Synthèse des forages MSF réalisés entre 2021 et 2023 sur les régions de l'Anosy et de l'Androy

Laure ANDREINI

Watsan Manager MSF France

Projet MG128 Ambovombe, Madagascar

Juin 2023

Table des matières

1 Introduction 5
2 Zone d'intervention 5
3 Chronogramme 5
4 Contexte géologique 6
5 Campagnes de forages 8
5.1. Région Anosy 8
5.1.1. Campagne de 10 forages 8
5.1.2. Construction de puits à faible profondeur 13
5.2. Région Androy 15
5.2.1. Contexte d'étude 15
5.2.2. Forages sur la commune de Jafaro (domaine Anosyen) 16
5.2.3. Forage d'Ambatomainty 19
5.3. Forages de l'hôpital d'Ambovombe 20
6 Conclusion 22
7 Références 25

Figures

Figure 1 : zone d'intervention pour les campagnes de puits et forages 2021 – 2023 5
Figure 2 : domaines géologiques sur le secteur d'intervention (Boger, 2008) 7
Figure 3 : localisation des sites de prospection géophysique 2021 et des 10 forages retenus 10
Figure 4 : localisation du forage de Fita sur le profil géophysique (abscisse 164 m) (RockSolid, Août 2021) 12
Figure 5 : localisation des puits busés à faible profondeur 14
Figure 6 : localisation des forages prospectifs 2022 – 2023..... 16
Figure 7 : gneiss et minéraux constitutifs rencontrés lors de la foration du forage d'Antanivelo..... 17
Figure 8 : localisation du captage d'Andahivozaka-Haut sur la pseudo-section électrique (abscisse 163 m) 18
Figure 9 : localisation du captage d'Antanivelo sur la pseudo-section électrique (décalage du forage de 80 m par rapport au profil – abscisse 146 m)..... 18
Figure 10 : localisation du captage d'Ankobo sur la pseudo-section électrique (abscisse 32 m) 19
Figure 11 : photographies du forage d'Ambatomainty protégé par un capot acier cadenassé 20
Figure 12 : localisation des forages du Centre Hospitalier Régional d'Ambovombe 21
Figure 13 : synthèse des forages réalisés par MSF entre 2021 et 2023 dans les districts d'Ambovombe-Androy et Amboasary-Atsimo 23
Figure 14 : synthèse des débits critiques et conductivités mesurés dans les forages MSF 2021 – 24

Tableaux

Tableau 1 : chronogramme des activités MSF 2021 – 2023..... 6
Tableau 2 : localisation des explorations géophysiques menées par la société RockSolid en 2021..... 8
Tableau 3 : ouvrages retenus par MSF pour la campagne de 10 forages dans la région Anosy..... 9
Tableau 4 : caractéristiques des forages situés au droit des formations basaltiques du volcan d'Androy 11
Tableau 5 : caractéristiques des forages situés au droit des formations gneissiques du système Anosyen 12
Tableau 6 : noms et coordonnées géographiques des sites retenus pour l'implantation de puits à faible profondeur 13
Tableau 7 : caractéristiques techniques des puits à faible profondeur réalisés par BushProof en 2021 .. 14
Tableau 8 : coordonnées des forages prospectifs 2022 – 2023..... 16
Tableau 9 : caractéristiques hydrogéologiques des forages 18

Annexes

Annexe 1 : rapport d'exploration et pseudo-sections de résistivités (RockSolid, Août 2021) 26
Annexe 2 : dossiers techniques des forages réalisés au droit des formations basaltiques du volcan d'Androy (BushProof, 2022) 27
Annexe 3 : dossiers techniques des forages réalisés au droit des formations gneissiques du système Anosyen (BushProof, 2022) 28
Annexe 4 : étude hydrogéologique pour l'implantation de puits à faibles profondeurs dans le bassin versant de la Mandrare (BushProof, Avril 2021) 29
Annexe 5 : prospection hydrogéologique sur la région Androy pour l'implantation de forages d'eau potable (Médecins sans Frontières France, Décembre 2022) 30
Annexe 6 : études géophysiques pour les forages prospectifs de la région Androy (RockSolid, 2022) 31
Annexe 7 : dossiers techniques des forages de Jafaro (BushProof, 2023) 32
Annexe 8 : dossier technique du forage d'Ambatomainty (Office des mines nationales et des industries stratégiques (OMNIS), 2023) et photographies des cuttings 33
Annexe 9 : coupes techniques et géologiques des forages de l'hôpital d'Ambovombe (BushProof, 2022) 34
Annexe 10 : résultats d'analyses physico-chimiques des eaux des captages du Centre Hospitalier Régional d'Ambovombe (BushProof, 2022) 35

1 Introduction

Médecins sans Frontières intervient depuis mars 2021 dans les régions de l'Androy et d'Anosy, en réponse à la crise nutritionnelle, sanitaire et hydrique que subissent ces régions du sud de Madagascar.

Dans ce contexte, MSF s'est engagé à réparer une partie du réseau de pompes à motricité humaine des deux régions et à créer de nouveaux points d'eau potable pour la communauté. Ce rapport décrit toutes les activités de puits et forages réalisées par MSF entre 2021 et 2023 à partir de tableaux et cartes synthétiques. Les études géologiques, hydrogéologiques et géophysiques réalisées par MSF et ses entreprises partenaires sont fournies en annexes.

2 Zone d'intervention

La zone d'intervention de MSF correspond aux districts d'Amboasary-Atsimo de la région Anosy et d'Ambovombe-Androy de la région Androy. Au total, 15 puits et 10 forages ont été réalisés sur le district d'Amboasary-Atsimo et 6 forages ont été réalisés sur le district d'Ambovombe-Androy.

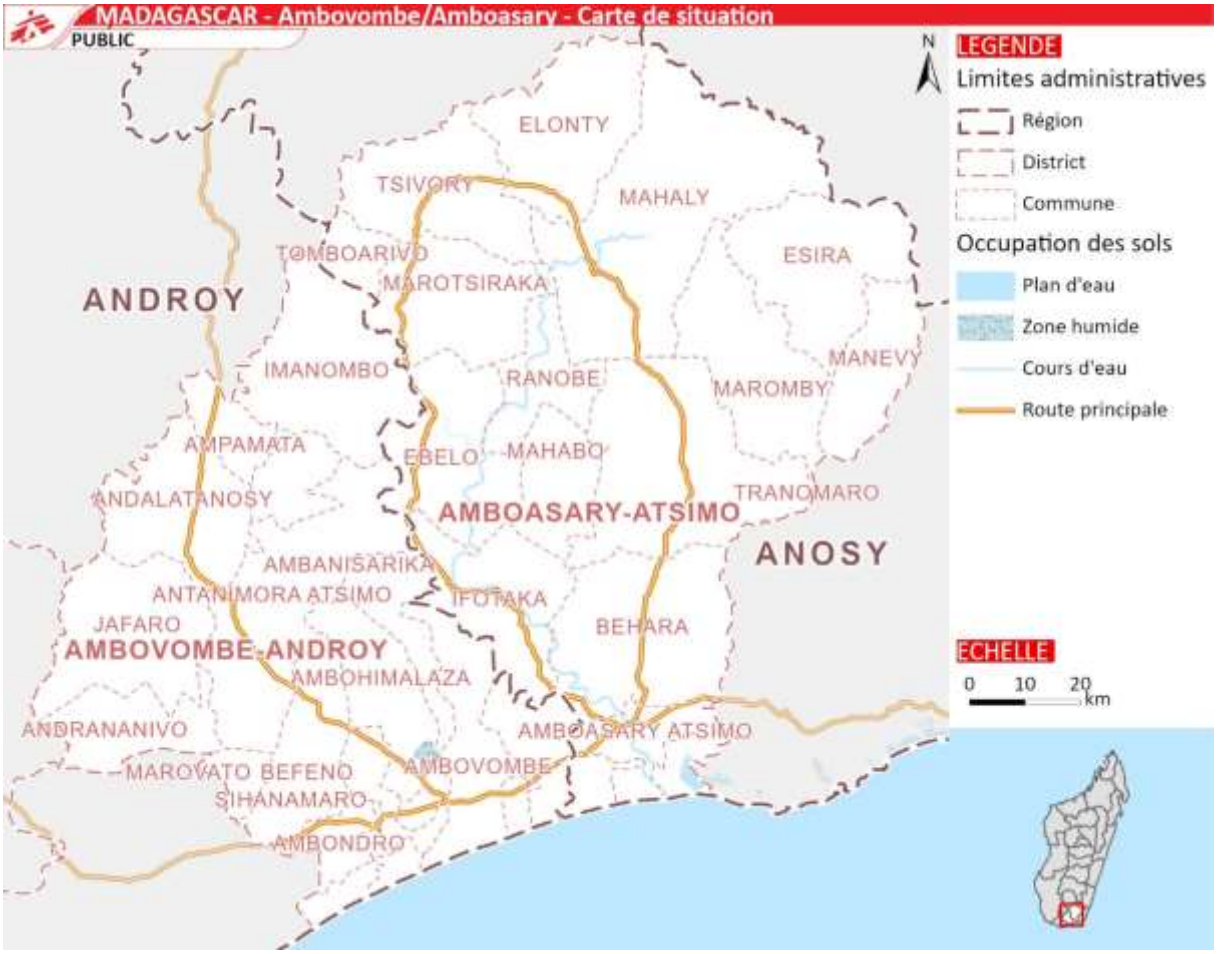


Figure 1 : zone d'intervention pour les campagnes de puits et forages 2021 – 2023

3 Chronogramme

Le chronogramme des activités de forages MSF est présenté dans le Tableau 1.

Tableau 1 : chronogramme des activités MSF 2021 – 2023

2021												
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Bush Proof				Puits busés : étude hydrogéologique		Construction 15 puits busés					Campagne de 10 forages	
Rock Solid						Prospection géophysique pour campagne forages						
2022												
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Bush Proof	Campagne de 10 forages									Campagne de 3 forages sur la commune de Jafaro		
Rock Solid				Prospection géophysique pour campagne forages								
MSF	Forages prospectifs : étude hydrogéologique											
OMNIS												Forage d' Ambatomainty
2023												
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Bush Proof	Campagne de 3 forages sur la commune de Jafaro											
OMNIS	Forage d'Ambatomainty											

En bleu : études, forages et puits réalisés dans la région Anosy / En jaune : études et forages réalisés dans la région Androy.

4 Contexte géologique

Les forages réalisés par Médecins sans Frontières se situent au droit de quatre unités géologiques différentes que sont : le domaine Androyen, le domaine Anosyen, le volcan d'Androy et le bassin sédimentaire d'Ambovombe (Figure 2).

Le domaine Androyen est constitué majoritairement par des gneiss, plus ou moins migmatisés (transformation de la roche par fusion partielle). L'âge des roches dépasse 1 milliard d'années (Boger, 2008). Les roches du domaine Anosyen sont plus récentes : entre 700 et 900 millions d'années. Ce sont principalement des gneiss et roches sédimentaires migmatisées.

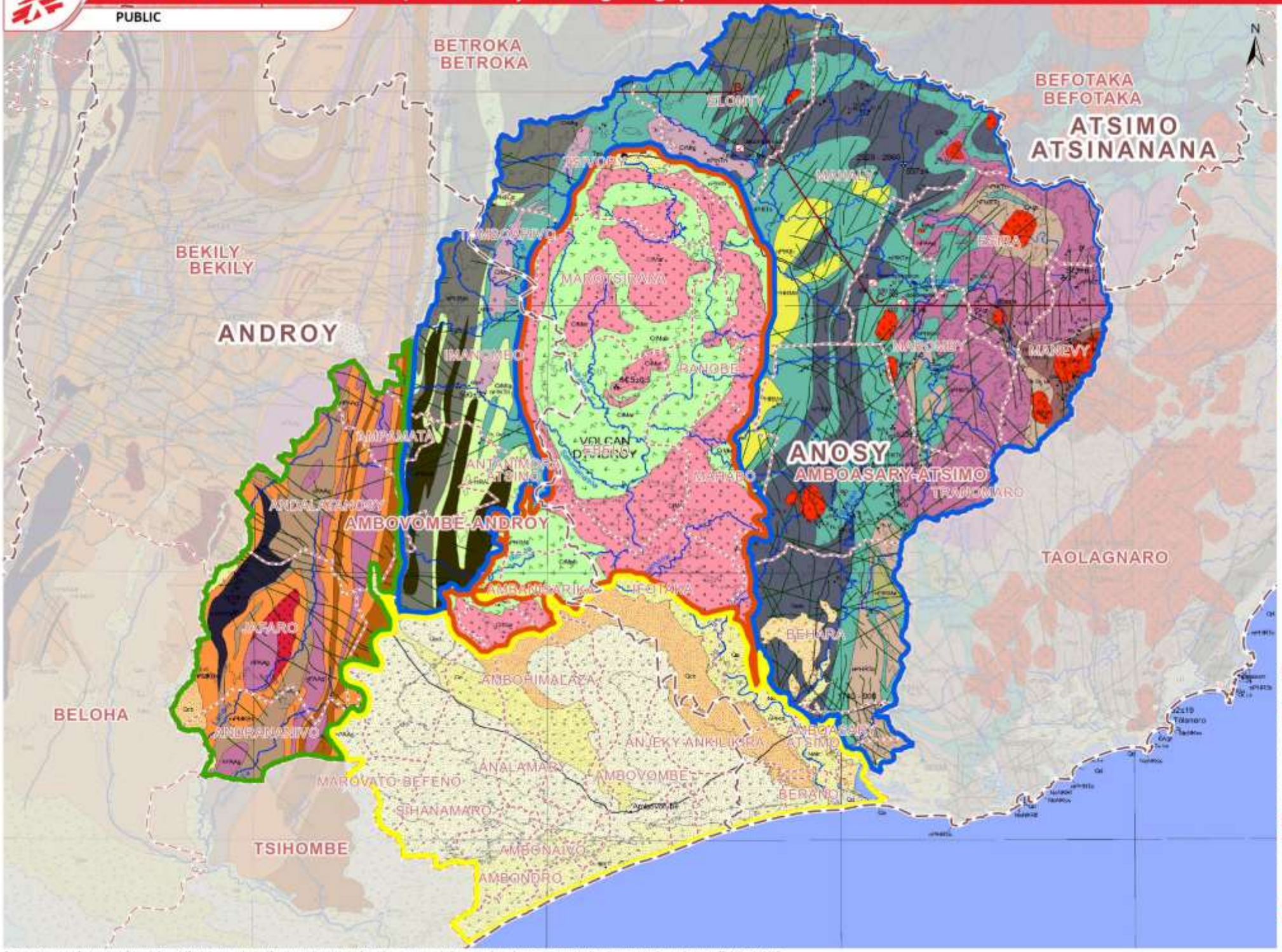
Le volcan d'Androy est constitué par des basales et rhyolites du Crétacé (Boger, 2008).

Quant au bassin sédimentaire d'Ambovombe, les roches constitutives sont : sables blanc et rouge, calcaire, grès et marne. Ces formations appartiennent au Néogène et au Quaternaire.

Le débit des forages et la salinité de l'eau sont une conséquence directe de la géologie des terrains traversés. Il est donc important de mettre en lien la nature des terrains avec les résultats des forages réalisés par MSF.

MADAGASCAR - Ambovombe/Amboasary - Carte géologique

PUBLIC



LEGENDE

Limites administratives
- Région
- District
- Commune

Domaines géologiques
- Domaine anosyen
- Domaine androyen
- Bassin sédimentaire
- Volcan d'Androy

SOURCES

Limite administrative : BNGRC
Arrière-plan géologique : Service Géologique de Madagascar

PROPRIETES

Nom du document : MDG_Geol_Ambovombe-Amboasary_A4_20230304
Date de Création : 09/03/2023
Type de produit : Carte géologique
Réalisé par : GISCentre.GVA@geneva.msf.org
Format d'impression : A4 Paysage
Confidentialité : PUBLIC

ECHELLE

1:900 000
1 cm = 9 km
0 10 20 km

GIS MEDECINS SANS FRONTIERES

Plus de cartes sur https://geo.msf.org

Cette carte est exclusivement à but informatif et n'a aucune signification politique. Les frontières et noms de lieux représentés sur cette carte n'impliquent pas l'approbation officielle de MSF.

5 Campagnes de forages

5.1. Région Anosy

5.1.1. Campagne de 10 forages

5.1.1.a. Prospection géophysique 2021 (RockSolid, Août 2021)

Une prospection géophysique a été réalisée de juin 2021 à août 2021 par la société RockSolid sur le district d'Amboasary-Atsimo. La méthode utilisée est une méthode électrique appelée « polarisation provoquée » utilisant la technique d'imagerie par tomographie ou panneau électrique ERT. Ces mesures permettent de visualiser les hétérogénéités du sous-sol : changement de lithologie, présence de faille, présence d'eau (nappes), etc…

La Figure 3 présente la localisation des différents sites de prospection. Les communes concernées sont reportées dans le Tableau 2.

Le rapport d'exploration de RockSolid (RockSolid, Août 2021) et les pseudo-sections de résistivités sont donnés en Annexe 1.

Tableau 2 : localisation des explorations géophysiques menées par la société RockSolid en 2021

N°	Village	Fokontany	Commune	Latitude	Longitude
1	Sakafia	Sakafia	Marotsiraka	24°12'45.46"S	46° 1'25.45"E
2	Ambovo	Sakafia	Marotsiraka	24°13'2.88"S	46° 1'35.33"E
3	Mangily I	Mangily I	Mahabo	24°40'56.57"S	46°11'24.68"E
4	Mangily II	Mangily II	Mahabo	24°40'56.78"S	46°10'41.34"E
5	Ambaninato	Ambaninato	Mahabo	24°40'2.74"S	46°15'3.28"E
6	Mahabo	Mahabo	Mahabo	24°36'2.97"S	46°15'32.17"E
7	Fita	Fita	Mahabo	24°34'11.10"S	46°19'31.40"E
8	Befatsiolatsy	Befatsiolatsy	Mahabo	24°34'0.96"S	46°13'9.40"E
9	Fangidratsy	Fangidratsy	Mahabo	24°37'5.90"S	46°17'16.34"E
27	Andranomanintsy	Andranomanintsy	Mahabo	24°35'11.61"S	46°13'54.81"E
10	Behalomboro	Behalomboro	Ranobe	24°18'18.55"S	46°13'52.38"E
11	Ankamena	Ankamena	Ranobe	24°25'34.91"S	46°11'47.12"E
12	Besomontsoy	Fenoarivo Somagnaly	Ranobe	24°31'59.24"S	46° 7'55.81"E
13	Masiapia	Masiapia	Ranobe	24°27'46.37"S	46°17'45.32"E
14	Bevalay	Bevalay	Ebelo	24°33'0.44"S	45°58'42.49"E
15	Ankobay I	Ankobay	Ebelo	24°35'29.54"S	46° 6'52.68"E
16	Tamotamo Bas	Tamotamo Bas	Elonty	24° 4'16.93"S	46°15'48.42"E
17	Ambatomanaky	Ambatomanaky	Elonty	23°57'15.70"S	46°22'24.50"E
26	Besakoa Nord	Besakoa	Elonty	24° 0'20.00"S	46°10'52.03"E
18	CSB II	Tsivory	Tsivory	24° 4'21.72"S	46° 4'30.54"E
19	Beadabo I	Beadabo	Tomboarivo	24°12'58.60"S	45°51'11.78"E
20	Antaralava	Antaralava	Tomboarivo	24°11'34.61"S	45°54'21.99"E
21	Manandavenoky	Manandavenoky	Tomboarivo	24°16'1.68"S	45°54'31.09"E
22	Dabolava	Dabolava	Mahaly	24°12'40.24"S	46°18'4.76"E
23	Andaza	Bepimay	Mahaly	24° 4'10.23"S	46°33'42.78"E
24	Anivorano	Babaria	Mahaly	23°55'50.96"S	46°26'25.95"E

25	Chef lieu	Mahaly	Mahaly	24°10'36.05"S	46°20'56.51"E

5.1.1.b. Choix des 10 forages

La sélection des 10 forage s'est effectuée de la manière suivante :

- A partir des résultats géophysiques : présence de failles, roches de fortes résistivités potentiellement fracturées, zone d'altération potentiellement aquifères ;
- En fonction de la localisation des points d'eau utilisés par les villageois (avant réalisation des forages) et de leur distance au village ;
- En fonction de l'état des points d'eau utilisés par les villageois ;
- En fonction des potentialités d'accueil d'un nouveau forage sur les sites prospectés.

Ainsi, MSF a choisi de retenir les dix forages suivants :

Tableau 3 : ouvrages retenus par MSF pour la campagne de 10 forages dans la région Anosy

Nom	Commune	Longitude	Latitude	X_WGS84	Y_WGS84
Ambovo-Sakafia	Marotsiraka	46°01'24''E	24°13'1''S	46,0233333	-24,2169444
Ankobay	Ebelo	46°06'53,74"E	24°35'30,22"S	46,1149278	-24,5917278
Antaralava	Tomboarivo	45°54'17,09''E	24°11'34,52''S	45,9047472	-24,1929222
Besakoa Nord	Elonty	46°10'54,7''E	24°00'18,9''S	46,1818611	-24,00525
Tamotamo Bas	Elonty	46°15'47,7''E	24°04'12,8''S	46,26325	-24,0702222
Tsivory CSB II	Tsivory	46°04'29,6''E	24°04'21,8''S	46,0748889	-24,0727222
Beadabo	Tomboarivo	45°51'14,6''E	24°12'55,1''S	45,8540556	-24,2153056
Fangidraty	Mahabo	46°17'24,8''E	24°36'51,4''S	46,2902222	-24,6142778
Fita	Mahabo	46°19'43''E	24°33'57,6''S	46,3286111	-24,566
Mangily II	Mahabo	46°10'46,1''E	24°40'52,3''S	46,1794722	-24,6811944

Ces forages sont localisés sur la Figure 3 ci-dessous.

Figure 3 : localisation des sites de prospection géophysique 2021 et des 10 forages retenus

5.1.1.c. Captages au droit du volcan d'Androy

Parmi les dix forages présentés dans le Tableau 3, quatre forages sont situés au droit des formations basaltiques du volcan d'Androy : Tsivory CSB II, Tamotamo Bas, Ambovo-Sakafia et Ankobay (Tableau 4). Les trois premiers forages sont positifs et ont été équipés.

Le forage d'Ankobay est négatif (débit nul). Un 2e sondage a été réalisé à 340 m du premier. Le débit mesuré lors de la foration est de 0,53 m^3/h (Tableau 4). Les deux sondages sont considérés comme négatifs et ont été rebouchés.

Les venues d'eau sont localisées au niveau des horizons altérés basaltiques. Lorsque le basalte est sain, sans horizon altéré, aucune venue d'eau n'est observée (sondages d'Ankobay).

Quant aux conductivités, elles sont homogènes pour les trois forages positifs.

Les dossiers techniques des forages réalisés par l'entreprise BushProof sont présentés en Annexe 2.

Tableau 4 : caractéristiques des forages situés au droit des formations basaltiques du volcan d'Androy

Nom	Altitude forage (m)	Profondeur forage (m/sol)	Profondeur niveau statique (m/sol)	Débit critique* (m3/h)	Débit essai 24h (m3/h)	Stabilisation niveau dynamique	Géologie aquifère	Horizon des venues d'eau	Conductivité (µS/cm)
Ambovo-Sakafia	294	25	8,71	0,37	0,35	OUI	Basalte	Altération basalte	1550
Tamotamo Bas	390	25	12,21	0,69	0,6	OUI	Basalte	Altération basalte	1490
Tsivory CSB II	395	35	10,54	Entre 1,0 et 1,5	1,5	NON	Basalte	Altération basalte	1620
Ankobay S1	273	35	0	-	-	-	Basalte	Pas de venue d'eau (aucune altération)	NM**
Ankobay S2	108	35,5	13	-	-	-	Basalte	Pas de venue d'eau (aucune altération)	NM

**Débit critique : déterminé par méthode graphique à partir des données des essais de pompage par paliers*

***NM : conductivité non mesurée car aucune venue d'eau dans le forage*

5.1.1.d. Captages au droit des formations gneissiques

Parmi les dix forages présentés dans le Tableau 3, six forages sont situés au droit des formations gneissiques du système Anosyen : Mangily II, Fita, Fangdraty, Beadabo, Besakoa Nord, Antaralava (Tableau 5). Ces six forages sont positifs et ont été équipés.

Le débit critique des ouvrages varie entre 0,34 et 2,0 m^3/h, excepté pour le captage de Fita, où le débit critique est supérieur à 6 m^3/h (Tableau 5). L'essai de pompage longue durée sur ce captage montre une stabilisation du niveau d'eau au débit de 5,4 m^3/h (cf. Annexe 3). La coupe géologique du forage relève deux horizons gneissiques à grandes fractures et plusieurs horizons altérés et fracturés (cf. Annexe 3). La carte géologique montre également plusieurs failles à proximité immédiate du captage (cf. Figure 2).

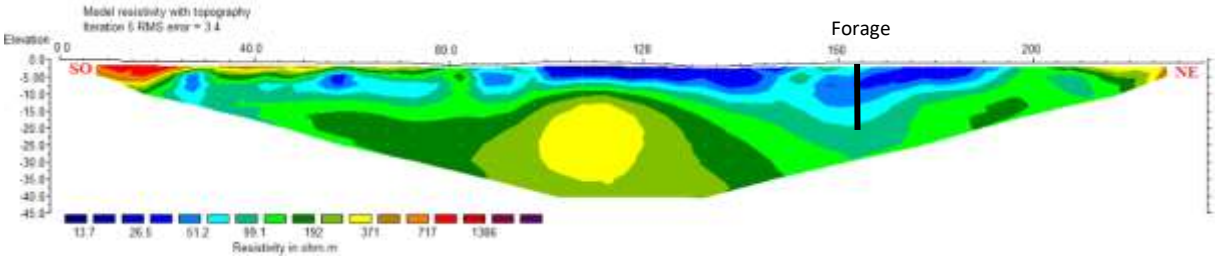


Figure 4 : localisation du forage de Fita sur le profil géophysique (abscisse 164 m) (RockSolid, Août 2021)

Concernant les conductivités des forages, elles sont faibles et varient entre 310 et 840 µS/cm, exceptés pour les forages de Fangidraty et Mangily. Les conductivités pour ces deux derniers forages sont proches des conductivités mesurées pour les forages du volcan d'Androy. D'après la carte géologique de Madagascar au 1/500 000e, le forage de Mangily est situé au droit des rhyolites du volcan d'Androy et le forage de Fangidraty est situé en limite des basaltes du volcan. Cette lithologie, non décrite dans les coupes géologiques BushProof, pourrait être en lien avec la conductivité plus élevée des eaux de ces forages.

<u>Remarque :</u> le degré de fracturation/altération des roches rencontrées ainsi que la position topographique des forages peuvent également expliquer ces différences de conductivités (fissuration moins importante, altération argileuse prononcée ou faible pente du terrain → vitesse d'écoulement des eaux souterraines diminuée → concentration des eaux → évaporation facilitée → augmentation de la salinité des eaux).

Les dossiers techniques des forages réalisés au droit des formations gneissiques par l'entreprise BushProof sont présentés en Annexe 3.

Tableau 5 : caractéristiques des forages situés au droit des formations gneissiques du système Anosyen

Nom	Altitude forage (m)	Profondeur forage (m/sol)	Profondeur niveau statique (m/sol)	Débit critique* (m3/h)	Débit essai 24h (m3/h)	Stabilisation niveau dynamique	Géologie aquifère	Horizon des venues d'eau	Conductivité (µS/cm)
Antaralava	368	40	14,5	< 2	9	NON	Gneiss	Contact gneiss sain et gneiss fracturé	620
Besakoa Nord	386	25	8,97	1,79	0,35	OUI	Gneiss	Altération gneiss	320
Beadabo	415	27,13	11,4	1,03	0,35	OUI	Gneiss	Forte altération gneiss (sable-argileux)	310
Fangidraty	238	25	6,4	Entre 1,6 et 2,0	2,16	NON	Gneiss	Altération gneiss	1540
Fita	259	20,3	4,81	> 6	5,4	OUI	Gneiss et micaschistes	Contact gneiss altéré et gneiss fracturé	840
Mangily II	192	29,8	11,47	> 0,6	0,6	OUI	Gneiss	Contact gneiss altéré et gneiss fracturé	2300

**Débit critique : déterminé par méthode graphique à partir des données des essais de pompage par paliers*

5.1.2. Construction de puits à faible profondeur

5.1.2.a. Etude hydrogéologique (BushProof, Avril 2021)

Une étude hydrogéologique dans le bassin versant de la Mandrare a été réalisée par l'entreprise BushProof en avril 2021 (BushProof, Avril 2021) (Annexe 4).

L'objectif de cette étude est de déterminer des sites d'implantation potentiels pour la construction de puits à faible profondeur (puits busés et puits par jetting), dans ou à proximité immédiate du lit mineur du fleuve Mandrare et de ses affluents.

A partir de cette étude, 15 sites ont été sélectionnés (Tableau 6). Ils sont localisés sur la Figure 5.

Tableau 6 : noms et coordonnées géographiques des sites retenus pour l'implantation de puits à faible profondeur

Nom site	Commune	Fokontany	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Behalomboro 1	Ranobe	Behalomboro	24°18'29.29"	46°13'26.43"	165
Behalomboro 2	Ranobe	Behalomboro	24°18'29.40"	46°13'26.59"	165
Behalomboro 3	Ranobe	Behalomboro	24°18'29.64"	46°13'25.93"	164
Ankamena	Ranobe	Ankamena	24°25'40.74"	46°12'02.37"	130
Mahabo	Mahabo	Mahabo	24°35'47.80"	46°15'49.50"	201
Ambaninato 1	Mahabo	Ambaninato	24°40'03.60"	46°15'04.50"	240
Ambaninato 2	Mahabo	Ambaninato	24°40'16.69"	46°14'57.34"	226
Ambaninato 3	Mahabo	Ambaninato	24°40'17.96"	46°14'45.84"	225
Andranomanitsy 1	Mahabo	Andranomanitsy	24°35'16.30"	46°13'50.50"	201
Andranomanitsy 2	Mahabo	Andranomanitsy	24°35'16.32"	46°13'50.50"	201
Befatsiolatsy	Mahabo	Befatsiolatsy	24°34'00.50"	46°13'09.70"	190
Ankaramena	Ranobe	Ankaramena	24°28'16.10"	46°09'52.88"	133
Beraketa	Ranobe	Beraketa	24°28'11.28"	46°10'13.94"	113
Ankilimilopoka	Ranobe	Ankilimilopoka	24°26'55.16"	46°11'25.22"	130
Fenoarivo	Ranobe	Fenoarivo	24°31'47.50"	46°07'53.40"	113

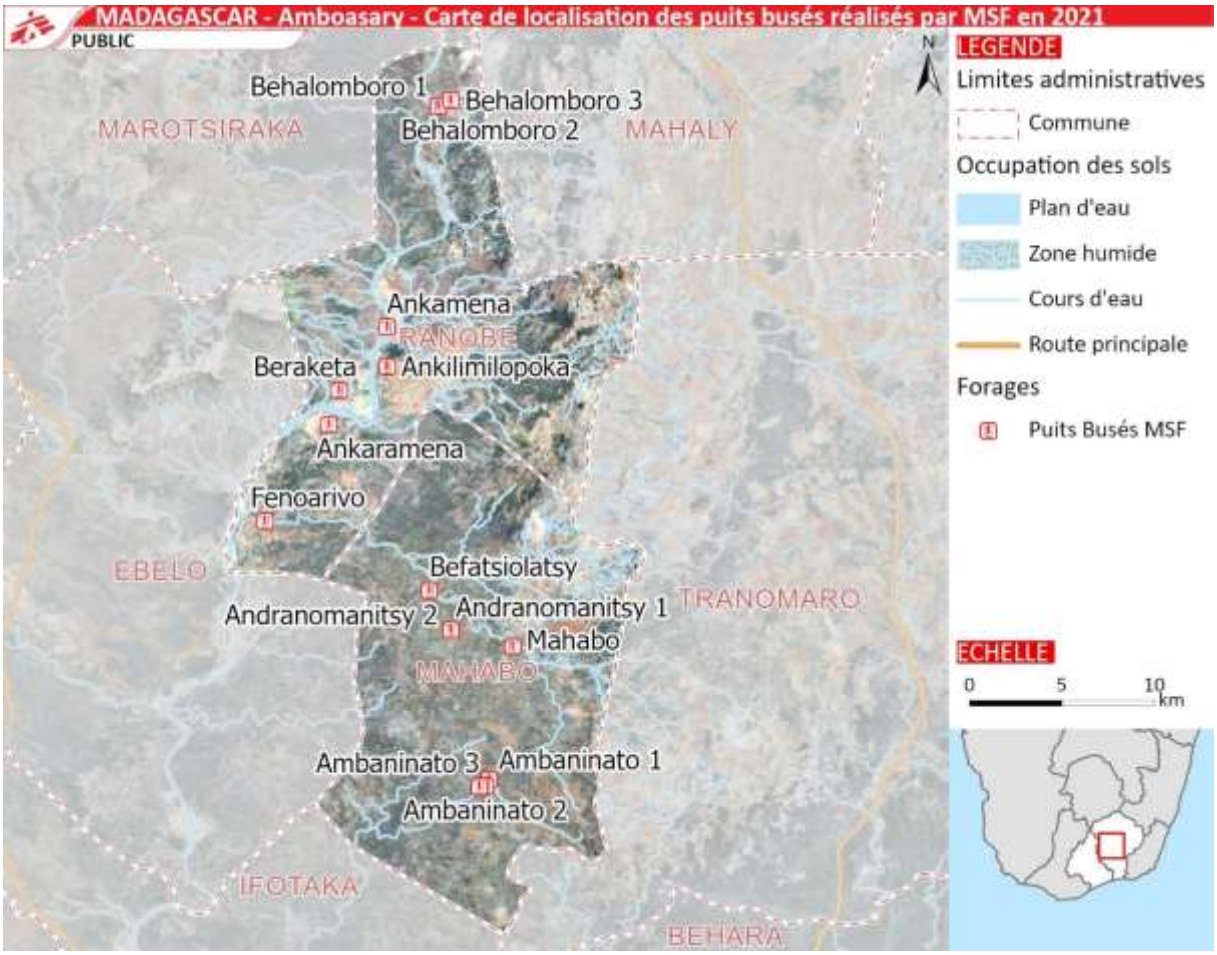


Figure 5 : localisation des puits busés à faible profondeur

5.1.2.b. Productivités des ouvrages

Sur les 15 ouvrages réalisés par l'entreprise BushProof, neuf s'avèrent être positifs (Tableau 7). Pour les puits situés dans le lit mineur de la Mandrare, les débits sont importants (entre 10 et 18 m^3/h).

Tous ces ouvrages ont été détruits lors des crues liées aux passages des cyclones Emnati et Batsiraï en janvier et février 2022.

Tableau 7 : caractéristiques techniques des puits à faible profondeur réalisés par BushProof en 2021

Nom site	Type	Géologie	Profondeur (m)	Niveau statique (m/sol)	Débit (m3/h)
Behalomboro 1	Jetting	Sables et galets	5,12	Absence eau	0
Behalomboro 2	Jetting	Sables et galets	6,00	Absence eau	0
Behalomboro 3	Jetting	Sables et galets	3,00	1,00	3,00
Ankamena	Jetting	Sables et galets	3,00	1,00	3,00
Mahabo	Buses	Galets charriés	2,44	1,56	0,77
Ambaninato 1	Buses	Galets charriés	0,96	Absence eau	0
Ambaninato 2	Buses	Galets charriés	2,10	Absence eau	0
Ambaninato 3	Buses	Galets charriés	2,06	Absence eau	0
Andranomanitsy 1	Buses	Sables et galets	1,50	Absence eau	0
Andranomanitsy 2	Buses	Sables et galets	1,98	1,14	10,60

Befatsiolatsy	Buses	Sables et galets	2,14	1,03	8,60
Ankaramena	Buses	Sables (lit mineur Mandrare)	1,57	0,13	16,60
Beraketa	Buses	Sables (lit mineur Mandrare)	1,66	0,19	18,00
Ankilimilopoka	Buses	Sables (lit mineur Mandrare)	1,45	0,50	10,80
Fenoarivo	Buses	Sables et galets	3,20	2,00	14,40

5.2. Région Androy

5.2.1. Contexte d'étude

La population de la région Androy rencontre de nombreux problèmes liés à l'approvisionnement en eau potable. Pour plusieurs fokontany, la distance au point d'eau le plus proche (potable ou non) se situe entre 5 et 25 kilomètres. De plus, la salinité des eaux est un frein à la potabilité de l'eau. La conductivité des eaux dépasse fréquemment les 3000 µS/cm.

La géologie complexe, la répartition aléatoire des nappes d'eau salée ou non, les faibles débits rencontrés ou encore le manque de données géologiques et hydrogéologiques, sont autant de facteurs qui repoussent les entreprises de forages de travailler dans la région Androy.

Dans ce contexte particulier, MSF a réalisé en 2022 une étude hydrogéologique sur la région Androy (Médecins sans Frontières France, Décembre 2022) pour déterminer les sites potentiels de réalisation de forages d'eau potable. Cette étude est présentée en Annexe 5. Une prospection géophysique a également été réalisée par la société RockSolid pour compléter les résultats de l'étude hydrogéologique (RockSolid, 2022). Les résultats de cette prospection sont fournis en Annexe 6.

A partir des éléments suivants :

- Etude bibliographique ;
- Mesures et observations de terrain ;
- Recherche de linéaments et structures tectoniques ;
- Campagne géophysique par panneaux électriques (RockSolid, 2022) ;

Six emplacements de forages ont été définis par MSF au droit des communes suivantes : Jafaro (Androy), Ifotaka (Anosy), Ambovombe (Androy) et Sihanamaro (Androy). D'après les données géologiques et géophysiques compilées, ces forages seraient productifs. Leurs coordonnées sont fournies dans le Tableau 8.

Parmi ces six forages, quatre ont finalement été réalisés (Figure 6) :

- Trois forages réalisés par la société BushProof, d'octobre 2022 à février 2023, au droit des terrains gneissiques de la commune de Jafaro ;
- Un forage réalisé par la société OMNIS, de décembre 2022 à mai 2023, au droit des sables de la commune d'Ifotaka (forage d'Ambatomainty). Les forages de Botreoke (commune d'Ambovombe) et Taranake (commune de Sihanamaro) n'ont pas pu être réalisés pour des raisons techniques.

Tableau 8 : coordonnées des forages prospectifs 2022 – 2023

Nom du forage (= nom fokontany)	Commune	Longitude	Latitude	X_WGS84	Y_WGS84
Adahizozaka-Haut	Jafaro	045°26'30,8"E	024°50'30,3"S	45,4418889	-24,8417500
Antanivelo	Jafaro	045°24'34,3"E	024°55'27,2"S	45,4095278	-24,9242222
Ankobo	Jafaro	045°24'34,2"E	024°56'52,6"S	45,4095	-24,9479444
Ambatomainty	Ifotaka	046°09'54,5''E	024°56'52,4"S	46,16513	-24,94788
Botreoke	Ambovombe	046°04'57,0"E	025°03'20,6"S	46,0825	-25,05572
Taranake	Sihanamaro	045°49'58,4"E	025°07'45,9"S	45,83289	-25,12941

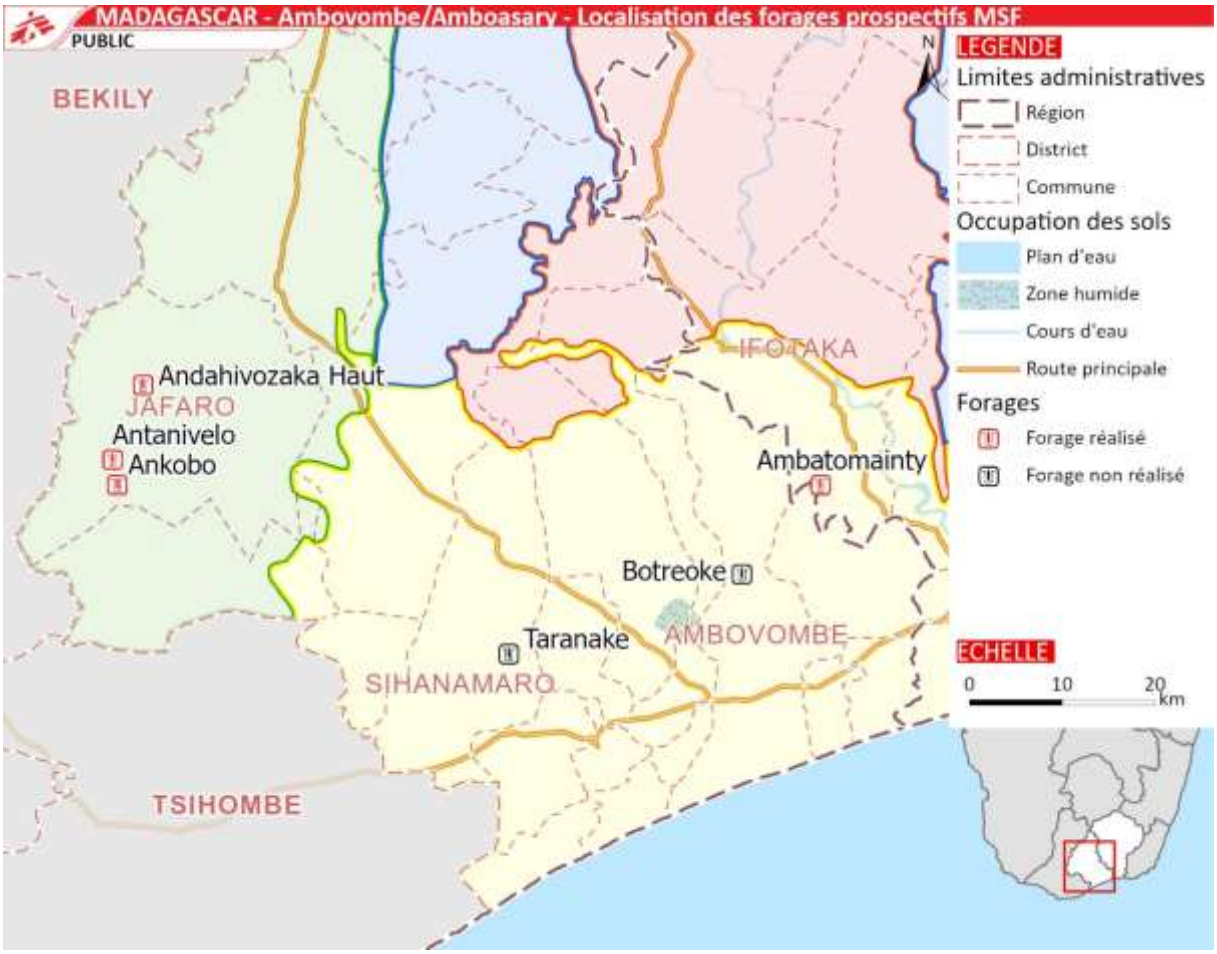


Figure 6 : localisation des forages prospectifs 2022 – 2023

5.2.2. Forages sur la commune de Jafaro (domaine Anosyen)

Trois forages ont été réalisés au droit de la commune de Jafaro, dans les fokontany suivants : Andahivozaka-Haut, Antanivelo et Ankobo. Ces forages sont situés au droit du domaine géologique Anosyen. D'après les coupes géologiques des forages (BushProof), les roches rencontrées sont des gneiss plus ou moins migmatisés (fusion partielle de la roche), des andésites, des basaltes et des granites.

Les dossiers techniques des forages réalisés par BushProof sont présentés en Annexe 7.

Les cuttings du forage d'Antanivelo, décrits par MSF, présentent les minéraux suivants : micas noir (biotite ou phlogopite), quartz, clinopyroxène ou hornblende (différenciation à l'œil nu difficile),

feldspath plagioclase, graphite, grenat, minéral vert (chlorite ?). Ces gneiss appartiennent à la formation de Bekily du groupe de Mangoky du domaine Anosyen. Une planche photographique des cuttings de forage est présentée Figure 7.

Les cuttings du forage Ankobo n'ont pas été décrits par MSF. La présence d'andésite et de basalte, décrits dans la coupe géologique du forage, apparaît peu probable au vu du contexte géologique du secteur.

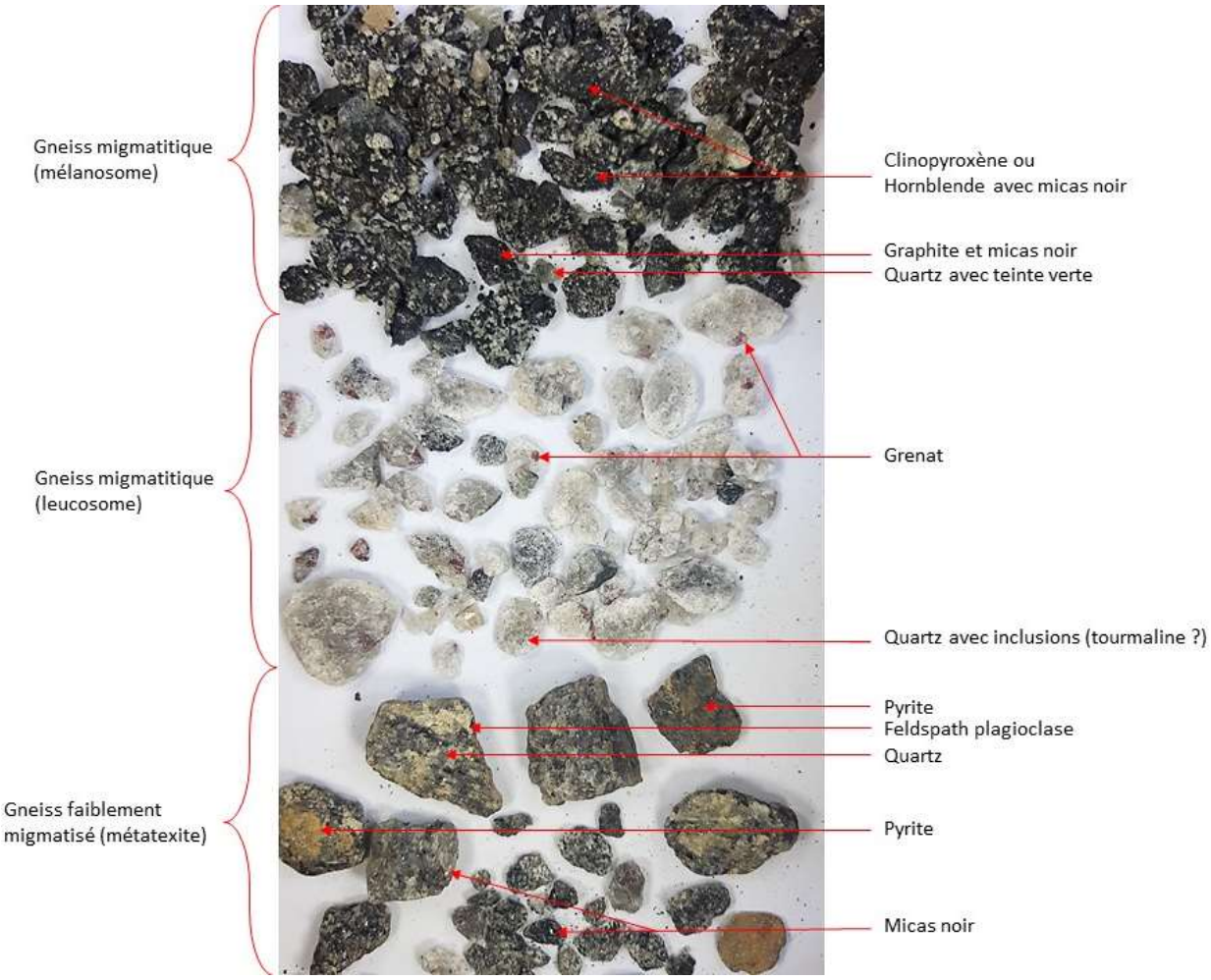


Figure 7 : gneiss et minéraux constitutifs rencontrés lors de la foration du forage d'Antanivelo

Les caractéristiques hydrogéologiques des trois forages sont reportées dans le Tableau 9. Le débit des forages reste faible. Les débits critiques sont inférieurs à ceux mesurés dans les ouvrages du district d'Amboasary-Atsimo (cf. Tableau 4 et Tableau 5). Les conductivités des forages sont assez élevées mais ne dépassent pas le seuil de 3000 µS/cm (norme malgache imposée pour la potabilité de l'eau). Elles sont toutefois supérieures aux conductivités mesurées dans les gneiss du domaine Anosyen (cf. Tableau 5). Cette supériorité peut s'expliquer par une minéralogie plus riche en ions chlorures et ferromagnésiens, notamment par la présence de phlogopite, clinopyroxène et chlorite.

<u>Remarque :</u> l'érosion de la phlogopite est une source potentielle de la salinité des eaux. De grandes valeurs de conductivités (de 5500 à 17 000 µS/cm) ont été mesurées dans des puits situés près de carrières de phlogopites. La concentration maximale mesurée en ions chlorure était de 17 g/L (Aurouze, 1959).

Tableau 9 : caractéristiques hydrogéologiques des forages

Nom site	Altitude forage (m)	Profondeur forage (m)	Géologie rencontrée	Niveau statique (m/sol)	Débit critique* (m3/h)	Débit essai 24h (m3/h)	Stabilisation niveau dynamique	Horizons aquifères	Conductivités (µS/cm)
Andahivozaka-Haut	253	37	Gneiss migmatitique	9,07	0,24	0,23	OUI	Gneiss altéré (45% du débit) et gneiss migmatitique (55% du débit)	2450
Antanivelo	254	40	Gneiss migmatitique	7,82	Entre 0,25 et 0,51	0,23	OUI	Altérites (31% du débit) et gneiss fissuré (69% du débit)	2280
Ankobo	187	60	Andésite, basalte, migmatite, granite	6,96	Entre 0,28 et 0,33	0,24	OUI	Andésite, basalte, granite (répartition homogène du débit)	2810

**Débit critique : déterminé par méthode graphique à partir des données des essais de pompage par paliers*

Les pseudo-sections électriques des trois forages sont présentées sur les Figure 9, Figure 10 et Figure 10 ci-dessous.

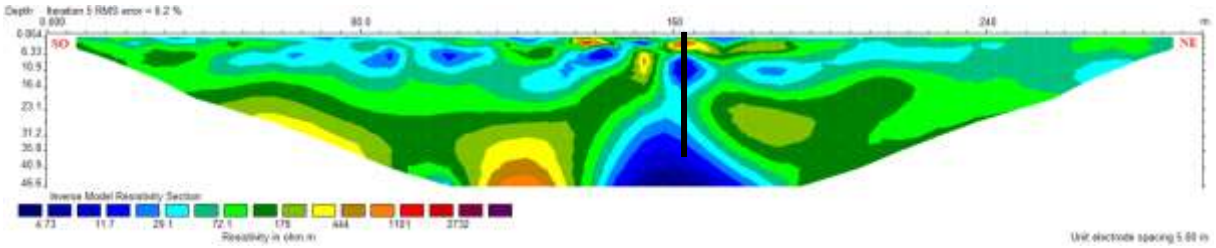


Figure 8 : localisation du captage d'Andahivozaka-Haut sur la pseudo-section électrique (abscisse 163 m)

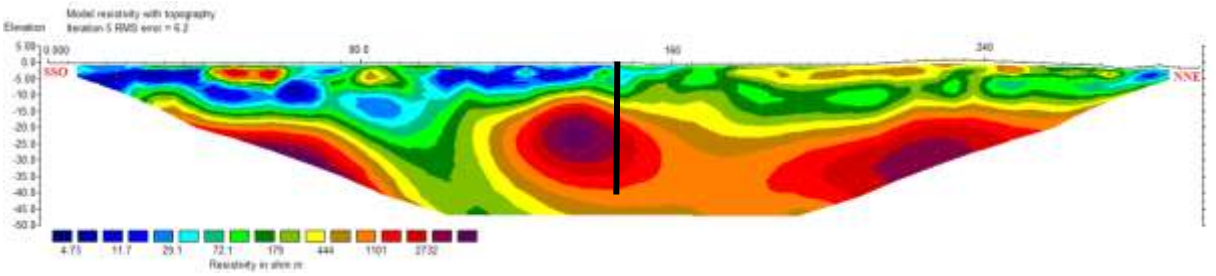


Figure 9 : localisation du captage d'Antanivelo sur la pseudo-section électrique (décalage du forage de 80 m par rapport au profil – abscisse 146 m)

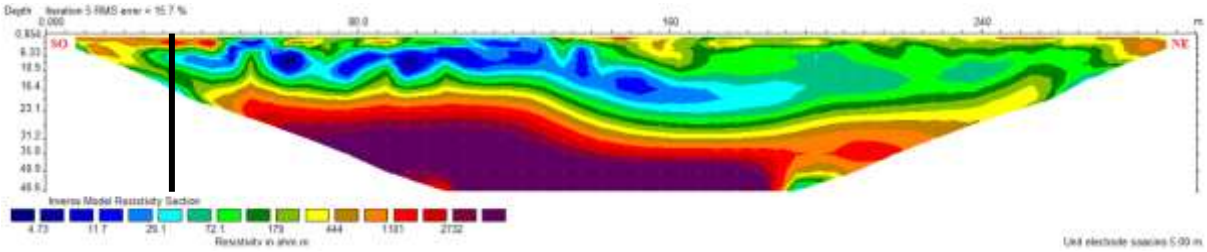


Figure 10 : localisation du captage d'Ankobo sur la pseudo-section électrique (abscisse 32 m)

5.2.3. Forage d'Ambatomainty

Le forage d'Ambatomainty a été réalisé au droit des sables de la commune d'Ifotaka, dans le bassin sédimentaire d'Ambovombe. La profondeur du forage est de 99,88 m par rapport au terrain naturel. La coupe géologique du forage, réalisée à partir de la description des cuttings, donne une épaisseur de sable d'environ 49 mètres. Sous ce sable est présent un grès calcareux à grains plus ou moins fins.

Aucune venue d'eau nette n'a été repérée lors de la foration (foration à la boue et venue d'eau en quantité infime). Néanmoins, la coupe lithologique montre trois niveaux oxydés : de 75 à 78 m, de 78 à 85 m et de 88 à 92 m. Ces traces d'oxydation témoignent d'une circulation d'eau au sein des grès calcareux.

A noter que le développement a été réalisé par soufflage simple colonne à 17 bars, à 67 m de profondeur. Seules quelques gouttelettes d'eau remontent du forage, avec présence de sables. Une estimation grossière du débit en sortie de forage donne 2,5 litres par heure. Les essais de pompage n'ont pas été réalisés (pompe surdimensionnée pour les essais).

La conductivité est faible, aux alentours de 500 – 600 µS/cm. Deux horizons possèdent une conductivité plus élevée : de 67 à 73 m (1066 et 1057 µS/cm) et de 97 à 99,8 m (1830 et 1984 µS/cm).

Le niveau d'eau mesuré le 16 mai 2023, soit deux semaines après la fin du forage, est de 86,7 m/terrain naturel. Cette mesure montre que les premiers horizons gréseux ne sont pas aquifères. Le débit provient des derniers horizons captés par le forage de 86 à 100 m.

Ces résultats montrent le potentiel aquifère très limité des sables et grès de la région d'Ifotaka.

Le forage est pour le moment protégé par un capot acier cadenassé (Figure 11). Des essais de pompage pourraient être envisagés afin de déterminer la transmissivité de la nappe et la capacité de réalimentation du forage.

Le rapport de fin de travaux du forage (Office des mines nationales et des industries stratégiques (OMNIS), 2023) et les photographies des cuttings sont présentés en Annexe 8.

Figure 11 : photographies du forage d'Ambatomainty protégé par un capot acier cadenassé

5.3. Forages de l'hôpital d'Ambovombe

Deux forages ont été réalisés par l'entreprise BushProof en avril et mai 2022 au Centre Hospitalier Régional d'Ambovombe (Figure 12). Leurs profondeurs sont de 30,40 m/sol (forage F1) et 35,00 m/sol (forage F2). Les coupes techniques et géologiques des forages sont présentées en Annexe 9. Les essais de pompage sur ces forages indiquent des débits de 0,2 m3/h pour F1 et 0,3 m3/h pour F2. La conductivité mesurée est de 2310 µS/cm pour F1 et 1922 µS/cm pour F2.

Des analyses physico-chimiques ont été réalisées par BushProof sur les eaux des forages en mai 2022. Les résultats de ces analyses sont présentés en Annexe 10.

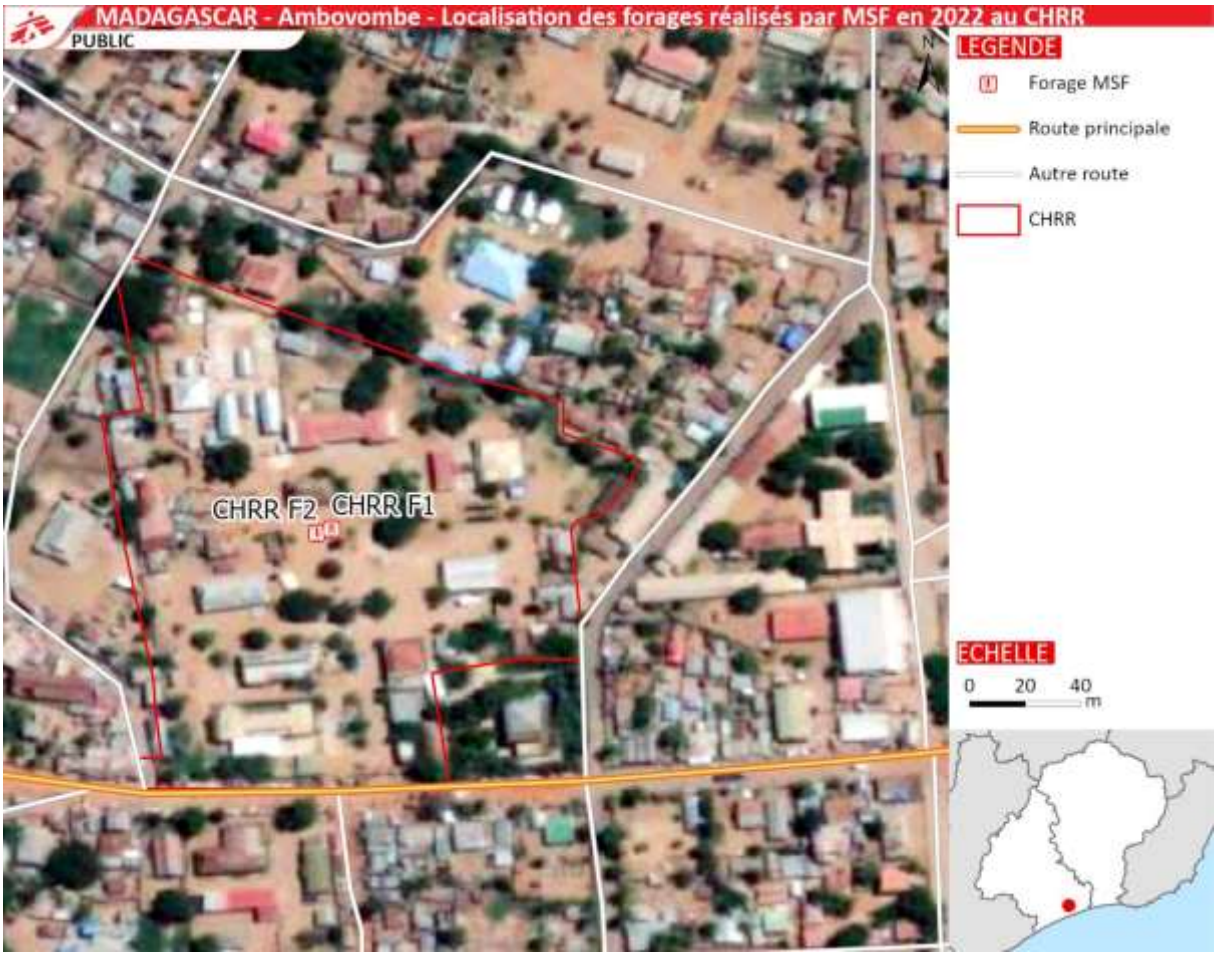


Figure 12 : localisation des forages du Centre Hospitalier Régional d'Ambovombe

6 Conclusion

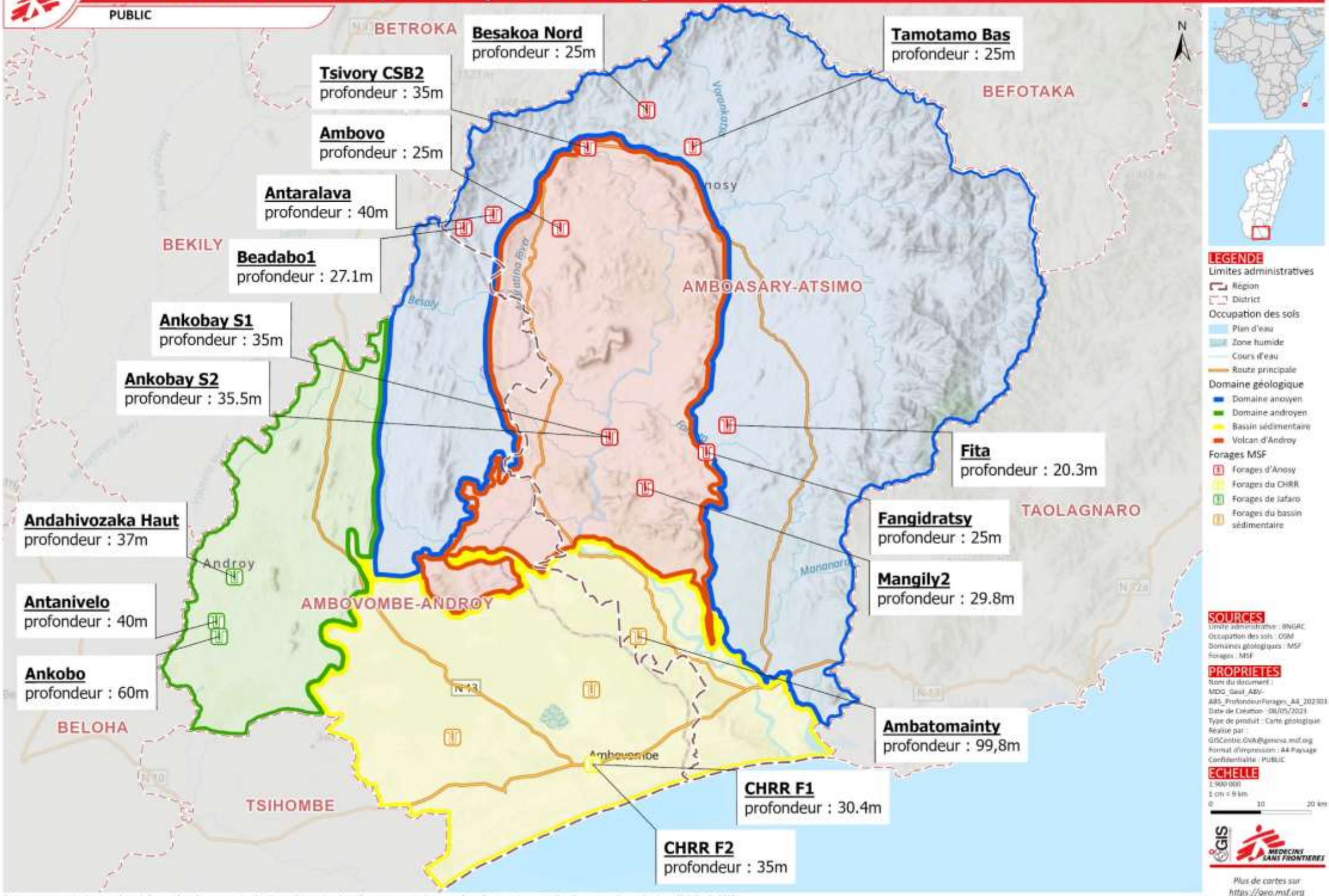
Les campagnes de forages MSF, réalisées sur les régions de l'Anosy et de l'Androy, entre 2021 et 2023, montrent que :

- Les débits des forages réalisés au droit des formations volcaniques et gneissiques sont faibles. Leurs débits critiques varient entre 0,2 et 2,0 m^3/h, excepté pour le forage de Fita où le débit critique est supérieur à 6 m^3/h (gneiss à grande fracture).
- Les puits à faible profondeur, situés dans les lits de cours d'eau, donnent des débits intéressants. Cependant, ces ouvrages ont été détruits par les crues liées aux passages des cyclones Emnati et Batsiraï en janvier et février 2022. Pour la pérennité de tels ouvrages, il est nécessaire de les réaliser en dehors du lit majeur des rivières (inondé en cas de crue).
- Les conductivités mesurées au droit du système Anosyen sont correctes (< 840 µS/cm, excepté pour les forages de Fangidraty et Mangily II). Elles sont plus élevées au droit des formations basaltiques du volcan d'Androy (environ 1500 µS/cm). Dans la zone de Jafaro (région Androy), les conductivités varient entre 2280 et 2810 µS/cm.
- Les résultats de la prospection hydrogéologique au droit des sables de la commune d'Ifotaka n'ont pas été positifs. Le potentiel aquifère de cette région est faible, voire nul. Des essais de pompage pourraient être réalisés sur le forage d'Ambatomainty afin de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe.

Les Figure 13 et Figure 14 ci-dessous reprennent les résultats des forages réalisés par MSF entre 2021 et 2023.

MADAGASCAR - Ambovombe/Amboasary - Carte des forages MSF

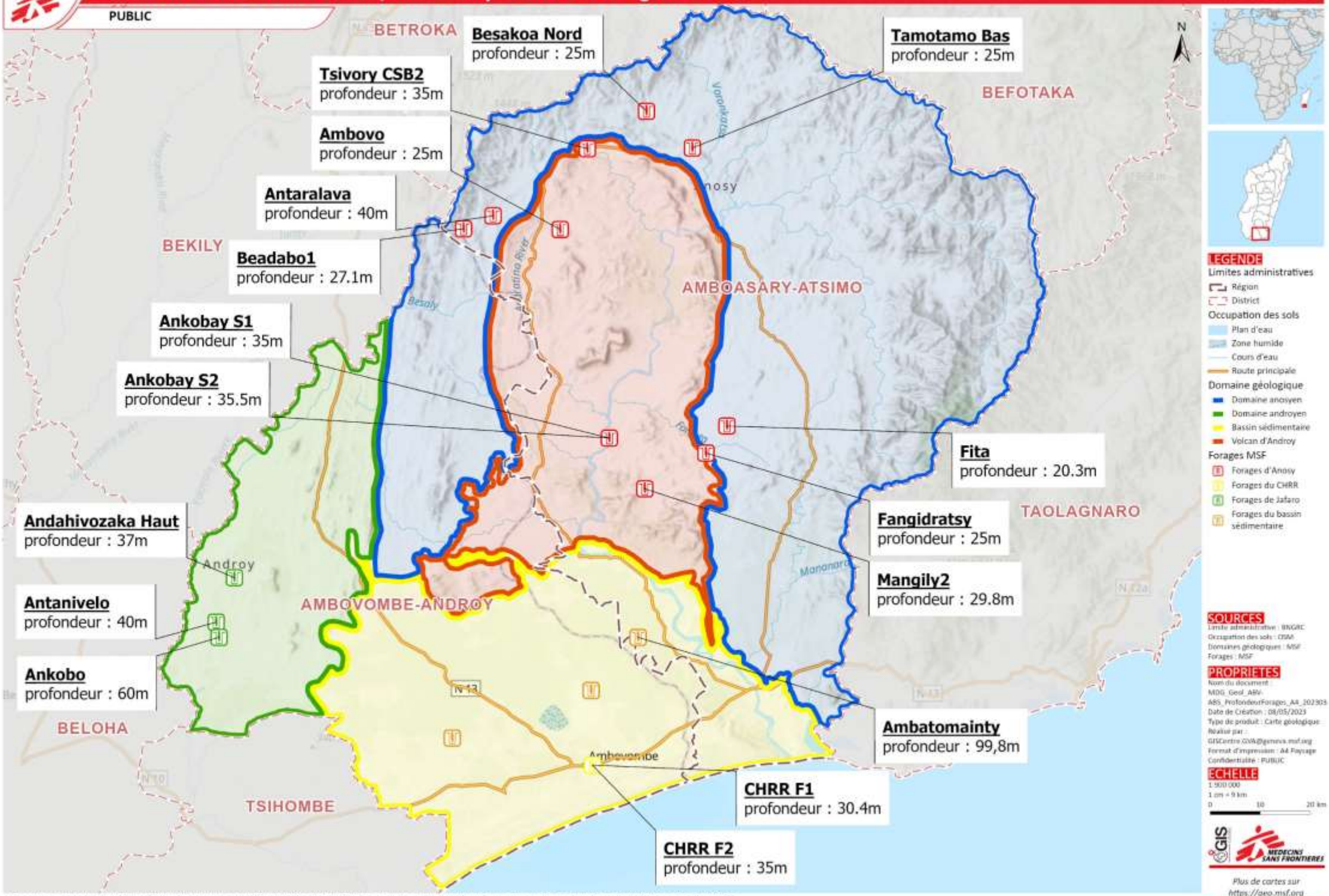
PUBLIC



Cette carte est exclusivement à but informatif et n'a aucune signification politique. Les frontières et noms de lieux représentés sur cette carte n'impliquent pas l'approbation officielle de MSF.

MADAGASCAR - Ambovombe/Amboasary - Carte des forages MSF

PUBLIC



Cette carte est exclusivement à but informatif et n'a aucune signification politique. Les frontières et noms de lieux représentés sur cette carte n'impliquent pas l'approbation officielle de MSF.

7 Références

Aurouze, J. (1959). *Hydrogéologie du Sud de Madagascar.* Thèse doctorale, Université de Paris.

Boger. (2008, mars). Carte géologique de Madagascar 1:500 000 - Feuilles N°11 - Ampanihy, 12 - Tôlanaro. (M. A. GAF AG, Éd.) Madagascar.

BushProof. (Avril 2021). *Etude hydrogéologique - Options d'implantation d'ouvrages de captage des eaux souterraines superficiels - Bassin de la Mandrare, Madagascar.* Antananarivo.

Médecins sans Frontières France. (Décembre 2022). *Prospection hydrogéologique sur l'Androy pour la réalisation de six forages prospectifs.* Ambovombe.

Office des mines nationales et des industries stratégiques (OMNIS). (2023). *Rapport de fin de travaux du forage d'eau - Chantier d'Ambatomainty.*

RockSolid. (2022). *Exploration géophysique.*

RockSolid. (Août 2021). *Exploration du sous-sol en massif fissuré - Haut-Mandrare, Amboasary-sud, Madagascar .* Antananarivo.

Annexe 1 : rapport d'exploration et pseudo-sections de résistivités (RockSolid, Août 2021)

Annexe 2 : dossiers techniques des forages réalisés au droit des formations basaltiques du volcan d'Androy (BushProof, 2022)

Annexe 3 : dossiers techniques des forages réalisés au droit des formations gneissiques du système Anosyen (BushProof, 2022)

Annexe 4 : étude hydrogéologique pour l'implantation de puits à faibles profondeurs dans le bassin versant de la Mandrare (BushProof, Avril 2021)

Annexe 5 : prospection hydrogéologique sur la région Androy pour l'implantation de forages d'eau potable (Médecins sans Frontières France, Décembre 2022)

Annexe 6 : études géophysiques pour les forages prospectifs de la région Androy (RockSolid, 2022)

Annexe 7 : dossiers techniques des forages de Jafaro (BushProof, 2023)

Annexe 8 : dossier technique du forage d'Ambatomainty (Office des mines nationales et des industries stratégiques (OMNIS), 2023) et photographies des cuttings

Annexe 9 : coupes techniques et géologiques des forages de l'hôpital d'Ambovombe (BushProof, 2022)

Annexe 10 : résultats d'analyses physico-chimiques des eaux des captages du Centre Hospitalier Régional d'Ambovombe (BushProof, 2022)