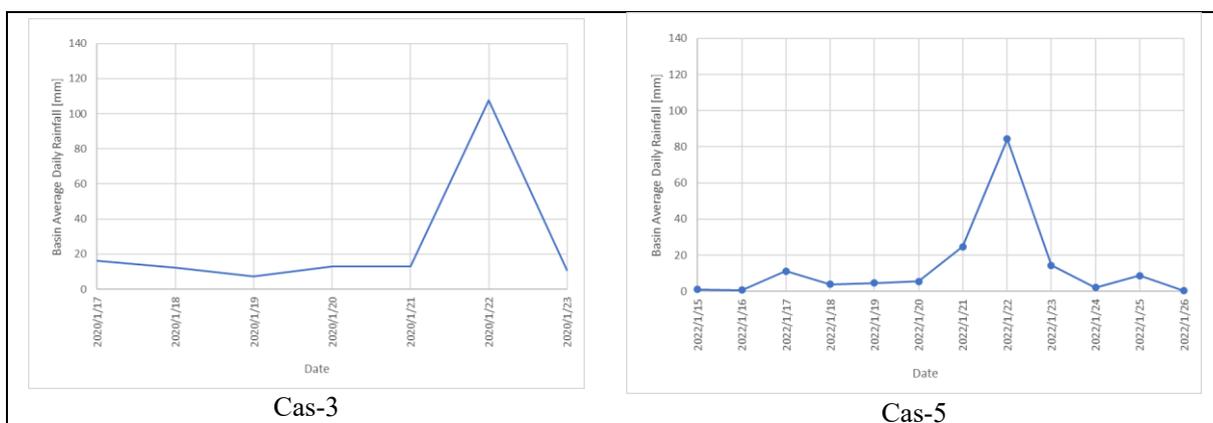
3) Précipitations moyennes dans le bassin versant

Les graphiques suivants, montrant les précipitations moyennes dans le bassin versant où se trouve le périmètre irrigué de Maharivana, ont été créés avec les données du cas-3 et du cas-5 de GSMaP_MVK v7.



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-9 Précipitations moyennes dans le bassin versant (précipitations par heure)

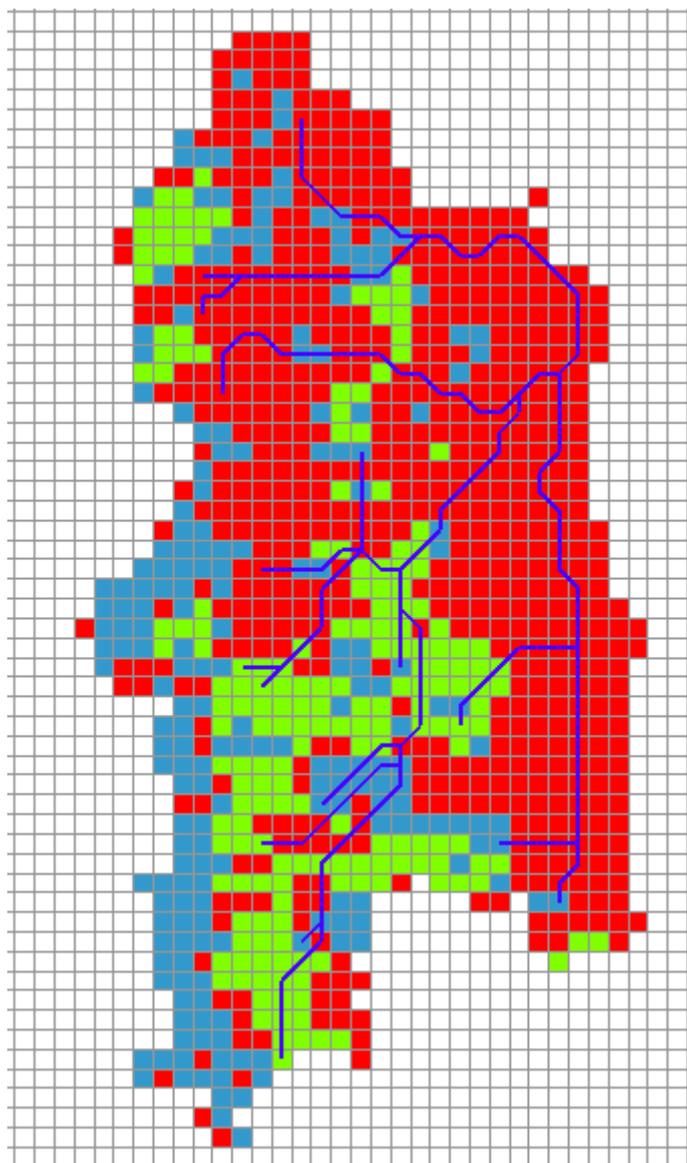


Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-10 Précipitations moyennes dans le bassin versant (précipitations par jour)

(c) Établissement d'un modèle d'analyse de l'écoulement des eaux de crue

Un modèle d'analyse de l'écoulement des eaux de crue dans le périmètre irrigué de Maharivana a été établi à l'aide de l'IFAS (Integrated Flood Analysis System, ou système intégré d'analyse des crues). Il s'agit d'une représentation graphique en forme de grilles, dans laquelle sont utilisés le modèle de réservoir pour le processus d'écoulement des eaux de pluies dans le bassin versant et le modèle d'onde cinématique pour le processus d'écoulement en rivière.



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-11 Crues modélisées du périmètre irrigué de Maharivana

(d) Modèle reproduisant les crues survenues et étalonnage du modèle (2022)

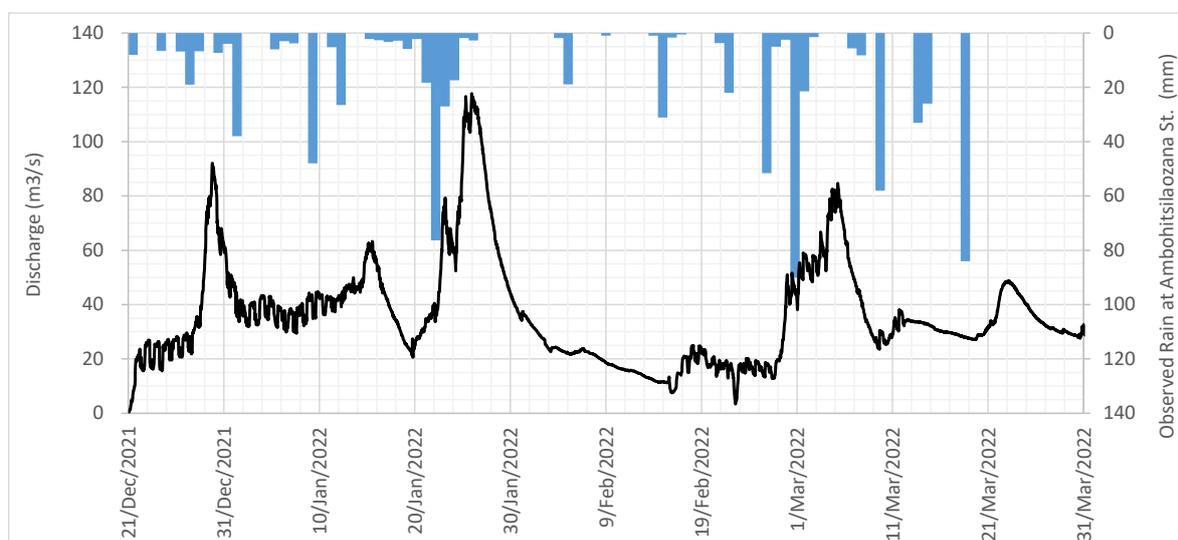
Un étalonnage du modèle d'analyse de l'écoulement des eaux de crue a été effectué en utilisant des données des crues survenues antérieurement.

1) Extraction des cas de crue à étudier

Les données des débits de la période allant de décembre 2021 à mars 2022 ont été utilisées. Trois cas de crue avaient été enregistrés au cours de cette période (Figure 3.2-12).

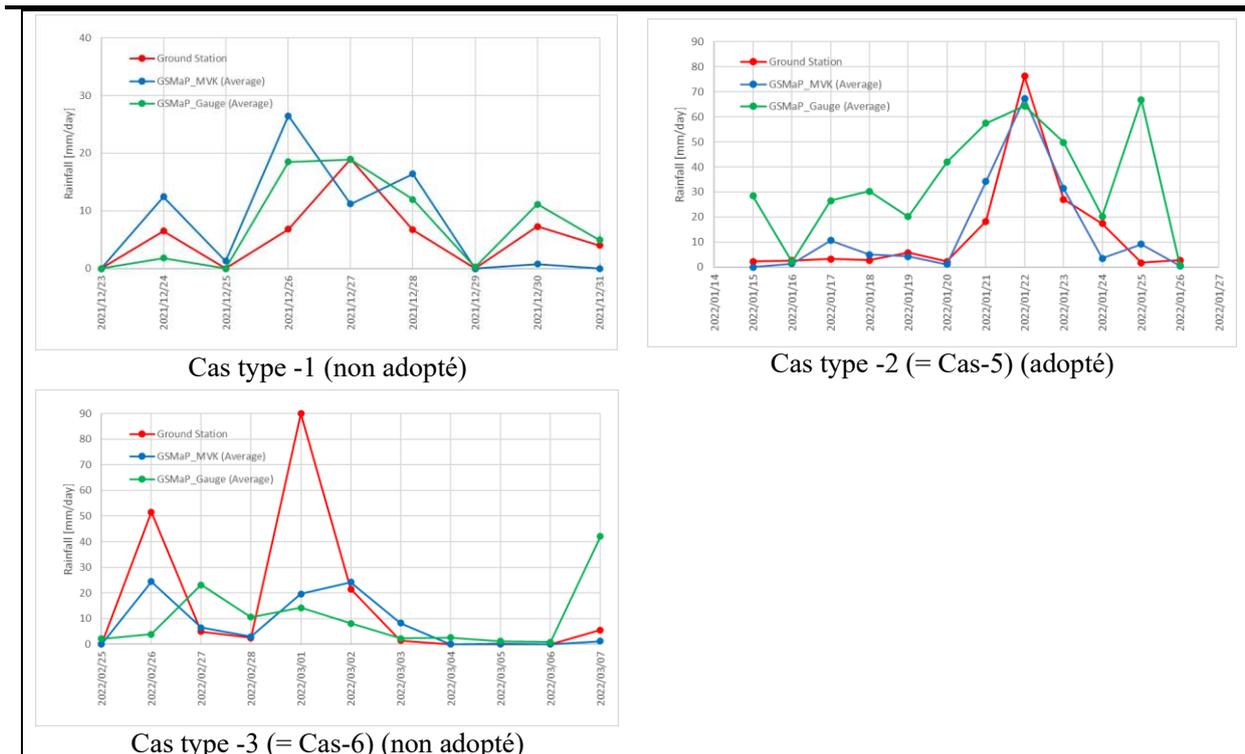
- ✓ Cas type -1: Du 28 au 31 décembre 2021
- ✓ Cas type -2: Du 22 au 29 janvier 2022 (= Case-5)
- ✓ Cas type -3: Du 27 février au 07 mars 2022 (= Case-6)

Pour les trois cas de crue ci-dessus énumérés, nous avons effectué une vérification de précision en faisant la comparaison des données des précipitations journalières de la station d'Ambohitsilaozana avec celles de GSMaP, (Figure 3.2-13). Parmi les données de ces trois cas de crue, seule les données du cas de crue de janvier 2022, obtenues à l'aide de GSMaP_MVK v7, ait une bonne précision.



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-12 Volumes de précipitation au niveau de la station et débits des cours d'eau (de décembre 2021 à mars 2022)



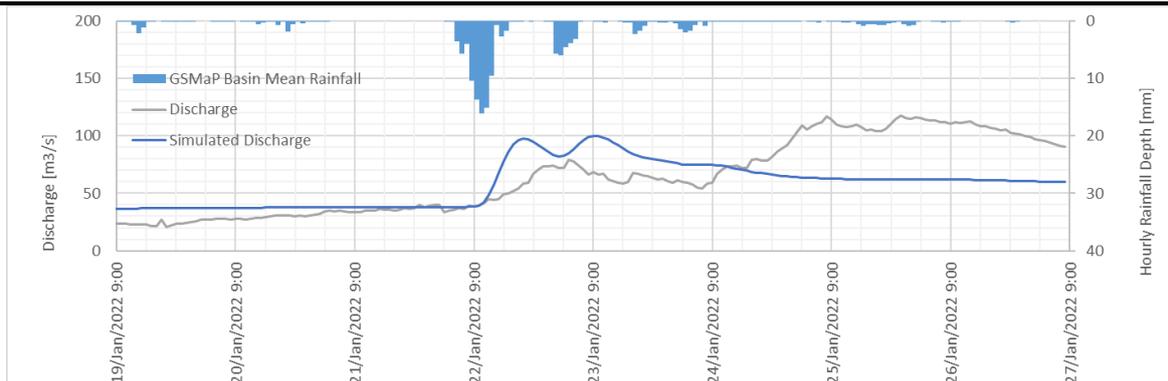
Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-13 Résultats de la vérification de la précision à la station d'Ambohitsilaozana (chronologiques)

2) Étalonnage (crue de janvier 2022)

Un ajustement des paramètres du modèle d'analyse de l'écoulement a été effectué en utilisant les données du cas de crue de janvier 2022 de GSMaP_MVK v7 et les données des débits. Étant donné que les valeurs estimées des précipitations du 24 janvier n'ont pas suffisamment de précision, la vérification a été faite sur les ondes de crue de la période du 22 au 23 janvier. Il a ainsi été constaté que les formes d'ondes des crues de ladite période sont à peu près cohérentes, même si la reproductivité de différence de temps entre les pics et la reproductivité de débit de pointe soient faibles. Les facteurs qui affectent la précision peuvent être résumés comme suit :

- ✓ Débit de pointe : Le point faisant l'objet d'évaluation est celui de la route nationale 3a. Or, Il semble qu'une différence est générée à cause du fait que les crues qui se produisent dans les zones en amont du bassin versant ne sont pas prises en compte. Il serait possible d'améliorer la précision si l'on prend en compte les crues en amont.
- ✓ Différence de temps entre les pics : Dans le modèle de type grille, les cours d'eau sont exprimés sous la forme de lignes droites, alors qu'en réalité, ils sont sinueux. Les méandres ne sont pas reflétés à l'intérieur des cellules représentant chacune une surface de 1 km², ce qui mène à une sous-estimation du temps d'écoulement. Il serait possible d'améliorer la précision, soit en réduisant la taille des cellules de grille, ou d'adopter un modèle de type autre que le type grille.



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-14 Résultats de l'étalonnage

Tableau 3.2-3 Paramètres du modèle (1/3)

Surface Subsurface Aquifer River Course							
No	SKF	HFMXD	HFMND	HFOD	SNF	FALFX	HIFD
1	0.00001	1	0.01	0.005	0.70	0.80	0.00
2	0.00002	1	0.01	0.005	2.00	0.60	0.00
3	0.00001	0.05	0.01	0.005	2.00	0.50	0.00
4	0.000001	0.001	0.0005	0.0001	0.10	0.90	0.00
5	0.00001	0.05	0.01	0.005	2.00	0.50	0.00

Source : Equipe d'étude

Tableau 3.2-4 Paramètres du modèle (2/3)

2 Layer Tank 3 Layer Tank

Surface Subsurface Aquifer River Course				
No	AUD	AGD	HCGD	HIGD
1	0.10	0.003	2.00	2.00
2	0.11	0.003	2.00	2.00
3	0.12	0.003	2.00	2.00
4	0.13	0.003	2.00	2.00
5	0.14	0.003	2.00	2.00
6	0.15	0.003	2.00	2.00
7	0.16	0.003	2.00	2.00
8	0.17	0.003	2.00	2.00
9	0.18	0.003	2.00	2.00
10	0.19	0.003	2.00	2.00
11	0.20	0.003	2.00	2.00

Source : Equipe d'étude

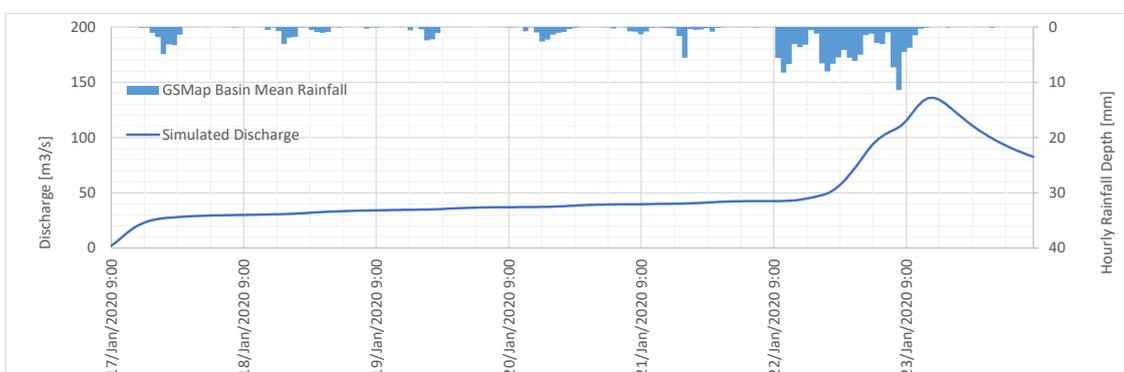
Tableau 3.2-5 Paramètres du modèle (3/3)

<input checked="" type="radio"/> 2 Layer Tank <input type="radio"/> 3 Layer Tank										
Surface Subsurface Aquifer River Course										
No	RBW	RBS	RMS	RRID	RGWD	RHW	RHS	RBH	RBET	RLCOF
1	7.00	0.50	0.035	0.00001	0.00	9999.00	1.00	0.50	0.05	1.40
2	7.00	0.50	0.035	0.00001	0.00	9999.00	1.00	0.50	0.05	1.40
3	7.00	0.50	0.035	0.00001	0.00	9999.00	1.00	0.50	0.05	1.40

Source : Equipe d'étude

3) Reproduction des cas de crue (crues de janvier 2020)

Le calcul pour la reproduction des cas de crue de janvier 2020 a été fait en utilisant les paramètres du modèle identifiés



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-15 Ondes de crue (Crue de janvier 2020)

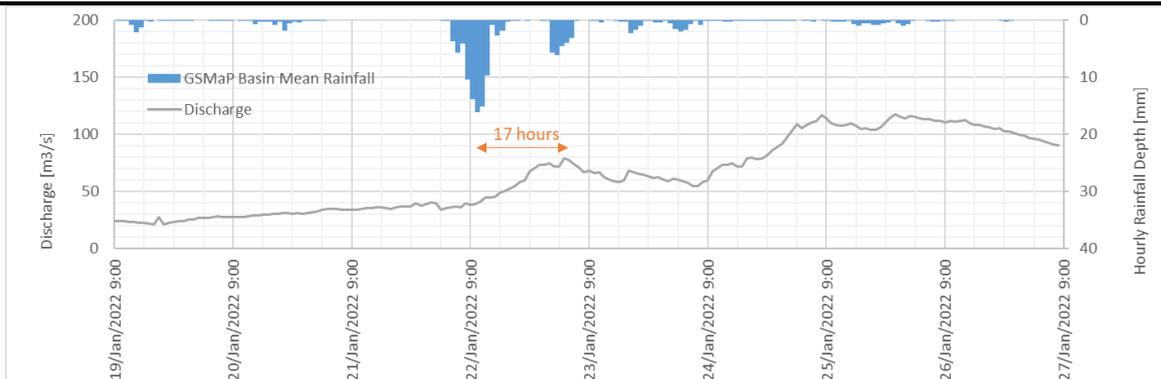
(e) Probabilité des débits de crue

Une estimation des probabilités des débits de crue dans le périmètre irrigué de Maharivana a été faite en utilisant les valeurs probables des précipitations.

1) Temps de concentration

Lors de la crue de janvier 2022, les débits de pointe ont eu lieu les 23 et 25 janvier. Compte tenu de la faible précision de l'estimation des précipitations probables pour le 24 janvier (voir la figure 3.2-13), nous avons fait une comparaison du débit du 22 janvier avec celui du 23 janvier, ce qui a permis de constater que la différence de temps entre les pics s'élève à 17 heures. Il est ressorti d'une enquête menée auprès de la DRAE que le temps écoulé entre le début d'une pluie diluvienne et l'apparition d'une crue était d'environ un jour, ce qui permet de considérer la différence de 17 heures comme une valeur moyenne. En supposant que le temps de concertation soit le double de la différence de temps entre les pics, celui au niveau du pont sur la route nationale 3a doit être de 34 heures.

- ✓ Précipitations moyennes du bassin versant atteignant leur niveau maximal : le 22 janvier 2022, 10:00-10:59, 16.1 mm
- ✓ Débit fluvial de pointe : le 23 janvier 2022, 04:00, 79.2 m3/sec



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-16 Différence de temps entre les pics (janvier 2022)

2) Durée de précipitations

Pour les volumes moyens des précipitations dans le bassin versant indiqués plus haut (Cas-3 et Cas-5), la durée des précipitations a été définie, en considérant la pluie de moins de 1,mm/h qui dure plus de 17 heures comme nulle. Comme le montre le tableau 3.2-6 ci-dessous, si l'on prévoit une durée de précipitations de 48 heures, il sera possible de couvrir 90% du volume total des pluies pour le Cas 3, et 100% pour le Cas 5. La durée de précipitation est projetée en rapport avec les précipitations sur deux jours. Les données sur les volumes de précipitations par heure cumulées dans GSMap étant trop peu nombreuses pour être utilisées à des fins d'analyse statistique, nous supposons l'utilisation des données journalières de pluviométrie de la station météorologique d' Ambohitsilaozana.

Tableau 3.2-6 Durée de précipitations

Cas	Date de survenance	Durée de précipitations (Heur)	Quantité de précipitations			Pourcentage par rapport à la quantité totale de précipitations	
			Quantité totale de précipitations A	Précipitations sur 24 h B	Précipitations sur 48 h C	B/A	C/A
3	Le 23 janvier 2020	70	142,4	104,0	128,2	73%	90%
5	Le 22 janvier 2022	48	121,8	105,8	121,8	87%	100%

Source : Equipe d'étude

3) Probabilités pluviométriques

Les précipitations probables ont été étudiées en utilisant des données de précipitations sur deux jours de la station d' Ambohitsilaozana, de la manière indiquée ci-après. Il convient de noter que cette étude a été effectuée à l'aide de « Hydrological Statistics Utility » de Japan Institute of Country-ology and Engineering.

- ✓ Estimer la quantité hydrologique probable au moyen des 13 modèles énumérés dans le tableau 3.2-7 ci-dessous.
- ✓ Effectuer une évaluation de la pertinence de trois distributions à savoir la distribution de Gumbel basée sur la théorie des valeurs extrêmes (Gumbel), la distribution généralisée de la valeur extrême (GEV) et la distribution du maximum exponentielle SQRT-ET, en utilisant le critère des moindres carrés (SLSC). Sélectionner la distribution remplissant le critère ($SLSC \leq 0.04$). Si aucune de ces trois distributions ne remplit le critère, faire la sélection parmi les 10 distributions restantes. Évaluer, par un rééchantillonnage (méthode Jackknife), la stabilité de la distribution sélectionnée. La distribution dont l'erreur d'estimation est la moins importante sera retenue comme modèle de distribution de probabilité à utiliser pour le projet.
- ✓ L'estimateur non-biaisé obtenu par la méthode Jackknife sera la quantité hydrologique probable à utiliser pour le projet.

Tableau 3.2-7 Modèles de distribution de probabilité à examiner

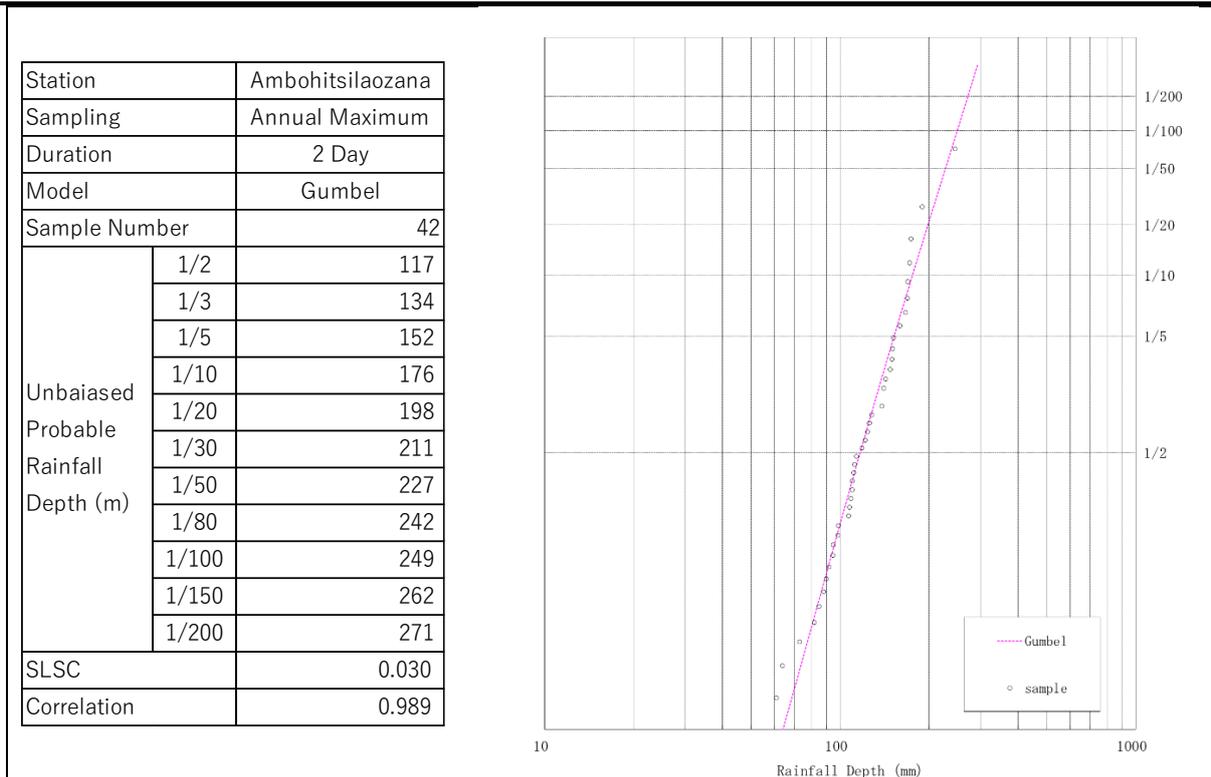
No.	Désignation	Abréviation	Remarques
1	Distribution exponentielle	Exp	
2	Distribution de Gumbel	Gumbel	à examiner prioritairement
3	Distribution généralisée de la valeur extrême	Gev	à examiner prioritairement
4	Distribution du maximum exponentielle SQRT-ET	Sqrt-Et	à examiner prioritairement
5	Distribution Log Pearson type III (espace réel)	LP3Rs	
6	Distribution Log Pearson type III (espace des Log)	LogP3	
7	Méthode Iwai	Iwai	
8	Méthode Ishihara/Takase	IshiTaka	
9	Log normale à 3 paramètres (méthode quantile)	LN3Q	
10	Log normale à 3 paramètres (Slade II)	LN3PM	
11	Log normale à 2 paramètres (Slade I, Méthode des moments L)	LN2LM	
12	Log normale à 2 paramètres (Slade I, Méthode des moments)	LN2PM	
13	Log normale à 4 paramètres (Slade IV, Méthode des moments)	LN4PM	

Source : Equipe d'étude

Tableau 3.2-8 Résultats de la sélection des modèles de distribution de probabilité

Model		Exp	Gumbel	SqrtEt	Gev	LP3Rs	LogP3	Iwai	IshiTaka	LN3Q	LN3PM	LN2LM	LN2PM	LN4PM	Lexp	Gp	GpExp
Selection			Selected														
SLSC		0.059	0.030	0.045	0.038	0.024	0.024	-	0.026	0.030	0.026	0.027	0.028	-	0.059	-	0.092
Correlation		0.958	0.989	0.978	0.990	0.990	0.990	-	0.991	0.989	0.991	0.990	0.990	-	0.958	-	0.958
Probable	1/2	110	117	116	120	120	120	-	119	118	119	118	118	-	96	-	81
Rainfall	1/3	128	134	134	137	137	137	-	136	135	136	135	135	-	119	-	117
	1/5	150	152	157	155	155	155	-	153	154	153	154	154	-	145	-	157
	1/10	180	176	188	175	175	175	-	175	177	175	178	177	-	178	-	207
	1/20	210	198	219	194	193	193	-	194	199	194	200	199	-	209	-	255
	1/30	228	211	238	203	203	203	-	205	211	205	212	211	-	227	-	283
	1/50	250	227	263	215	215	215	-	218	227	218	227	226	-	249	-	317
	1/80	270	242	287	225	225	226	-	230	241	230	241	240	-	270	-	349
	1/100	280	249	299	230	230	231	-	236	247	235	248	247	-	279	-	364
	1/150	297	262	320	238	238	239	-	246	260	245	260	259	-	297	-	391
	1/200	310	271	336	243	244	245	-	253	268	252	269	267	-	310	-	410
Jack Knife	1/2	110	117	116	120	118	119	-	118	115	118	118	118	-	96	-	79
Unbiased	1/3	128	134	135	137	135	137	-	136	133	136	135	135	-	119	-	117
Estimator	1/5	150	152	158	155	154	155	-	154	154	155	154	154	-	145	-	159
	1/10	180	176	189	176	177	176	-	177	180	177	177	177	-	178	-	212
	1/20	210	198	221	194	198	195	-	197	206	196	199	199	-	209	-	263
	1/30	228	211	241	203	210	205	-	208	220	207	211	211	-	227	-	292
	1/50	250	227	267	214	224	217	-	221	239	221	227	226	-	249	-	328
	1/80	270	242	291	223	236	227	-	233	255	232	241	240	-	270	-	362
	1/100	280	249	303	228	241	232	-	239	263	238	247	247	-	279	-	378
	1/150	297	262	325	234	252	240	-	249	278	247	259	259	-	297	-	406
	1/200	310	271	342	239	258	246	-	255	288	254	267	267	-	310	-	427
Estimate	1/2	5.5	5.7	5.8	6.5	6.3	6.3	-	6.5	7.8	6.5	5.8	5.8	-	5.6	-	3.7
Error	1/3	6.2	6.6	6.7	7.1	6.7	6.9	-	6.8	7.4	6.8	6.5	6.5	-	5.8	-	5.5
	1/5	7.8	8.1	8.5	8.2	8.0	8.2	-	8.0	7.9	8.0	8.0	8.0	-	7.4	-	8.6
	1/10	10.8	10.4	11.5	10.8	12.1	11.1	-	11.8	12.4	11.8	10.6	10.6	-	10.6	-	12.9
	1/20	14.1	12.8	15.1	15.1	18.4	15.3	-	17.3	19.9	17.2	13.7	13.6	-	14.0	-	17.3
	1/30	16.1	14.3	17.4	18.3	22.7	18.2	-	21.1	25.1	20.9	15.6	15.4	-	16.1	-	19.8
	1/50	18.7	16.1	20.5	22.8	28.6	22.3	-	26.3	32.5	26.0	18.1	17.9	-	18.7	-	22.9
	1/80	21.1	17.9	23.6	27.3	34.3	26.4	-	31.4	39.8	31.0	20.6	20.2	-	21.1	-	25.8
	1/100	22.3	18.7	25.2	29.5	37.2	28.4	-	34.0	43.5	33.5	21.8	21.4	-	22.3	-	27.2
	1/150	24.4	20.2	28.0	33.8	42.5	32.3	-	38.8	50.5	38.2	24.0	23.5	-	24.4	-	29.6
	1/200	25.9	21.3	30.2	36.9	46.3	35.2	-	42.3	55.7	41.6	25.6	25.1	-	25.9	-	31.4

Source : Equipe d'étude

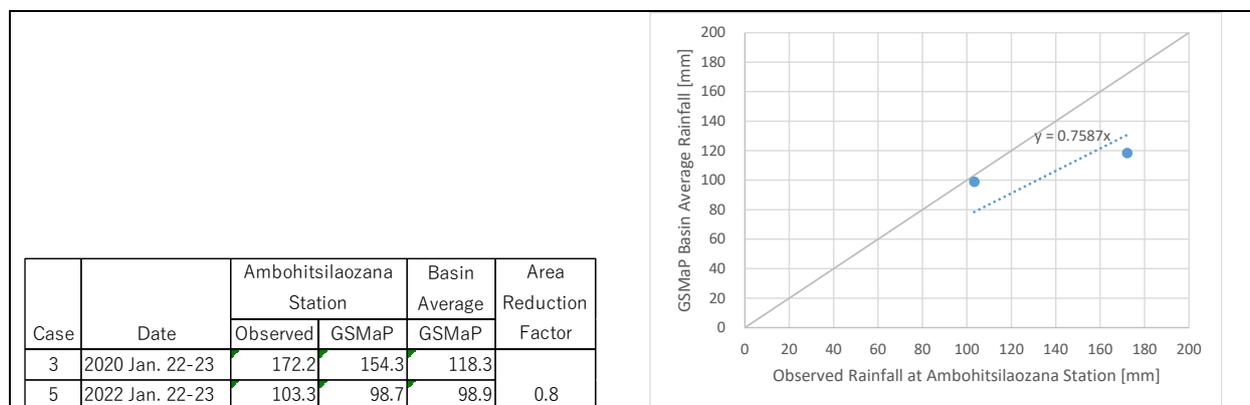


Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-17 Précipitations probables sur 2 jours (à la station d'Ambohitsilaozana, distribution de Gumbel)

4) Précipitations moyennes sur le bassin versant

En vue d'estimer les précipitations moyennes sur le bassin versant à partir des données des précipitations de la station d'Ambohitsilaozana, nous avons d'abord procédé à une comparaison des valeurs obtenues à ladite station avec les précipitations moyennes estimées au moyen de GSMaP. L'équation de régression montrée dans la figure 3.2.-18 permet de faire une estimation des précipitations moyennes sur le bassin versant, en multipliant les précipitations enregistrées à la station d' Ambohitsilaozana par 0,8. Les précipitations moyennes sur deux jours estimées pour différentes périodes de retour sont montrées dans le tableau 3.2-9



Source : Equipe d'étude

Figure 3.2-18 Facteur de réduction de la zone (Précipitations sur 2 jours)

Tableau 3.2-9 Précipitations probables sur 2 jours (Station d'Ambohitsilaozana et la moyenne dans le bassin versant)

Période de retour	2	3	5	10	20	30	50	80	100	150	200
Précipitations à la station	117	134	152	176	198	211	227	242	249	262	271
Précipitations moyennes dans le bassin versant	94	107	122	141	159	169	182	194	199	210	217

Unité: mm, Modèle de distribution de probabilité: Distribution de Gumbel, Area Reduction Factor: 0.8
 Source : Equipe d'étude

5) Évaluation des probabilités sur les crues antérieures

Nous avons effectué une comparaison des précipitations observées à la station d'Ambohitsilaozana lors des crues (2 jours) avec les précipitations probables. La période de retour est de 10 ans environ pour la crue de janvier 2020 et de 2 ans environ pour la crue de janvier 2022.

Tableau 3.2-10 Évaluation des probabilités sur les crues antérieures

No.	Cas	Cas type	Précipitations observées (2 jours)			Débit de pointe		
			Date	Ambohitsilaozana	Évaluation des probabilités	Date	Débit observé	Débit calculé
1	3	-	Du 22 au 23 janvier 2020	172,2 mm	10 ans	Le 23 janvier 2020	-	136 m ³ /s
2	-	1	Du 27 au 28 décembre 2021	25,7 mm	-	Le 29 janvier 2021	92 m ³ /s	-
3	5	2	Du 22 au 23 janvier 2022	103,3 mm	2 ans	Le 23 janvier 2022	79 m ³ /s	100 m ³ /s
4	5	2	Du 23 au 24 janvier 2022	44,4 mm	-	Le 25 janvier 2022	118 m ³ /s	-
5	-	3	Du 01 au 02 mars 2022	111,5 mm	2 ans	Le 05 mars 2022	85 m ³ /s	-

Source : Equipe d'étude

Annexe 2

Résultats de l'enquête d'inventaire

Résumé des résultats de l'enquête d'inventaire

Structure	Ouvrage permanent	Ouvrage provisoire	Total
Barrage de la prise d'eau	1	42	43
Ouvrage de prise d'eau	3	38	41
Digue fluviale réhabilitée	14	0	14
Pont	4	4	8
Exutoire	0	2	2
Déversoir	1	0	1
Ouvrage de surverse	1	0	1
Ponceau	1	0	1
Aqueduc	1	0	1
Total	26	86	112

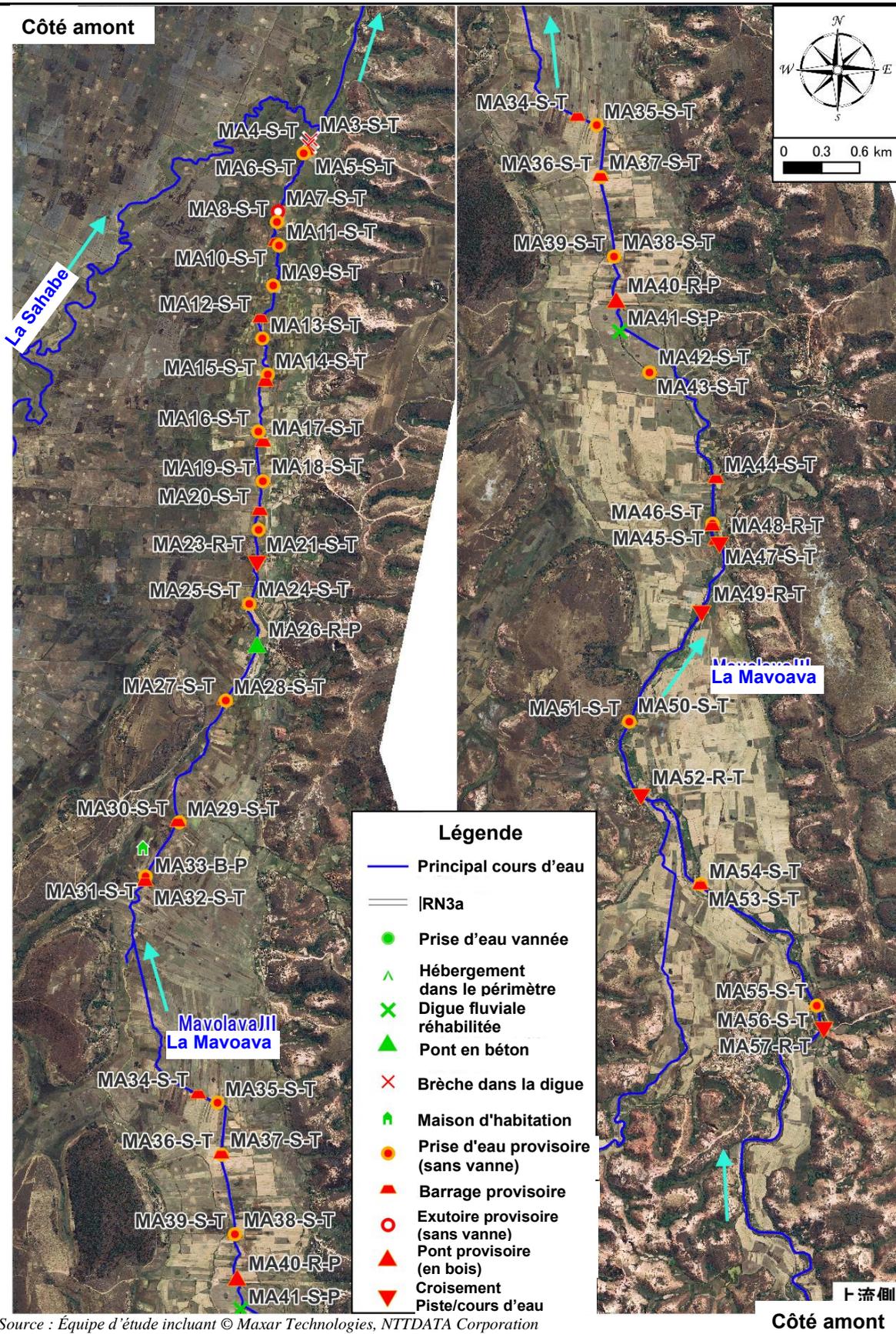


Figure A2-1 Résultats de l'enquête d'inventaire (Rivière Mavolava)

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Brèche dans la digue	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'7.14" Long.est 48°10'57.60"	No. MA3-S-T
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Vue depuis la rivière Mavolava</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Vue prise depuis la crête du barrage</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>Vue prise depuis le côté du terrain de culture</p> </div>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Brèche dans la digue	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°51'52.32" Long.est 48°10'56.94"	No. MA4-S-T	
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°51'10.02" Long.est 48°10'56.34"	No. MA5-S-T	
		
Vue prise d'aval en amont	Vue prise d'amont en aval	

Nom de cours d'eau	Rivière Mavolava	Ouvrage:	Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'10.62" Long.est 48°10'55.74"	No.	MA6-S-T	
				
Vue depuis la rivière Mavolava		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau	Rivière Mavolava	Ouvrage:	Exutoire provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°48'52.32" Long.est 48°11'22.62"	No.	MA7-S-T	
				
Vue depuis la rivière Mavolava		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau	Rivière Mavolava	Ouvrage:	Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'28.32" Long.est 48°10'48.9"		No. MA8-S-T	
				
Vue depuis la rivière Mavolava		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau	Rivière Mavolava	Ouvrage:	Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'44.7" Long.est 48°10'47.94"		No. MA9-S-T	
				
Vue depuis la rivière Mavolava		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'33.54" Long.est 48°10'48.66"	No. MA10-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'34.38" Long.est 48°10'49.44"	No. MA11-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'53.22" Long.est 48°10'44.7"	No. MA12-S-T
		
<p style="text-align: center;">Vue prise d'amont en aval</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'58.32" Long.est 48°10'45.18"	No. MA13-S-T
		
<p style="text-align: center;">Vue depuis la rivière Mavolava</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'7.62" Long.est 48°10'46.56"	No. MA14-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'9.60" Long.est 48°10'45.96"	No. MA15-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'22.32" Long.est 48°10'44.16"	No. MA16-S-T
		
<p>Vue depuis la rivière Mavolava</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'25.14" Long.est 48°10'45.36"	No. MA17-S-T
		
<p>Vue prise d'amont en aval</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'34.98" Long.est 48°10'45.36"	No. MA18-S-T
		
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'35.10" Long.est 48°10'45.30"	No. MA19-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava		Vue prise depuis le côté du terrain de culture

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°52'42.84" Long.est 48°10'44.52"	No. MA20-S-T	
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°52'47.64" Long.est 48°10'44.22"	No. MA21-S-T	
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'50.46" Long.est 48°11'22.26"	No. MA22-S-P
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Croisement piste/cours d'eau	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'55.74" Long.est 48°10'43.8"	No. MA23-R-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Photo prise du côté de la piste	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'6.72" Long.est 48°10'41.82"	No. MA24-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'6.72" Long.est 48°10'41.82"	No. MA25-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Pont en béton	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'17.88" Long.est 48°10'43.8"	No. MA26-R-P
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Photo prise du côté de la piste	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'31.62" Long.est 48°10'35.58"	No. MA27-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'31.62" Long.est 48°10'35.82"	No. MA28-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava		Vue prise depuis le côté du terrain de culture

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°54'3.00" Long.est 48°10'23.94"	No. MA29-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava		Vue prise depuis le côté du terrain de culture

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°54'3.06" Long.est 48°10'23.58"	No. MA30-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°54'16.92" Long.est 48°10'15.3"	No. MA31-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°54'18.42" Long.est 48°10'15.18"	No. MA32-S-T	
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Maison d'habitation	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°54'9.3" Long.est 48°10'14.64"	No. MA33-B-P	
		
Vue depuis la rivière Mavolava		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°55'13.14" Long.est 48°10'28.8"	No. MA34-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°55'15.24" Long.est 48°10'33.72"	No. MA35-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°55'28.62" Long.est 48°10'34.8"	No. MA36-S-T
		
<p>Vue depuis la rivière Mavolava</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°55'28.62" Long.est 48°10'34.68"	No. MA37-S-T
		
<p>Vue prise d'amont en aval</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava		Ouvrage: Barrage provisoire		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°55'49.14" Long.est 48°10'38.16"	No. MA38-S-T	
				
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava		Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°55'49.14" Long.est 48°10'38.16"	No. MA39-S-T	
				
Vue depuis la rivière Mavolava		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Pont provisoire (en bois)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°56'1.02" Long.est 48°10'38.7"	No. MA40-R-P	
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Photo prise du côté de la piste	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°56'8.46" Long.est 48°10'39.6"	No. MA41-S-P	
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°56'18.78" Long.est 48°10'47.28"	No. MA42-S-T
		
<p>Vue prise d'amont en aval</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°56'19.02" Long.est 48°10'47.22"	No. MA43-S-T
		
<p>Vue depuis la rivière Mavolava</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°56'46.56" Long.est 48°11'4.26"	No. MA44-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°56'58.02" Long.est 48°11'3.36"	No. MA45-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°56'58.8" Long.est 48°11'3.3"	No. MA46-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°57'2.52" Long.est 48°11'4.32"	No. MA47-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Croisement piste/cours d'eau	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°57'2.88" Long.est 48°11'5.16"	No. MA48-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Croisement piste/cours d'eau	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°57'20.58" Long.est 48°11'0.6"	No. MA49-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Photo prise du côté de la piste	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°57'48.66" Long.est 48°10'42.06"	No. MA50-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°57'49.08" Long.est 48°10'42.06"	No. MA51-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

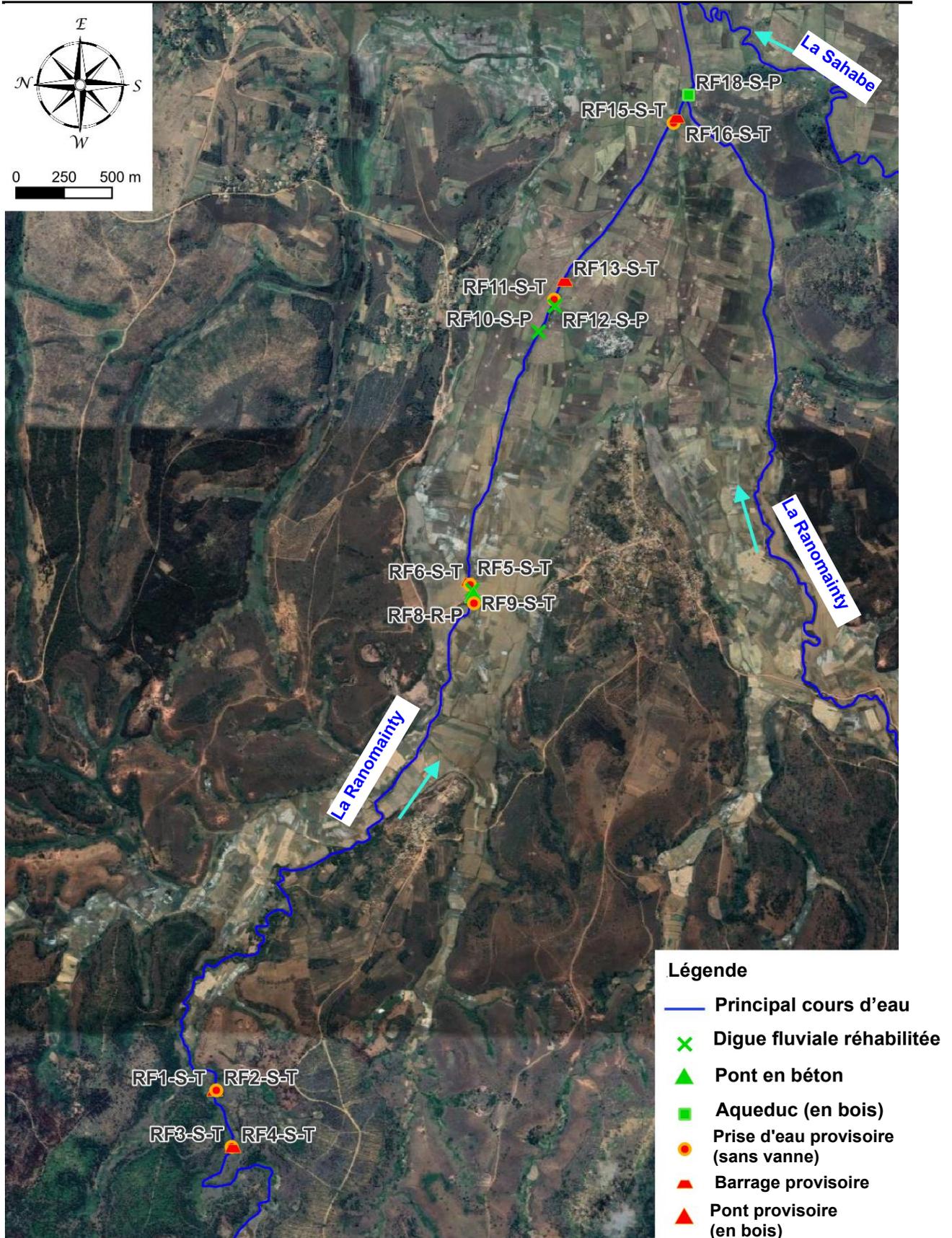
Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Croisement piste/cours d'eau	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°58'7.86" Long.est 48°10'45.06"	No. MA52-R-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Photo prise du côté de la piste	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°58'31.02" Long.est 48°11'0.3"	No. MA53-S-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°58'31.32" Long.est 48°11'0.24"	No. MA54-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Barrage provisoire et Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°59'2.34" Long.est 48°11'30.06"	No. MA55-S-T&MA56-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Mavolava	Ouvrage: Croisement piste/cours d'eau	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°59'7.92" Long.est 48°11'31.86"	No. MA57-R-T
		
Vue depuis la rivière Mavolava	Photo prise du côté de la piste	



Source : Équipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure A2-2 Résultats de l'enquête d'inventaire (Rivière Ranofosty)

Étude préparatoire du Projet de conservation du bassin versant
 et de réhabilitation de l'irrigation dans la région d'Alaotra-Mangoro en République de Madagascar
 Rapport final

Annexe 2

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'18.84" Long.est 48°06'25.8"	No. RF1-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'19.08" Long.est 48°06'26.1"	No. RF2-S-T
		
Vue le côté de la rivière Ranofosty	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'21.66" Long.est 48°06'16.5"	No. RF3-S-T



Vue prise depuis le côté de la Ranofosty



Vue prise depuis le côté du terrain de culture

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'21.9" Long.est 48°06'16.2"	No. RF4-S-T



Vue prise d'amont en aval



Vue prise d'aval en amont

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'1.68" Long.est 48°07'52.38"	No. RF5-S-T
		
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'1.86" Long.est 48°07'51.9"	No. RF6-S-T
		
Vue de puis le côté de la Ranofosty		Vue prise depuis le côté du terrain de culture

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty		Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°52'2.28" Long.est 48°07'51"		No. RF7-S-P	
			
Vue de puis le côté de la Ranofosty		Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty		Ouvrage: Pont en béton	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°52'2.46" Long.est 48°07'49.8"		No. RF8-R-P	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty		Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°52'2.52" Long.est 48°07'48.78"	No. RF9-S-T	
				
Vue de puis le côté de la Ranofosty		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty		Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°52'13.44" Long.est 48°08'34.86"	No. RF10-S-P	
				
Vue de puis le côté de la Ranofosty		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'16.02" Long.est 48°08'40.32"	No. RF11-S-T
		
<p>Vue de puis le côté de la Ranofosty</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'16.14" Long.est 48°08'39.24"	No. RF12-S-P
		
<p>Vue de puis le côté de la Ranofosty</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'17.82" Long.est 48°08'43.26"	No. RF13-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'36.18" Long.est 48°09'10.32"	No. RF14-S-T
		
Vue de puis le côté de la Ranofosty	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'36.72" Long.est 48°09'10.98"	No. RF15-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'37.08" Long.est 48°09'32.46"	No. RF16-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

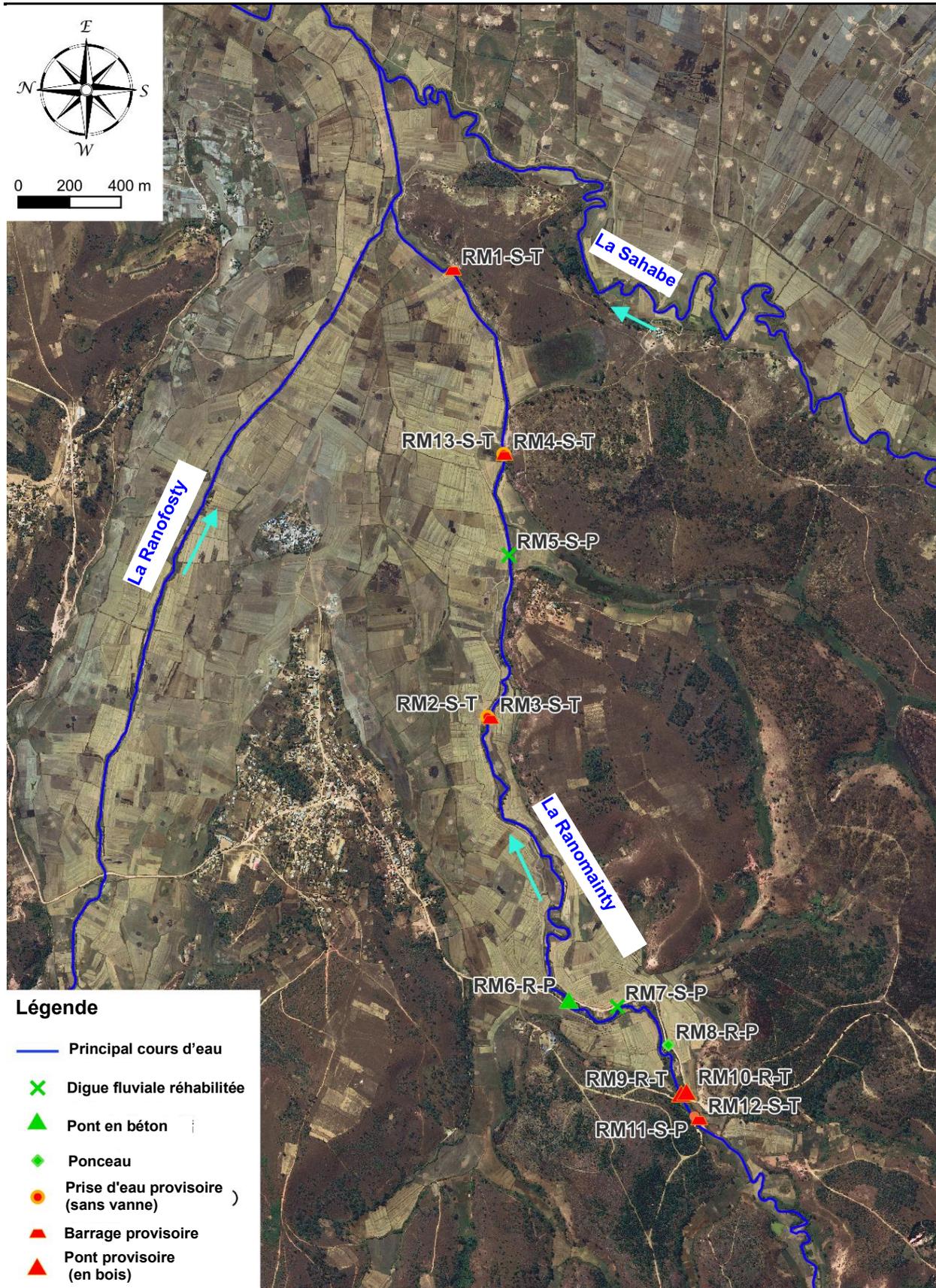
Nom de cours d'eau : Rivière Ranofosty	Ouvrage: Aqueduc (en bois)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'38.7" Long.est 48°09'15.06"	No. RF17-S-T



Vue prise du côté de la rive droite



Vue prise du côté de la rive gauche



Source : Équipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure A2-3 Résultats de l'enquête d'inventaire (Rivière Ranomainty)

Étude préparatoire du Projet de conservation du bassin versant
 et de réhabilitation de l'irrigation dans la région d'Alaotra-Mangoro en République de Madagascar
 Rapport final

Annexe 2

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'52.5" Long.est 48°08'43.2"	No. RM1-S-T
		
Vue prise du côté de la rivière Ranomainty	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'46.14" Long.est 48°09'6.42"	No. RM2-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'50.46" Long.est 48°08'9.84"	No. RM3-S-T
		
Vue prise du côté de la rivière Ranomainty	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'50.88" Long.est 48°08'9.48"	No. RM4-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'52.62" Long.est 48°08'42.96"	No. RM5-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'53.16" Long.est 48°08'30.36"	No. RM6-S-P
		
Vue prise à l'extrémité en amont de la partie réhabilité	Vue prise à l'extrémité en aval de la partie réhabilité	

Étude préparatoire du Projet de conservation du bassin versant
 et de réhabilitation de l'irrigation dans la région d'Alaotra-Mangoro en République de Madagascar
 Rapport final

Annexe 2

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty		Ouvrage: Pont en béton		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°53'0.72" Long.est 48°07'33.54"	No. RM7-R-P	
				
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont		

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty		Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°53'6.84" Long.est 48°07'33.06"	No. RM8-S-P	
				
Vue prise à l'extrémité en amont de la partie réhabilitée		Vue prise à l'extrémité en aval de la partie réhabilitée		

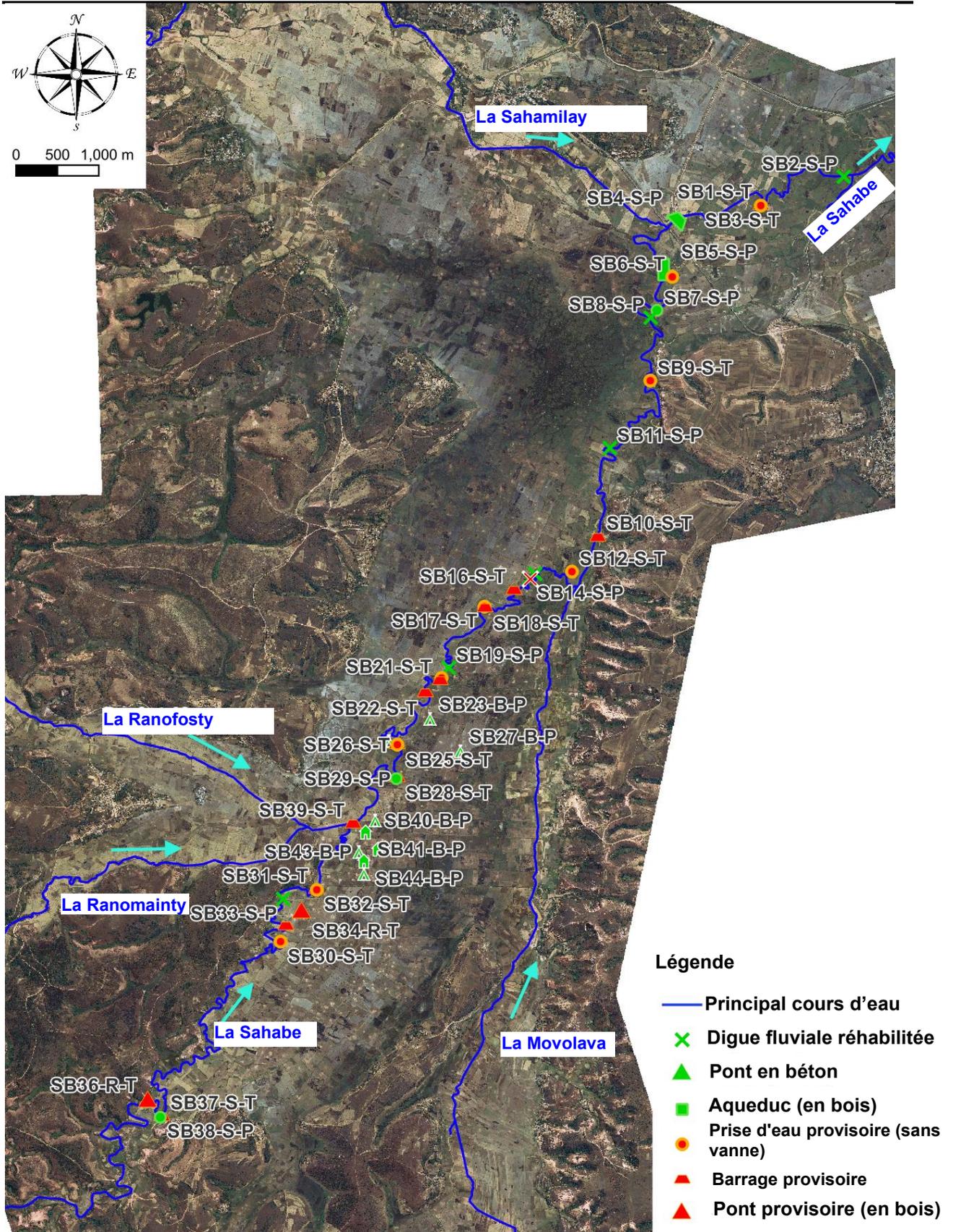
Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Ponceau tubulaire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'13.26" Long.est 48°07'28.2"	No. RM9-R-P
		
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty		Ouvrage: Pont provisoire (en bois)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'14.88" Long.est 48°07'21.66"	No. RM10-R-T	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty		Ouvrage: Pont provisoire (en bois)	Remarques: Vue prise sur un canal parallèle à la rivière Ranomainty. Le pont traverse aussi la rivière Ranomainty.
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'15.54" Long.est 48°07'21.9"	No. RM11-R-T	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Prise d'eau vannée (barrage en béton)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'16.56" Long.est 48°07'19.14"	No. RM12-S-P
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Ranomainty	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'17.16" Long.est 48°07'18.6"	No. RM13-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	



Source : Équipe d'étude, incluant © Maxar Technologies, NTTDATA Corporation

Figure A2-4 Résultats de l'enquête d'inventaire (Rivière Sahabe)

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Hébergement dans le périmètre	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'35.64" Long.est 48°09'41.1"	No. SB1-B-P
		
Façade		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Maison d'habitation	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'39.84" Long.est 48°09'37.32"	No. SB2-B-P
		
Façade		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Maison d'habitation	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'46.56" Long.est 48°09'42.18"	No. SB3-B-P
		
<p style="text-align: center;">Vue de l'extérieur de l'emplacement</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Hébergement dans le périmètre	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'48.06" Long.est 48°09'34.74"	No. SB4-B-P
		
<p style="text-align: center;">Façade</p>		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Maison d'habitation	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'51.3" Long.est 48°09'36.66"	No. SB5-B-P
		
Façade		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Hébergement dans le périmètre	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'56.7" Long.est 48°09'36.66"	No. SB6-B-P
		
Façade		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°46'29.16" Long.est 48°12'15.42"	No. SB7-S-T
		
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°48'22.08" Long.est 48°12'44.34"	No. SB8-S-P
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°48'33.48" Long.est 48°12'11.88"	No. SB9-S-T
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Déversoir P5	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°48'39.06" Long.est 48°11'39.54"	No. SB10-S-P
		
Vue prise d'aval en amont	Vue prise du côté de la rive droite	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Ouvrage de surverse	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°48'58.68" Long.est 48°11'36.00"	No. SB11-S-P
		
Vue prise d'aval en amont		Vue du côté

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°49'1.56" Long.est 48°11'37.26"	No. SB12-S-T
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Pise d'eau vannée		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°49'14.7" Long.est 48°11'31.26"	No. SB13-S-P	
				
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°49'17.64" Long.est 48°11'28.8"	No. SB14-S-P	
				
Vue prise d'amont en aval		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°49'42.42" Long.est 48°11'28.68"	No. SB15-S-T



Vue prise du côté de la rivière Sahabe



Vue prise depuis le côté du terrain de culture

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°50'44.16" Long.est 48°11'8.16"	No. SB16-S-T



Vue prise d'aval en amont

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°50'09.00" Long.est 48°11'12.90"	No. SB17-S-P	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°50'57.66" Long.est 48°10'58.02"	No. SB18-S-T	
			
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°50'58.56" Long.est 48°10'43.62"	No. SB19-S-P
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'0.36" Long.est 48°10'41.4"	No. SB20-S-P
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: 破堤箇所		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°51'0.6" Long.est 48°10'41.76"	No. SB21-S-T	
				
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Barrage provisoire		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°51'5.04" Long.est 48°10'35.4"	No. SB22-S-T	
				
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'11.46" Long.est 48°10'23.82"	No. SB23-S-T
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'11.94" Long.est 48°10'24.06"	No. SB24-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°51'35.58" Long.est 48°10'9.9"		No. SB25-S-P	
			
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84) Lat.sud 17°51'39.54" Long.est 48°10'7.02"		No. SB26-S-T	
			
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Barrage provisoire		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°51'40.62" Long.est 48°10'6.54"	No. SB27-S-T	
				
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Barrage provisoire		Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)		Lat.sud 17°51'45.42" Long.est 48°10'0.72"	No. SB28-S-T	
				
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont		

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Hébergement dans le périmètre	le	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°51'55.62" Long.est 48°10'2.52"	No. SB29-B-P	
			
Façade		Vue de loin	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Hébergement dans le périmètre	le	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'4.38" Long.est 48°09'46.44"	No. SB30-B-T	
			
Façade		Côté	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'5.76" Long.est 48°09'49.62"	No. SB31-S-T	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'5.82" Long.est 48°09'49.74"	No. SB32-S-T	
			
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Hébergement dans le périmètre	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'8.4" Long.est 48°10'14.4"	No. SB33-B-P
		
Façade	Côté	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'18.84" Long.est 48°09'49.74"	No. SB34-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Prise d'eau vannée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°52'19.2" Long.est 48°09'49.32"	No. SB35-S-P
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'23.4" Long.est 48°09'4.08"	No. SB36-S-T
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'2.82" Long.est 48°09'18.12"	No. SB37-S-T	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Prise d'eau provisoire (sans vanne)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'3" Long.est 48°09'18.24"	No. SB38-S-T	
			
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Digue fluviale réhabilitée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'6.6" Long.est 48°09'5.1"	No. SB39-S-P	
			
Vue prise du côté de la rivière Sahabe		Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Pont provisoire (en bois)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'12" Long.est 48°09'12.24"	No. SB40-R-T	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°53'17.22" Long.est 48°09'6.18"	No. SB41-S-T	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe		Ouvrage: Pont provisoire (en bois)	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°54'26.46" Long.est 48°08'12.12"	No. SB42-R-T	
			
Vue prise d'amont en aval		Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Barrage provisoire	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°54'32.4" Long.est 48°08'17.64"	No. SB43-S-T
		
Vue prise d'amont en aval	Vue prise d'aval en amont	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Prise d'eau vannée	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°54'32.58" Long.est 48°08'17.04"	No. SB44-S-P
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Nom de cours d'eau : Rivière Sahabe	Ouvrage: Bassin de rétention pour la pêche	Remarques:
Coordonnées (Système géodésique: WGS84)	Lat.sud 17°54'56.88" Long.est 48°10'2.82"	No. SB45-S-P
		
Vue prise du côté de la rivière Sahabe	Vue prise depuis le côté du terrain de culture	

Annexe 3

**Document complémentaire
Sur les données topographiques**

3.2 Situation actuelle du périmètre irrigué de Maharivana

3.2.1 Étendue et topographie du périmètre irrigué

(1) Levés topographiques

(e) Données topographiques mises en place (document complémentaire)

On trouvera, dans les pages suivantes, des cartes topographiques du périmètre irrigué de Maharivana .

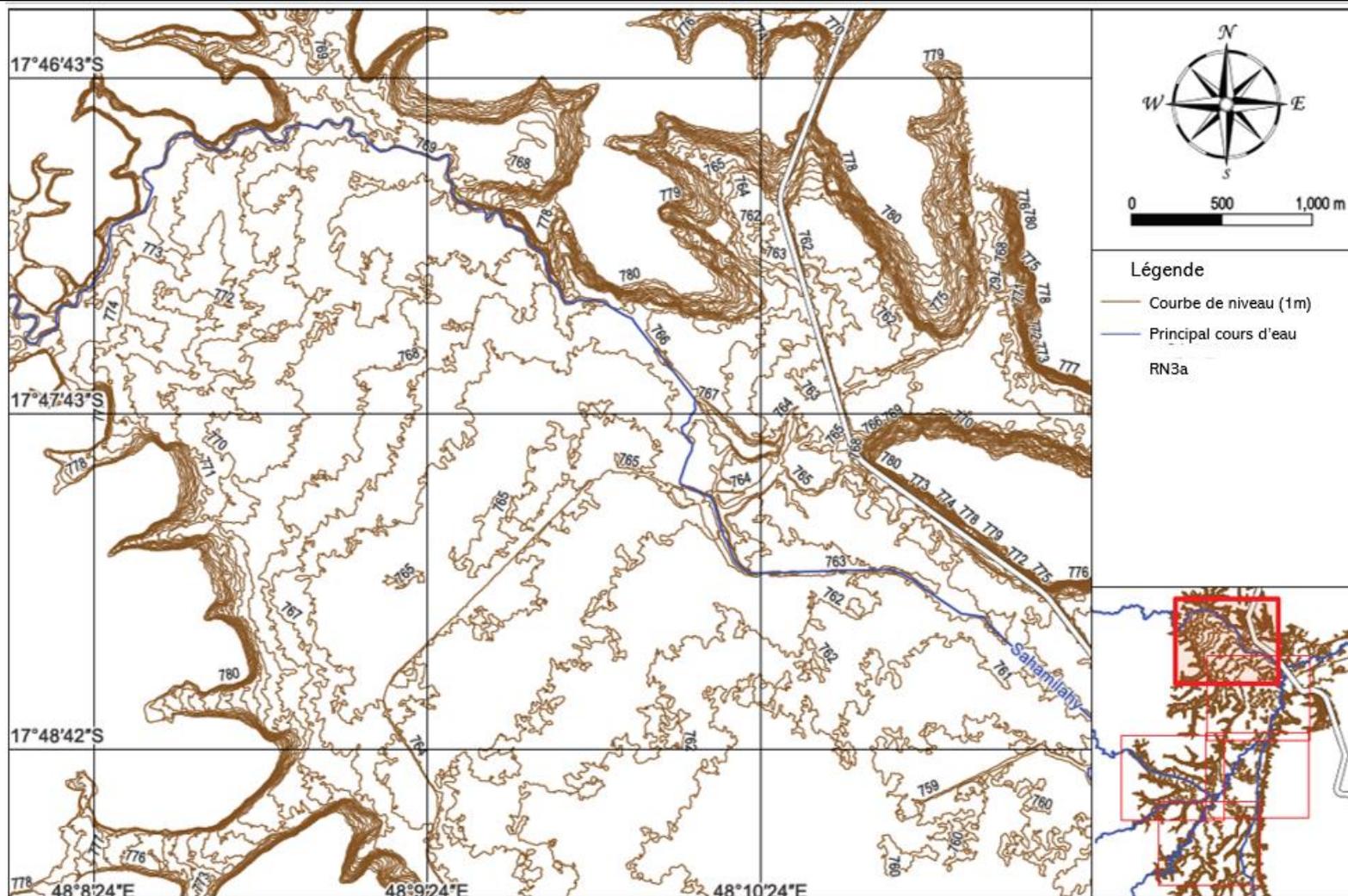


Figure 3.2-1 Périmètre irrigué de Maharivana (1/5)

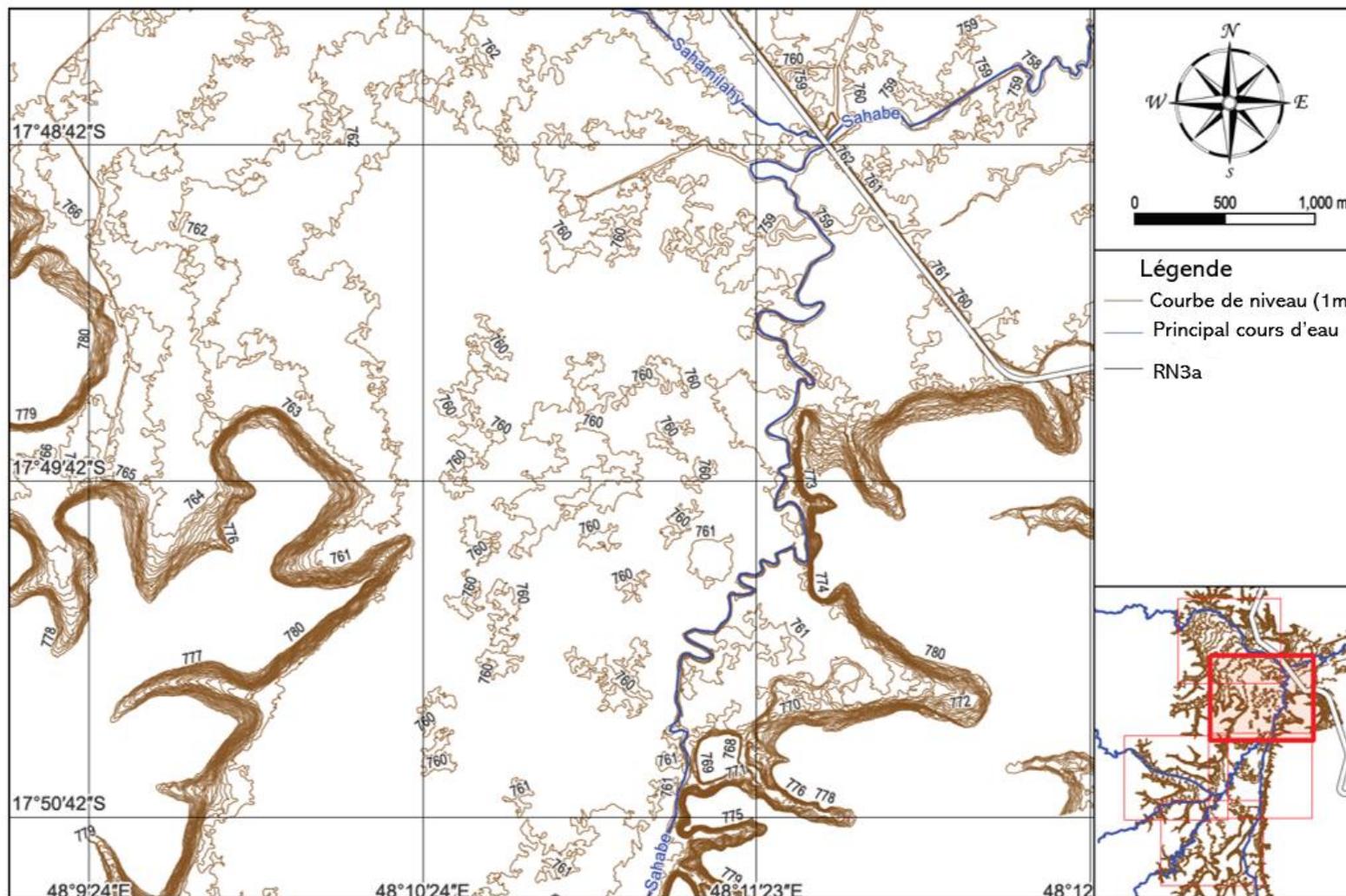


Figure 3.2-2 Périmètre irrigué de Maharivana (2/5)

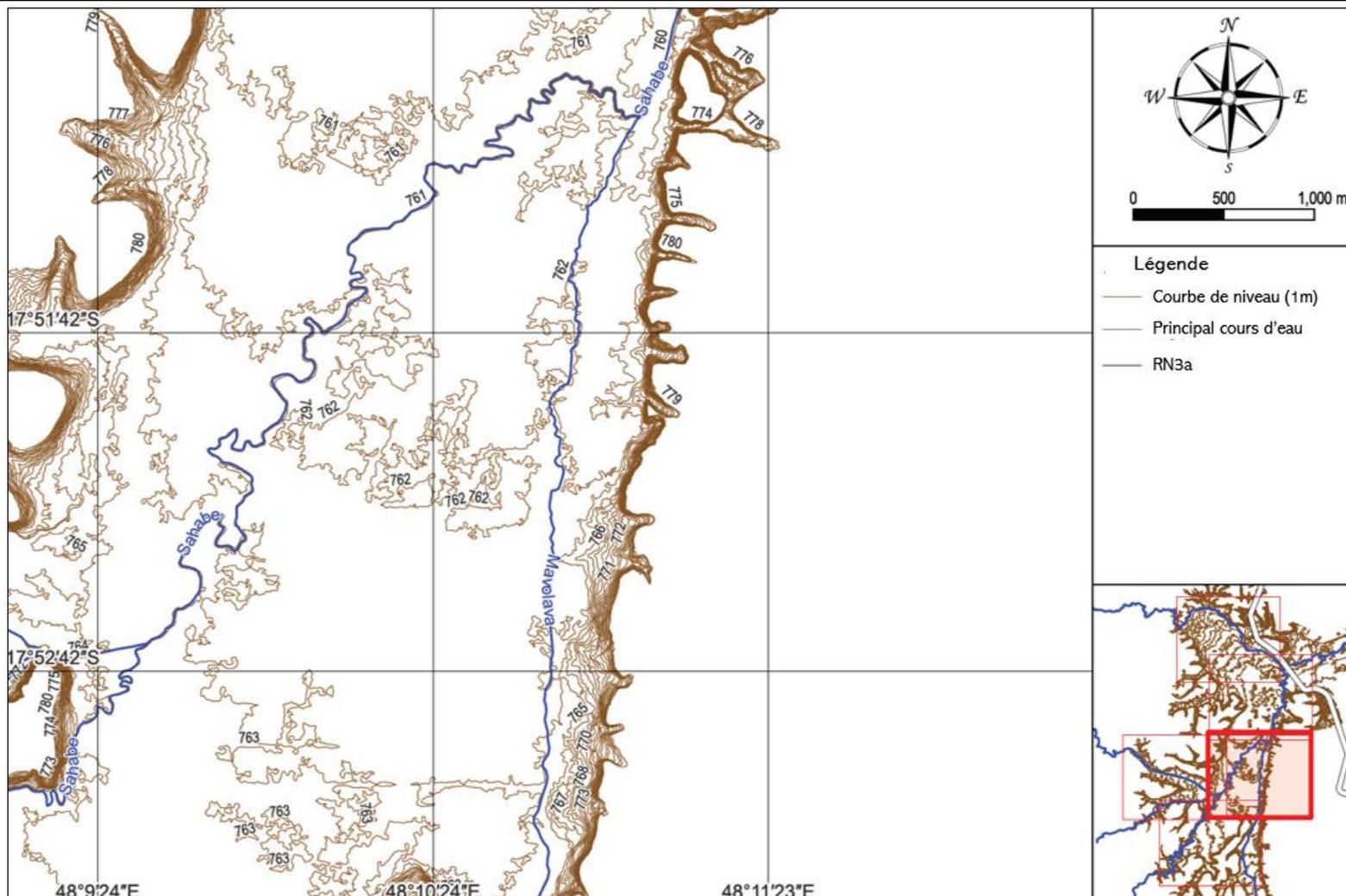


Figure 3.2-3 Périmètre irrigué de Maharivana (3/5)

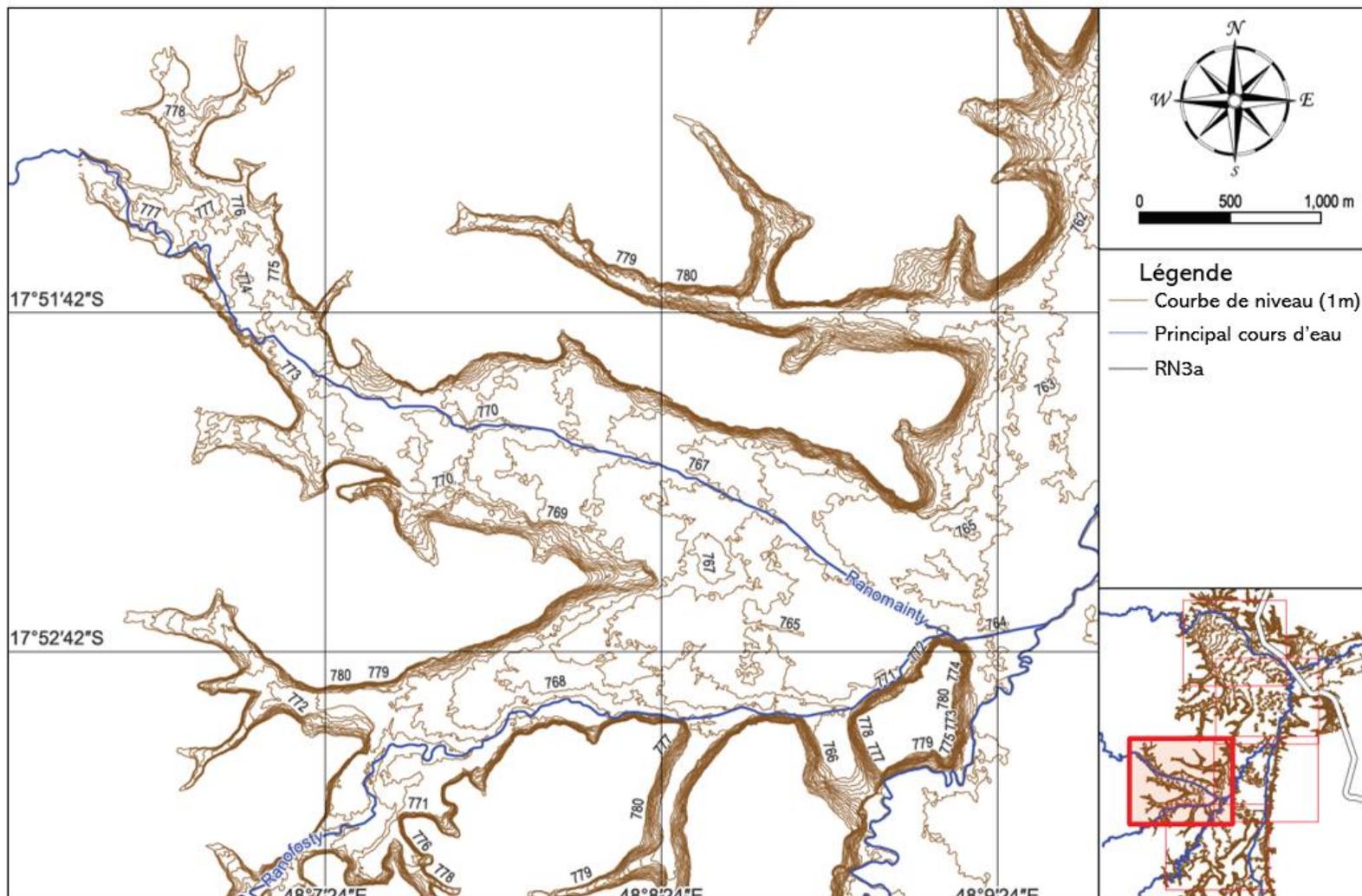


Figure 3.2-4 Périmètre irrigué de Maharivana (4/5)

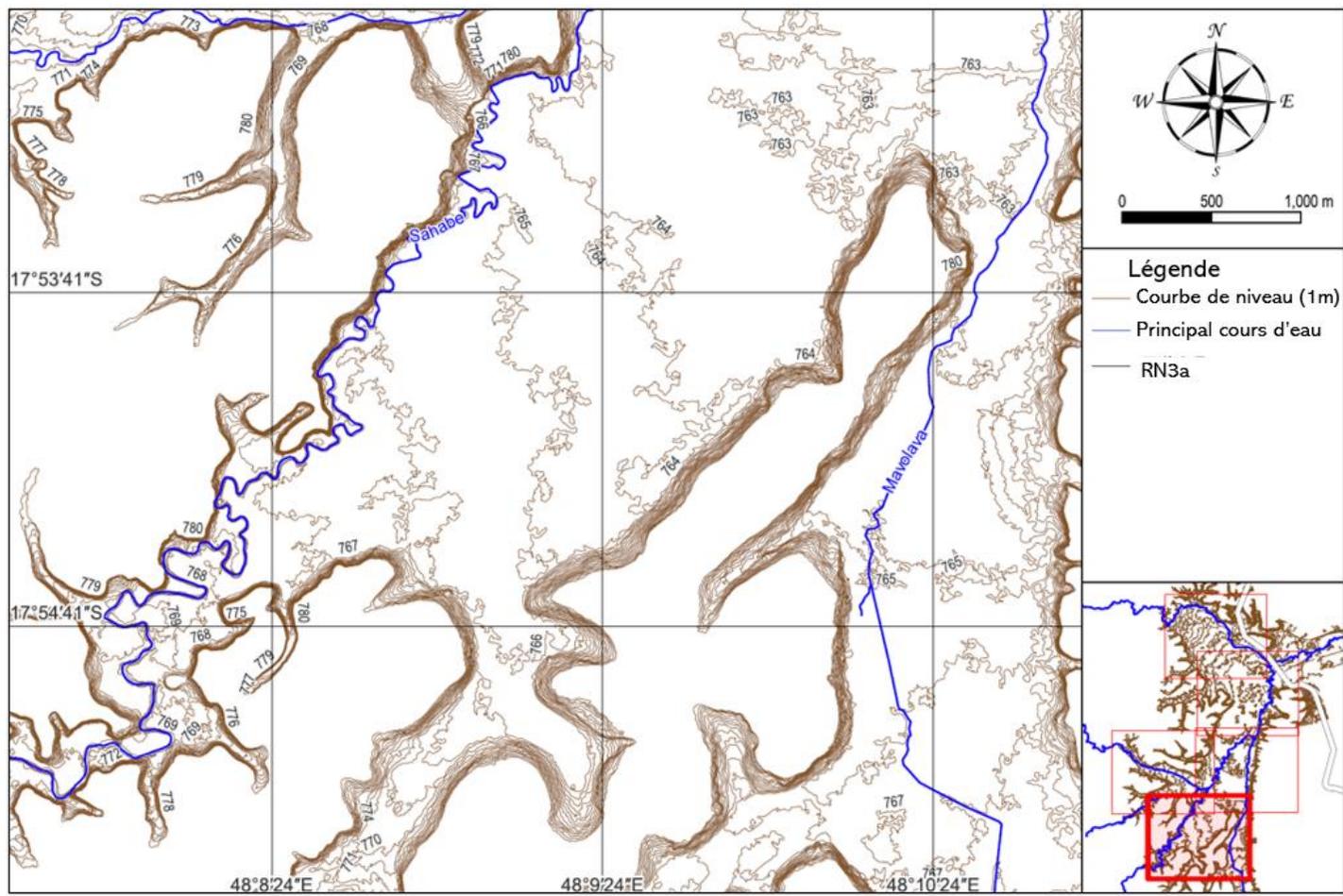


Figure 3.2-5 Périmètre irrigué de Maharivana (5/5)