

# CARTES COMPLÉTÉES A LA SUITE DES DIALOGUES SCIENCE-DECIDEURS

## Des cartes pour les décideurs en amont du delta du Betsiboka : crue et décrue dans l'Ambatoboeny, lavakas et ensablement des périmètres irrigués de Marovoay

Randriamanantsoa M., Hervé D., Robison L., 2024. Des cartes pour les décideurs en amont du delta du Betsiboka : crue et décrue dans l'Ambatoboeny, lavakas et ensablement des périmètres irrigués de Marovoay. DIDEM/Deltas-Madagascar N° 33, 10/10/24, Montpellier, IRD-SENS / CNRE.

### Problématique

A l'issue du projet WIODER, le CRGIZC de la région Boeny avait formulé deux questions aux scientifiques au sujet du fleuve Betsiboka, des questions qui ont été reformulés et traitées progressivement au gré des étudiants qui ont pu s'y consacrer avant et après le COVID et des mises en discussion dans les ateliers 3 et 4 des Dialogues science-décideurs (2022). Des cartes plus explicites pour les décideurs ont été finalisées en 2024 par Michel Raherimanantsoa. Pour traiter de l'amont du delta du Betsiboka, il est nécessaire de considérer le bassin versant du Betsiboka depuis Maevatanana, c'est-à-dire depuis l'embranchement avec l'Ikopa.

(1) Comment anticiper les surfaces cultivables en décrue dans l'Ambatoboeny, apparemment très variables d'une année à l'autre ?

- 1.1 D'où venaient les crues de l'Ambatoboeny ? Le cas du Kamoro, qui permettait ou non suivant les années le déversement du Mahajamba dans le Betsiboka a été éclaircis en premier lieu, puis l'influence des remontées marines depuis l'aval, pendant l'équinoxe, signalée par les résidents de l'Ambatoboeny (Atelier N° 3, DIDEM/Deltas-Madagascar n° 11). La crue de janvier 2020 en particulier a été analysée pour les inondations provoquées jusqu'à Madirovalo et Marovoay ; en 2022, 90% des quartiers de Madirovalo étaient submergés ainsi que la basse ville d'Ambatoboeny.
- 1.2 Comment se distribuait l'eau des crues, depuis les fleuves, les lacs, jusqu'aux plaines inondables de l'Ambatoboeny? Il est apparu que les lacs reliés aux fleuves se remplissaient en priorité jusqu'à déborder ; la submersion ne se faisait donc pas par débordement des fleuves sur une lame d'eau d'une certaine profondeur, mais par remplissage des lacs et cuvettes (Rapport DIDEM/Deltas-Madagascar n° 33).
- 1.3 Finalement des indicateurs ont été recherchés pour approcher avec plusieurs dates de Sentinel 2 au cours de l'année, la surface cultivable en décrue, en partant de la surface recouverte par la crue, qui allait en s'asséchant au cours de la saison sèche, permettant

ainsi un cycle cultural d'espèces végétales cultivées en décline (rapport DIDEM/Deltas-Madagascar n° 33).

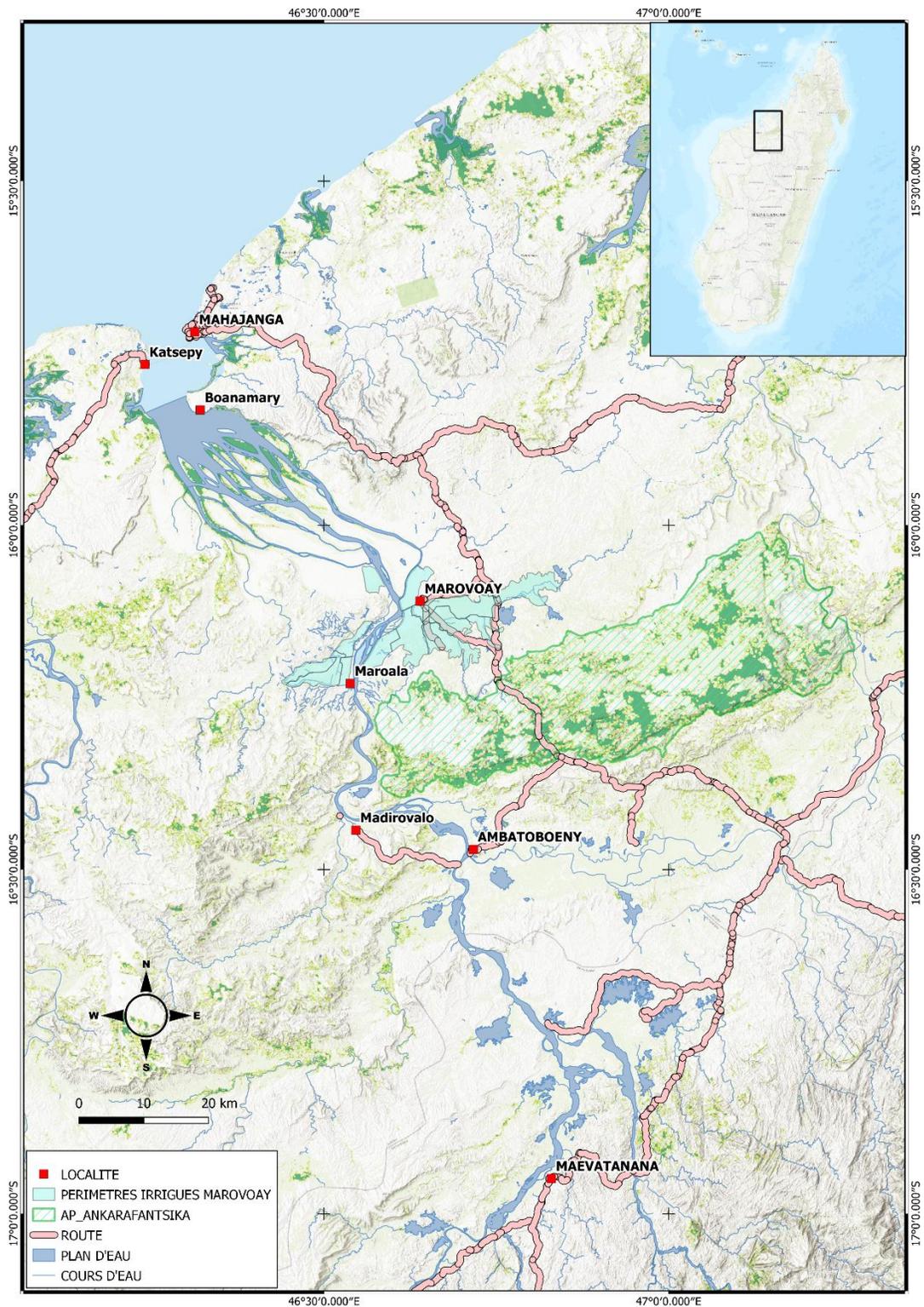
## (2) Comment lutter contre l'ensablement des rizières de Marovoay ?

2.1 Une première typologie des fleuves se déversant de l'Ankarafantsika vers la plaine rizicole de Marovoay a permis d'identifier les périmètres rizicoles concernés n° 4, 5 et 6 (Fichier Power point : Présentation1\_CORDH\_140922) et, parmi les cinq fleuves provenant de l'Ankarafantsika, les deux fleuves responsables du transport de sable, disposant pour la plupart en amont de lavakas en activité, Andraotra et Marovoay avec leurs affluents (Rapports DIDEM/Deltas-Madagascar n° 14 et 16).

2.2 Un inventaire exhaustif de 41 lavakas et leur localisation précise ont conduit à séparer les lavakas actives des lavakas inactives à partir d'un suivi des années 2018 à 2022. On dispose ainsi d'un laboratoire de suivi des départs de sable pour les années à venir (Rapport DIDEM/Deltas-Madagascar n° 33).

2.3 Le comportement des « fleuves de sable » a été décrit avec des images satellitaires multi-dates ou le comblement de sable du canal creusé par les chinois sur le tracé du fleuve Andraotra (Rapport DIDEM/Deltas-Madagascar n° 14). Mais des questions demeurent sur le transport des sables depuis les sources jusqu'aux barrages et aux infrastructures hydrauliques des périmètres rizicoles.

Figure 1. Bassin versant du fleuve Betsiboka, de Maevatanana à Mahajanga



## I- Cartes des variations de 3 classes NDVI : Eau (bleu), Sol (jaune), Végétation (vert) dans le district d'Ambatoboeny

Dans les trois communes d'Ambatoboeny, le NDVI est calculé en trois classes, entre la fin de la période des pluies (équinoxe) et le plus sec de la période sèche (solstice d'été) ; la différence entre les deux est un indicateur des surfaces de décrue, zones inondées au maximum des pluies puis à sec, bien après la fin de la crue.

La situation à l'équinoxe peut être comparée entre les différentes années (Figure 2) et mise en relation avec la somme des précipitations. Les précipitations et les températures journalières à Ambatoboeny sont données dans un tableur Excel en annexe 1.

Les précipitations cumulées durant les 6 mois de pluie, de novembre à avril, de 2019 à 2023, sont données dans le tableau 1.

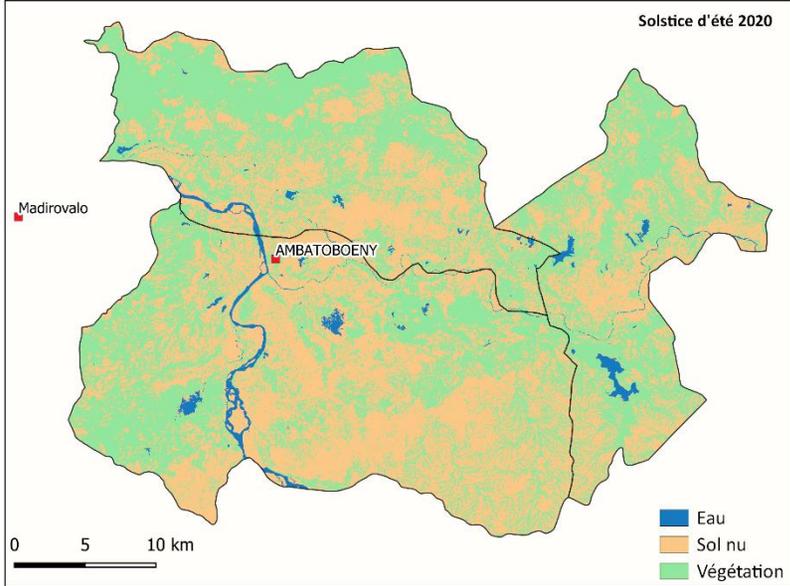
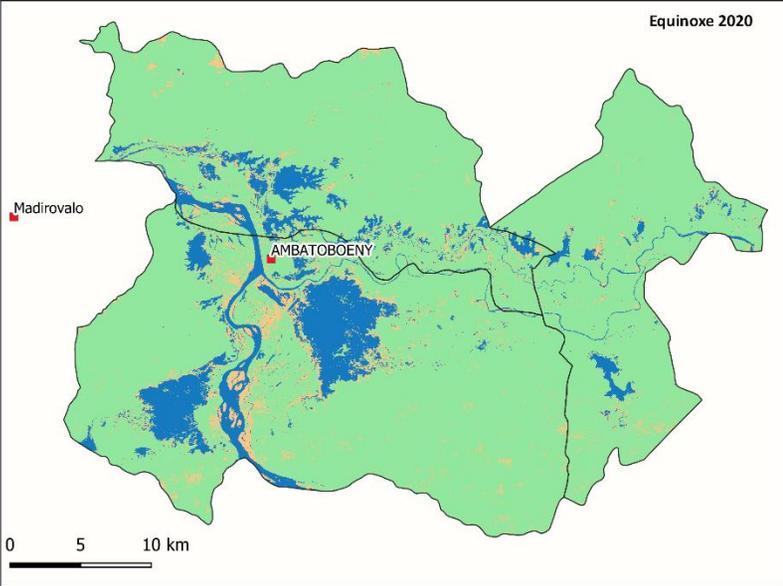
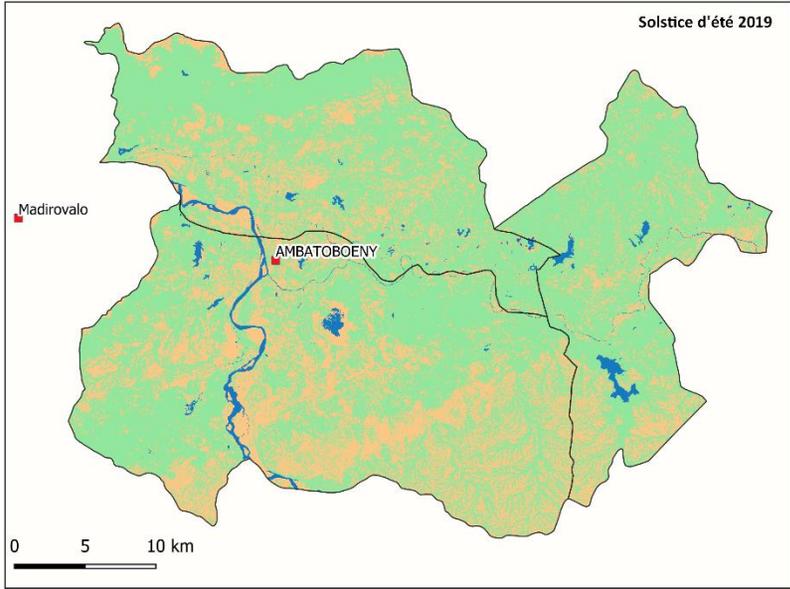
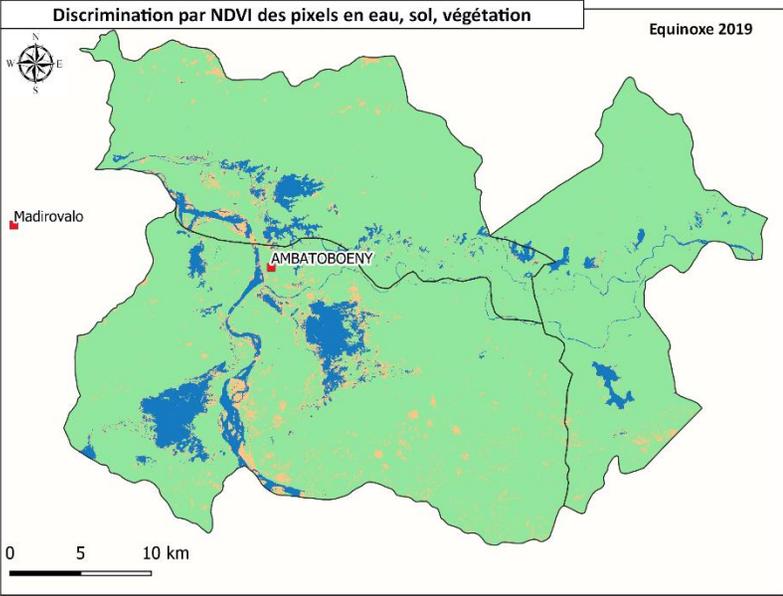
Tableau 1. Précipitations cumulées (mm) entre novembre de l'année X et avril de l'année X+1

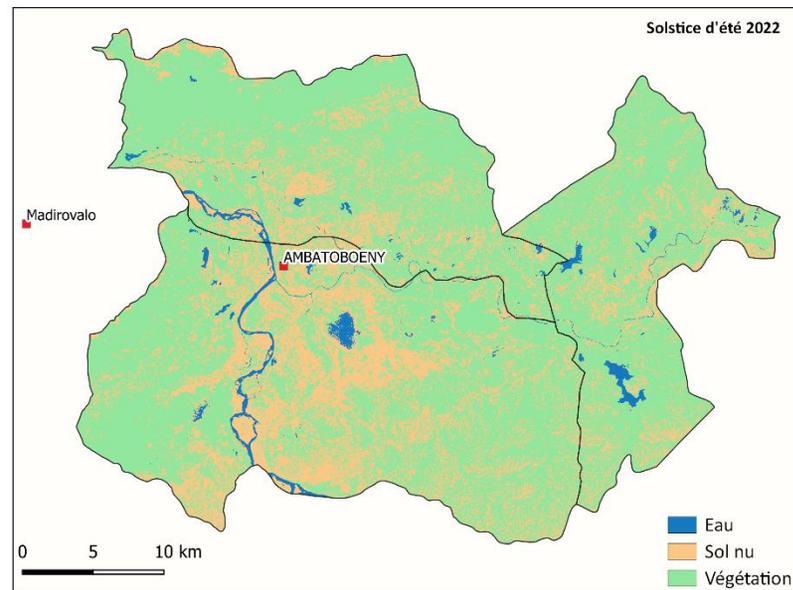
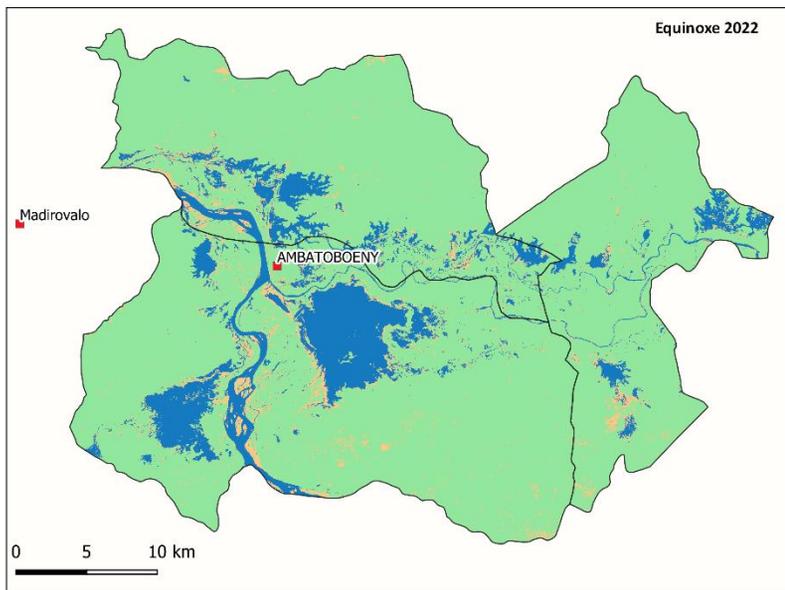
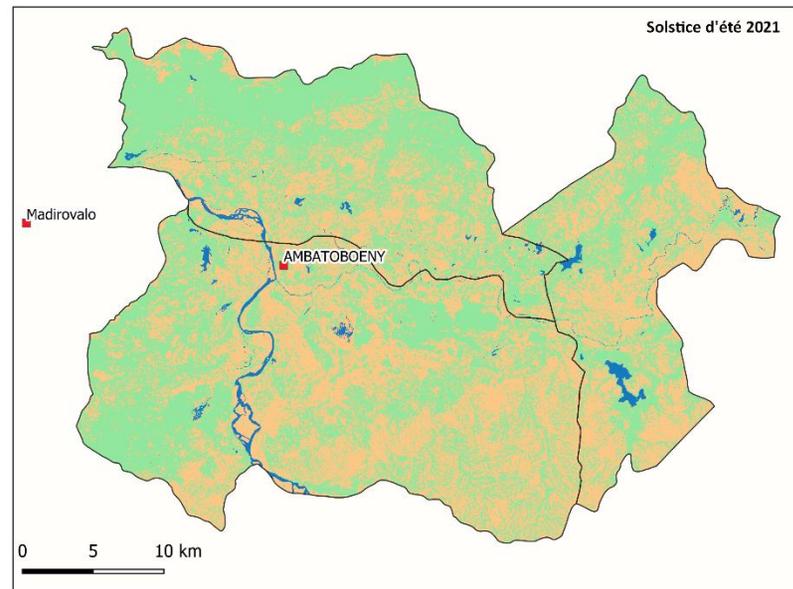
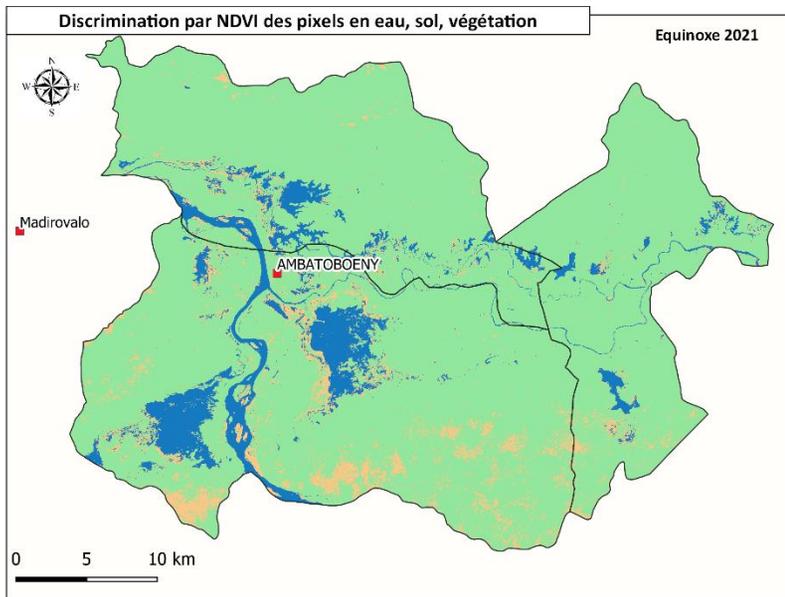
nov_avril	MAROVOAY	AMBATOBOENI
2018_2019	1,452	1,406
2019_2020	1,431	1,437
2020_2021	1,228	1,196
2021_2022	1,069	1,082
2022_2023	1,663	1,652

6 mois de novembre à avril

On constate sur la figure 2 que les trois lacs au sud d'Ambatoboeny s'assèchent presque totalement, comme les dépressions au nord d'Ambatoboeny. Par contre, les trois lacs situés à l'Est d'Ambatoboeny, qui dépendent du système hydraulique du Kamoro, gardent la même surface en eau entre équinoxe et solstice ; ils ne se prêtent donc pas à des cultures de décrue en auréoles. Pour les autres lacs, une auréole de végétation apparaît en période sèche, avant d'atteindre le sol nu. Les autres plages de sol nu sont les dépôts de sable dans le lit du Betsiboka et ses méandres.







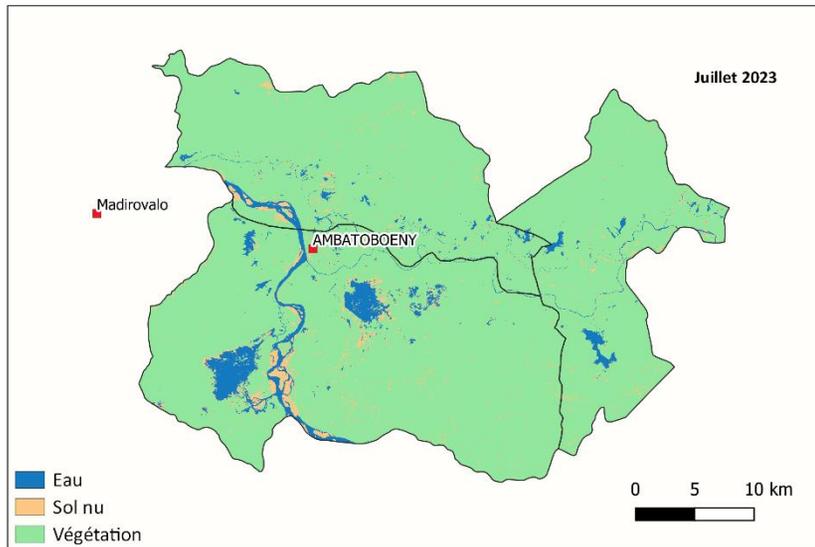
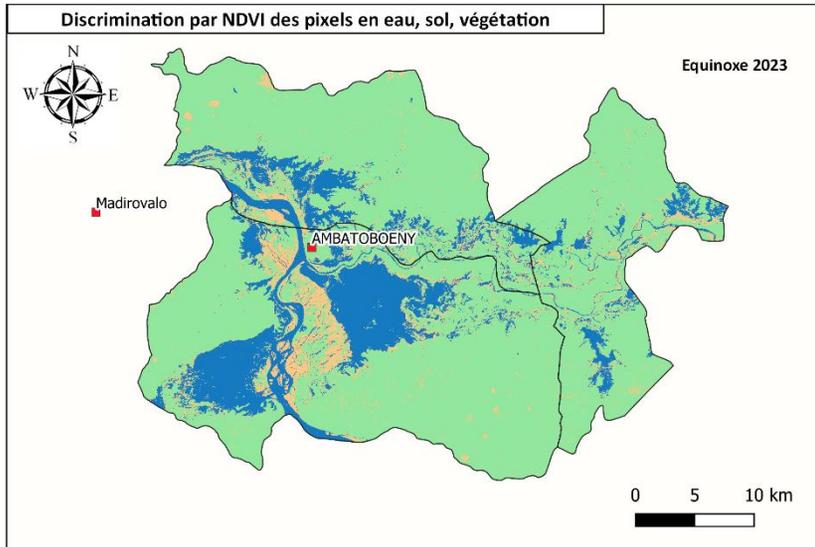


Fig. 2. Classes de NDVI eau, sol nu, végétation (2019-2023)

## II- Fréquences en eau, dans le district d'Ambatoboeny de 2019 à 2022 (Figure 3)

Les fréquences en eau maximum indiquent les rivières et lacs toujours en eau. Les fréquences en eau décroissent en auréoles autour des lacs, Ce qui laisse penser que des cultures de décrues sont envisageables sur ces espaces entre le moment où ils sont inondés et le moment où l'eau s'est retirée. En analysant les variations inter-annuelles, on observe que les années 2019 et 2021 sont comparables (années plutôt sèches), ainsi que les années 2020 et 2022 (années plutôt humides).

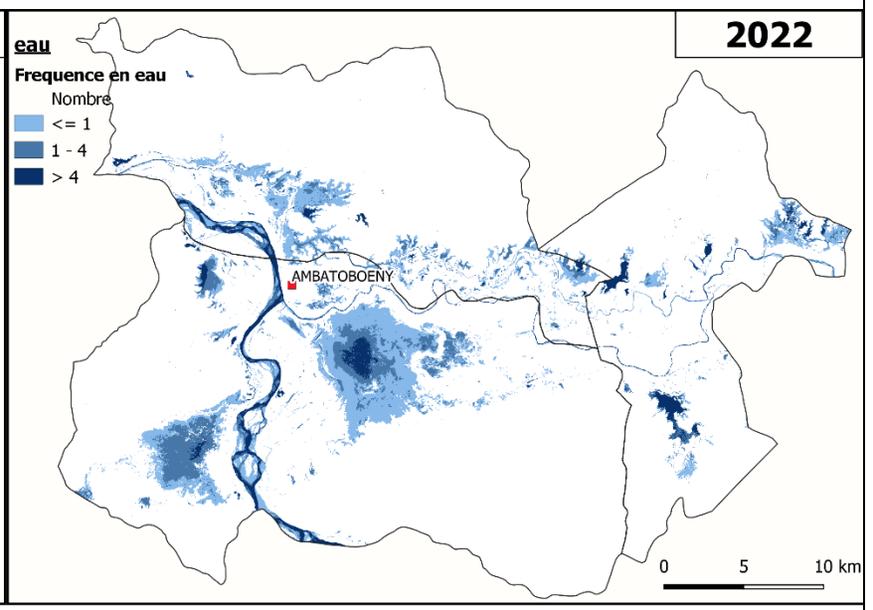
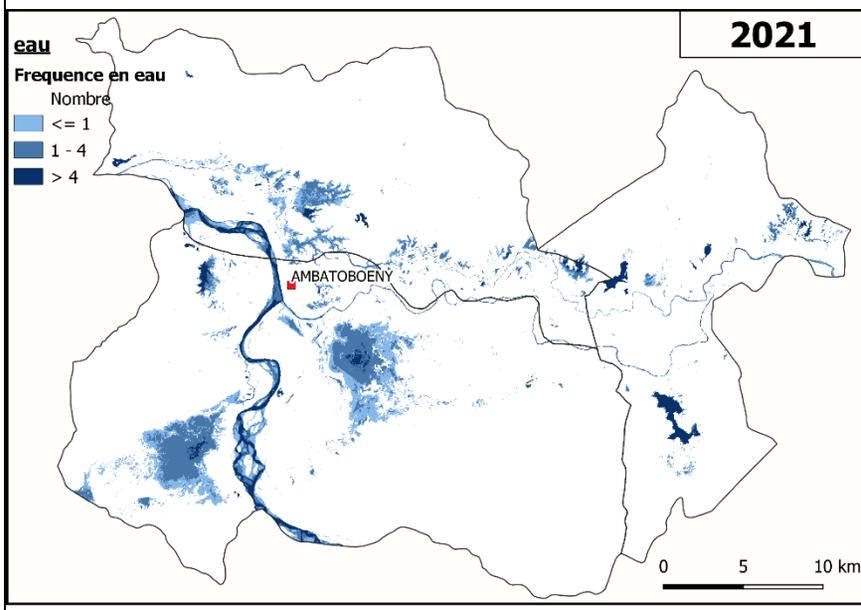
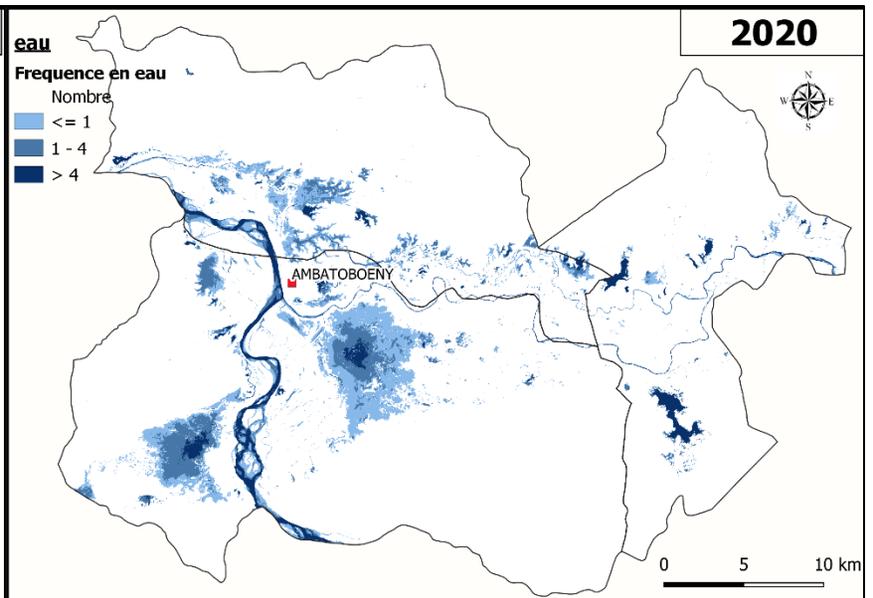
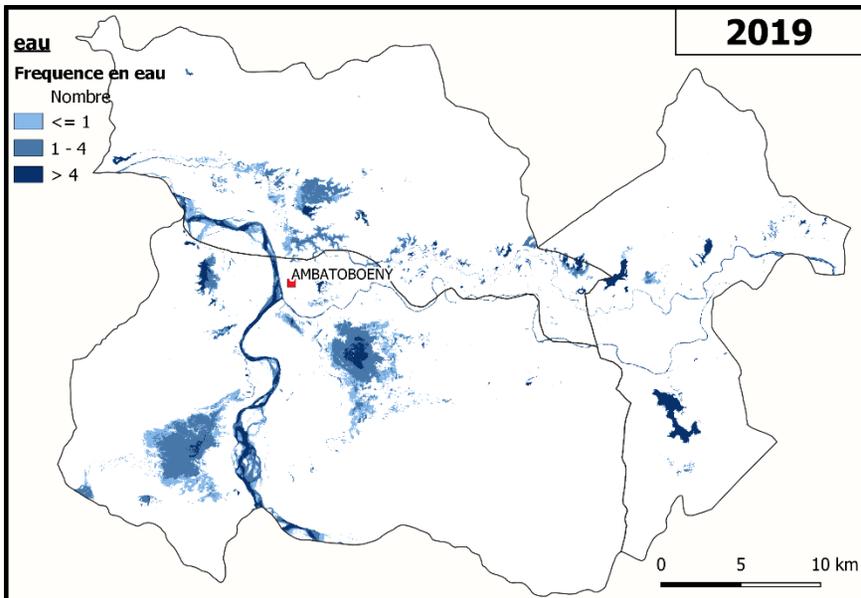


Figure 3. % des dates d'images satellitaires Sentinel 2 au cours desquelles les pixels sont en eau dans l'Ambatoboeny (2019 à 2022)

A partir des 3 classes NDVI, les pixels en eau ont été isolés sur toutes les images valables sur une année civile, et d'une façon binaire (1 si la valeur du pixel a enregistré une valeur négative du NDVI, sinon 0). Une image du satellite Sentinel 2 est considérée comme valable lorsque sa couverture nuageuse est strictement inférieure à 20 % de l'extension de l'image. Sur chaque année civile, les résultats de la classification binaire en eau ont été cumulés pour obtenir la fréquence en eau dans les trois communes de l'Ambatoboeny (Fig. 3).

Sur l'ensemble des cartes produites à partir des images satellitaires, pour chaque année civile, la fréquence en eau est définie comme l'ensemble des zones qui ont été au moins une fois en eau, donc avec des pixels positifs. De ces surfaces d'extension maximale des eaux sont déduites les surfaces d'extension minimale, qui représentent les pixels qui ont toujours été observés en eau sur toutes les images Sentinel 2, au cours d'une année civile, ce qui représenterait donc la surface minimum des rivières et lacs, restant toujours en eau même en saison sèche. La différence donne donc une estimation des surfaces potentielles de culture de décrue ; on observe que, selon l'année, ces estimations peuvent varier du simple au double (Tableau 2).

Tableau 2. Estimation des surfaces potentielles de décrue dans l'Ambatoboeny (2019-2022).

Annee	surface_max_km2	Surface_min_km2	difference_km2
2019	115.2614322	26.69858598	88.56284622
2020	159.8551549	32.30735214	127.5478028
2021	134.4758634	27.3904972	107.0853662
2022	193.0202622	30.69683656	162.3234257

### III- Zones de culture de décrue dans l'Ambatoboeny

Les zones cultivées en décrue sont maintenant estimées par le cumul des pixels qui ont été observés au moins une fois en eau, une fois en sol nu et une fois en végétation durant une année civile d'observation. Sur le cumul des images d'une année civile, les pixels retenus sont ceux qui ont été positifs dans les conditions suivantes : en eau ( $NDVI < 0$ ), en sol nu ( $0 < NDVI < 0.2$ ), et en végétation ( $0.2 < NDVI$ ) sur l'ensemble du jeu d'images Sentinel 2 d'une année civile.

Les surfaces cultivées en décrue, calculées chaque année, sont récapitulées dans le tableau 3.

image_date	surface_km2
2019_positif_decrue	37.8132525
2020_positif_decrue	65.20143771
2021_positif_decrue	51.67055526
2022_positif_decrue	78.7570776

Les cartes correspondantes (Fig. 4) montrent que les surfaces cultivées en décrue sont disposées en auréoles autour des trois lacs au sud ouest de la ville d'Ambatoboeny et le long des tracés de cours d'eau temporaire au nord du district, avec un écoulement est-ouest parallèle à celui du Kamoro, affluent du Betsiboka.

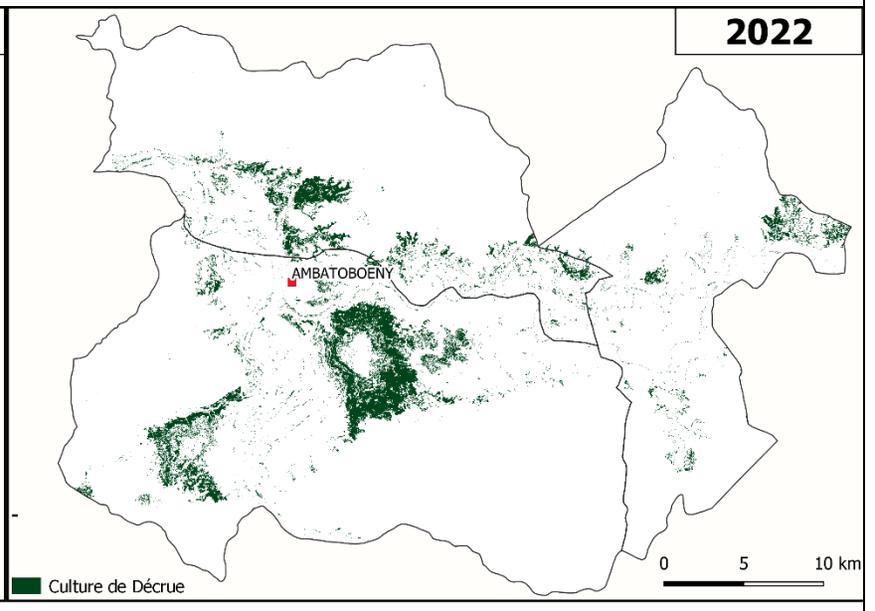
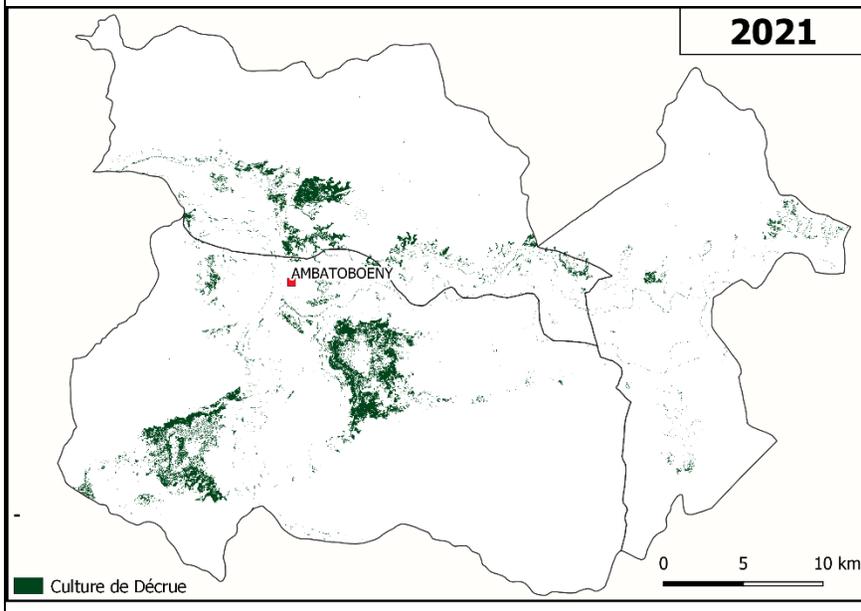
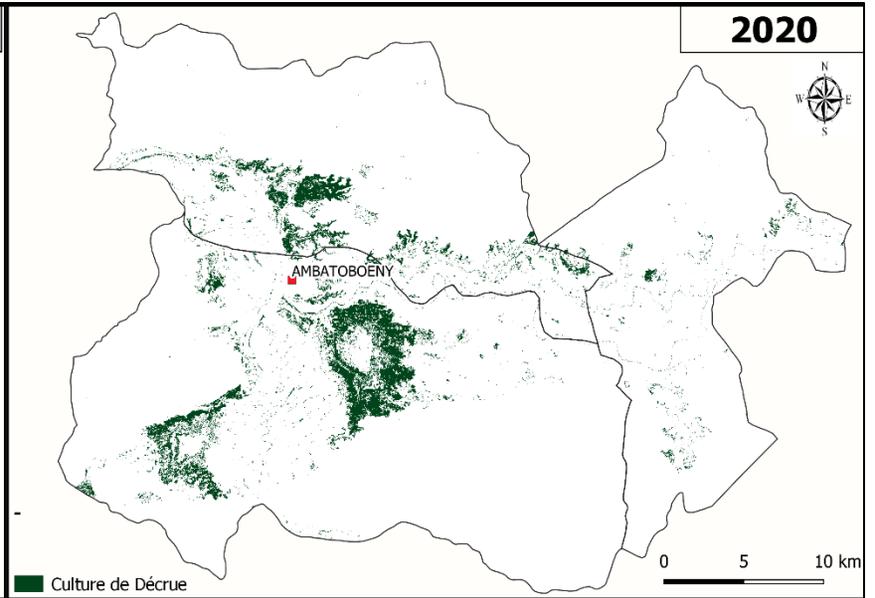
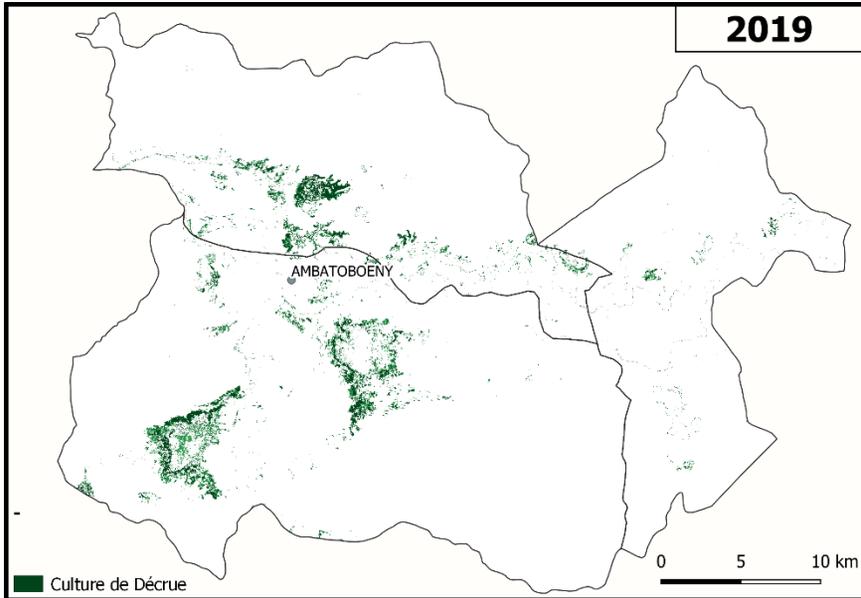


Figure 4. Estimation des surfaces en culture de décrue dans l'Ambatoboeny (2019-2022)

#### IV- Localisation et activité des lavakas alimentant en sable les rivières en amont des périmètres irrigués de Marovoay

La localisation des lavakas est issue d'un inventaire via Google earth, réalisé par photo interprétation le long des bassins versants de trois cours d'eau, l'Andraotra, la Belafrika, et la rivière située entre ces deux cours d'eau. Cette rivière et l'Andraotra ont, toutes les deux, deux affluents porteurs d'un chapelet de lavakas en tête de bassin versant.

A partir des images Sentinel2, et la classification des NDVI, les images de Sentinel2 à la date des équinoxes vers le 21 mars donnent un état de surface en fin de période des pluies. Une zone qui n'est ni en végétation, ni en eau, à cette période, a potentiellement fourni des matériaux meubles à la suite des intenses pluies précédentes. On peut ainsi distinguer les lavakas actives si elles fournissaient potentiellement des sédiments au cycle d'ensablement des cours d'eau. En appliquant ce critère aux années disponibles d'images Sentinel 2 de 2019 à 2023, on constate que les lavakas ne changent pas de comportement au cours de ces quatre ans, ce qui est normal puisque ce laps de temps ne permet pas une recolonisation par la végétation. Les lavakas actives seraient probablement les plus récentes, non colonisées par la végétation, et les lavakas inactives les plus anciennes, colonisées par la végétation.

Les lavakas étant des zones déjà admises comme étant les zones de départ des alluvions, celles-ci constituent donc des zones à observer continuellement chaque année. Dans cette perspective, 41 lavakas ont été répertoriées et cartographiées le long de l'Andraotra (deux affluents concernés), et un cours d'eau avec deux affluents en aval de la Belafrika (rivière de sable), tous charriant des sables vers les périmètres irrigués de Marovoay. Parmi ces 41 lavakas (Fig. 5), 22 sont considérées comme actives tout au long des 5 années de 2019 à 2023, et 19 comme suffisamment végétalisées pour être inactives c'est-à-dire fournir moins ou pas de sables vers l'aval (Annexe 2).

Les 22 lavakas actives sont énumérées ci-dessous (Fig. 5):

1, 2, 3, 4, 6, 10 (la plus étendue en surface),

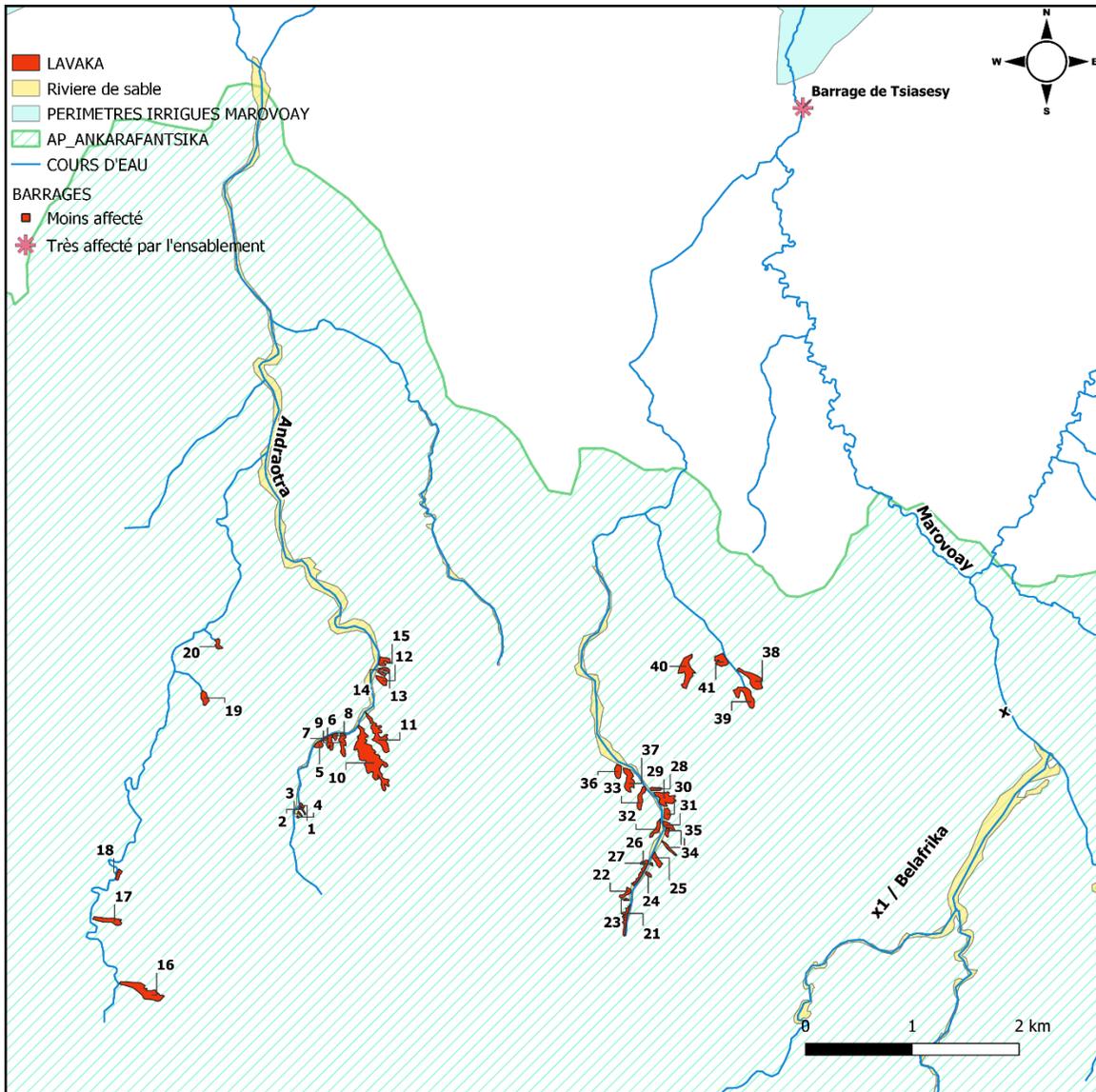
12-13-14-15 en position aval sur l'Andraetra, juste en amont de la rivière de sable,

20,

21-22-23-24-25-26-27, en position amont, en tête de rivière,

32, 34, 35, 36.





fid	GlobalID
1	46.65993197706005_-16.274015878584013_1275.3317161500581
2	46.66001211554882_-16.274446925519126_1253.6385085833012
3	46.65976849445887_-16.27474305790579_844.4498950718162
4	46.65962076426765_-16.27502333524757_336.9809700103459
5	46.66143587143298_-16.26870877961999_3641.7788543895326
6	46.661720587600506_-16.26831877151236_132.82669392690408
7	46.66236451729666_-16.268463929116784_7390.332899407449
8	46.66286637171989_-16.267955730054144_2088.3673599282797
9	46.66353580670689_-16.268622000956427_9491.9082433336
10	46.66595673448293_-16.269873924871973_68102.93017306099
11	46.66668791444984_-16.26786479470827_24192.304716245126
12	46.66697084635337_-16.263052997940342_5916.968129047584
13	46.666978592984044_-16.262440053015474_2156.5703337636332
14	46.66723695162311_-16.262106186875315_2655.4701309493876
15	46.66713081587457_-16.261390141220442_6166.749100527566
16	46.646108957239036_-16.290260196244617_28777.83027014582
17	46.64303180719489_-16.284083328581822_11091.705047358533
18	46.64388727926139_-16.28006481365915_3177.4035770626238
19	46.65142461225948_-16.264604918552966_6875.23916240084
20	46.65261321722033_-16.259896890222098_3780.5136409758843
21	46.68829505549136_-16.28399029739031_7520.63085894503
22	46.688349702151086_-16.28168429100362_4257.304276172166
23	46.688363472668534_-16.282255486365496_970.1100424728884
24	46.690322114914814_-16.280056612200156_1681.0768709089589
25	46.69106490639208_-16.278809917279304_5896.967494453934
26	46.6905909943078_-16.279149225638736_632.9258894133199
27	46.68970070433288_-16.279770450812084_7544.660346415535
28	46.690956272802886_-16.272573747390215_3117.313178750435
29	46.69178969153101_-16.273391533571047_16149.38068642846
30	46.69194645095848_-16.274759803254504_5554.367782893099
31	46.69206179598181_-16.275768794745325_4736.930254038943
32	46.69092570249556_-16.276079634418892_5736.584799991761
33	46.68965087050527_-16.273382441935702_8564.685411561259
34	46.69196313941192_-16.276359666775946_2570.888169686736
35	46.69209569149403_-16.27774825602575_3734.9472809713643
36	46.68764798427513_-16.271027423761836_6863.545893133549
37	46.688601004049815_-16.271780207625472_14396.743043292861
38	46.699478753970844_-16.262985440315596_17778.265924520136
39	46.69883769745817_-16.264406297997454_17436.292602152764
40	46.69364178761901_-16.262205861163594_23433.305812062667
41	46.69670551144608_-16.26130242594334_10551.6566885067

Figure 5. Inventaire et localisation des 41 lavakas, en amont des périmètres rizicoles de Marovoay

Annexe 1

Ambato\_boeni\_2019-2023\_PrécipitationsTempératures\_260723

Annexe 2

Lavakas actives ou inactives (2019-2023)\_280823