

Synthèse de l'hydrologie, de la géologie et de l'hydrogéologie de Madagascar intégrée dans le SESAM (suivi-évaluation de l'eau et de l'assainissement de Madagascar)

Par Rakotondrainibe Jean Herivelo
2016

Table des matières

Synthèse de l'hydrologie, de la géologie et de l'hydrogéologie de Madagascar intégrée dans le SESAM (suivi-évaluation de l'eau et de l'assainissement de Madagascar)	1
1. Situation géographique.....	1
2. Contexte géomorphologique	2
3. Contexte climatologique	2
3.1. Températures	2
3.2. Pluviométrie	5
3.3. Bilan hydrologique selon Thornthwaite.	6
4. Contexte hydrologique.....	7
4.1. Les rivières de Madagascar	7
4.2. Les Bassins Hydrologiques dans les 22 Régions (22 agences de bassins)	8
4.3. Caractéristiques des principales rivières de Madagascar	10
4.4. Les principaux lacs malgaches de Madagascar	11
5. Contexte géologique :	11
5.1. La lithostratigraphie de Madagascar	11
5.2. Le socle cristallin	12
5.3. Les Bassins sédimentaires	14
6. Contexte hydrogéologique	17
6.1. Paramètres de la zonation hydrogéologique	17
6.2. Les 8 zones hydrogéologiques	18
7. Utilisation de l'eau : volume des ressources utilisées.....	22
7.1. Utilisation de l'eau pour l'approvisionnement en eau potable.....	22
7.2. Utilisation de l'eau en agriculture	22
7.3. Utilisation de l'eau en hydroélectricité.....	23
7.4. Utilisation de l'eau dans l'industrie.....	23
7.5. Répartition de l'utilisation des eaux souterraines et eaux de surface	25
8. Bilan Hydrique de Madagascar : volumes des ressources en eaux disponibles.....	25
8.1. Les eaux de surface	25
8.2. Les eaux souterraines	26
9. Adéquation Ressources en eaux disponibles/Ressources en eaux utilisées : GIRE (Gestion intégrée des ressources en eaux).....	26

1. Situation géographique

L'île de Madagascar, d'une superficie de 592000 Km², avec une longueur de 1600 km du Nord au Sud sur une largeur de 600 km au maximum de l'ouest à l'Est, se trouve entre 12° et 25°30 de

latitude (SUD), 42 et 50 de longitude (EST), à 300 Km à l'Est de la côte africaine, dans la zone intertropicale.

2. Contexte géomorphologique

La géomorphologie de Madagascar est caractérisée par 2 ensembles :

- Une région élevée appelée les hauts plateaux de Madagascar, s'étendant sur les 2/3 de la superficie totale, qui représente le socle précambrien altéré et aplani. Le paysage caractéristique montre des collines latéritiques arrondies séparées par des plaines alluviales suivant le réseau hydrographique. On y rencontre les reliefs élevés de Madagascar, le maximum étant de 2.876m (massif du Tsaratanana). Les hauts plateaux s'abaissent progressivement vers l'ouest à partir d'une altitude moyenne de 2000m, par des pénéplaines étagées, et brusquement par 2 falaises vers l'Est.
- Des bassins sédimentaires côtiers occupant le 1/3 de la superficie totale, dont la différenciation régionale permet de distinguer :
 - Le bassin du Nord dominé par des massifs volcaniques et calcaires karstifiés, de faible étendue, avec une petite plaine argileuse côtière.
 - Le grand bassin de l'Ouest descendant en pente douce vers l'Ouest avec des paysages de cuesta dans les massifs gréseux et volcaniques du crétacé, les plateaux calcaires du jurassique et de l'Ouest, et des plaines argileuses et sableuses.
 - Le bassin du sud, pénéplaine continentale descendant en pente douce vers le sud, dominée par des dunes anciennes et récentes le long de la côte.
 - Le bassin étroit de la côte Est descendant en pente vers l'est

Les côtes de Madagascar sont dominées par des mangroves et des marécages le long de la côte ouest, par des dunes dans la partie Sud-Ouest et extrême-Sud, et par des plages sableuses à l'Est.

3. Contexte climatologique

La situation de la climatologie de Madagascar est caractérisée dans cette synthèse par les données sur la température, la pluviométrie et le bilan hydrologique calculé par la méthode de Thornthwaite.

3.1. Températures

Les données moyennes de températures à Madagascar sont présentées dans le tableau ci-dessous. Elles sont obtenues par les mesures effectuées par la météorologie nationale dans 105 stations sur plusieurs années.

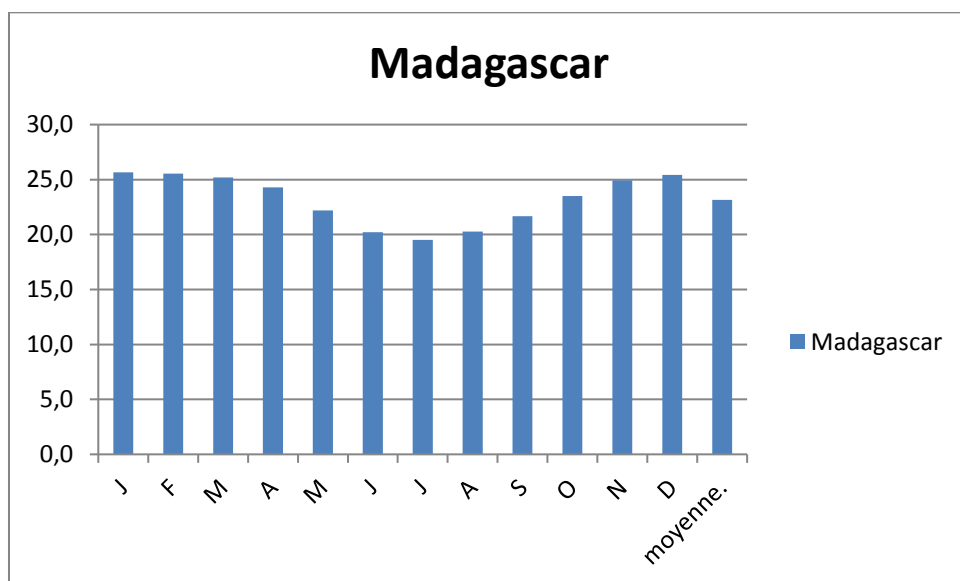
N°	Stations météo	LONGITUDE	LATITUDE	Températures moyennes mensuelles et températures moyennes annuelles												moyennes
				J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1	ALAOTRA	48,48480	-17,63870	23,4	23,1	23	21,7	19,6	17,8	16,9	17,3	18,6	20,3	22,4	23,2	20,6
2	AMBANIVANIBE	49,26730	-12,58410	25,2	24,9	25,1	24,8	23,9	22,6	21,7	21,9	22,6	25,8	24,7	25,2	23,8
3	AMBAJUA	48,43630	-13,65910	26,9	27	27,2	27	25,8	24,4	23,6	26,9	25,1	26,2	27	27,2	25,9
4	AMBATO-BOENI	46,70890	-16,45450	27	27,5	27,3	27,2	26,1	24,6	24	24,9	26,3	28,3	29	28	26,6
5	AMBATONDRAZAKA	48,43290	-17,83820	23,9	23,7	23,6	22,5	20,5	18,7	17,9	18,2	19,5	21,3	23,2	23,9	21,4
6	AMBILOBE	49,05920	-13,17430	27,3	27,3	27,3	27,3	26,7	25,1	24,3	24,9	25,7	27,2	28,1	27,9	26,6
7	AMBODIFOTOTRA	49,86050	-16,99390	26,8	26,5	26,2	25,2	23,9	22,4	21,6	21,7	22,4	23,6	25,1	20	24,2
8	AMBOHIBARY - ANTSIRABE	46,99060	-19,81460	18,6	18,6	18,2	16,6	14,5	12,6	11,9	12,9	14,7	16,6	17,6	18,1	15,9
9	AMBOSITRA	47,21630	-20,53260	20,7	20,5	20,1	19	16,7	14,7	14	14,5	16	18,5	20	20,5	17,9
10	AMBOVOMBE	46,08140	-25,17350	26,7	26,8	25,6	24,4	21,5	19,6	17,9	19,8	21,5	23,6	25,2	26,4	23,4
11	AMPANDRANDAVA - BEKILY	45,69780	-24,06850	26,5	26,6	25,5	24,7	22	19,9	19,4	20,9	22,7	25,1	26,2	26,4	23,8
12	AMPANGABE	48,27720	-18,48670	22,6	22,3	21,9	20,8	18,5	16,5	15,8	16,2	17,4	19,7	22,1	22,7	19,7
13	AMPANIHY - EST	47,33950	-23,96060	26	25,8	24,8	24,2	21,8	20	19,2	19,9	21	23,4	24,9	25,4	23
14	AMPANIHY - OUEST	44,72850	-24,69170	27,5	27,5	26,8	25,3	21,9	20,1	19,5	21,1	22,8	25,5	26,8	27,7	24,4
15	AMPASIMPOLAKA (AMBOASARY)	46,40400	-25,13590	27,2	27,2	26,9	25,5	23,1	20,5	20,1	20,9	22,6	24,4	25,3	26,8	24,2
16	AMPATAKAMARENY	48,79530	-16,49360	22	21,2	21,5	20,7	18,9	17,2	16,7	16,8	17,6	19	20,7	21,7	19,5
17	AMPOTAKA - MAROLINTA	44,67890	-25,05020	27,7	27,9	27,2	24,9	21,9	19,6	18,9	20,6	22,4	24,4	26,2	27,2	24
18	ANALALAVA	47,74850	-14,84890	26,4	26,7	27,1	27,6	26,8	25,8	25,1	25,5	26,1	24,9	27	26,5	26,4
19	ANALAMAZAOTRA	48,42050	-18,92490	22	21,9	21,1	20,1	18,7	16,3	15,1	15,5	16,7	18,3	20,5	21,7	19
20	ANDAPA	49,67190	-14,66710	24,8	24,6	24,7	23,4	21,6	19,7	18,8	19,8	19,5	21	23	24,4	22
21	ANDROKA	44,08500	-25,01490	27,2	27,2	26,5	24,7	22,3	20,3	19,8	20,8	21,7	23	24,6	26,3	23,7
22	ANKAVANDRA	45,29030	-18,77180	27,7	27,6	27,7	27,5	25,5	23,5	23,5	25	26,8	28,5	28,5	25,1	26,4
23	ANKAZOABO - SUD	44,51830	-22,29150	26,8	26,8	26,2	25,1	22,3	20,4	20,1	21,6	23,9	26,4	27,4	27	22,3
24	ANKAZOB E	47,08160	-18,29210	21,5	21,6	21,4	20,6	18,4	16,6	15,7	16,7	13	20,4	21,5	21,7	19,3
25	ANOSIBE	48,17890	-19,41640	23,8	23,7	23	22	19,7	17,8	17	17,2	18,4	20,2	22	23,5	20,7
26	ANTALAHA	50,26860	-14,92400	26,1	26,2	26,1	25,3	24,1	22,6	21,7	21,8	22,2	23,2	24,5	25,6	24,1
27	ANTANIMORA - SUD	45,66690	-24,80420	27,1	26,8	25,8	24,6	21,9	19,9	19,5	20,8	22,6	25,2	26,1	26,7	23,9
28	ANTANIMORA - FORET	45,67140	-24,79930	27,2	27,3	25,1	26,1	26,3	22,5	19,8	21	23,6	25,6	27	26,4	24,4
29	ANTOKAZO	48,56760	-17,65870	22,3	22,2	21,8	20,7	18,7	16,5	15,2	16,2	17,7	19,5	21,4	22,2	19,5
30	ANTSAKABARY -(Befandriana - Nor	48,93600	-15,03290	25,2	25,7	25,6	24,5	22,6	21	19,9	20,4	21,3	23,3	25	27,7	23,3
31	ANTSIRABE (Ecole)	47,04890	-19,86670	19,9	19,7	19,2	17,7	15	13,1	12,5	13,5	15,2	17,7	19,1	19,6	16,8
32	ANTSOHY H	47,96060	-14,89180	27,8	27,8	28	27,8	26,4	24,8	24,3	25	26,4	28,2	28,8	28,4	26,9
33	ARVONIMAMO	47,16050	-19,02990	20,2	20	19,7	18,6	16,3	14,6	13,9	14,6	16,4	18,3	19,8	20,1	17,7
34	BEALANANA - BETANIKAKANA	48,73490	-14,55090	22,1	22,2	22,1	21,4	19,7	17,8	16,9	17,3	18,3	20,4	21,9	22,3	18,3
35	BEFANDRIANA - nord	48,56090	-15,24960	28,4	20,4	26,4	26,6	25,1	23,7	23,7	24	25,2	26,6	27,3	27	25,7
36	BEHARA	46,39340	-24,94250	28,2	28,4	27,1	25,5	22,1	20,4	19,2	20,7	22,8	25,1	26,4	27,9	24,4
37	BEKILY	45,30760	-24,24080	27,5	27,2	26,2	25,2	21,5	19,4	18,8	20,6	22,8	25,6	27,1	27,4	24,1
38	BEKODOKA	45,10400	-16,96920	25,9	26,1	26,2	26,5	24,8	23	22,7	23,7	25,1	26,4	27	26,4	25,3
39	BELOHA	45,06900	-25,16380	28	29,1	26,9	25,2	22,1	19,6	19,1	20,8	22,7	25	26,2	27,5	24,3
40	BEROROKA	45,17150	-21,66790	28,9	28,7	27,9	27	23,7	21,6	21	22,8	25,6	28,4	29,4	29	26,1
41	BESALAMPY	44,47220	-16,75940	27,3	27,4	27,5	27,7	26	24,3	23,9	24,7	25,9	27,2	27,9	27,9	26,4
42	BETIOKY - S U D	44,37870	-23,72910	27,6	27,7	27	25,5	22,6	20,3	19,9	21,6	23,4	25,9	27,2	27,6	24,6
43	BETOMBO	44,96960	-19,68700	28,6	28,6	28,2	27,9	25,5	23,6	23,1	25	27,1	28,9	29,6	29	27,1
44	BETROKA	46,07270	-23,27250	24,8	24,8	23,8	22,8	19,8	17,6	17,1	18,1	20,2	23,5	25	25	21,9
45	BEZAHA	44,50320	-23,48970	28,4	28,8	27,7	26,2	22,7	20,2	20	21,4	24	26,7	28	28,5	25,2
46	DIEGO - SUAREZ	49,30490	-12,30840	27,6	27,5	28,1	27,9	27,3	26	26,1	25	25,5	26,3	27,4	28	26,8
47	FARAFANGANA	47,80860	-22,81850	25,8	25,7	25,1	23,9	21,8	20,3	19,6	19,9	20,9	22,3	23,3	25,1	22,8
48	FASCEINE (NOSSI-BE)	48,26900	-13,38420	26,9	26,8	26,9	26,9	25,5	24,1	23,3	23,8	24,8	26,1	26,9	27,5	25,7
49	FENERIVO -EST	49,41760	-17,38430	26,5	26,4	26,1	25	23	21,8	21	21	21,8	23	24,8	25,9	23,8
50	FIANARANTSOA	47,05710	-21,45950	21,3	21,1	20,6	19,5	17	15,2	14,5	15,3	16,8	19,1	20,7	21,3	18,5
51	FORT - DAUPHIN	46,97460	-25,01950	25,7	25,7	24,9	23,9	21,8	20,3	19,7	20,1	21,2	22,5	23,9	25,2	22,9
52	IFANADIANA	47,62060	-21,29540	24,4	24,1	23,4	22,5	19,9	18,2	17,6	18,1	19,5	21,6	23,3	24,4	21,4
53	IHOSY	46,10100	-22,41500	24,4	24,3	23,5	22,5	19,9	18	17,4	18,6	20,6	23,1	24,1	24,4	21,7
54	ISALO	45,43390	-19,73120	28,7	28,6	28,3	27,8	25,2	23	22,4	24,4	26,8	28,7	29,7	29	26,8
55	IVATO-AEROPORT	47,48250	-18,78710	21,4	21,2	20,9	19,6	17,5	16,2	14,5	14,9	16,7	18,8	10,5	21,2	18,5
56	KANDREHO	46,10480	-17,46860	27	27,3	27,5	27,5	26	24,3	23,8	24,8	26,4	27,9	28,4	28	26,5
57	MAEVATANANA	46,82390	-16,93490	27,8	27,9	27,9	28,3	27,1	25,4	25	26	27,4	28,9	29,3	28,5	27,4
58	MAHABO	44,65700	-20,39060	27,8	28,3	27,9	26,9	24,1	23,7	22,8	23,3	25,6	27,4	28,7	26,3	26
59	MAHAJAMBA	47,11800	-15,70070	28	28,1	28,4	27,6	26,4	24,6	23	24	25,8	27,5	28,9	28,5	26,7
60	MAHANORO	48,81610	-19,88850	26,1	26	25,6	24,7	22,8	21,2	20,5	20,7	21,5	22,7	24,2	25,4	23,4
61	MAINIRANO	44,02430	-18,07300	29,3	27,5	27,8	27	25	23,1	22,6	23,4	24,8	26,8	27,2	27,6	25,7
62	MAJUNGA	46,31630	-15,70640	27,3	27,4	27,7	28,1	26,8	25,3	25	25,5	26,4	27,5	28	27,8	26,9
63	MALAMBANDY	45,65760	-20,33570	28	28,2	28,1	27,3	24,8	23	22,8	24,1	26,3	28,4	28,9	28,4	26,5
64	MANAKAMBAHNY - EST	48,67520	-17,75410	22,6	22,3	22	20,9	19	16,8	16	16,3	17,3	19	21,2	22,2	19,6
65	MANAKARA	48,02060	-22,13360	25,9	25,8	25,2	24,1	22,1	20,6	19,8	20,1	20,8	22,2	23,8	25,1	22,9
66	MANANARA - NORD	49,76790	-16,15810	26,8	26,8	26,5	25,7	24	22,4	21,7	21,4	22,5	25,4	25	26,2	24,3
67	MANANJARY	48,34820	-21,22010	26,1	25,9	25,2	24,1	22,2	20,6	20	20,2	21,2	22,6	24,3	25,4	23,1
68	MANDRITSARA	48,80980	-15,84120	26,4	26,4	26,4	25,6	23,9	22,1	21,2	21,4	22,4	24,2	26,2	26,9	24,4
69	MANGINDRANO	48,96330	-14,25220	22,2	21,7	21,7	21	19,6	17,9	16,7	16,8	17,9	20	21,7	22,2	19,9
70	MANTASOA	47,83530	-19,01330	19,5	19,6	19,1	17,6	15,3	13,4	12,3	13	14,5	16,5	18,9	19,3	16,5
71	MAROANTSETRA	49,75450	-15,42440	26,8	26,7	26,5	25,4	23,5	22	21,2	21,8	23,1	24,9	26,1	24,1	
72	MAROTANDRANO	48,84840	-16,16100	25,6	25,4	25,2	24,6	22,8	21,3	20,5	20,7	21,5	23,1	25,1	25,3	23,4
73	MAROVITSKA	48,03860	-18,83130	22,7	22,3	21,7	20,7	18,8	16,3	15,9	16,3	17,8	19,8	21,7	22,2	19,6
74	MAROVOAY - MADIROKELY	46,67670	-16,12970	27,9	27,9	28	27,9	26,4	24,8	24,2	25,1	26,6	25,3	29,2	28,7	26,8
75	MIANDRIVAZO	45,47700	-19,													

80	MORONDAVA - VILLE	44,26550	-20,29210	27,6	27,6	27,3	26	23,5	21,6	20,9	21,8	23,5	25,3	26,7	27,4	24,9
81	NOSY - VARIKA	48,51040	-20,58040	26,2	26,1	25,6	24,5	22,8	21,1	20,6	20,7	21,6	22,8	24,4	25,6	23,5
82	PORT - BERGE	47,61170	-15,57960	27,8	28,1	28,1	27,4	28,8	23,8	23,2	24,1	25,7	27,8	29	28,7	26,8
83	RANOHIRA	45,41730	-22,54740	23,9	24,1	23,2	22,3	20,2	17,9	17,3	18,8	20,5	23,2	24,3	24,2	21,6
84	SAKARAH - FORET	44,60160	-22,91490	26,3	26,4	25,1	23,5	20,5	20,3	17,7	19,4	22,2	24,6	25,9	26,2	23,1
85	SAKARAH VILLE	44,53820	-22,90050	26,4	26,4	25,4	23,7	20,5	18,3	17,9	19,6	21,9	24,6	26,2	26,4	23,1
86	SAMBAVA	50,14550	-14,23990	26,9	26,9	26,9	26,1	24,7	23,1	22,3	22,4	22,8	23,9	25,2	26,2	18
87	SOALALA	45,34080	-16,08680	27,5	27,7	27,9	28,1	26,4	24,5	24,1	24,6	25,8	26,9	27,8	28	26,6
88	SOANERANA - IVONGO	49,58600	-16,90560	26,2	26,1	25,7	24,8	23,3	21,7	20,9	20,9	21,5	22,6	24,3	25,5	23,6
89	SOAVINANDRINA	46,73920	-19,15850	19,5	19,4	19,1	18,4	16,4	15	14,3	15,3	17	18,8	19,5	19,5	17,6
90	TAMATAVE - AERO	49,40020	-18,10320	26,4	26,2	25,8	24,5	22,9	21,3	20,6	20,8	21,6	22,8	24,7	25,8	23,6
91	TAMATAVE VILLE	49,40900	-18,12860	26,7	26,6	26,2	25,1	23,4	21,8	21,1	21,2	22	23,2	24,6	26	24
92	TAMBOHORANO	43,96170	-17,49440	27,8	27,8	27,8	27,5	25,3	24	23,6	24,2	25,4	26,2	27,3	27,8	26,2
93	TANANARIVE OBSERVATOIRE	47,56100	-18,90400	21,4	21,4	21	19,9	17,5	15,5	14,8	15,6	17,4	19,7	21,1	21,4	18,8
94	TRANOROA	45,07110	-24,70540	27,8	27,7	26,8	25,2	21,9	19,6	19,2	20,6	23	25,6	26,9	27,6	24,3
95	TSARAMANDROSO (Bevazaha)	47,05480	-16,35460	27,4	27,3	27,4	27,7	26,5	25,3	24,6	25,1	26,4	27,8	28,3	28	26,8
96	TSARATANANA	47,63790	-16,79830	26,1	26,4	26,2	26,5	24,6	23,2	22,5	23,2	24,6	26,2	26,8	25,2	25
97	TSHOMBE	45,48310	-25,31250	27,6	27,7	26,5	25	21,9	19,9	19,2	20,5	22,4	24,7	26,1	27,2	24
98	TSINJOARIVO	47,69010	-19,62130	19,2	19,1	18,7	17,4	15,1	13,3	12	12,7	14,4	16,7	18,4	19	16,3
99	TSIROANOMANDIY	46,05800	-18,75540	23,8	23,7	23,6	23	21,2	19,3	19	20,1	21,9	23,7	23,9	24	22,2
100	TSIVORY	46,08480	-24,05630	26,2	26,3	25,1	23,8	20,6	18,5	18,5	19,6	21,9	24,5	26	26,2	23,1
101	TULEAR	43,67870	-23,33950	27,5	27,6	26,8	25	22,7	20,7	20,1	20,8	22,3	23,8	25,2	26,6	24
102	TULEAR AERODROME	43,72930	-23,37940	27,5	27,7	27	25,1	23,4	21,4	20,5	21	22,6	24	25,3	26,5	24,3
103	VATOIMANDRY	48,98360	-19,31080	25,5	25,3	25,9	24,8	20,2	1,5	0,9	0,9	1,8	3,1	23,8	25,8	23,7
104	VOHEMAR	50,00950	-13,35240	27,3	27,1	27,5	26,4	25,6	24,1	23,2	23,1	23	24,8	25	26,7	25,3
105	VOHIDIALA	48,26740	-17,87850	24,1	23,9	23,6	22,6	20,4	18,7	17,7	18,1	19,5	21,6	23,5	24,2	21,5
	Madagascar			25,7	25,6	25,2	24,3	22,3	20,3	19,6	20,4	21,7	23,6	25,0	25,4	23,2

La température varie de 16 à 20° sur les Hauts-plateaux ; sur les côtes elle décroît assez régulièrement de 26° au Nord à 23° au Sud, la côte Ouest étant plus chaude (moyenne 32°) que la côte Est (moyenne 28°).

La température moyenne annuelle est estimée à 23°2.

Variations mensuelles de la Température à Madagascar

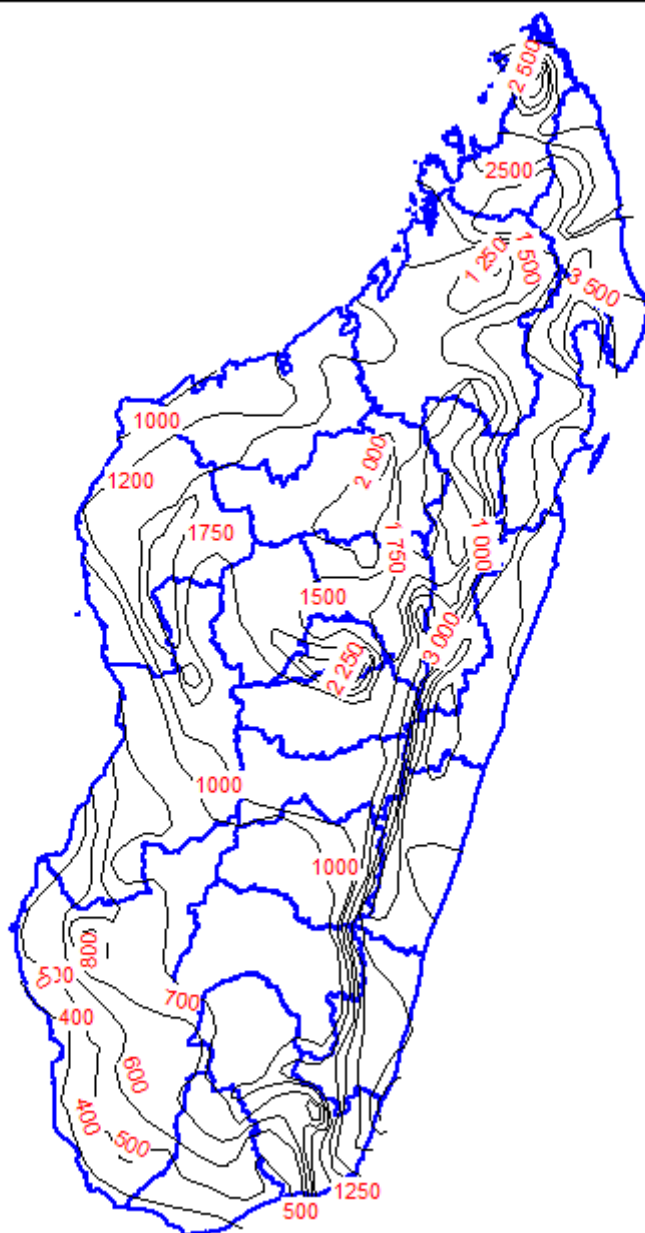


On distingue deux saisons bien marquées :

- La saison fraîche correspondant à l'hiver, de Mai à Octobre, régie par les alizés du Sud-Est apportant un vent frais d'abord humide sur la côte Est, devenant sec sur le reste de l'île. Seule la côte-Est reçoit de la pluie et cette saison est aussi appelée « saison sèche ».
- La saison chaude ou saison des pluies, de Novembre à Avril, est influencée par la Mousson du Nord-Ouest apportant la pluie sur l'ensemble du pays.

3.2. Pluviométrie

Carte isohyètes



La carte permet d'avoir un aperçu sur la répartition globale de la pluviométrie :

- Sur la côte-Est et la plaine du Sambirano (N-NW) règne un climat tropical humide avec des pluies annuelles de 2000 à 3500 mm.
- Les Hauts-plateaux sont soumis à un climat tropical d'altitude, de 1000 mm à 2000 mm de pluies annuelles d'ouest en est.
- Sur la côte-Ouest, existe un climat tropical sec avec des pluies annuelles allant de 800mm à 1500 mm d'ouest en est.
- Dans l'Extrême - Sud, se rencontre un climat semi- aride avec une pluviométrie inférieure de 400 mm (au sud de Toliary 350 mm/an) à 500 mm en allant vers le nord est.

La pluviométrie annuelle moyenne est estimée à 1485,9 mm selon le calcul effectué exploitant les données de pluviométrie mesurées sur une période de 10 ans au moins, dans 105 stations de la météorologie nationale malgache.

3.3. Bilan hydrologique selon Thornthwaite.

A partir des données de températures et de pluies le calcul du bilan hydrologique a été effectué en utilisant la formule de Thornthwaite et a donné les valeurs présentées dans le tableau ci-dessous.

La relation est : $P = E + R + I \pm \Delta S$

P= Pluies, E=Evapotranspiration réelle, R=Ruissellement, I=infiltration, $\pm \Delta S$ = variation du stock d'eau du sol.

N°	STATION METEO	LONGITUDE	LATITUDE	INFILTRATION mm	EVAPOTRANS réelle mm	PLUIES_MM	VARIATION_stock mm	RUISSALLEM mm
1	ALAOTRA	48,48480	-17,63870	100	740.5	1279.6	-91	348.1
2	AMBANIVANIBE	49,26730	-12,58410	90	771	1281	-93	327
3	AMBANJA	48,43630	-13,65910	100	914	2155	-88	1053
4	AMBATO-BOENI	46,70890	-16,45450	84.2	759	1510	-99	567.8
5	AMBATONDRAZAKA	48,43290	-17,83820	96	666	1019	-97	160
6	AMBILOBE	49,05920	-13,17430	98	843.5	1881	-98	841.5
7	AMBODIFOTOTRA	49,86050	-16,99390	100	1003.4	3579	0	2475.6
8	AMBOHIBARY - ANTSIRABE	46,99060	-19,81460	56	725.6	1545	-63	700.4
9	AMBOSITRA	47,21630	-20,53260	72	766.3	1555.8	-72	645.5
10	AMBOVOMBE	46,08140	-25,17350	0	680	577	-112	0
11	AMPANDRANDAVA - BEKILY	45,69780	-24,06850	4	778.6	922	-96	43.4
12	AMPANGABE	48,27720	-18,48670	56.5	759.8	1203.6	-88	299.3
13	AMPANIHY - EST	47,33950	-23,96060	100	967	2915	0	1848
14	AMPANIHY - OUEST	44,72850	-24,69170	0	660.9	566	-94.9	0
15	AMPASIMPOLAKA (AMBOASARY)	46,40400	-25,13590	0	602.1	499	-103.1	0
16	AMPATAKAMARORENY	48,79530	-16,49360	76	804.1	1338	-76	381.9
17	AMPOTAKA - MAROLINTA	44,67890	-25,05020	0	568	437	-131	0
18	ANALALAVA	47,74650	-14,64890	99	773	1900	-99	929
19	ANALAMAZAOTRA	48,42050	-18,92490	33	937.2	1713	-42	700.8
20	ANDAPA	49,67190	-14,66710	88	930	1964	-12	934
21	ANDROKA	44,08500	-25,01490	0	431	344	-87	0
22	ANKAVANDRA	45,29030	-18,77180	98	811	1377	-98	370
23	ANKAZOABO - SUD	44,51830	-22,29150	36	660	722	-90	116
24	ANKAZOB E	47,08160	-18,29210	91	663.5	1458	-55	648.5
25	ANOSIBE	48,17890	-19,41640	100	905	2227	0	1222
26	ANTALAHA	50,26860	-14,92400	100	982.6	2151	0	1068.4
27	ANTANIMORA - SUD	45,66690	-24,80420	0	708.2	541.2	-167	0
28	ANTANIMORA - FORET	45,67140	-24,79930	0	589.9	487	-102.9	0
29	ANTOKAZO	48,56760	-17,65870	93	673	1127	-93	268
30	ANTSAKABARY - (Befandriana - Nord)	48,93600	-15,03290	97	731	1260	-97	335
31	ANTSIRABE (Ecole)	47,04890	-19,86670	69	735.3	1432	-73	554.7
32	ANTSOHIH Y	47,96060	-14,89180	99	771	1494	-99	525
33	ARIVONIAMAMO	47,16050	-19,02990	92	644.6	1399	-92	570.4
34	BEALANANA - BETAINIKAKANA	48,73490	-14,55090	95	650.2	1317	-95	476.8
35	BEFANDRIANA - nord	48,56090	-15,24960	98	766.2	1856	-98	893.8
36	BEHARA	46,39340	-24,94250	0	650.6	527.6	-123	0
37	BEKILY	45,30760	-24,24080	0	729.4	727	-98	45.3
38	BEKODOKA	45,10400	-16,96920	97	774.1	1496	-97	721.9
39	BELOHA	45,06900	-25,16380	0	562.3	458	-104.3	0
40	BEROROHA	45,17150	-21,66790	35	718.7	776	-99	121.3
41	BESALAMPY	44,47220	-16,75940	71.2	695.2	1272.2	-99	406.8
42	BETIOKY - S U D	44,37870	-23,72910	0	665.5	616	-99	0
43	BETOMBO	44,96960	-19,68700	65.4	741.6	1063	-99	355
44	BETROKA	46,07270	-23,27250	85.1	739.7	828	-99	102.2
45	BEZAHA	44,50320	-23,48970	0	611.8	512	-99.8	0
46	DIEGO - SUAREZ	49,30490	-12,30840	98	655.2	916	-99	261.8
47	FARAFANGANA	47,80860	-22,81850	100	938.7	2424	0	1386.3
48	FASCENE (NOSSI-BE)	48,26900	-13,38420	79	985.1	2156.6	0	1092.5
49	FENERIVO -EST	49,41760	-17,38430	100	997.6	2728	0	1631.4
50	FIANARANTSOA	47,05710	-21,45950	87	710.9	1190	-87	392.1
51	FORT - DAUPHIN	46,97460	-25,01950	99	942.1	1498	-99	456.9
52	IFANADIANA	47,62060	-21,29540	100	923	2529.3	0	1530.3
53	IHOSY	46,10100	-22,41500	91.7	669.6	820.5	-91.7	59.2
54	ISALO	45,43390	-19,73120	98	764.6	1249	-99	386.4
55	IVATO-AEROPORT	47,48250	-18,78710	93	640.3	1301	-94	567.7
56	KANDREHO	46,10480	-17,46860	95	881	1787	-96	811
57	MAEVATANANA	46,82390	-16,93490	98	801.1	1698.2	-99	799.1
58	MAHABO	44,65700	-20,39060	15.9	644.8	853.1	-99	192.4
59	MAHAJAMBA	47,11800	-15,70070	97.6	764.5	1443.8	-99	581.7
60	MAHANORO	48,81610	-19,88850	100	978.7	2957.5	0	1879.8
61	MAINTIRANO	44,02430	-18,07300	55.8	687.4	998.2	-99	255
62	MAJUNGA	46,31630	-15,70640	98	733.7	1566.8	-99	735.1
63	MALAIMBANDY	45,65760	-20,33570	98	757	1335.9	-99	480.9
64	MANAKAMBAHINY - EST	48,67520	-17,75410	47.9	755.7	1074.8	-88	271.2
65	MANAKARA	48,02060	-22,13360	100	954.3	2633.3	0	1580
66	MANANARA - NORD	49,76790	-16,15810	100	932.4	2468.9	0	1437.5
67	MANANJARY	48,34920	-21,22010	100	948.8	2662.3	0	1614.5
68	MANDRITSARA	48,80980	-15,84120	81.2	681.7	1173	-98	410.1
69	MANGINDRANO	48,96330	-14,25220	89	716.8	1449.1	-90	643.3
70	MANTASOA	47,83530	-19,01330	59	742.8	1527.4	-60	725.6
71	MAROANTSETRA	49,75450	-15,42440	100	1000.6	3703.1	0	2603.5

72	MAROTANDRANO	48,84840	-16,16100	95.9	660.5	1179.5	-98	423.1
73	MAROVITSIKA	48,03860	-18,83130	41	759.7	1861	-42	1060.3
74	MAROVOAY - MADIROKELY	46,67670	-16,12970	98	761.8	1495.6	-99	635.8
75	MIANDRIVAZO	45,47700	-19,52880	98	848.3	1308.3	-99	362
76	MIDONGY - SUD	47,00490	-23,60010	26	898	1861.9	-27	937.9
77	MORAFENOBE	44,91150	-17,82790	97	815.7	1790.6	-98	877.9
78	MORAMANGA	48,27950	-18,93210	59	825.2	1504	-60	619.8
79	MOROMBE	43,34790	-21,75850	0	532	454	-78	0
80	MORONDAVA - VILLE	44,26550	-20,29210	98	617.6	755	-99	138.4
81	NOSY - VARIKA	48,51040	-20,58040	92	1052.7	2677	-7	1532.3
82	PORT - BERGE	47,61170	-15,57960	98	748.9	1576.5	-99	729.6
83	RANOHIRA	45,41730	-22,54740	85	735.4	1061.8	-95	241.4
84	SAKARAH - FQRET	44,60160	-22,91490	21	702.3	731.1	-96	7.8
85	SAKARAH VILLE	44,53820	-22,90050	27.8	680.4	733.5	-100	25.3
86	SAMBAVA	50,14550	-14,23990	100	1010.9	2179	0	1169.1
87	SOALALA	45,34060	-16,08680	98	632.2	1231.3	-99	501.1
88	SOANIERANA - IVONGO	49,58600	-16,90560	100	968.9	3637	0	2669.1
89	SOAVINANDRINA	46,73920	-19,15850	81	702.8	1947.3	-82	1163.5
90	TAMATAVE - AERO	49,40020	-18,10320	100	979.7	3336.1	0	2357.4
91	TAMATAVE VILLE	49,40900	-18,12860	100	989.1	3296	0	2307.9
92	TAMBOHORANO	43,96170	-17,49440	98	669.7	1123.1	-99	355.4
93	TANANARIVE OBSERVATOIRE	47,56100	-18,90400	86	641.5	1358.8	-87	631.3
94	TRANOROA	45,07110	-24,70540	0	697.2	522.2	-175	0
95	TSARAMANDROSO (Bevazaha)	47,05480	-16,35460	95.1	772.3	1599.8	-105	732.4
96	TSARATANANA	47,63790	-16,79830	97	728.2	1874.5	-98	1049.3
97	TSIHOMBE	45,48310	-25,31250	0	606.4	489.4	-117	0
98	TSINJOARIVO	47,69010	-19,62130	73	718.5	1345.9	-74	554.4
99	TSIROANOMANDIDY	46,05800	-18,75540	96.2	765.4	1632	-93	770.4
100	TSIVORY	46,08480	-24,05630	94	783.9	980	-95	102.1
101	TULEAR	43,67870	-23,33950	0	442	343	-99	0
102	TULEAR AERODROME	43,72930	-23,37940	0	457.9	355.9	-101	0
103	VATOMANDRY	48,98360	-19,31080	99	994.9	2994	0	1900.1
104	VOHEMAR	50,00950	-13,35240	69	1024.6	1412	-30	318.4
105	VOHIDIALA	48,26740	-17,87850	94	714.8	1217	-95	408.2

Pour l'évapotranspiration, les calculs par la méthode de Thornthwaite ont donné les résultats suivants :

- Le long de la côte Ouest, l'ETP (évapotranspiration potentielle) décroît du Nord au Sud de 1747mm à Diégo-suarez à 1315 mm à Toliary. L'ETR (évapotranspiration réelle) varie de 1300 mm à 348 mm du Nord au Sud.
- Dans le bassin sédimentaire de l'Ouest, l'ETP a des valeurs entre 1700 mm et 2000 mm au centre et au Nord, et l'ETR est environ égale à 1000 mm.
- Sur les Hauts-plateaux, l'ETP varie autour de 1000 mm à 1500 mm et l'ETR se situe de 700mm à 900 mm.
- Le côte-Est a une température allant de 1100 mm à 1300 mm et une ETR de 1000 à 1300 mm.
- Dans l'extrême Sud, l'ETP est de 1200 mm à 1300 mm et l'ETR est de 350 mm à 500 mm.

4. Contexte hydrologique

4.1. Les rivières de Madagascar

Les rivières de Madagascar prennent leurs sources sur les Haut-plateaux et s'écoulent vers l'Ouest, vers le Sud et vers l'Est

Au Nord existent quelques petits écoulements issus des massifs volcaniques de crétacé du bassin de Diégo-Suarez.

Les rivières de l'Ouest descendent rapidement des Hauts-plateaux en charriant une quantité énorme de matières en suspension et colloïde argileuse et s'écoulent ensuite dans de larges lits boueux pour se jeter dans le Canal de Mozambique par des deltas vaseux à palétuviers.

Les rivières du Sud ont des régimes d'Oued, à très faible écoulement voire nul en saison sèche, avec des crues violentes de courte durée lors d'une grosse pluie.

Les rivières de l'Est ont de gros débits, sont en général courtes. Elles ont aussi des eaux chargées d'argiles.

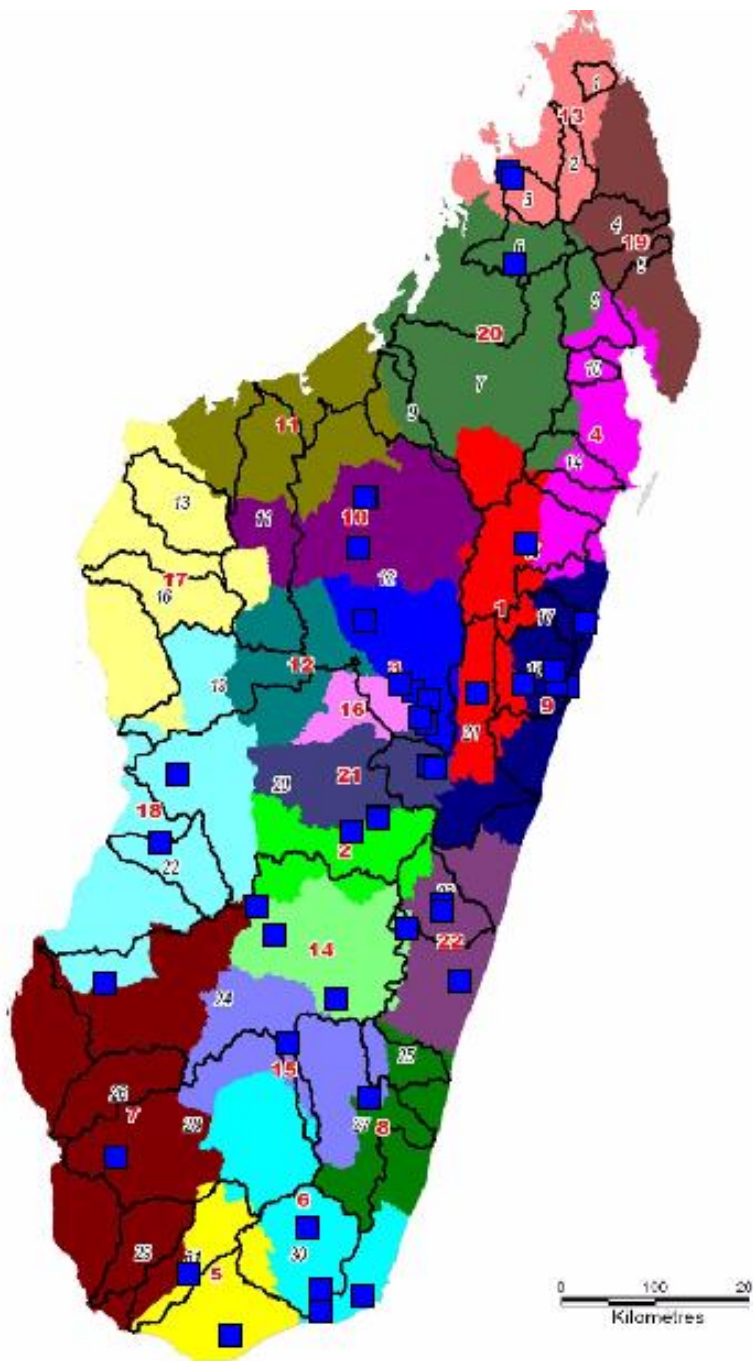
A Madagascar, les rivières ont fait l'objet d'une étude l'ORSTOM qui a distingué 9 régimes. Ce sont :

- Régime du Nord ou de la Montagne d'Ambre (massif volcanique crétacé du bassin de Diégo-Suarez)

- Régime du Nord
- Régime du Tsaratanana
- Régime Côte-Est
- Régime Hauts-plateaux
- Régime Nord-Ouest
- Régime Centre-Sud
- Régime Ouest
- Régime Sahélien du Sud

Il existe certaines rivières à régime mixte.

4.2. Les Bassins Hydrologiques dans les 22 Régions (22 agences de bassins)



Region ID	Region	Province
1	ALAO TRA-MANGORO	TOAMASINA
2	AMORON'I MANIA	FIANARANTSOA
3	ANALAMANGA	ANTANANARIVO
4	ANALANJIROFO	TOAMASINA
5	ANDROY	TOLIARA
6	ANOSY	TOLIARA
7	ATSIMO-ANDREFANA	TOLIARA
8	ATSIMO-ATSIKANA	FIANARANTSOA
9	ATSIKANA	TOAMASINA
10	BETSIBOKA	MAHAJANGA
11	BOENY	MAHAJANGA
12	BONGOLAVA	ANTANANARIVO
13	DIANA	ANTSIRANANA
14	HAUTE MATSIATRA	FIANARANTSOA
15	IHOROMBE	FIANARANTSOA
16	ITASY	ANTANANARIVO
17	MELAKY	MAHAJANGA
18	MENABE	TOLIARA
19	SAVA	ANTSIRANANA
20	SOFIA	MAHAJANGA
21	VAKINANKARATRA	ANTANANARIVO
22	VATOVAVY-FITOVINANY	FIANARANTSOA

Basin ID	Basin
1	E1-Irodo
2	01-Mahavavy Nord
3	02-Sambirano
4	E2-Bemarivo
5	E3-Lokoho
6	03-Maevarano
7	04-Sofia
8	E4-Antainambalana
9	05-Mahajamba
10	E5-Rantabe
11	07-Mahavavy Sud
12	06-Betsiboka
13	08-Sahambao
14	E6-Simlanona
15	E7-Maningory
16	09-Manambaho
17	E8-Ivondro
18	E9-Rianila
19	10-Manambolo
20	11-Tsiribihina
21	E10-Mangoro
22	12-Morondava
23	E11-Mananjary
24	13-Mangoky
25	E12-Manampatrana
26	14-Fiharenana
27	E13-Mananara Sud
28	15-Onilahy
29	S1-Unta
30	E14-Mandrare
31	S2-Menarandra

32	Manambovo
----	-----------

Madagascar dispose de 32 bassins versants répartis dans 22 Régions qui devront constituer 22 Agences de bassins.

4.3. Caractéristiques des principales rivières de Madagascar

Tableau de données

n°	Cours d'eau	Station	longdecimale	latdecimale	P(mm)	H(mm)	DE(mm)	Ke(%)	Q(m3/s)	H10(mm)	h10(mm)	K3	S en km2	débits spécifiques crues médian l/s/km2	débits spécifiques crues humide l/s/km2	débits spécifiques d'étiage médian l/s/km2	débits spécifiques d'étiage sèche l/s/km2
1	Sambirano	Ambanja	48,4500	-14,68333	2500	1500	1000	60	133	2040	1055	1,9	2830	550	1510	4,2	2,3
2	Ramena	Ambodimanga	48,5000	-13,75000	2900	1800	1100	65	67,3	2670	1250	2,1	1080	800	180	6,8	4,0
3	Maevarano	Ambodivohitra	48,5333	-14,60000	1730	600	1130	35	4,64	920	370	2,5	2585	100	170	1,1	0,64
4	Maningony	Andromba	48,6333	-17,40000	1200	330	870	28	74,1	540	175	3,1	6855	25	55	2,1	0,9
5	Ivondro	Ringa-Ringa	49,2500	-18,18333	2500	1320	1180	53	107	1790	910	2	560	340	960	17	13
6	Vohitra	Rogez	48,6000	-18,80000	2200	1145	1055	52	69,8	1580	755	2,1	1910	355	1325	13	9,5
7	Rianila	Brickaville	49,0667	-18,81667	2900	1840	1060	63	345	2550	1185	2,2	6000	515	1060	15	5,8
8	Vohitra	Andekaleka	48,9500	-18,80000	2700	1710	890	63	140	2480	1040	2,4	2615	300	1260	15,5	10,6
9	Rianila	Fetraomby	48,9333	-18,66667	3300	2100	1200	64	139				1863	1190	2700	29	22
10	Mangoro	Gare	48,1083	-18,88333	1500	770	730	51	88,9	1090	500	2,2	3600	120	340	6,5	5,6
11	Ambofompa	Antsampanan	47,0833	-19,61667	2000	890	1110	45	2,85	1180	605	2	95	200	370	7,7	6,1
12	Onive	Tsinjoarivo	47,6833	-19,63333	1590	720	870	45	72,1	1025	475	2,2	3200	120	180	1,8	1,1
13	Mananjary	Antsindra	47,7333	-20,98333	2850	1650	1200	58	118	1990	1340	1,5	2260	205	415	14	10,5
14	Ivoanana	Fatihita	47,7500	-21,05000	3200	1860	1340	58	49,6	2420	1315	1,8	835	350	815	12,5	16,9
15	Namorona	Vohiparara	47,3833	-21,23333	2000	895	1105	45	12,6	1280	570	2,3	445	195	835	6,4	4,5
16	Faraony	Vohilava	47,9167	-21,91667	3000	1840	1160	61	119	2600	1200	2,2	2005	500	1130	12,8	9,5
17	Mananara Su	Marangaty	46,9667	-22,93333	1150	535	615	47	228	770	345	2,2	14160	90	265	1,9	1,1

18	Efaho	Fanjahira	46,9000	-24,90000	3100	2070	1030	67	12	3100	1130	2,7	195	2200	4900	2,8	1,7
19	Mandrare	Andabolava	46,3167	-24,21667	820	300	520	37	36,6	475	130	3,6	4035	170	620	0,20	0,05
20	Mandrare	Amboasary	46,4667	-25,05000	790	185	605	23	69,5	335	67	5	12435	175	645	0,02	0
21	Mananara Su	Bevia	46,4500	-24,85000	600	175	425	30	5,82	290	90	3	1085	250	900	0,19	0,04
22	Manambovo	Tsihome	45,5000	-25,30000	565	50	515	9	4,57	87	24	3,6	2710	155	645	0	0
23	Menarandra	Tranoroa	45,0667	-24,70000	760	190	570	25	30,3	300	85	3,6	5330	285	675	0,03	0
24	Onilahy	Tongobory	44,3167	-23,53333	800	165	635	21	145	195	105	1,9	27700	45	55	0,93	0,54
25	Ihossy	Ihossy	46,1167	-22,38333	935	340	595	36	16	505	200	2,5	1500	105	275	1,3	0,35
26	Zomandao	Ankaramena	46,6390	-21,94689	1300	575	725	44	10,5	850	365	2,3	610	600	1900	0,5	0,3
27	Mananantan	Tsitondroina	45,9861	-21,31667	1100	440	660	40	91,1	590	310	1,9	6510	210	280	0,5	0,13
28	Matsiatra	Malakialina	45,8000	-21,01667	1300	625	675	48	232	870	420	2,1	11715	210	425	2,4	1,9
29	Mangoky	Banian	44,2069	-21,80000	1000	330	670	33	521	445	215	2,1	5000	170	340	0,9	0,6
30	Morondava	Dabara	44,7833	-20,40000	950	330	620	35	50,4	400	250	1,6	4640	340	775	1,7	
31	Sahanivotry	PK 197	47,0833	-20,11667	1700	730	970	43	10,3	980	510	1,9	430	180	330	4,9	3,3
32	Manandona	Sahanovotry	47,0833	-20,13333	1530	600	930	39	28,3	830	400	2,1	1450	130	255	2,8	2,0
33	Mania	Fasimena	46,8000	-20,28333	1680	720	960	43	158	1000	490	2	6795	110	260	7,4	5,5
34	Tsiribihina	Betomba	44,9667	-19,71667	1400	695	705	50	987	940	465	2	45000	150	330	3,7	3
35	Ikopa	Ambohimana	47,5989	-18,94528	1350	640	710	47	29,5	825	460	1,8	1407	21		9	5
36	Ikopa	Pont de Mahit	47,4581	-18,86306	1340	590	750	44	31,7	765	465	1,7	1780	80	135	5,9	4,4
37	Sisaony	Andramasina	47,5889	-19,02111	1250	595	655	48	6,01	765	390	2	318	290	715	3,2	2,2
38	Andromba	Tsinjony	47,5167	-19,13333	1550	860	690	55	9,01	1150	590	1,9	350	260	465	4,0	2,4
39	Ikopa	Bevomanga	47,3200	-18,80833	1340	605	735	45	77,1	760	460	1,6	4290	77	107	4,0	2,4
40	Ikopa	Fiadanana	46,9483	-18,16250	1390	575	815	41	175	735	440	1,7	9450	120	207	2,8	2,1
41	Ikopa	Antsatrana	46,8833	-17,43333	1515	770	745	51	458	910	630	1,4	18645	140	180	5,1	4,1

42	Isinko	Ambodiroka	46,9608	-16,94889	1780	1130	650	63	22,1	1470	820	1,8	600	850	2400	3,2	2,0
43	Betsiboka	Ambodiroka	46,9500	-16,93333	1500	780	720	52	297	1010	570	1,8	11800	360	1020	4,5	3,4

4.4. Les principaux lacs malgaches de Madagascar

Madagascar dispose de seize grands lacs artificiels inventoriés d'une capacité totale de 429 millions de mètres cubes environ comme montrés ci-dessous :

	Nom du lac artificiel	Volume en m3
1	Mantasoa	122 614 678,90
2	Tsiazompaniry	225 000 000,00
3	Sahamaloto	12 990 000,00
4	Amboromalandy	35 000 000,00
5	Mandraka	200 000,00
6	Anakavy	35 120,00
7	Antelomita 1	1 350 000,00
8	Antelomita 2	225 000,00
9	Andekaleka	50 000,00
10	Manadona	50 000,00
11	Maninday	15 000,00
12	Antanifotsy	12 740 000,00
13	Maromandia	7 525 000,00
14	Bamaitso	2 451 500,00
15	Ambodivato	6 135 000,00
16	Ampijoroabe	2 217 500,00
	TOTAL	428 598 798,90

Source : Les lacs de Madagascar (internet : Enquête sur les ressources naturelles du continent africain, UNESCO 1962) – Calcul sur BDEA

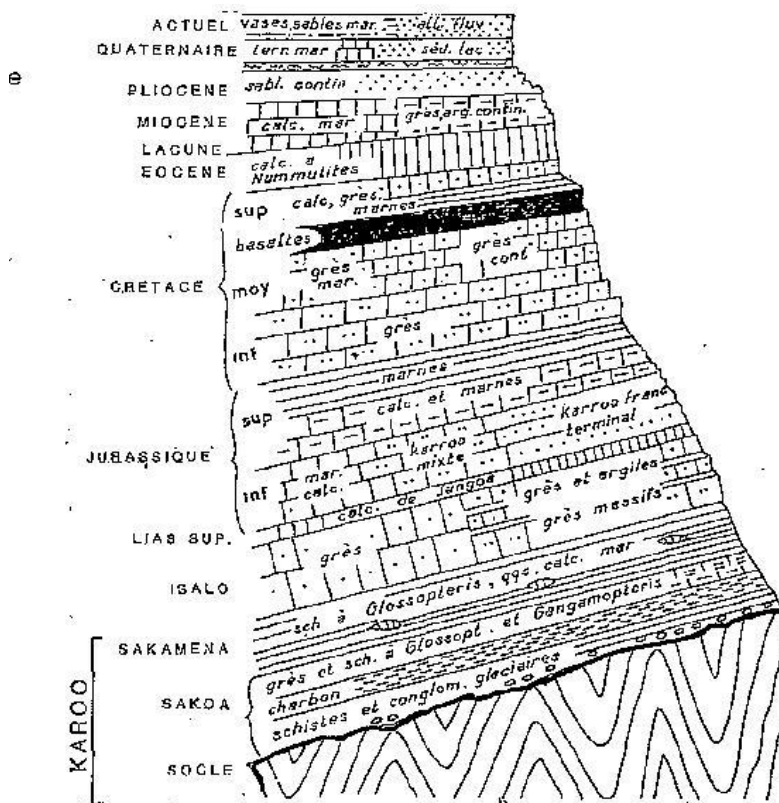
5. Contexte géologique :

5.1. La lithostratigraphie de Madagascar

Madagascar est constitué pour les 2/3 de sa superficie par des roches magmatiques et métamorphiques précambriennes constituent le socle cristallin (Hauts-plateaux) et, pour le tiers restant, par des roches sédimentaires dont les affleurements vont :

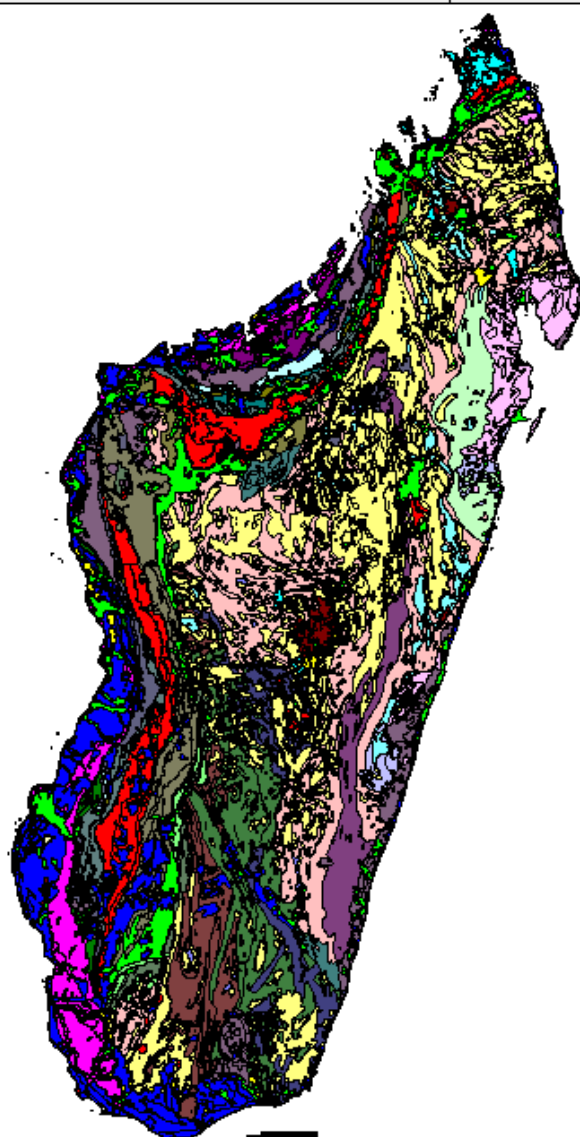
- Du carbonifère à l'actuel dans le bassin de l'Ouest, avec une série complète.
- Du trias à l'actuel dans le bassin de Diègo-suarez mais avec un grand développement des calcaires jurassiques et des basaltes crétacé.
- Du crétacé à l'actuel dans l'étroite bande sédimentaire de la côte-Est.
- Du Néogène à l'actuel dans l'Extrême-Sud.

Le schéma lithostratigraphique



5.2. Le socle cristallin

Les roches métamorphiques du précambrien malgaches sont principalement des migmatites, des gneiss, des leptynites, amphibolites, des micaschistes, des cipolins, des quartzites, tandis que les roches magmatiques sont des granites, des basaltes et différents dépôts volcaniques du Néogène et Pléistocène.



Carbonatites & syénites, Néoprotérozoïque 2 à Cambrien	
Néoprotérozoïque 2-3 sédimentaire à volcano-sédimentaire ("marge active")	
Plutonisme-volcanoplutonisme & complexes & métamorphiques Néoprotérozoïque 2-3	
Plutonisme, volcano-plutonisme & "Dolérites", Néoprotérozoïque 1-2	
"Ceinture mobile" du Néoprotérozoïque à complexes métamorphiques; anatectiques & plutoniques et à reliques de terrains archéens à protérozoïques	
"Ceinture mobile" Mésoprotérozoïque à Néoprotérozoïque, à complexes tectono-métamorphiques MP-NP et à reliques de terrains archéens à paléoprotérozoïques)	
Paléoprotérozoïque (à Mésoprotérozoïque ?) sédimentaire (e.g. Madagascar)	
Formations à B.I.F. (Fe-Mn) du Néoarchéen-Paléoprotérozoïque 1 ("Limite Archéen-Protérozoïque"); et volcan-plutonisme associé	
Néoarchéen volcano-sédimentaire ("Ceintures de roches vertes") & plutonisme associé	
Plutonisme & complexes granito-gneissiques, Néoarchéen	
Complexes gneissiques et anatectiques, Néoarchéen (à Mésoarchéen ?)	
Complexes gneissiques et anatectiques ("Complexe des Migmatites Gneiss") Mésoarchéen (à Néoarchéen ?)	
Mésoparchéen-Néoarchéen sédimentaire à dépôts glaciaires	
Plutonisme & volcano-plutonisme, Mésoarchéen-Néoarchéen	

5.3. Les Bassins sédimentaires

Bassin sédimentaire de l'ouest

Le bassin de l'ouest possède la série sédimentaire la plus complète de Madagascar. Certaines formations n'affleurent que dans des zones localisées du bassin mais en général toutes les couches se rencontrent du Nord au Sud avec quelques variations de faciès et suivant des développements variables.

Le bassin a une structure monoclinale avec une pente générale de direction Ouest, localement plissée affectant parfois l'allure de semi-bassin synclinaux de grand diamètre.

Les principales formations sont de bas en haut, de l'Est à l'Ouest à partir du contact discordant avec le socle :

➤ le système du Karroo, constitue de formations continentales, allant du carbonifère supérieur à la fin du jurassique. Il comporte 3 groupes :

- La sakoa (carbonifère supérieur), localisée dans le Sud-Ouest de l'île, composé de tillites, de schistes noirs, de grès à charbon, d'argile, une petite couche de calcaire.
- La sakamena (Permien) en grande partie continentale mais avec des intercalations marines, formée de schistes et grès micacés, argiles grises à nodules, grès et argiles rouges.
- L'Isalo divisé en Isalo I, Isalo II, Isalo III (du Trias au jurassique moyen)
 - L'Isalo I (trias) continental est constitué de grès blancs grossiers, mal cimentés, souvent conglomératiques avec stratification entrecroisées. Son épaisseur atteint plusieurs milliers de mètres.
 - L'Isalo II (Jurassique inférieur- lias supérieur) est formé d'une alternance de grès plus ou moins grossiers à stratification entrecroisée, jaunâtre ou rougeâtres et d'argiles rouges, parfois bariolées. Il renferme d'importantes intercalations marines constituées de marnes, et calcaires. Son épaisseur va de plusieurs centaines de mètres.
 - L'Isalo III (Jurassique moyen) est constitué d'une alternance de grès à stratification entrecroisée et d'argiles. Les intercalations marines y sont plus abondantes. L'épaisseur est de plusieurs centaines de mètres.

➤ Jurassique moyen marin (équivalent marin de l'Isalo II et III)

Les formations marines du jurassique moyen sont représentées par de grands plateaux calcaires karstifiés (plateaux de l'Ankara, du Kelifely de Bemaraha).

➤ Jurassique supérieur :

- Callovien : calcaires marneux et marnes
- Oxfordien : calcaires (Majunga-Antonibe), grès glauconieux (Morondava), marno-calcaire et marnes (Tuléar)
- Argovien : marnes jaunes d'Ankilizato avec quelques intercalations calcaires et grès glauconieux (Morondava), grès entrecroisés avec l'intercalation marine à Tuléar.
- Kimmeridgien : marnes à mèches calcaires (Majunga), marnes (Morondava), calcaires, grès et marnes (Tuléar).
- Tithonique : argilo-marneux glauconieux (Majunga), marne, argiles glauconieuses avec bancs calcaires (Tuléar)

➤ Crétacé inférieur :

- Valanginien : marnes et argiles puis grés de Sitampiky (Majunga), calcaies et marnes (Morondava), marnes glauconieuses (Tuléar)
 - Hauterivien : argiles, grés glauconieux et argiles grés-marneuses (Majunga), marnes et grés glauconieux (Tuléar).
- Crétacé moyen :
- Aptien : grés glauconieux et grés continentaux (Majunga), marnes blanches (Morondava), calcaire et grés argileux rouges (Tuléar).
 - Albien : grés, grés glauconieux argileux, argiles gréseuses et marnes jaunes (Majunga).
 - Cénomanién : argiles à la base, puis grés grossiers entrecroisés (grés de l'Ankarafantsika-Majunga), grés rouges continentaux (Morondava), marnes et grés argileux rouges (Tuléar).
 - Turonien : grés, coulées basaltiques puis marnes argileuses (Majunga), grés calcaire et coulées basaltiques (Morondava), grés jaunes (Tuléar).
- Crétacé supérieur :
- Coniacien : grés argileux (Majunga), marnes grises et bancs calcaires (Morondava), basaltes et grés verdâtres (Tuléar).
 - Santonien : Grés continentaux entrecroisés (Majunga), marnes, calcaires marneux, calcaires (Morondava), grés continentaux entrecroisés, basaltes moyens interstratifiés (Tuléar)
 - Campanien : grés continentaux entrecroisés (Majunga), grés-marne-calcaires, calcaires crayeux (Morondava), calcaires (Tuléar)
 - Maestrichtien : marne, marne-calcaires (Majunga), marne-calcaire (Morondava), marne-calcaire, grés calcaires et marnes (Tuléar)
- Eocène :
- Essentiellement calcaires avec quelques passages calcareo-dolomitique, calcareo-marneux, marne-calcaires (Majunga), Calcaires dominants avec quelques marnes (Sud Morondava et Tuléar)
- Oligocène
- Marnes (Majunga), Affleurements localisés
- Néogène :
- Le néogène est essentiellement continental avec des grés tendres entrecroisés avec des argiles sableuses sur toute la région côtière, et recouvert de carapace sableuse dans tout le bassin de l'ouest.
- Quaternaire :
- Le Quaternaire est constitué de carapace sableuse ; alluvions et dépôts de mangrove. ; sables des plages et des dunes

Bassin sédimentaire d'Antsiranana

La série va du permien au quaternaire. On rencontre du Sud au Nord :

- Permien : argiles gréseuses et schistes
- Isalo I : grés continentaux
- Jurassique inférieur : calcaires et marne-calcaires du lias
- Jurassique moyen : calcaires et calcaires dolomitiques du bajocien –Bathonien (plateau d'Analamena et de l'Ankara)

- Jurassique supérieur : marnes du bathonien supérieur et du callovien. Ces dépôts sont recouverts par les coulées basaltiques du grand massif d'Ambre.
 - Crétacé inférieur :
 - marnes et argiles du valanginien- Hauterivien
 - épaisse série continentale constituant les grès de Saharena de l'Hauterivien supérieur à albien inférieur.
 - Crétacé moyen :
 - marnes-marnes à gypses de l'Albien
 - marnes du cénomanien
 - gré du Turonien avec passages marneux
 - Crétacé supérieur :
 - grés jaunes à bancs calcaires du coniacien
 - grés tendres blanchâtres du Santonien
 - craie marneuse du campanien
 - gré sableux du Maestrichtien
 - Eocène : calcaire dolomitique à la base, Calcaires karstiques au sommet
 - Néogène : marin, alternance de calcaires, de grés plus ou moins sableux et de tuf basaltiques. Il est recouvert par des coulées basaltiques anciennes.
 - Quaternaire : Grés du quaternaire ancien recouverts par un premier récif corallien, puis des dunes rouges en partie grésifié. Enfin, dunes flamandaises actuelles.
- Dans le Sud Ouest de grands deltas et des alluvions très développés.

Bassin sédimentaire de l'Est

Bassin sédimentaire peu développé à structure faiblement monoclinale avec une pente en direction de l'Est. La série très réduite, comprend de bas en haut :

- Crétacé
 - dépôts volcaniques du crétacé supérieur,
 - marnes et calcaires plus développés du Maestrichtien
- Néogène continental
 - sédiments continentaux avec grés tendres entrecroisés et argiles
 - coulées basaltiques
- Pliocène
 - argiles à lits de schistes du pliocène
- Quaternaire et dépôts actuels
 - sables, dunes, alluvions.

Bassin sédimentaire de l'extrême-sud

Bassin sédimentaire à structure monoclinale avec une pente en direction du Sud et comprenant du nord au Sud, de bas en haut :

- néogène continental
Ces sont des argiles, argillites, sables, sables argileux, grès argileux.
- quaternaire continental

On distingue 3 périodes dunaires :

- les dunes anciennes de l'Aepyornien ancien ou Tatsimien

- les dunes moyennes ou Karimbolien
- les dunes récentes ou Flandrien.

Les formations sont des sables d'origine probablement éolienne cimentés par une proportion notable de calcaire (appelés grès calcaires). On y rencontre aussi des croûtes calcaires.

- dépôts superficiels qui sont :
 - les sables roux
 - les sables blancs de Beloha et d'Ambondro
 - les alluvions
 - les sables d'Ambovombe

6. Contexte hydrogéologique

6.1. Paramètres de la zonation hydrogéologique

Une étude de la différence Pluie - Evapotranspiration potentielle ($P - ETP$) permet de distinguer 5 zones d'humidité à Madagascar :

Zone I	$P - ETP$ supérieure à + 1000 mm zone très humide
Zone II	$P - ETP$ comprise entre +1000 mm et -200 mm zones humides
Zone III	$P - ETP$ comprise entre +200 mm et -200 mm zones sous humides
Zone IV	$P - ETP$ comprise entre -200 mm et -400 mm zones semi-aride
Zone V	$P - ETP$ comprise entre -200 mm et -400 mm zones aride

Cette zonation permet de distinguer des zones de recharge et les directions d'écoulement aussi bien de surface que souterraines.

Les réserves en eaux se créent au niveau des zones humides qui se trouvent dans les régions centrales et les écoulements s'effectuent du centre vers les bassins de l'ouest, du nord, de l'est, et du sud.

Le fonctionnement de ce système est facilité par le contexte géologique, car les formations d'altération du socle magmatique et métamorphique des hauts plateaux du centre constituent des réservoirs d'eaux souterraines extrêmement importants, du fait de leur porosité élevée et de leur faible perméabilité. Il y a en effet une grande accumulation d'eau qui se décharge lentement de façon continue alimentant, d'une part les aquifères des formations géologiques des bassins sédimentaires côtiers et d'autre part les débits de base (ou débits d'étiage) de tous les écoulements de surface.

Les nappes aquifères de Madagascar sont classées dans 8 zones hydrogéologiques qui sont définies ci-dessous.

La définition des 8 zones hydrogéologiques et des principales nappes de Madagascar a été faite dans le rapport HY 596 de Jean Herivelo Rakotondrainibe, intitulé « les ressources en eaux de Madagascar » établi en 1974.

Les paramètres utilisés pour cette définition sont :

- Le contexte géologique, pour distinguer le socle magmatique et métamorphique, constituant les hauts plateaux et occupant les 2/3 de la superficie de Madagascar, des bassins sédimentaires de l'ouest, de l'est, du nord et du sud ;
- le contexte pluviométrique, pour identifier une zone de socle magmatique et métamorphique au sud où la pluviométrie est inférieure à 700 mm/an, d'une zone de socle au nord et au centre, à pluviométrie supérieure à 700 mm ;
- le contexte hydrologique, permettant de séparer par le fleuve Mangoky le bassin sédimentaire de Toliary et le bassin sédimentaire de Morondava, et de délimiter le bassin sédimentaire de Mahajanga entre les fleuves Manambolo, au sud, et Maevarano, au nord.

Cette classification en zones, avec une codification allant de 10 à 80, et les caractérisations des nappes aquifères et les numéros de codification y afférents ont été utilisées pour la mise en place de la BDRSM (base de données sur les ressources en eaux souterraines de Madagascar) ayant permis d'informatiser l'inventaire des points d'eau de Madagascar selon les logiciels BADGE-ACTIF, avec le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), en 1992, en reprenant les données

d'inventaire saisies manuellement dans le BIRH (bureau d'inventaire des ressources hydrauliques). Ce bureau a existé au sein du département chargé de l'hydrogéologie du Ministère chargé de l'eau de Madagascar, depuis sa création durant la période coloniale et a continué après l'indépendance en 1960.

Tout le système a été repris et mis à jour dans l'actuelle BASE DE DONNEES DE LA DEA (BDEA), selon un logiciel mis en place par le bureau d'études DINIKA, dans le cadre du projet PAEPAR, financé par la Banque mondiale.

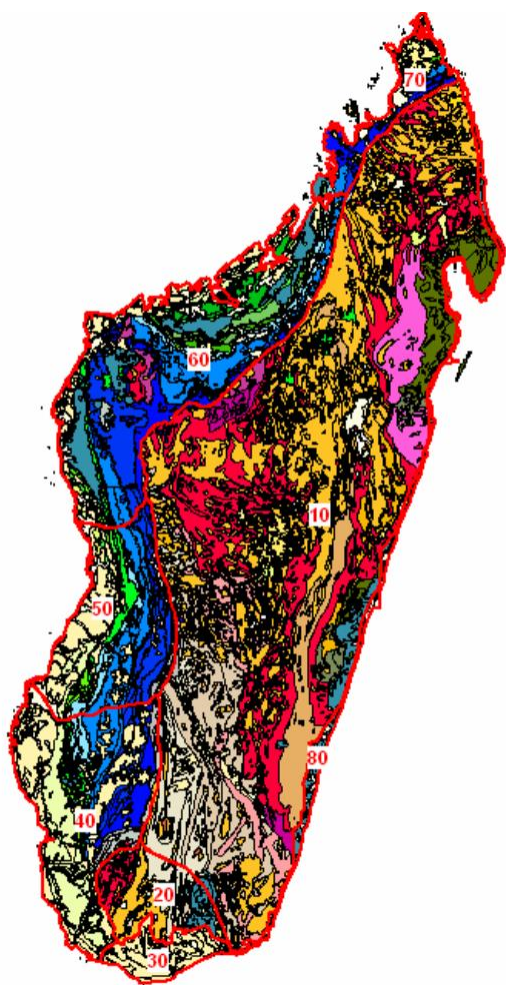
La mise à jour s'est faite à partir d'une enquête d'inventaire faite sur le terrain, de la prise en compte des données issues des rapports de réalisations d'infrastructures, notamment des projets « 150 forages AEPSPE-UNICEF », « 150 forages PNUD », « Etude d'exploitation des eaux souterraines de la JICA, dans le SUD, dans le SUD-OUEST, dans le MENABE », « 625 forages dans le sud-PAEPAR- 320 Adductions d'eau gravitaires -PAEPAR », « Forages - puits- Adductions d'eau gravitaires – IPPTE », « Puits - forages- Adductions d'eau gravitaires – de Taratra- Fikrifama-Caritas-Saf-fjkm-Water aid- Inter aid-Pged- Medair-Aide et Actions- etc... ».

Quelques modifications des données ont été apportées par rapport à la situation décrites à partir des informations disponibles par les études en 1974, concernant les caractéristiques des nappes aquifères, au vu des résultats obtenus dans les rapports ultérieurs à 1974, cités ci-dessus.

Il faut rappeler que les données ci-dessous, disponibles dans la BDEA pour chaque point d'eau, sont des informations de synthèse qui ne donnent que des valeurs moyennes, et que dans tous les cas il est indispensable et recommandé de demander d'entreprendre une étude hydrogéologique détaillée pour chaque projet d'exploitation de ressources en eaux souterraines.

6.2. Les 8 zones hydrogéologiques

Carte des 8 zones hydrogéologiques



Présentation de 8 zones hydrogéologiques et des principales nappes aquifères de Madagascar

10-Hauts Plateaux à pluviométrie élevée (parties nord et centre)

11-Nappes d'alluvions : lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captive; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 5-20m ; épaisseur d'aquifère:environ 10 m ; qualité de l'eau : eau douce, forte teneur en fer; débit spécifique: 3 à 6 l/sec/m

12-Nappes d'arènes : lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 4-15m ; épaisseur d'aquifère:environ 5 m ; qualité de l'eau : eau douce, faible minéralisation; débit spécifique: 0,2 – 0,5 l/sec/m

13-Nappes de fissures : lithologie : socle cristallin; type de porosité : fissuré; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 5-20m ; épaisseur d'aquifère:environ 10 m ; qualité de l'eau : eau douce, faible minéralisation; débit spécifique estimé à 0,8 à 1,4 l/sec/m

14-Nappes des terrains volcaniques Quaternaire : lithologie : projections volcaniques : (cinérites); type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 5-20m ; épaisseur d'aquifère:environ 10 m ; qualité de l'eau : faible minéralisation; débit spécifique estimé à 2 à 5 l/sec/m.

20-Hauts Plateaux à faible pluviométrie (partie sud)

21-Nappes d'alluvions : lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captive; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 5-10m ; épaisseur d'aquifère:environ 5 m ; qualité de l'eau : eau saumâtre à salée; forte teneur en fer; débit spécifique: 1 à 5 l/sec/m.

22-Nappes d'arènes : lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:1-2m; profondeur d'ouvrage:4-5m ; épaisseur d'aquifère:environ 2 m ; qualité de l'eau : eau douce; faible minéralisation; débit spécifique: 0,2 – 0,5 l/sec/m.

23-Nappes de fissures : lithologie : socle cristallin; type de porosité : fissuré; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 5-20m ; épaisseur d'aquifère:environ 10 m ; qualité de l'eau : eau douce; parfois saumâtre à salée; débit spécifique estimé à 0,8 à 1,4 l/sec/m.

30-Bassin sédimentaire de l'Extrême Sud

31-Nappes d'alluvions : lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captive; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : jusqu'à 20 m ; épaisseur d'aquifère:environ 5 m ; qualité de l'eau : eau saumâtre à salée; forte teneur en fer; débit spécifique: 1 à 5 l/sec/m.

32-Nappes des sables blancs de Beloha : lithologie : sables argileux fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 5-10 m ; épaisseur d'aquifère: 1-5 m ; qualité de l'eau : douce; mais chargée en argile fine en suspension; débit spécifique :0,2 l/sec/m.

33-Nappes des sables blancs d'Ambondro; lithologie : sables argileux fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 5-10 m ; épaisseur d'aquifère: 1-5 m ; qualité de l'eau : douce; mais chargée en argile fine en suspension; débit spécifique : débit spécifique :0,2 l/sec/m.

34-Nappes des sables côtiers et dunes récentes; lithologie : sables fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 1-5 m ; épaisseur d'aquifère: 1-3 m ; qualité de l'eau : saumâtre à salée ; débit spécifique : 0,4 à 2,6 l/sec/m

35- Nappes du Quaternaire moyen d'Ambovombe; lithologie : sables argileux fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique: 5-10 m; profondeur d'ouvrage : 10 à 20 m ; épaisseur d'aquifère: 1-5 m ; qualité de l'eau : saumâtre; débit spécifique : 0,04 à 0,55 l/sec/m.

36-Nappes du Quaternaire ancien; sables argileux fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique: 5-10 m; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m ; épaisseur d'aquifère: 1 à 10 m ; qualité de l'eau : saumâtre; débit spécifique : 0,04 à 0,55 l/sec/m.

37-Nappes du Néogène; lithologie : grès sableux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 ; épaisseur d'aquifère: 1-5 m ; qualité de l'eau : saumâtre à salée ; débit spécifique 0,019 à 1,55 l/sec/m.

38- Nappes de fissures lithologie : socle cristallin; type de porosité : fissuré; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 5-20m ; épaisseur d'aquifère:environ 10 m ; qualité de l'eau : eau douce; parfois saumâtre à salée; débit spécifique estimé à 0,8 à 1,4 l/sec/m.

40-Bassin sédimentaire de Toliary

41-Nappes d'alluvions; lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captive; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : jusqu'à 20 m ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 10 m ; qualité de l'eau : eau douce; bicarbonatée calcique; débit spécifique : 1 à 5 l/sec/m.

42-Nappes des sables de plage; lithologie : sables fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 1-5 m ; épaisseur d'aquifère: 5 à 10 m ; qualité de l'eau : douce à saumâtre; parfois salée ; débit spécifique : 0,4 à 2,6 l/sec/m.

43-Nappes des sables argileux supérieurs; lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 10-15 m ; épaisseur d'aquifère: 5 à 10 m ; qualité de l'eau : douce à saumâtre; parfois salée ; débit spécifique : 0,6 à 1 l/sec/m

44-Nappes du Quaternaire ancien; lithologie sables argileux fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique: 5-10 m ; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m ; épaisseur d'aquifère: 1 à 10 m ; qualité de l'eau : saumâtre; débit spécifique : 0,04 à 0,55 l/sec/m.

45- Nappes du Néogène; lithologie : grès sableux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 ; épaisseur d'aquifère: 1-5 m ; qualité de l'eau : saumâtre à salée ; débit spécifique : 0,019 à 1,55 l/sec/m.

46-Nappes de l'Eocène; lithologie : calcaire; type de porosité : karstique; type de nappe : libre; niveau statique:5-10m ; profondeur d'ouvrage : 50 à 100 ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 50 m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique : 1,8 à 68 l/sec/m

47-Nappes du Crétacé lithologie : grès sableux; parfois grès calcaire; parfois basalte type de porosité : poreux; type de nappe : libre ou captif ou artésien selon la structure géologique; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m ; épaisseur d'aquifère: 50 m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique 1 à 14 l/sec/m.

48-Nappes du Jurassique moyen ; lithologie : calcaire; type de porosité : karstique; type de nappe : libre ou captif ou artésien à grande profondeur; selon la structure géologique; nappe rencontrée dans le forage pétrolier artésien de Manera (860 m³/h à 428 m).

49-Nappes de l'Isalo; lithologie : sable - gréseux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre ou captif ou artésien selon la structure géologique ; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m ; niveau statique: 15-20 m ; épaisseur d'aquifère:50 m ;qualité de l'eau: douce; débit environ jusqu'à 6 l/sec.

50-Bassin sédimentaire de Morondava :

51-Nappes d'alluvions; lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captif ou artésien selon la structure géologique; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : jusqu'à 20 m ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 10 m ; 5 m ; qualité de l'eau : eau douce; bicarbonatée calcique; débit spécifique : 1 à 5 l/sec/m.

52-Nappes des sables de plage; lithologie : sables fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 1-5 m ; épaisseur d'aquifère: 5 à 10 m ; qualité de l'eau : douce à saumâtre, parfois salée; débit spécifique :0,4 à 2,6 l/sec/m

53-Nappes des sables argileux supérieurs; lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 10-15 m ; épaisseur d'aquifère: 5 à 10 m ; qualité de l'eau : douce à saumâtre; parfois salée ; débit spécifique : 0,6 à 1l/sec/m

54-Nappes du Quaternaire ancien; lithologie sables argileux fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique: 5-10 m ; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m ; épaisseur d'aquifère: 1 à 10 m ; qualité de l'eau : saumâtre; débit spécifique : 0,04 à 0,55 l/sec/m.

55-Nappes du Néogène; lithologie : grès sableux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 ; épaisseur d'aquifère: 1-5 m ; qualité de l'eau : saumâtre à salée ; débit spécifique : 0,019 à 1,55 l/sec/m.

56-Nappes de l'Eocène supérieur : lithologie : calcaire; type de porosité : karstique; type de nappe : libre; niveau statique:5-10m ; profondeur d'ouvrage : 50 à 100 ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 50 m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique : 1,8 à 68 l/sec/m.

56 bis Nappes de l'Eocène inférieur; lithologie : grès sableux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:5-10m ; profondeur d'ouvrage : 50 à 200 m ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 50 m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique :0,5 à 15 l/sec/m

57-Nappes du Crétacé lithologie : grès sableux; type de porosité : poreux; type de nappe : artésien; profondeur d'ouvrage : 50 à 300 m; épaisseur d'aquifère: 50 m-100m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique : 1 à 14 l/sec/m ; débit artésien de 14 à 19 l/s aux environs de Dabara.

58-Nappes du Jurassique moyen ; lithologie : grès marneux ; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique: 20m ; profondeur d'ouvrage : 100-150 ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 50 m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique : 1 à 5 l/sec/m

59 - Nappes de l'Isalo; lithologie : sables - gréseux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; peut être artésien; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m; épaisseur d'aquifère: 50 m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique : 0,5l/sec.

60-Bassin sédimentaire de Mahajanga

61-Nappes d'alluvions; lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captif ou artésien selon la structure géologique; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : jusqu'à 20 m ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 10 m; 5 m ; qualité de l'eau : eau douce; bicarbonatée calcique; débit spécifique : 1 à 5 l/sec/m.

62-Nappes des sables de plage; lithologie : sables fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 1-5 m; épaisseur d'aquifère:5 à10 m; qualité de l'eau : douce à saumâtre, parfois salée; débit spécifique:0,4 à 2,6 l/sec/m.

63-Nappes des sables argileux supérieurs; lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 10-15 m; épaisseur d'aquifère: 5 à 10 m ; qualité de l'eau : douce à saumâtre, parfois salée ; débit spécifique : 0,6 à 1l/sec/m

64-Nappes du Néogène; lithologie : grès sableux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m ; épaisseur d'aquifère: 1-5 m ; qualité de l'eau : saumâtre à salée; débit spécifique : 0,019à1,55 l/sec/m.

65-Nappes de l'Eocène; lithologie : calcaire; type de porosité : karstique; type de nappe : libre; niveau statique:5-10m ; profondeur d'ouvrage : 50 à 100 ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 50 m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique: 1,8 à 68 l/sec/m

66-Nappes du Crétacé supérieur (Grès de Marovoay); lithologie : grès sableux; type de porosité : poreux; type de nappe : artésien; profondeur d'ouvrage : 50 à 300 m; épaisseur d'aquifère: 50 m-100m ; qualité de l'eau : douce; débit spécifique 1 à 14 l/sec/m, débit artésien de 36 l/sec.

66 bis Nappes du Crétacé moyen et inférieur ; lithologie : grès sableux ; type de porosité : poreux; type de nappe : artésien; profondeur d'ouvrage : 50 à 300 m; épaisseur d'aquifère: 50 m-100m ; qualité de l'eau : douce; agressive et ferreuse; débit artésien de 5 à 60 l/sec.

67-Nappes du Jurassique ; Le calcaire karstifié se rencontre dans le massif calcaire de KELIFELY et de l'ANKARA. Cette nappe n'a pas encore été étudiée.

68- Nappes de l'Isalo; lithologie : sables - gréseux; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; peut être artésien; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m; épaisseur d'aquifère: 50 m ;qualité de l'eau : douce; débit spécifique :0,5l/sec.

70-Bassin sédimentaire d'Antsiranana

71-Nappes d'alluvions; lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captif ou artésien selon la structure géologique; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : jusqu'à 20 m ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 10 m; 5 m ; qualité de l'eau : eau douce; bicarbonatée calcique; débit spécifique 0,2 à 2 l/sec/m

72-Nappes des sables de plage; lithologie : sables fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 1-5 m; épaisseur d'aquifère: 5 à 10 m ; qualité de l'eau : douce à saumâtre; parfois salée ; débit spécifique :0,4 à 2,6 l/sec/m

73-Nappes des terrains volcaniques Quaternaire; lithologie : basalte; type de porosité : fissuré; type de nappe : libre; débit environ 25 m³/h

74-Nappes du Jurassique; Le calcaire karstifié se rencontre dans le massif calcaire de l'ANKARANA et de l'ANALAMERA. Cette nappe n'a pas encore été étudiée.

75- Nappes de l'Isalo; lithologie : sables - gréseux; type de porosité : poreux; type de nappe: libre; peut être artésien; profondeur d'ouvrage : 50 à 150 m; épaisseur d'aquifère: 50 m ;qualité de l'eau : douce; débit spécifique : 0,5l/sec.

80-Bassin sédimentaire de la côte Est

81-Nappes d'alluvions : lithologie : sables argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captif ou artésien selon la structure géologique; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : jusqu'à 20 m ; épaisseur d'aquifère: jusqu'à 10 m; qualité de l'eau : eau douce, risque d'invasion d'eau salée; débit spécifique : 2-5 l/sec/m

82-Nappes des sables de plage; lithologie : sables fins; type de porosité : poreux; type de nappe : libre; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : 1-5 m; épaisseur d'aquifère: 5 à 10 m; qualité de l'eau : douce à saumâtre; parfois salée; débit spécifique :0,4 à 2,6 l/sec/m

83-Nappes du Crétacé; lithologie : grès argileux; type de porosité : poreux; type de nappe : captif; niveau statique:2-3m; profondeur d'ouvrage : jusqu'à 40 m ; épaisseur d'aquifère:10-20 m; ; qualité de l'eau : eau très riche en fer; débit spécifique 0;18 l/sec/m

7. Utilisation de l'eau : volume des ressources utilisées

7.1. Utilisation de l'eau pour l'approvisionnement en eau potable

Le **DECRET N°2003-193 portant fonctionnement et organisation du Service PUBLIC de l'Eau potable et de l'assainissement des eaux usées domestiques** précise dans son article 10 que la consommation spécifique est de 30l/j/personne.

Les consommations d'eau potable calculées sur cette base sont alors présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : volume d'eau potable consommé

année	taux d'accès	Nombre de consommateurs	volume eau consommé en m3/an
2015	51,00%	12 080 930	132 286 189

Source : « Suivi des politiques de l'eau à Madagascar » - Waves - Rakotondrainibe H -2015

Le total de la quantité d'eau utilisée est de **0,132 milliards de m3**.

7.2. Utilisation de l'eau en agriculture

Tableau des quantités d'eau utilisée

Types de culture	Surface cultivée en ha	Besoins en eau unitaire	Besoins millions de m3/an	Eaux souterraines	Eaux de surface	Pluviale
Riz	1 062 398	12000	12 749	3 600,00	9 148,78	
Coton	28 553	7500	214		82	132
Canne à sucre	67 000	12500	838	30,00	807,50	
Total			13 800	3 630,00	10 039	132
Reste des cultures	842 049	457,4	385		385	
Total	2 000 000		14 186		10 423,88	

Source : *Petit atlas de Madagascar – Un état des lieux du territoire malgache pour servir à l'Aménagement du Territoire, 2009*

7.3. Utilisation de l'eau en hydroélectricité

Débits turbinés pour l'hydroélectricité en m3/an

Jirama hydroélectricité	Informations obtenues dans le rapport "secteur eau et assainissement-analyse de la situation actuelle-OSIPD-Nov 1997" mises à jour par l'auteur par la liste des demandes d'autorisations de prélèvement d'eau auprès de l'ANDEA	4 276 596 960
		189 216 000
TOTAL		4 702 332 960

Source : Rapport OSIPD, Nov.1997 – Liste demande auprès ANDEA

7.4. Utilisation de l'eau dans l'industrie

Tableau des quantités d'eau utilisée pour l'industrie en m3/an

Organismes titulaires d'autorisation avec adresse	Débit déclaré dans la demande d'autorisation de prélèvement adressée à l'Autorité nationale de l'eau et de l'assainissement (ANDEA)	Mines (m3/an)	Productions industrielles (m3/an)	Refroidissement (m3/an)
WORLD GEMS COMPANY S.A.R.L	512 m3 à fréquence d'une fois / 2 jours pour remplissage d'un bassin de 1024 m3	93 440		
HENRI FRAISE Fils et Cie,	20 m3/s			630 720 000
Ambatovy DYNATEC Madagascar S.A, siège social Immeuble TRANOFITARATRA 7ème étage, Rue Ravoninahitrarivo, Ankorondrano, Antananarivo 101	87m3/jour	31 755		
Ambatovy Dynatec Madagascar S.A.	150m3/h pour essai hydraulique du pipeline en raison de 1à2 jours	1 314 000		
Ambatovy Dynatec Madagascar S.A.	480m3/jour	175 200		
AMBATOVY MINERAL S.A.	120m3/jour	43 800		
Ambatovy Minerals S.A (AMSA),siège social Batiment C2, Village des jeux Ankorondrano, Antananarivo 101	800 m3/j	292 000		
AQUAMEN E.F. SA	155m3/heure		1 357 800	
BRASSERIE STAR DE MADAGASCAR	10,5m3/jour		3 833	
BRASSERIE STAR DE MADAGASCAR	1350m3/jour		492 750	
Brasserie STAR Madagascar	10m3/heure		87 600	
Bright star exploration sarl	15 000m3 en raison de 230m3/h pendant 2 jours et demi.	15 000		

Société des eaux minérales d'Antsirabe	48m3/jour		17 520	
DYNATEC Madagascar SA,siège social Batiment C2, Village des jeux Ankorondrano,Antananarivo 101	13.6 m3/h	119 136		
DYNATEC Madagascar SA,siège social Batiment C2, Village des jeux Ankorondrano,Antananarivo 101	-riv Marimbona :2 400 – 72 000 m3/j	26 280 000		
DYNATEC Madagascar SA,siège social Batiment C2, Village des jeux Ankorondrano,Antananarivo 101	-riv Manantsatrana : 2 400 - 48 000 m3/j	17 520 000		
Epsilon	14,4m3/heure		126 144	
HAZOVATO	160l/s			5 045 760
HELIOS SARL, lot III K 46 C, Rue Agosthino Neto 67 ha sud, Antananarivo 101	20 000 m3/jour		7 300 000	
HOLCIM Madagascar	6m3/jour			189 216 000
HYDELEC Madagascar S.A, 11 rue Belgique Isoraka Antananarivo	7.5 m3/s sur la rivière sahanivotry			
INDENA Madagascar S.A	220 m3/jour		80 300	
Initiative Ambohimambola	15m3/jour		131 400	
Madagascar OIL S.A,siège social Immeuble TRANOFITARATRA 9ème étage, Antananarivo 101	Pour trois sites 3x800 m3/jour= 2 400 m3/jour	876 000		
MADAGASCAR WISCO GUANGXIN KAM	4m3/jour		1 460	
MADAGASCAR WISCO GUANGXIN KAM	2000m3/heure	17 520 000		
MADO SAINTO	27m3/heure		236 520	
Mainland Mining	20m3/jour	7 300		
Mineral Resources of Madagascar	300 à 500 litres/jour pendant 19 sept-06 au 30 nov 06	183		
NATURA Ltd SARLU	747m3/heure		6 543 720	
PARAPHARMA Export SARL	48m3/jour		17 520	
QUIT Meneral Madagascar (QMM), villa 3H- Lot II J 169 Ivandry, Antananarivo 101	1 500 m3/j	547 500		
SEER (Ranovisy)	48m3/jour		17 520	
SEMA EAU VIVE, Rue Dr Raseta joseph, Andranomahery, Antananarivo 101	18m3/h à Andranovelona, District Ankazobe		157 680	
TANA BEACH, siège social Club House du CNUT , route de la piscine d'Ambohibao	112 m3/jour pour refroidissement des équipements de fonderies et besoins domestique de l'usine			40 880
THREE DRAGONS Metallurgical Products SARL(3DMP), siège social Près Lot AP210 C, Ambohipeno , Ambohimambola, Antananarivo 101	1980m3/jour par unité de traitement			722 700
Association Fikambanana Tonga saina Andavakoera	50m3/heure		438 000	
Jirama refroidissement				2 223 960
TOTAL		64 835 314	17 009 767	827 969 300
		81 845 080		

Source : Autorité Nationale De l'Eau et de l'Assainissement - Demandes d'autorisation de prélèvement d'eau.

7.5. Répartition de l'utilisation des eaux souterraines et eaux de surface

Usage de l'eau	Eaux de surface	Eaux souterraines	Total utilisation millions de m3/an
Agriculture	10 424	3 630	14 186
Eau potable	37	93	130
Industrie	81	1	82
TOTAL	10 542	3 724	14 398

Source : Calcul à partir des données de la BDEA

Total utilisation : 14,398 milliards

8. Bilan Hydrique de Madagascar : volumes des ressources en eaux disponibles

Cette estimation est effectuée par les calculs du bilan hydrique du Pays en utilisant les données de la météorologie nationale collectée sur une période d'au moins 10 ans sur les 105 stations météorologiques en utilisant la formule de Thornthwaite

	Infiltration I (mm)	Evapotranspiration réelle ETR (mm)	Pluies P (mm)	Variation de stock ΔS (mm)	Ruissellement (mm)
MADAGASCAR	70	763,3	1485,9	-70	654,9

Source : Calcul à partir des données de la BDEA

8.1. Les eaux de surface

Quantité de renouvellement des réserves en eaux par la pluie

Superficie totale de Madagascar x pluviométrie :

$$587\,295 * 1000\,000 * 1485,9/1000 = 872,64 \text{ milliards de m}^3/\text{an}$$

Quantité d'eau perdue vers l'atmosphère

Superficie totale de Madagascar x évapotranspiration réelle :

$$587\,295 * 1000\,000 * 763,3 / 1000 = 448,29 \text{ milliards de m}^3/\text{an}$$

Quantité d'eaux de surface

Superficie totale de Madagascar x ruissellement calculé par le bilan hydrique :

$$587\,295 * 1000\,000 * 654,9/1000 = 384,59 \text{ milliards de m}^3 / \text{an}$$

Une grande partie de ces eaux s'écoule vers la mer et il faut des aménagements comme les barrages de retenues et la création de lacs artificiels ou des dérivations vers des

terrains irrigués ou des centrales hydroélectriques pour pouvoir en disposer comme réserves d'eau utilisables.

8.2. Les eaux souterraines

Volume de renouvellement des ressources souterraines

- Superficie totale de Madagascar x infiltrations obtenue du bilan hydrique

$$587\,295 \times 1\,000\,000 \times 70/1000 = 41,11 \text{ milliards de m}^3/\text{an}$$

Réserves d'eau souterraine exploitable :

- Superficie totale de Madagascar x épaisseur d'aquifère moyenne atteinte par des forages de 100 m de profondeur x porosité efficace d'un réservoir sablo-argileux

$$587\,295 \times 1\,000\,000 \times 100 \times 10\% = 587,2 \text{ milliards de m}^3/\text{an}$$

Total des ressources en eaux de surface et eaux souterraines

$$384,59 \text{ milliards} + 587,2 \text{ milliards} = 625,659 \text{ milliards de m}^3/\text{an}$$

9. Adéquation Ressources en eaux disponibles/Ressources en eaux utilisées : GIRE (Gestion intégrée des ressources en eaux)

Total utilisation : 14,398 milliards/ Total des ressources en eaux : 625,659 milliards= 2,3%