

ANALYSE DES OPTIONS D'ÉLECTRIFICATION GÉOSPATIALE AU  
MOINDRE COUT POUR UN DEPLOIEMENT  
SUR RESEAU ET HORS RESEAU  
**MADAGASCAR**

**ANNEXES**

## Sommaire

ANNEXE 1 : Résultats de la densification .....	4
1.1 Quantitatifs matériels par région.....	4
1.2 Investissements par équipement et par région.....	5
ANNEXE 2 : Résultats pour l'extension du réseau.....	8
ANNEXE 3 : Potentiel des ENR à Madagascar .....	13
1.1 Potentiel hydroélectrique .....	13
1.2 Potentiel Solaire.....	21
1.3 Potentiel Eolien.....	24
1.4 Potentiel Biomasse .....	27
ANNEXE 4 : Liste des 362 sites hydro potentiels considérés.....	31
ANNEXE 5 : Résultats des mini réseaux hydroélectriques .....	41
ANNEXE 6 : Hypothèses technico-économique .....	45
1.1 Paramètres réseaux .....	45
1.2 Paramètres hors-réseaux.....	46
ANNEXE 7 : Bilan des investissements et ménages électrifiés en pré-électrification .....	48
ANNEXE 8 : Etat des technologies MRV et systèmes individuels .....	53
1.1 Mini-réseaux verts (MRV) à Madagascar.....	53
1.1.1 Mini réseaux hydro.....	53
1.1.2 Mini réseaux solaires ou hybrides solaire/diesel .....	56
1.1.3 Mini réseaux éoliens.....	64
1.1.4 Mini réseaux Biomasse .....	65
1.2 Systèmes individuels.....	67
1.2.1 Projet OMDF .....	67
1.2.2 Pico systèmes solaires .....	69
1.2.3 Kiosques solaires.....	72
1.2.4 Café-Lumières (ESF).....	73
1.2.5 Kits solaires domestiques (SHS), Kits communautaires & productifs.....	74

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Longueur de réseau BT (km) à construire pour le programme de densification .....	4
Tableau 2 : Nombre de transformateurs à construire pour le programme de densification .....	4
Tableau 3 : Longueur de réseau MT (km) à construire pour le programme de densification .....	5
Tableau 4 : Investissement pour les branchements en zone de densification (Euros).....	5
Tableau 5 : Investissement pour le réseau BT en zone de densification (Euros).....	6
Tableau 6 : Investissement pour les Transformateurs en zone de densification (Euros) .....	6
Tableau 7 : Investissement pour le réseau MT en zone de densification (Euros).....	7
Tableau 8 : Investissement par client BT par région (en 2035).....	8
Tableau 9 : Investissement par fokontany électrifié par région .....	9
Tableau 10 : Investissement total par région–extension du réseau–scénario de référence.....	10
Tableau 11 : Investissement branchements par région–extension du réseau–scénario de référence	10
Tableau 12 : Investissement en réseau BT par région–extension du réseau–scénario de référence...	11
Tableau 13 : Investissement en réseau MT par région–extension du réseau–scénario de référence .	11
Tableau 14 : Investissement en transformateurs par région–extension du réseau–scénario de référence .....	12
Tableau 15 : Synthèse des données d'hydrologie pour les 4 sites étudiés. ....	17
Tableau 16 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Madagascar .....	29
Tableau 17 : Filières Biomasse à Madagascar .....	29
Tableau 18 : Liste de potentiels hydro à Madagascar.....	31
Tableau 19 : Liste des projets en Mini-hydro .....	41
Tableau 20 : Paramètres technico-économiques des réseaux électriques.....	45
Tableau 21 : Coûts des Transformateurs .....	46

Tableau 22 : Coûts des Groupes Diesel .....	46
Tableau 23 : Coûts unitaires (CAPEX) des solutions ENR .....	46
Tableau 24 : Coûts unitaires des équipements solaires .....	47
Tableau 25 : Nombre de ménages et de fokontany ciblés pour les pico systèmes .....	48
Tableau 26 : Nombre de ménages et de fokontany ciblés pour les SHS.....	48
Tableau 27 : Nombre de ménages et de fokontany ciblés pour les nano-réseaux.....	49
Tableau 25 : Investissement en pico-systèmes par région (Euros) .....	50
Tableau 26 : Investissement en SHS par région (Euros) .....	50
Tableau 27 : Investissement nano-réseaux par région (Euros) .....	51
Tableau 28 : Bilan des investissements en pré-électrification (Euros).....	52

## ANNEXE 1 : Résultats de la densification

### 1.1 Quantitatifs matériels par région

Tableau 1 : Longueur de réseau BT (km) à construire pour le programme de densification

REGION	2021	2022	2023	2024	2025	2026-2030	2031-2035
Alaotra Mangoro	16	19	28	35	34	115	136
Amoroni Mania	4	5	7	9	8	16	19
Analamanga	98	117	171	213	205	572	672
Analanjirofo	9	11	16	20	20	142	172
Androy	2	2	3	4	4	45	58
Anosy	4	5	8	9	9	66	84
Atsimo Andrefana	18	21	31	39	37	167	206
Atsimo Atsinanana	3	4	5	6	6	29	35
Atsinanana	31	38	55	69	66	279	332
Betsiboka	1	1	1	1	1	3	4
Boeny	21	25	37	46	44	236	297
Bongolava	3	4	5	7	6	41	50
Diana	27	32	47	59	57	258	313
Haute Matsiatra	18	21	31	39	37	148	178
Ihorombe	3	3	4	6	5	35	42
Itasy	8	9	14	17	16	270	335
Melaky	2	3	4	5	5	24	30
Menabe	5	6	9	11	10	47	58
Sava	12	14	21	26	25	184	227
Sofia	7	9	13	16	16	160	207
Vakinankaratra	26	32	46	58	56	287	347
Vatovavy Fitovinany	7	8	12	15	14	38	45
<b>Total</b>	<b>325</b>	<b>389</b>	<b>568</b>	<b>709</b>	<b>683</b>	<b>3161</b>	<b>3847</b>

Tableau 2 : Nombre de transformateurs à construire pour le programme de densification

REGION	2021	2022	2023	2024	2025	2026-2030	2031-2035
Alaotra Mangoro	8	10	14	18	17	57	68
Amoroni Mania	2	2	3	4	4	8	9
Analamanga	49	58	85	106	102	285	334
Analanjirofo	5	6	8	10	10	71	85
Androy	1	1	2	2	2	23	29
Anosy	2	3	4	5	5	33	42
Atsimo Andrefana	9	11	15	19	19	83	103
Atsimo Atsinanana	1	2	3	3	3	14	17
Atsinanana	16	19	27	34	33	139	165
Betsiboka	0	0	0	1	1	2	2
Boeny	10	12	18	23	22	117	148
Bongolava	2	2	3	3	3	21	25
Diana	13	16	24	29	28	128	156
Haute Matsiatra	9	11	16	19	19	74	88
Ihorombe	1	2	2	3	3	17	21
Itasy	4	5	7	8	8	134	166
Melaky	1	1	2	3	3	12	15
Menabe	2	3	4	5	5	23	29
Sava	6	7	10	13	12	91	113
Sofia	4	4	7	8	8	80	103
Vakinankaratra	13	16	23	29	28	143	173
Vatovavy Fitovinany	3	4	6	7	7	19	22
<b>Total</b>	<b>162</b>	<b>194</b>	<b>283</b>	<b>353</b>	<b>340</b>	<b>1573</b>	<b>1914</b>

Tableau 3 : Longueur de réseau MT (km) à construire pour le programme de densification

REGION	2021	2022	2023	2024	2025	2026-2030	2031-2035
Alaotra Mangoro	7	8	12	15	14	49	58
Amoroni Mania	2	2	3	4	3	7	8
Analamanga	42	50	73	91	87	243	286
Analanjirifo	4	5	7	9	8	60	73
Androy	1	1	1	2	2	19	25
Anosy	2	2	3	4	4	28	36
Atsimo Andrefana	8	9	13	16	16	71	88
Atsimo Atsinanana	1	1	2	3	3	12	15
Atsinanana	13	16	23	29	28	118	141
Betsiboka	0	0	0	0	0	1	2
Boeny	9	11	16	19	19	100	126
Bongolava	1	2	2	3	3	18	21
Diana	11	14	20	25	24	110	133
Haute Matsiatra	8	9	13	17	16	63	76
Ihorombe	1	1	2	2	2	15	18
Itasy	3	4	6	7	7	115	142
Melaky	1	1	2	2	2	10	13
Menabe	2	2	4	5	4	20	25
Sava	5	6	9	11	11	78	96
Sofia	3	4	6	7	7	68	88
Vakinankaratra	11	13	20	25	24	122	148
Vatovavy Fitovinany	3	3	5	6	6	16	19
<b>Total</b>	<b>138</b>	<b>165</b>	<b>242</b>	<b>301</b>	<b>290</b>	<b>1344</b>	<b>1636</b>

## 1.2 Investissements par équipement et par région

Tableau 4 : Investissement pour les branchements en zone de densification (Euros)

REGION	2021-2025	2026-2030	2031-2035
Alaotra Mangoro	661 894	570 759	678 328
Amoroni Mania	160 228	80 748	92 213
Analamanga	8 669 753	6 174 407	7 250 739
Analanjirifo	380 514	705 478	854 273
Androy	72 656	225 733	289 937
Anosy	176 358	329 602	417 371
Atsimo Andrefana	725 629	828 965	1 026 365
Atsimo Atsinanana	119 760	144 790	175 106
Atsinanana	1 290 351	1 387 041	1 652 815
Betsiboka	21 518	17 314	20 965
Boeny	855 702	1 174 104	1 478 364
Bongolava	126 612	205 928	250 921
Diana	1 107 107	1 284 030	1 560 522
Haute Matsiatra	730 589	738 494	884 830
Ihorombe	103 988	173 249	211 384
Itasy	319 456	1 343 619	1 665 542
Melaky	99 741	117 999	147 287
Menabe	199 410	232 113	287 523
Sava	487 821	913 667	1 129 620
Sofia	307 216	796 537	1 030 345
Vakinankaratra	1 085 017	1 428 830	1 729 461
Vatovavy Fitovinany	273 850	189 299	222 434
<b>TOTAL</b>	<b>17 975 172</b>	<b>19 062 704</b>	<b>23 056 346</b>

**Tableau 5 : Investissement pour le réseau BT en zone de densification (Euros)**

REGION	2021-2025	2026-2030	2031-2035
Alaotra Mangoro	1 808 859	1 559 798	1 853 770
Amoroni Mania	437 879	220 672	252 005
Analamanga	10 935 297	7 787 877	9 145 472
Analanjirofo	1 039 889	1 927 967	2 334 600
Androy	198 557	616 895	792 354
Anosy	481 959	900 753	1 140 612
Atsimo Andrefana	1 983 035	2 265 436	2 804 902
Atsimo Atsinanana	327 288	395 689	478 539
Atsinanana	3 526 338	3 790 575	4 516 897
Betsiboka	58 806	47 317	57 295
Boeny	2 338 507	3 208 650	4 040 147
Bongolava	346 012	562 770	685 731
Diana	3 025 557	3 509 063	4 264 675
Haute Matsiatra	1 996 591	2 018 194	2 418 108
Ihorombe	284 182	473 464	577 681
Itasy	873 027	3 671 910	4 551 678
Melaky	272 577	322 473	402 514
Menabe	544 959	634 329	785 757
Sava	1 333 141	2 496 916	3 087 082
Sofia	839 576	2 176 817	2 815 780
Vakinankaratra	2 965 190	3 904 778	4 726 359
Vatovavy Fitovinany	748 392	517 327	607 880
<b>TOTAL</b>	<b>36 365 618</b>	<b>43 009 672</b>	<b>52 339 838</b>

**Tableau 6 : Investissement pour les Transformateurs en zone de densification (Euros)**

REGION	2021-2025	2026-2030	2031-2035
Alaotra Mangoro	649 936	560 446	666 072
Amoroni Mania	157 333	79 289	90 547
Analamanga	3 929 129	2 798 239	3 286 032
Analanjirofo	373 639	692 732	838 838
Androy	71 343	221 655	284 699
Anosy	173 171	323 647	409 830
Atsimo Andrefana	712 518	813 987	1 007 821
Atsimo Atsinanana	117 597	142 174	171 942
Atsinanana	1 267 038	1 361 980	1 622 953
Betsiboka	21 130	17 001	20 587
Boeny	840 242	1 152 891	1 451 653
Bongolava	124 325	202 207	246 388
Diana	1 087 104	1 260 831	1 532 328
Haute Matsiatra	717 389	725 151	868 843
Ihorombe	102 109	170 119	207 565
Itasy	313 685	1 319 343	1 635 450
Melaky	97 939	115 867	144 626
Menabe	195 808	227 919	282 328
Sava	479 007	897 160	1 109 210
Sofia	301 666	782 146	1 011 729
Vakinankaratra	1 065 414	1 403 014	1 698 214
Vatovavy Fitovinany	268 903	185 879	218 415
<b>TOTAL</b>	<b>13 066 421</b>	<b>15 453 676</b>	<b>18 806 070</b>

**Tableau 7 : Investissement pour le réseau MT en zone de densification (Euros)**

<b>REGION</b>	<b>2021-2025</b>	<b>2026-2030</b>	<b>2031-2035</b>
<b>Alaotra Mangoro</b>	1 559 500	1 344 773	1 598 220
<b>Amoroni Mania</b>	377 515	190 252	217 265
<b>Analamanga</b>	9 427 819	6 714 285	7 884 729
<b>Analanjirifo</b>	896 536	1 662 189	2 012 766
<b>Androy</b>	171 185	531 853	683 125
<b>Anosy</b>	415 519	776 580	983 374
<b>Atsimo Andrefana</b>	1 709 665	1 953 136	2 418 234
<b>Atsimo Atsinanana</b>	282 170	341 141	412 570
<b>Atsinanana</b>	3 040 217	3 268 028	3 894 224
<b>Betsiboka</b>	50 700	40 794	49 397
<b>Boeny</b>	2 016 134	2 766 324	3 483 196
<b>Bongolava</b>	298 313	485 190	591 200
<b>Diana</b>	2 608 471	3 025 324	3 676 771
<b>Haute Matsiatra</b>	1 721 352	1 739 977	2 084 761
<b>Ihorombe</b>	245 007	408 195	498 045
<b>Itasy</b>	752 676	3 165 721	3 924 210
<b>Melaky</b>	235 001	278 019	347 026
<b>Menabe</b>	469 834	546 884	677 437
<b>Sava</b>	1 149 362	2 152 706	2 661 515
<b>Sofia</b>	723 837	1 876 734	2 427 612
<b>Vakinankaratra</b>	2 556 426	3 366 488	4 074 810
<b>Vatovavy Fitovinany</b>	645 223	446 011	524 081
<b>TOTAL</b>	<b>31 352 462</b>	<b>37 080 604</b>	<b>45 124 566</b>

## ANNEXE 2 : Résultats pour l'extension du réseau

Tableau 8 : Investissement par client BT par région (en 2035)

REGION	Scénario Bas (€)	Scénario Référence (€)	Scénario Haut (€)
ALAOIRA MANGORO	1 600	1 288	946
AMORON I MANIA	1 574	1 022	692
ANALAMANGA	1 407	922	694
ANALANJIROFO	1 221	927	834
ANDROY	1 203	1 028	872
ANOSY	1 490	1 054	746
ATSIMO ANDREFANA	1 105	1 130	819
ATSIMO ATSIANANA	1 097	890	659
ATSIANANA	2 767	1 529	922
BETSIBOKA	0	0	1 993
BOENY	4 652	2 740	1 618
BONGOLAVA	1 715	1 548	1 191
DIANA	2 128	1 650	1 023
HAUTE MATSIATRA	1 248	849	624
IHOROMBE	1 472	1 298	1 135
ITASY	1 802	1 049	725
MENABE	1 264	1 206	954
MELAKY	0	0	0
SAVA	1 423	1 143	924
SOFIA	1 475	1 467	1 156
VAKINANKARATRA	1 571	1 024	775
VATOVAVY FITOVINANY	1 246	955	682
<b>TOTAL</b>	<b>1 496</b>	<b>1 065</b>	<b>810</b>

**Tableau 9 : Investissement par fokontany électrifié par région**

REGION	Scénario Bas (€)	Scénario Référence (€)	Scénario Haut (€)
ALAO TRA MANGORO	107 378	161 940	231 838
AMORON I MANIA	83 046	105 996	150 337
ANALAMANGA	83 712	110 633	160 509
ANALANJIROFO	86 751	131 743	225 208
ANDROY	74 470	108 380	155 055
ANOSY	103 748	128 614	182 657
ATSIMO ANDREFANA	84 363	132 956	209 346
ATSIMO ATSIANANA	82 092	119 953	160 169
ATSIANANA	140 629	172 844	220 146
BETSIBOKA	-	-	291 737
BOENY	198 616	257 649	293 229
BONGOLAVA	110 325	187 142	285 700
DIANA	124 809	190 680	243 953
HAUTE MATSIATRA	90 123	122 412	180 040
IHOROMBE	107 442	179 011	293 094
ITASY	103 718	131 334	183 104
MENABE	98 170	172 843	262 585
MELAKY	-	-	-
SAVA	114 493	155 803	233 551
SO FIA	105 107	163 740	249 957
VAKINANKARATRA	101 012	137 543	207 725
VATOVAVY FITOVINANY	87 901	121 941	165 176
<b>TOTAL</b>	<b>96 621</b>	<b>135 952</b>	<b>199 621</b>

Tableau 10 : Investissement total par région–extension du réseau–scénario de référence

REGION	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total (€)
ALAO TRA MANGORO	1 845 195	12 368 987	39 711 885	53 926 068
AMORON I MANIA	17 775 874	4 018 109	1 101 076	22 895 058
ANALAMANGA	31 571 762	18 562 668	11 930 432	62 064 862
ANALANJIROFO	1 934 565	4 562 934	7 335 474	13 832 973
ANDROY	5 980 575	1 492 005	1 848 092	9 320 672
ANOSY	1 203 613	9 570 805	1 958 361	12 732 779
ATSIMO ANDREFANA	2 079 803	2 552 229	4 674 874	9 306 905
ATSIMO AT SINANANA	3 986 288	9 544 663	1 703 040	15 233 991
AT SINANANA	666 234	12 652 734	11 916 258	25 235 227
BETSIBOKA	0	0	0	0
BOENY	0	570 396	6 643 776	7 214 172
BONGOLAVA	728 129	2 716 260	16 579 809	20 024 198
DIANA	1 292 508	5 002 090	4 192 776	10 487 374
HAUTE MATSIATRA	22 889 090	32 492 177	11 945 432	67 326 699
IHOROMBE	1 902 855	5 605 226	3 232 550	10 740 631
ITASY	16 210 569	15 948 867	23 920 010	56 079 445
MENABE	2 039 758	5 483 282	9 069 856	16 592 896
MELAKY	0	0	0	0
SAVA	767 334	9 333 365	22 617 858	32 718 558
SOFIA	1 738 340	3 063 270	6 987 642	11 789 251
VAKINANKARATRA	13 317 590	22 203 164	57 595 618	93 116 372
VATOVAVY FITOVINANY	10 331 470	14 651 391	4 892 570	29 875 430
Total	138 261 553	192 394 622	249 857 388	580 513 562

Tableau 11 : Investissement branchements par région–extension du réseau–scénario de référence

REGION	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total (€)
ALAO TRA MANGORO	51 965	289 192	1 944 705	2 285 862
AMORON I MANIA	352 238	452 566	418 122	1 222 926
ANALAMANGA	792 085	1 211 190	1 669 432	3 672 707
ANALANJIROFO	42 249	191 048	581 332	814 629
ANDROY	129 967	160 862	204 258	495 087
ANOSY	18 886	284 389	356 004	659 279
ATSIMO ANDREFANA	52 893	126 747	269 978	449 618
ATSIMO AT SINANANA	94 978	429 258	409 880	934 116
AT SINANANA	12 609	207 915	680 186	900 710
BETSIBOKA	0	0	0	0
BOENY	0	5 677	138 046	143 723
BONGOLAVA	10 917	72 216	623 090	706 223
DIANA	20 742	121 725	204 476	346 943
HAUTE MATSIATRA	640 557	1 736 245	1 951 037	4 327 838
IHOROMBE	44 050	162 937	244 760	451 747
ITASY	328 766	763 100	1 825 928	2 917 795
MENABE	43 886	186 954	520 197	751 037

MELAKY	0	0	0	0
SAVA	14 083	231 386	1 316 867	1 562 336
SOFIA	27 893	83 133	327 729	438 755
VAKINANKARATRA	341 266	896 288	3 723 799	4 961 354
VATOVAVY FITOVINANY	235 480	666 376	806 168	1 708 024
<b>Total</b>	<b>3 255 513</b>	<b>8 279 203</b>	<b>18 215 993</b>	<b>29 750 710</b>

Tableau 12 : Investissement en réseau BT par région–extension du réseau–scénario de référence

REGION	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total (€)
ALAO TRA MANGORO	304 516	2 033 432	12 312 603	14 650 551
AMORON I MANIA	2 518 889	721 496	169 377	3 409 762
ANALAMANGA	5 186 295	3 556 692	3 786 156	12 529 143
ANALANJIROFO	346 463	911 054	3 112 276	4 369 793
ANDROY	890 874	236 266	494 300	1 621 440
ANOSY	159 174	1 807 142	598 148	2 564 464
ATSIMO ANDREFANA	392 039	529 672	1 108 320	2 030 031
ATSIMO ATSINANANA	703 584	1 942 508	592 480	3 238 571
ATSINANANA	77 546	1 592 644	3 038 584	4 708 774
BETSIBOKA	0	0	0	0
BOENY	0	56 232	878 403	934 635
BONGOLAVA	68 250	427 411	4 544 385	5 040 045
DIANA	153 732	752 560	565 497	1 471 789
HAUTE MATSIATRA	4 150 532	7 388 423	3 431 530	14 970 486
IHOROMBE	310 638	724 444	899 717	1 934 799
ITASY	2 332 053	3 200 479	7 521 068	13 053 600
MENABE	294 993	1 003 338	2 580 110	3 878 441
MELAKY	0	0	0	0
SAVA	129 017	1 595 364	7 920 363	9 644 744
SOFIA	203 389	455 073	1 804 648	2 463 110
VAKINANKARATRA	2 296 227	4 739 384	19 569 289	26 604 901
VATOVAVY FITOVINANY	1 723 474	2 687 359	1 813 718	6 224 551
<b>Total</b>	<b>22 241 683</b>	<b>36 360 975</b>	<b>76 740 971</b>	<b>135 343 629</b>

Tableau 13 : Investissement en réseau MT par région–extension du réseau–scénario de référence

REGION	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total (€)
ALAO TRA MANGORO	1 336 968	9 305 097	23 241 695	33 883 759
AMORON I MANIA	13 475 708	2 590 771	474 821	16 541 300
ANALAMANGA	22 726 023	12 458 542	5 767 966	40 952 531
ANALANJIROFO	1 387 556	3 134 413	3 152 783	7 674 752
ANDROY	4 456 568	997 278	1 081 849	6 535 695
ANOSY	935 160	6 817 156	906 501	8 658 817
ATSIMO ANDREFANA	1 464 238	1 738 168	3 024 741	6 227 147
ATSIMO ATSINANANA	2 842 967	6 494 513	602 973	9 940 453
ATSINANANA	534 594	10 185 145	7 592 139	18 311 879
BETSIBOKA	0	0	0	0
BOENY	0	483 923	5 392 611	5 876 534

<b>BONGOLAVA</b>	603 111	2 040 869	10 625 762	13 269 742
<b>DIANA</b>	1 039 977	3 843 417	3 301 623	8 185 017
<b>HAUTE MATSIATRA</b>	16 089 704	21 087 597	5 980 441	43 157 742
<b>IHOROMBE</b>	1 405 154	4 459 658	1 964 711	7 829 522
<b>ITASY</b>	12 279 553	10 819 894	13 106 311	36 205 758
<b>MENABE</b>	1 563 979	3 984 147	5 566 166	11 114 292
<b>MELAKY</b>	0	0	0	0
<b>SAVA</b>	564 191	6 894 169	12 107 157	19 565 517
<b>SOFIA</b>	1 396 796	2 335 652	4 524 479	8 256 927
<b>VAKINANKARATRA</b>	9 475 948	14 948 496	30 766 504	55 190 948
<b>VATOVAVY FITOVINANY</b>	7 519 568	10 333 792	1 998 666	19 852 026
<b>Total</b>	101 097 762	134 952 697	141 179 899	377 230 359

Tableau 14 : Investissement en transformateurs par région–extension du réseau–scénario de référence

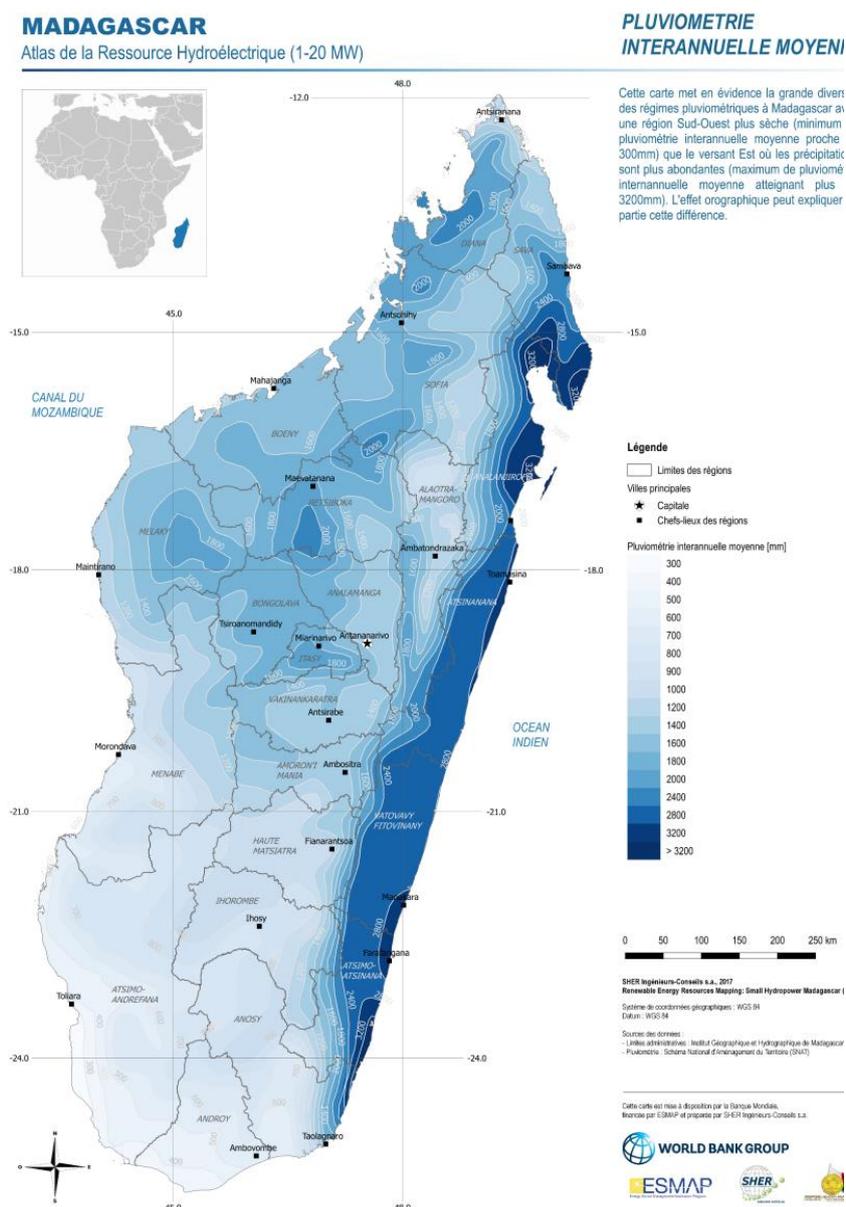
REGION	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total (€)
<b>ALAOTRA MANGORO</b>	151 747	741 266	2 212 882	3 105 895
<b>AMORON I MANIA</b>	1 429 039	253 275	38 755	1 721 070
<b>ANALAMANGA</b>	2 867 358	1 336 245	706 878	4 910 480
<b>ANALANJIROFO</b>	158 297	326 419	489 083	973 799
<b>ANDROY</b>	503 166	97 598	67 686	668 450
<b>ANOSY</b>	90 393	662 118	97 707	850 218
<b>ATSIMO ANDREFANA</b>	170 633	157 642	271 834	600 109
<b>ATSIMO ATSIANANA</b>	344 760	678 384	97 707	1 120 852
<b>ATSIANANA</b>	41 485	667 031	605 349	1 313 865
<b>BETSIBOKA</b>	0	0	0	0
<b>BOENY</b>	0	24 563	234 716	259 279
<b>BONGOLAVA</b>	45 852	175 764	786 572	1 008 188
<b>DIANA</b>	78 057	284 389	121 179	483 624
<b>HAUTE MATSIATRA</b>	2 008 297	2 279 913	582 424	4 870 633
<b>IHOROMBE</b>	143 013	258 188	123 362	524 563
<b>ITASY</b>	1 270 197	1 165 393	1 466 703	3 902 293
<b>MENABE</b>	136 900	308 843	403 384	849 127
<b>MELAKY</b>	0	0	0	0
<b>SAVA</b>	60 044	612 445	1 273 472	1 945 961
<b>SOFIA</b>	110 262	189 410	330 786	630 459
<b>VAKINANKARATRA</b>	1 204 148	1 618 996	3 536 026	6 359 170
<b>VATOVAVY FITOVINANY</b>	852 948	963 865	274 017	2 090 830
<b>Total</b>	11 666 594	12 801 747	13 720 524	38 188 865

## ANNEXE 3 : Potentiel des ENR à Madagascar

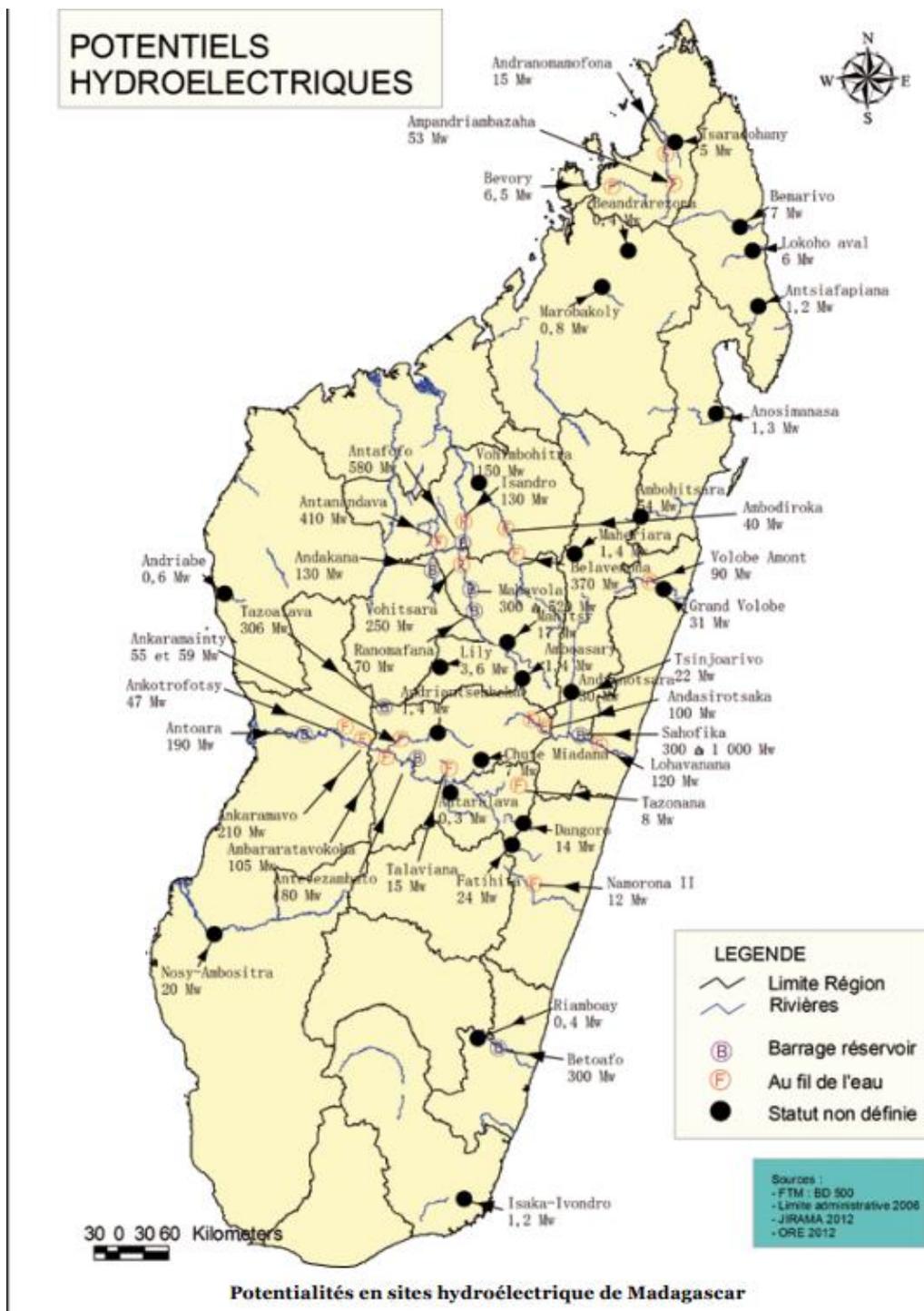
Cette section de l'étude présente les ressources disponibles localement (hydroélectrique, solaire, éolien et biomasse) et permettra de montrer la préfaisabilité de projet d'électrification par énergies renouvelables (mini-réseaux hybrides, etc.).

### 1.1 Potentiel hydroélectrique

Madagascar est caractérisé par un relief prononcé dans plusieurs régions de l'île et une pluviométrie abondante, à l'exception du Sud-Ouest de l'île. Dans les Hautes Terres, au centre du pays et au Nord, de nombreuses rivières et chutes d'eau peuvent être équipées de microcentrales hydroélectriques, mais l'étiage peut être important pendant plusieurs mois de l'année (juillet-octobre).



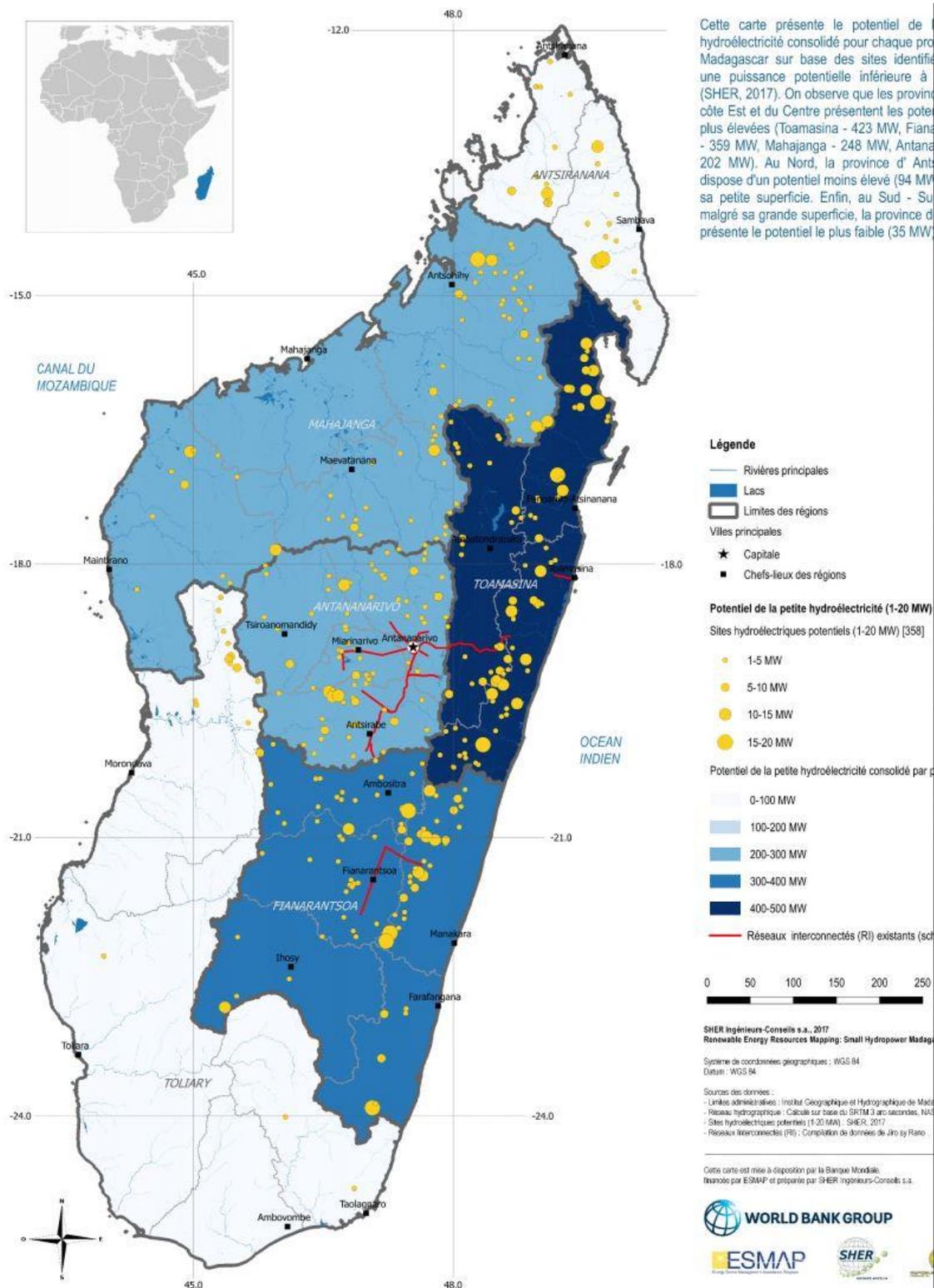
Historiquement, depuis les années 1980, de nombreuses initiatives ont été lancées pour valoriser les potentiels hydroélectriques. La carte ci-dessous illustre les sites potentiels hydro (> 0,1MW) identifiés en 2012 (WWF, 2012). L'étude ESMAP en 2017 dénombre plus de 1300 sites potentiels répertoriés dans la littérature. L'hydroélectricité ne représentait que 40% de la production électrique en 2017, année de forte sécheresse (>60% en 2015).



Le potentiel pour la petite hydroélectricité a été étudiée en détail par SHER/MhyLab/Artelia (*Atlas Hydro de Madagascar*, WB-ESMAP, 2017) et fournit une base de données SIG des sites potentiels et existants (focus sur 1-20 MW) à Madagascar. Cet Atlas présente entre autres : la densité de population, les zones protégées, les centrales thermiques et les réseaux de transport existants, et bien entendu les sites hydro existants et potentiels dans la fourchette de puissance de 1-20 MW.

Sans considération technique ou économique, plus de 350 sites potentiels ont été identifiés entre 1 et 20 MW, dont plus de 300 sites en dessous de 2MW, avec un total cumulé de 1350 MW, dont plus de la moitié se trouve dans 2 des 6 provinces (Toamasina (31%) and Fianarantsoa (26%)). Seuls les 33 sites les plus prometteurs ont été validés par des visites sur site.

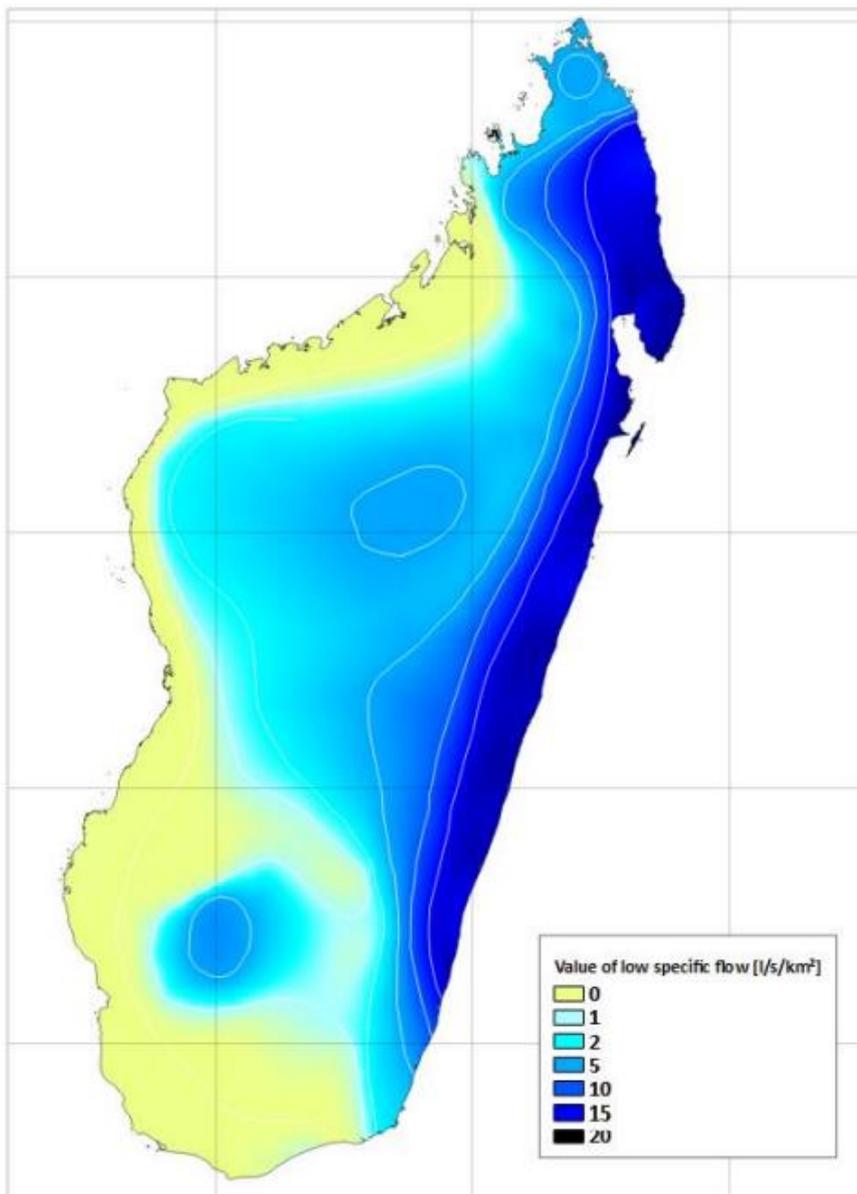
On notera que la plupart de ces 350 sites diffèrent des sites hydro potentiels répertoriés dans la base de données de l'ADER pour lesquels la localisation et/ou le potentiel n'a pas pu être confirmés lors de l'étude réalisée par SHER.



Dans les régions montagneuses où se situe le potentiel intéressant pour des projets d'hydroélectricité (centrale micro et mini hydro <2MW), peu de stations<sup>1</sup> de mesures et de données hydrologiques (mesure des débits) sont disponibles. Néanmoins, le document de l'ORSTOM sur les « Fleuves et rivières de Madagascar » fournit des éléments clés sur la pluviométrie et l'hydrologie des bassins versants.

La carte suivante illustre le potentiel hydrologique de l'île sur base du débit spécifique minimum (en litre/s/km<sup>2</sup>) calculé par l'application SiteFinder.

<sup>1</sup> 149 stations hydrologiques sont installées mais seulement 12 sont fonctionnelles (ESMAP, 2017)



**Figure 33. Distribution of the minimum specific flow**

En estimant la superficie des bassins versants (modèles numériques) et les pertes pluviométriques dans le sous-sol (perméable basaltique) et par évapotranspiration, on peut calculer les écoulements en surface et les débits spécifiques (litre/sec/km<sup>2</sup>) pour une rivière donnée. Des outils comme SiteFinder permettent aujourd'hui d'identifier des sites hydro à partir d'images satellite et des données topo-, climato- et hydrographiques.

Par exemple, à l'Est de la Montagne d'Ambre (district d'Antsiranana II dans la région de Diana), 4 rivières (Besokatra/Anivorano, Saharenana, Beamalona, Antsahalalina) ont été étudiées pour la production d'hydroélectricité. Les calculs ont montré une variation saisonnière importante des moyennes mensuelles des débits qui constitue un obstacle important pour une demande rurale d'électricité relativement constante.

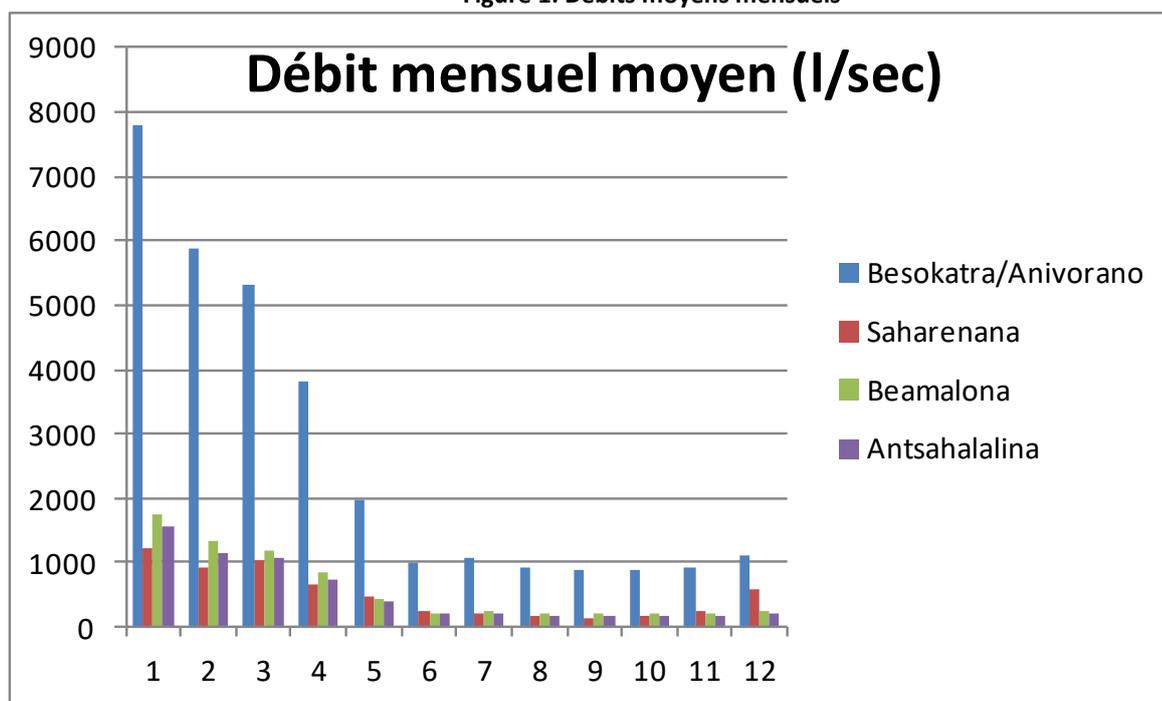
Comme le montre le tableau de synthèse ci-dessous, les débits à l'étiage (6-7 l/s/km<sup>2</sup>) sont relativement faibles (3 à 4 fois inférieurs au débit moyen 21-22 l/s/km<sup>2</sup>). Les crues peuvent être modérées à fortes selon la perméabilité des sols et les années (500-6000 litres/sec/km<sup>2</sup>) et la conception des ouvrages de prise et de centrale devront impérativement en tenir compte.

Tableau 15 : Synthèse des données d'hydrologie pour les 4 sites étudiés.

Carte 1/100 000°	Projet	3	6	7	10
	Rivière	Mahavanona Besokatra/Anivorano	Antsalaka Saharenana	Anivorano Beamalona	Antsa+Anivo+Sadjo Antsahalalina
Bassin versant	km <sup>2</sup>	121,75	22,875	27,25	24,125
Q (l/s)					
Janvier	l/s	7790	1219	1744	1544
Février	l/s	5887	931	1318	1166
Mars	l/s	5330	1020	1193	1056
Avril	l/s	3803	649	851	753
Mai	l/s	1980	490	443	392
Juin	l/s	1014	265	227	201
Juillet	l/s	1074	201	240	213
Août	l/s	931	164	208	184
Septembre	l/s	882	151	197	175
Octobre	l/s	888	172	199	176
Novembre	l/s	921	230	206	183
Décembre	l/s	1103	588	247	218
<b>Moyenne annuelle</b>	l/s	<b>2633,5</b>	<b>506,6</b>	<b>589,4</b>	<b>521,8</b>
Débit spécifique moyen	l/s/km <sup>2</sup>	21,6	22,1	21,6	21,6
Débit spécifique Etiage	l/s/km <sup>2</sup>	7,2	6,6	7,2	7,2
Débit spécifique Crue	l/s/km <sup>2</sup>	300	1370-5680	300	300
Débit résiduel	l/s	132,3	22,6	29,6	26,2
	15%				

Les débits moyens mensuels pour ces 4 rivières sont aussi illustrés ci-dessous.

Figure 1: Débits moyens mensuels

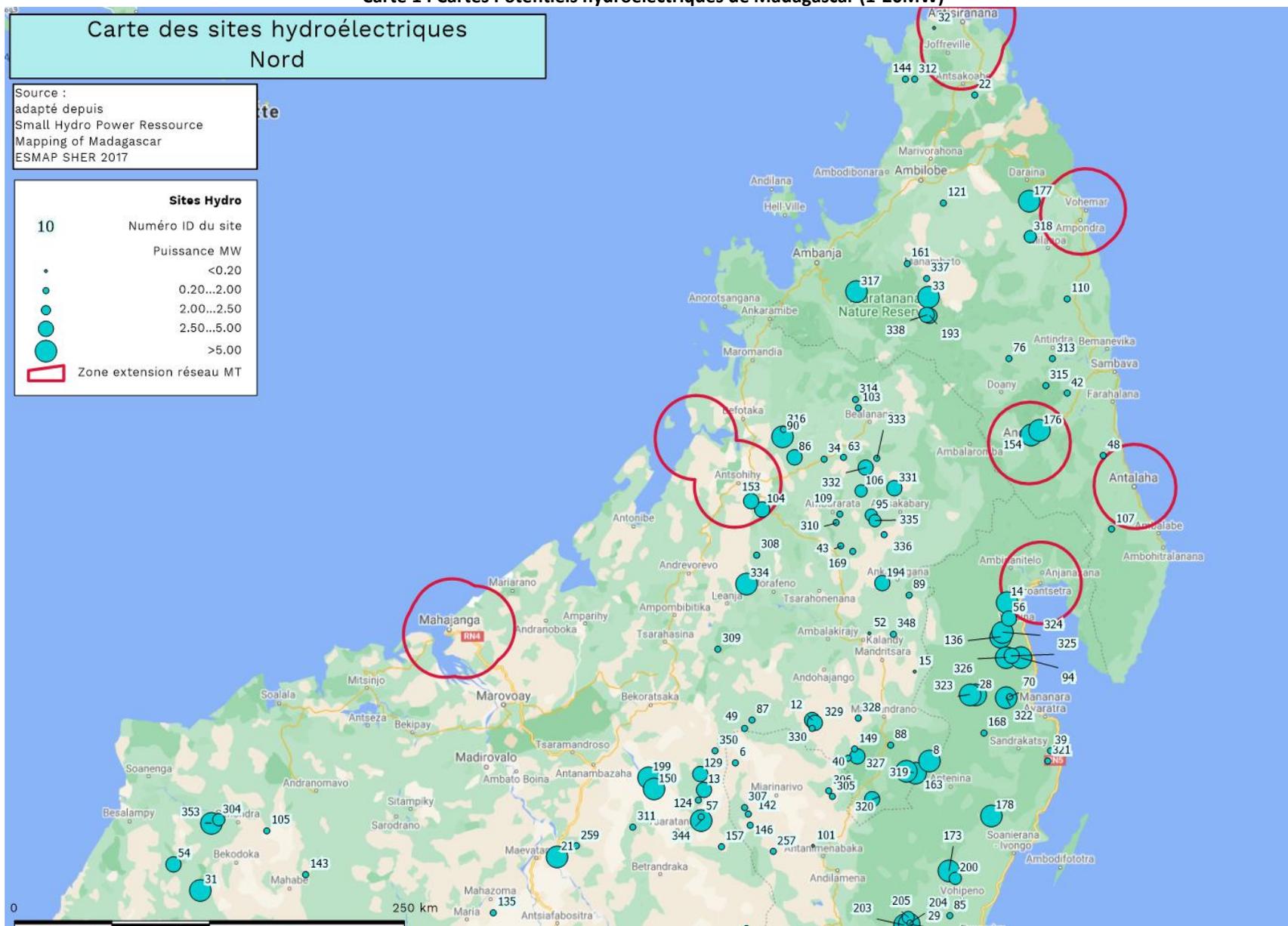


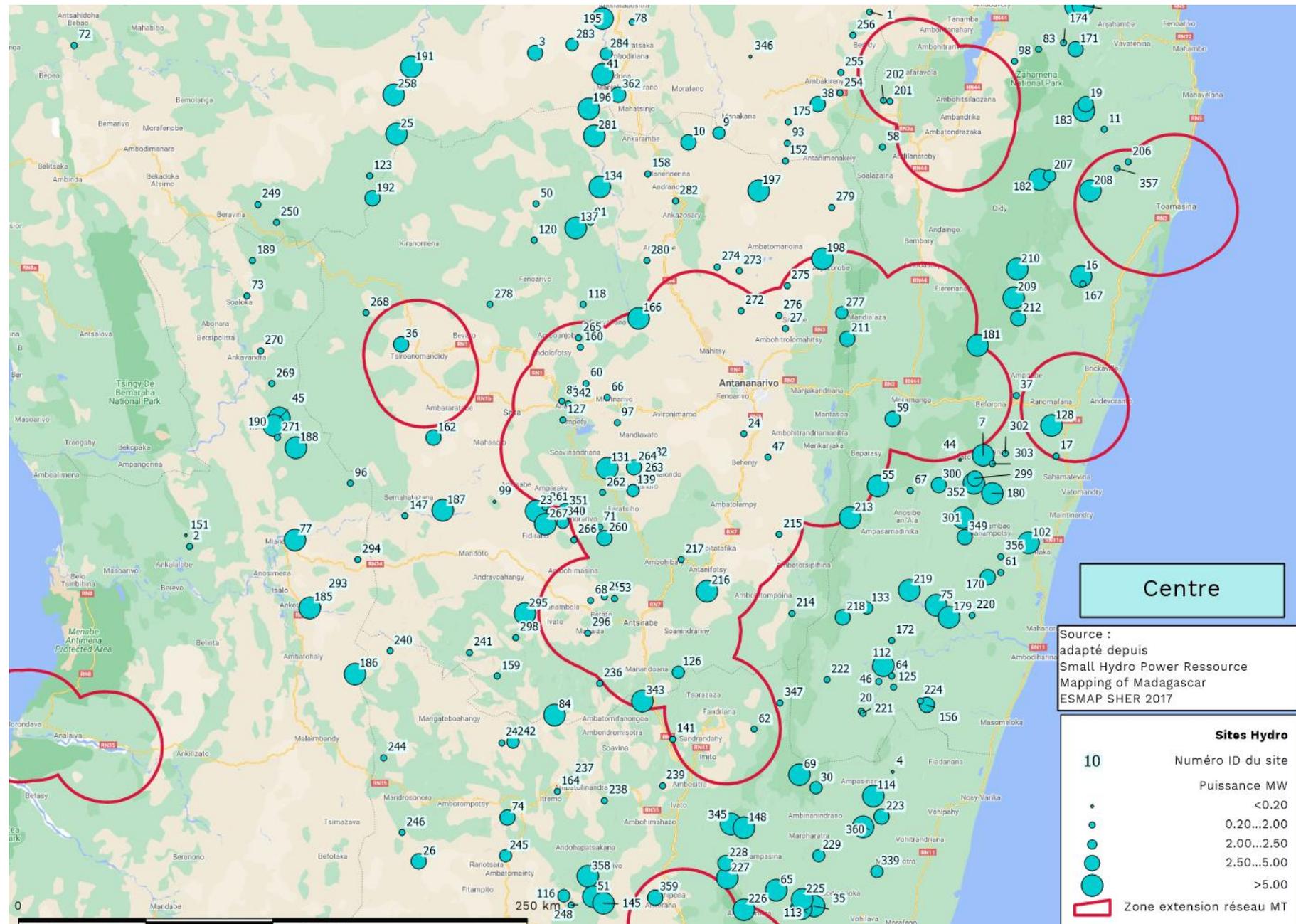
Un autre facteur particulièrement important et limitant (qui ne peut être mis en exergue que par des visites de terrain) est le prélèvement d'eau parfois conséquent par les villageois pour les besoins en irrigation. Par exemple, dans la zone autour d'Antsalaka, l'économie locale se développe autour de la culture du Khat et nécessite beaucoup d'eau.

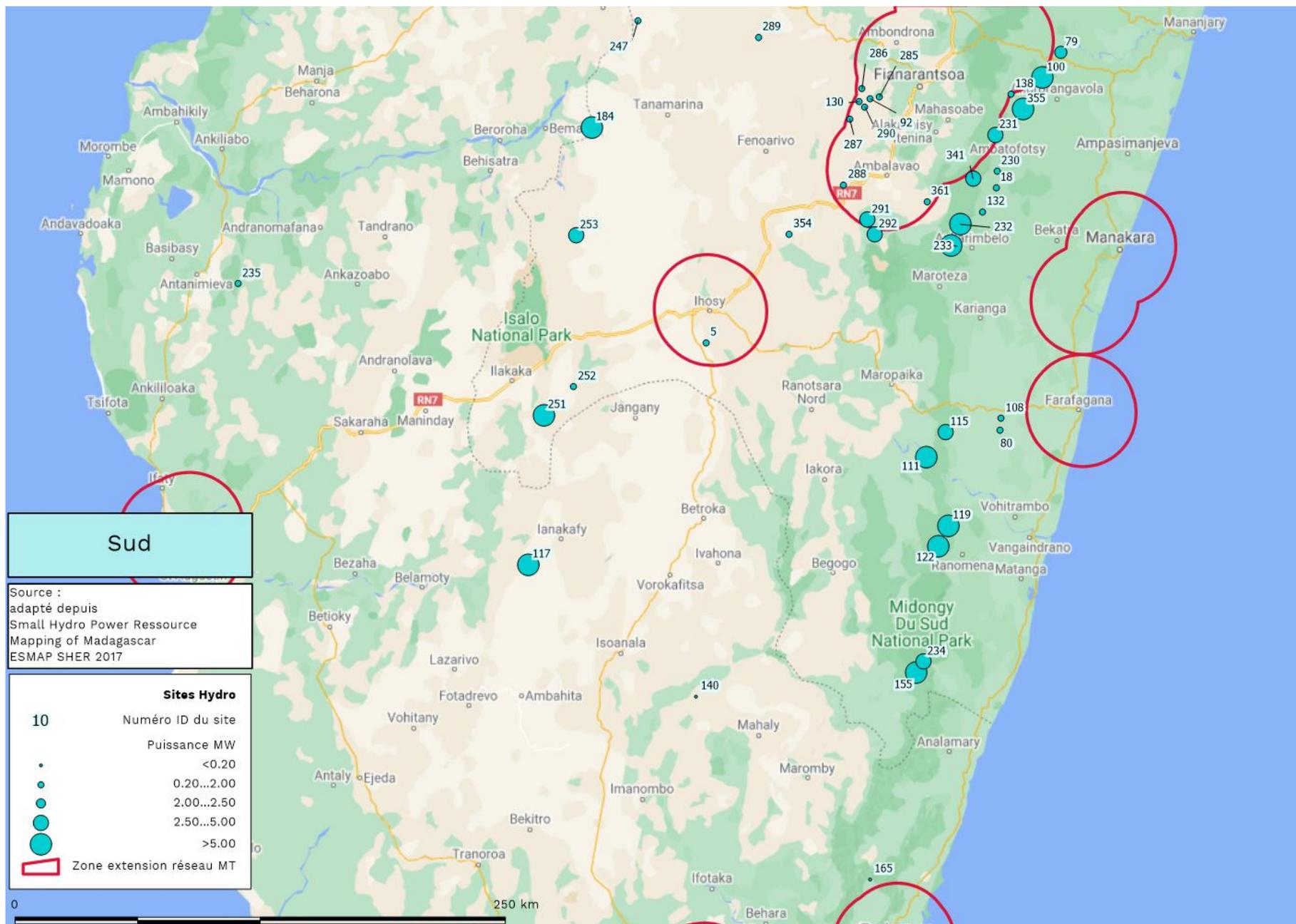
Tout projet d'hydroélectricité nécessitera une étude plus approfondie avec des mesures de débit et des investigations plus poussées sur la possibilité de gérer au mieux les besoins en eau des population (contrôle des plages horaires d'utilisation, etc.) mais aussi le transport solide dans les rivières (déforestation, pratiques agricoles, orpaillage, ...). D'autre part, l'étude d'un site hydro et de son potentiel doit être fait en parallèle avec la localisation de la demande et l'estimation des besoins.

La liste des **362 sites hydro potentiels considérés** est donnée en annexe.

Carte 1 : Cartes Potentiels hydroélectriques de Madagascar (1-20MW)







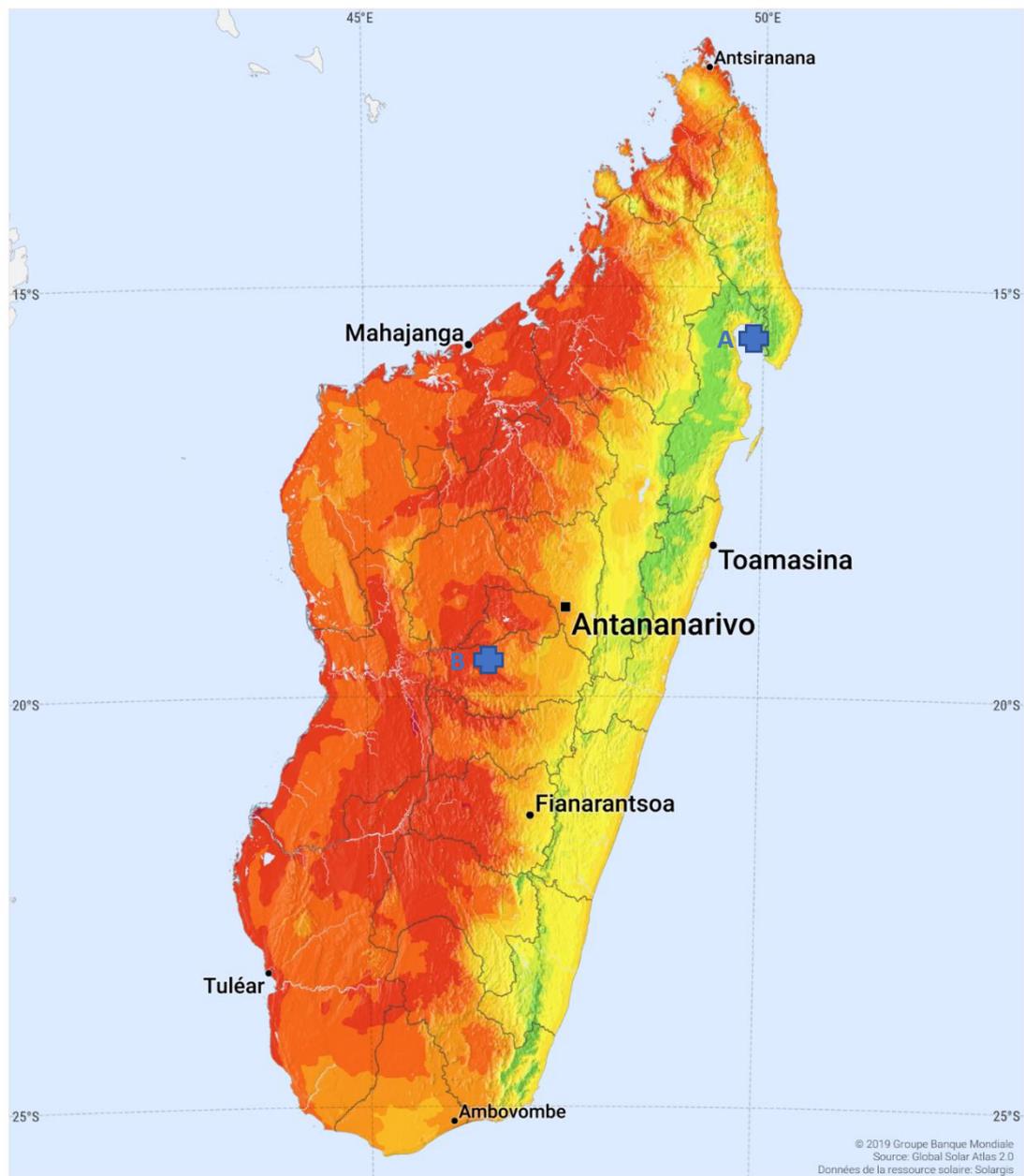
## 1.2 Potentiel Solaire

Les cartes de rayonnement solaire ci-dessous proviennent de Solargis et PVGIS disponibles en ligne ; les données proviennent de la National Solar Radiation Database (NSRDB), développée par le National Renewable Energy Laboratory (NREL).

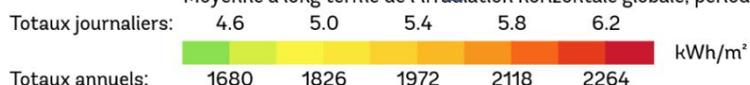
La première carte illustre le haut potentiel solaire sur une grande partie de l'île, la zone moins favorable étant le flanc Est qui est la zone la plus pluvieuse.

CARTE DE LA RESSOURCE SOLAIRE

### IRRADIATION GLOBALE HORIZONTALE MADAGASCAR

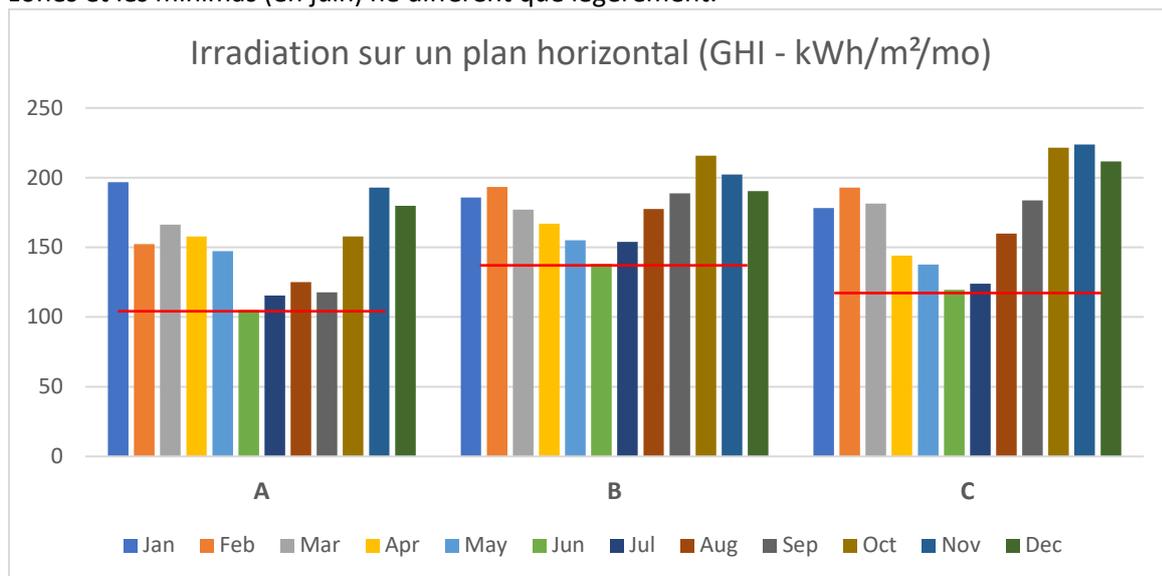


Moyenne à long terme de l'irradiation horizontale globale, période 1999-2018

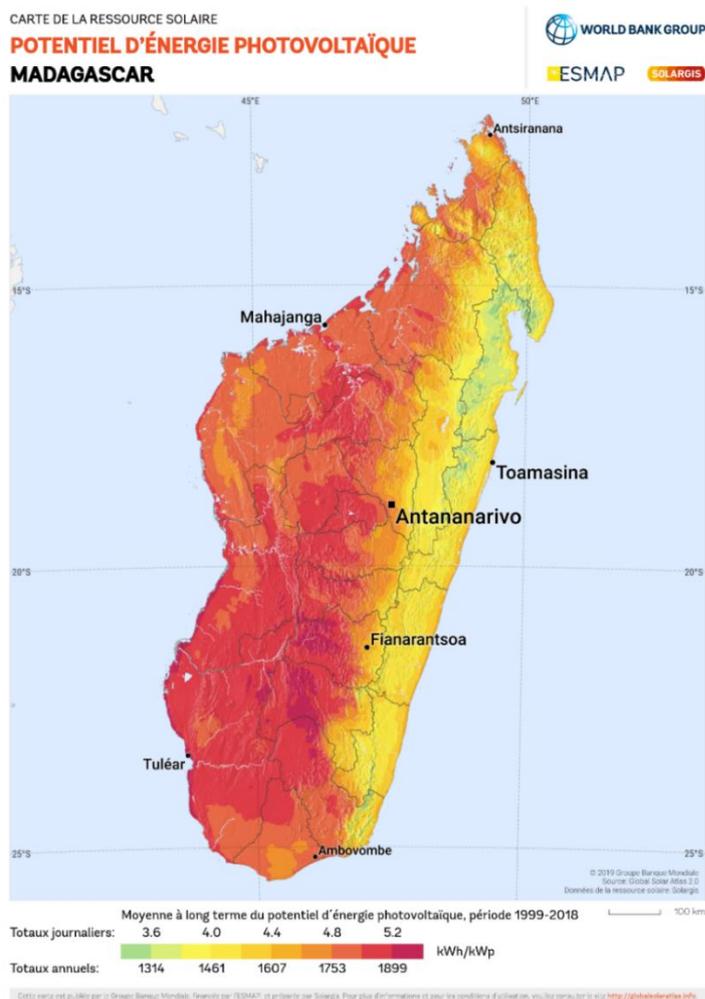


Cette carte est publiée par le Groupe Banque Mondiale, financée par l'ESMAP et préparée par Solargis. Pour plus d'informations et pour les conditions d'utilisation, veuillez consulter le site <http://globalsolaratlas.info>.

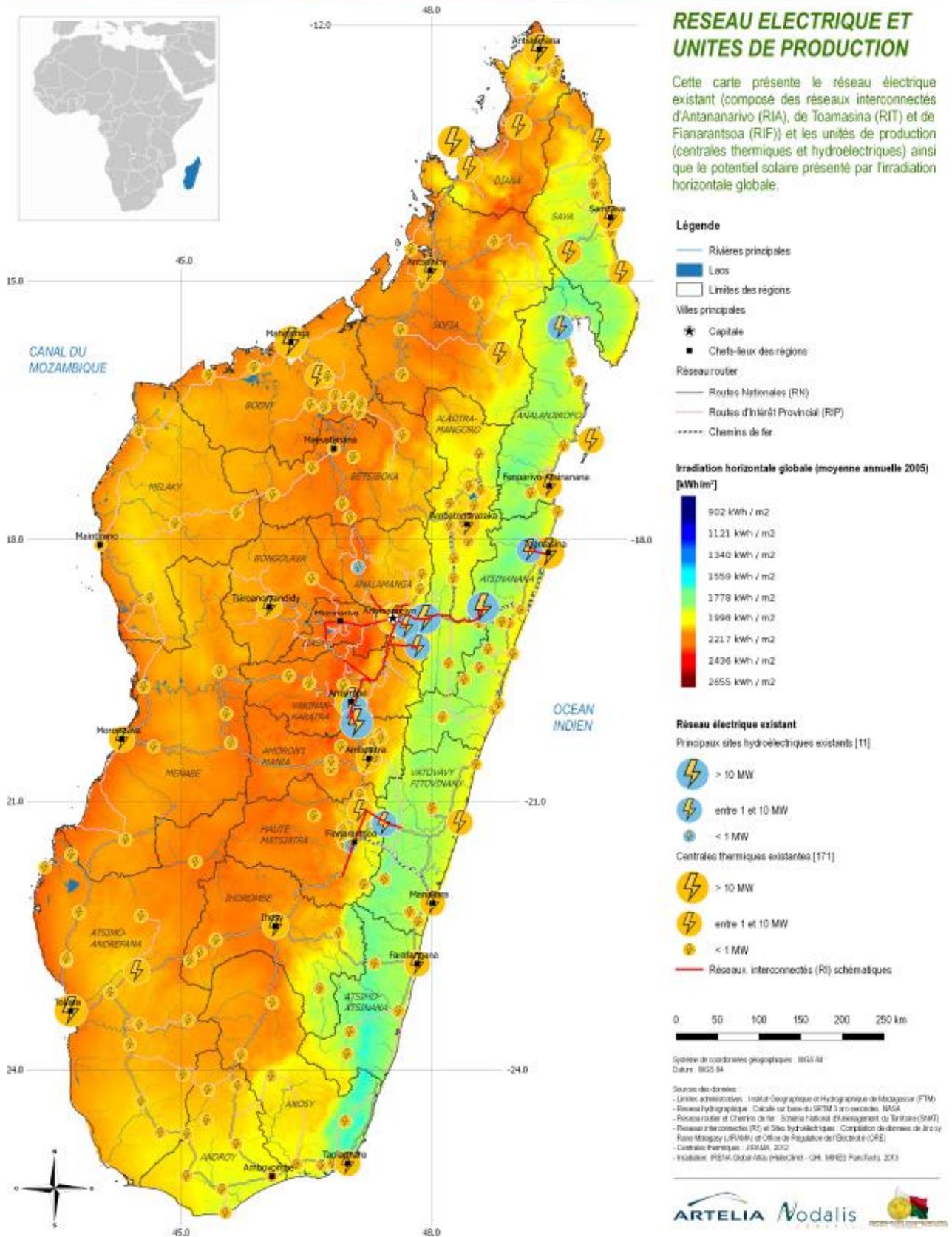
Si l'on compare (ci-dessous) les données moyennes mensuelles du rayonnement solaire global horizontal (GHI) provenant de 3 zones distincts A, B, C, la variation saisonnière est similaire dans les 3 zones et les minimas (en juin) ne diffèrent que légèrement.



Une autre donnée solaire intéressante est le **potentiel électrique** (voir carte ci-dessous), à savoir la quantité d'électricité qu'une surface donnée de modules PV (et donc une puissance crête kWc) pourra fournir avec une inclinaison optimale selon le site, en kWh/kWc. La variation régionale reste néanmoins similaire.



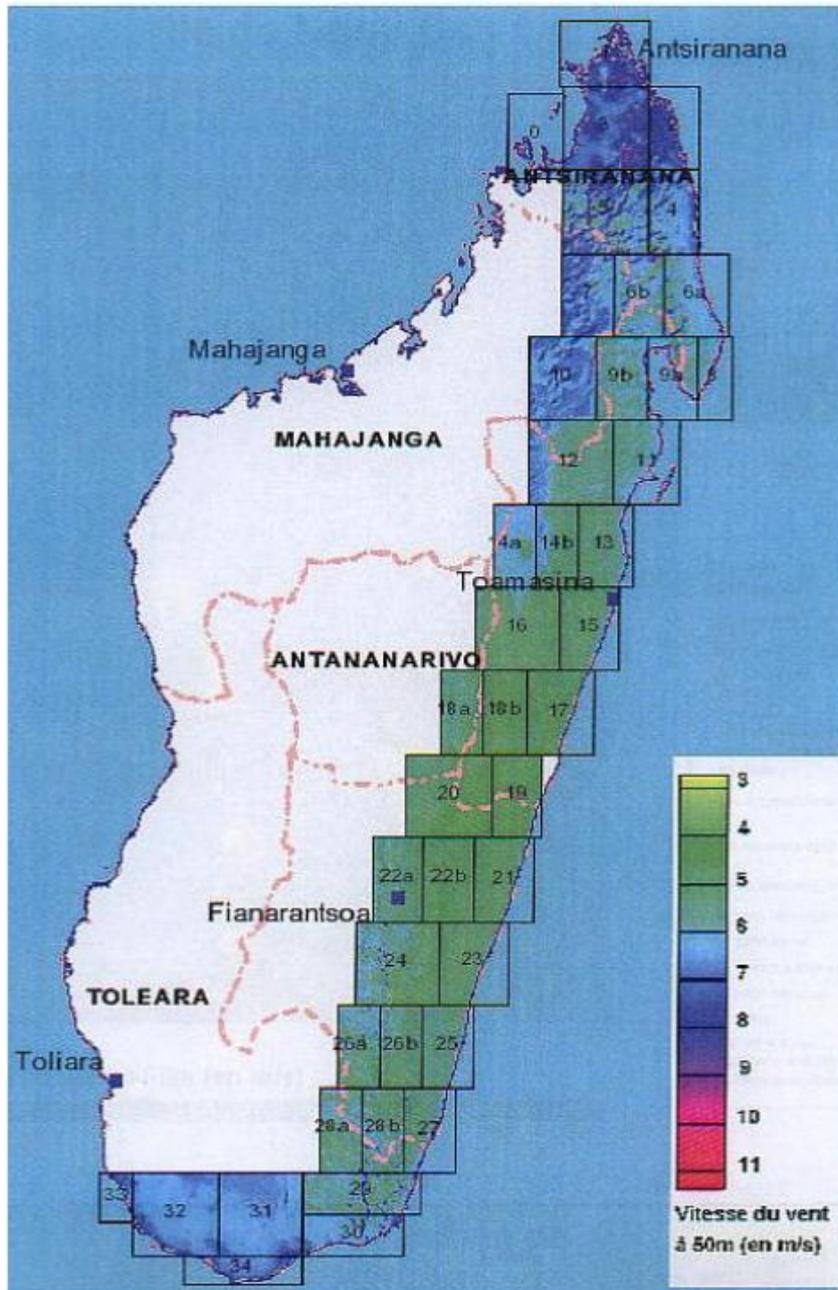
Assistance technique pour l'élaboration d'un plan d'investissement des énergies renouvelables à Madagascar (SREP)



### 1.3 Potentiel Eolien

Madagascar possède un potentiel important mais non uniforme en matière de production d'énergie éolienne, en particulier pour les projets d'électrification hors-réseaux où les seuils opérationnels des vitesses du vent se situent généralement entre 4m/s et 25m/s à 10m du sol. Le seuil de rentabilité est plutôt au-dessus de 7m/s.

En 2003, ADEME a financé un Atlas Climatique de Madagascar qui décrit en détail le gisement éolien, l'origine et les caractéristiques des vents sur la moitié Est de la Grande Ile. La carte ci-dessous indique les vitesses de vents à 50m du sol pour les zones étudiées.



En 2015, un mémoire de fin d'étude (Rakotoarivelo, 2015) a recensé les données disponibles sur le gisement éolien à Madagascar.

En 2012, l'ADER a établi une carte de vent qui donne la vitesse moyenne du vent par Fonkotany mesurée à 10 mètres du sol. D'après cette carte (ci-dessous), on constate que seules les parties des hauts-plateaux, qui bénéficient généralement de l'électricité des réseaux interconnectés de la JIRAMA, ont des vitesses de vent inférieures à 3m/s à 10 m du sol.

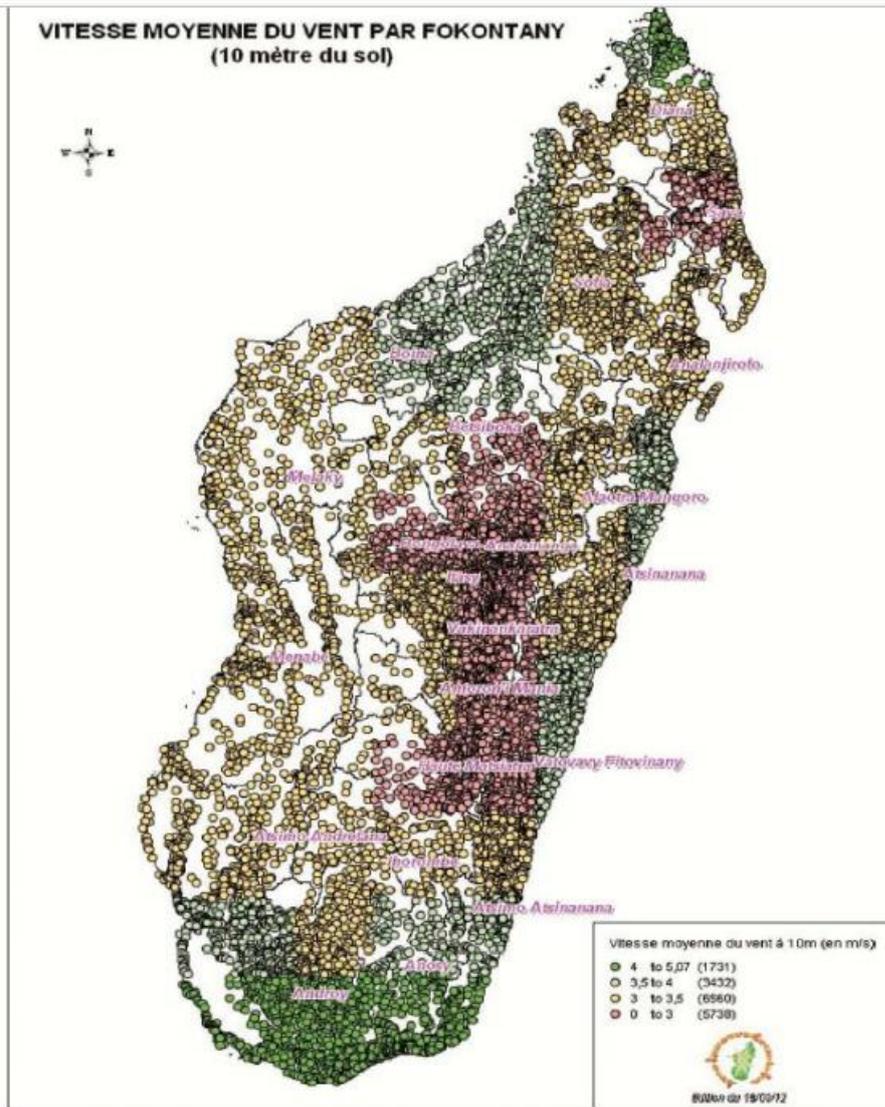
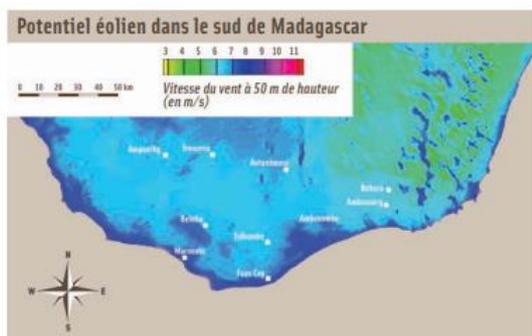


Figure 8: vitesse moyenne du vent par Fokontany Source : ADER

Il y a 3 sortes de vents dans le pays : les vents des côtes, les vents locaux, et les vents provenant de l’océan dont les alizées et les cyclones. Les vents des côtes et locaux peuvent avoir une variation d’intensité journalière, tandis que les vents alizés ont des variations saisonnières. Mais ces deux catégories constituent les vents potentiels pour la mise en place d’une installation éolienne.

Globalement, les régions du Nord, Sud et les côtes Est constituent les zones qui disposent de vitesses de vent intéressantes, atteignant 7,5 à 9 m/s dans le nord, 6 à 9 m/s dans le sud. En considérant les zones du Nord au Sud longeant la côte Est, ayant une vitesse de vent aux environs de 6,5 m/s, Madagascar dispose d’un potentiel global de 2 000 MW d’énergie éolienne. Une zone comme le littoral Sud bénéficie d’un gisement éolien fort et régulier.

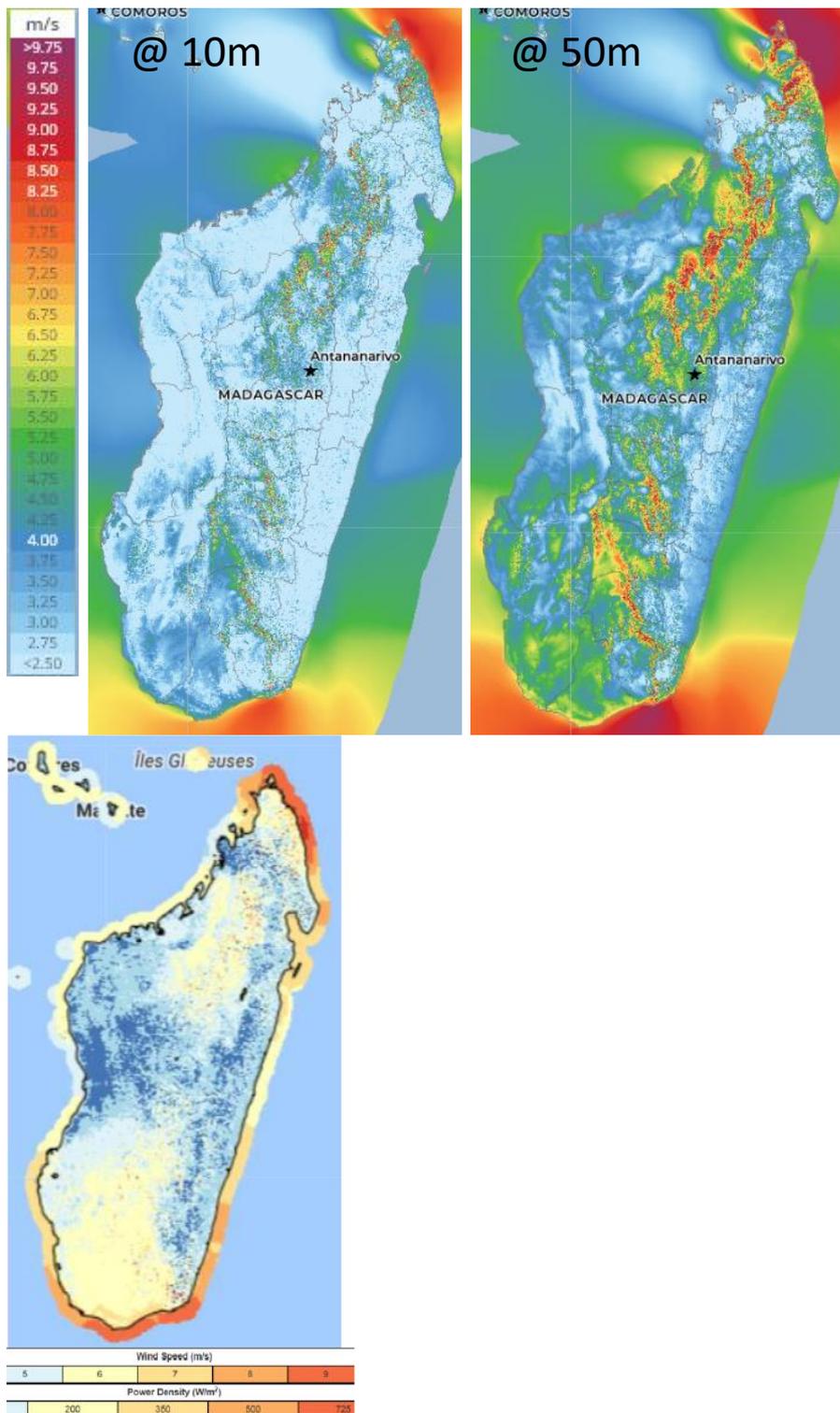


(source : Fondem)

Même dans les zones moins favorables, des micro-climats peuvent justifier l'utilisation de l'énergie éolienne, à condition que des études approfondies soient réalisées.

Toutefois, il faut aussi noter que le pays est l'objet de violentes tempêtes allant de dépressions tropicales simples à des cyclones intenses, généralement entre janvier et mars et particulièrement sur la côte Est.

Enfin, la 3<sup>ème</sup> source de données géoréférencées sur le potentiel éolien est le site Global Wind Atlas qui donne les vitesses de vents à 10m, 50m, 100m à partir de données satellitaires. [Global Wind Atlas](#).



Des données plus fines sur la ressource éolienne pourront être trouvées dans la base de données **NOAA ISD**<sup>2</sup>. La base de données comporte plus de 20,000 stations dans le monde. ISD inclut différents paramètres tels que la vitesse et la direction du vent, les rafales de vent, température, point de rosée, données sur la couverture nuageuse, pression au niveau de la mer, paramètres de l'altimètre, pression à la station, météo instantanée, visibilité, quantité de précipitation pour différentes périodes de temps, et beaucoup d'autres éléments observés à chacune des stations. On pourra ainsi obtenir les données de vitesses de vent sur plus de 40 années ainsi que les moyennes mensuelles et annuelles pour chaque année à par exemple à 10m au-dessus du sol.

#### 1.4 Potentiel Biomasse

En 2017, la biomasse représentait une production énergétique d'à peine 25,7 GWh, soit 1% de la production électrique du pays.

Dans cette étude, on s'intéressera au segment de la **biomasse lignocellulosique** (résidus forestiers et agricoles) potentiellement valorisables en électricité, et plus particulièrement aux déchets agricoles et agro-industriels (balle de riz, bagasse, rafles de maïs, tourteaux des palmiers à huile, déchets des brasseries (DCO), sciure de bois, etc.).

Les processus de transformation sont principalement la gazéification (gaz de synthèse) et l'extraction d'huiles (biodiesel).

La biométhanisation (Biogaz) des déchets organiques reste peu utilisée à Madagascar, malgré un potentiel intéressant en jacinthes d'eau dans le Canal des Pangalanes, et ses réserves en déchets urbains ou d'abattoirs. Le biogaz permet surtout de répondre aux besoins thermiques (cuisson) mais elle est peu développée et peu prometteuse pour la production d'électricité à l'échelle d'un fokontany.

A Madagascar, quelques unités de production d'électricité utilisent ces biomasses à travers les technologies de gazéification ou de cogénération (conversion thermo-chimique par voie sèche). Les initiatives dans ce domaine sont essentiellement décentralisées, à proximité des zones de concentration de ces ressources, et en fonction de leur disponibilité.

On notera que la plupart de ces agro-industries (scieries, huileries, sucreries, brasseries, distilleries, ...) se trouvent déjà à proximité des réseaux électriques de Jirama. La production de riz à Madagascar est importante mais le risque d'exporter le paddy et de le décortiquer en Asie doit être évalué.

**L'estimation du potentiel** de la biomasse pour la production d'électricité à Madagascar reste un exercice difficile étant donné le manque de disponibilité de données de qualité à l'échelle nationale.

Les rapports CIRAD, 2018 et WWF, 2012 ont publié un certain nombre de cartes déjà anciennes illustrant les potentiels en biomasse ligneuse de d'origine forestière (bois-énergie) et agricole (production rizicole, du maïs, de canne à sucre). Le rapport analyse aussi un projet de bioénergie à partir de la balle de riz pour alimenter en électricité le réseau de Marovoay (région de Boeny ; District de Marovoay).

---

<sup>2</sup> Les données ISD (Integrated Surface Database) consistent en des observations globales horaires et synoptiques compilées à partir de nombreuses sources dans un unique format ASCII commun et un modèle de données commun.



Figure 19 : Cartographie de la production de riz à Madagascar (Robin, à partir des données 2009)

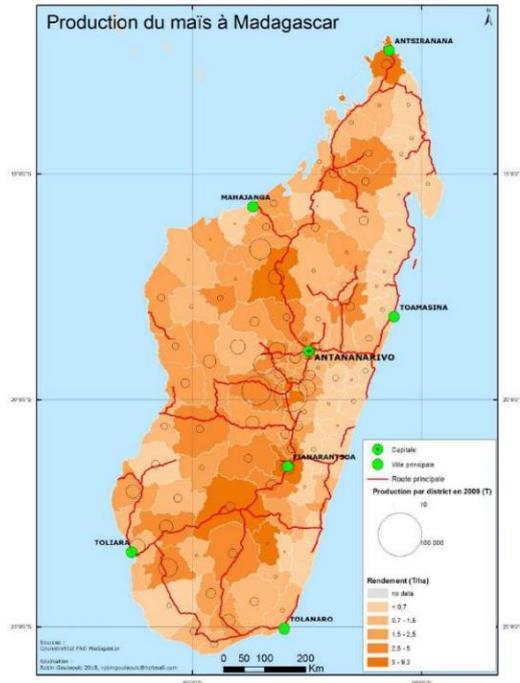


Figure 21 : Cartographie des productions de maïs à Madagascar (Robin)



Le rapport CIRAD, 2018 publie aussi un tableau de synthèse du potentiel en biomasses ligneuses (gisement théorique estimé) à Madagascar :

**Tableau 16 : Analyse AFOM (Atouts, Forces, Opportunités, Menaces) des filières - Madagascar**

	Gisements théoriques estimés	Atouts	Faiblesses	Opportunités
<b>Paille de riz</b>	6 000 000 T	Quantité et répartition sur le territoire	Production déconcentrée Déjà largement exploité	
<b>Balle de riz</b>	800 000 T	Quantité et répartition sur le territoire	Production déconcentrée dans certaines régions	Concentration production de décortiquerie
<b>Rafles de maïs</b>	110 000 T	Quantité et répartition sur le territoire	Production déconcentrée Déjà largement exploité	
<b>Tiges et feuilles de maïs</b>	550 000 T	Quantité et répartition sur le territoire	Ressource au champ Déjà largement exploité	
<b>Bagasse (canne à sucre)</b>	900 000 T	Culture importante et historique	Entièrement utilisée pour le fonctionnement des usines Secteur vétuste	Volontarisme production d' relance du se
<b>Plantations forestières</b>	4 500 000 m <sup>3</sup>	Bonne productivité, bonne connaissance de la ressource	Utilisation pratiquement exclusive pour le bois énergie	Gestion durale
<b>Forêts naturelles</b>	100 000 m <sup>3</sup>	bonne connaissance de la ressource	Déjà surexploitées Très peu d'exploitation légale	Gestion durale
<b>Déchets de scieries</b>	?	40 à 70% de déchets	Faible ressource	

Le tableau ci-dessous synthétise les filières biomasse existantes à Madagascar.

**Tableau 17 : Filières Biomasse à Madagascar**

Filières	Bioéthanol	Biodiesel	Biogaz	Biomasse
Ressource	canne à sucre et huile végétale	Jatropha curcas	jacinthes d'eau, déchets urbains ou d'abattoirs	bois, déchets de transformation du bois, rafles de maïs, balles de riz, bagasse
Usage	substitut à l'essence, cuisson domestique	Carburant pour moteurs	cuisson domestique	Gazogène pour électricité
Projets réalisés / en cours				
Promoteurs/ bailleurs				
Zones	régions de Diana, Boeny, Menabe, Alaotra Mangoro, Atsinanana, Amoron'i Mania, Vatovavy Fitovinany	régions de Atsimo andrefana, Boeny, Diana, Haute Matsiatra, Ihorombe		régions Alaotra-Mangoro, Anosy, Boeny, et dans la Haute Matsiatra

Le domaine des **bioénergies/agrocarburants** est très actif à Madagascar. Il s'agit surtout du **bioéthanol** par canne à sucre et huile végétale qui pourrait se substituer à l'essence pour les moteurs ou en tant que combustible pour la cuisson domestique, et du **biodiesel** par Jatropha curcas qui peut être

transformé pour alimenter les moteurs également. Par ailleurs, l'huile brute de jatropha peut être utilisée comme combustible pour éclairage ménager ou comme combustible pour la cuisson.

L'étude stratégique du développement des Agrocarburants, commanditée par WWF en 2011 a montré les potentiels pour la mise en place et le développement des cultures à vocation énergétique. L'étude estimait que 16 millions ha de terrain restaient encore exploitables en dehors des terrains déjà occupés (agricultures, habitations, forêts, zones protégées, zones d'activités miniers ...) et 1 million ha de terrain pouvait suffire pour satisfaire la demande en agrocarburant à Madagascar. L'étude a aussi permis d'estimer les zones potentielles pour la production durable d'agrocarburant (zones exploitables, zones exploitables sous conditions, zones à exclure).

Pour la biomasse, des centrales à biomasse sont exploitées par des détenteurs d'autorisation en collaboration avec l'ADER dans le cadre de l'électrification rurale. Selon les statistiques, de 2009 à 2014, 7 centrales fonctionnant avec de la biomasse ont obtenu les autorisations de l'autorité compétente avec une puissance disponible estimée à environ 800kW. Cependant en 2017, 4 sites parmi ces 7 étaient fonctionnels pour une puissance de 164kW, soit une modeste part de 6% dans l'électrification rurale. Récemment, des contraintes techniques ont conduit certaines de ces centrales à arrêter temporairement la distribution d'électricité. Les facteurs d'échecs seront abordés ultérieurement. Installées dans des zones qui disposent des ressources potentielles nécessaires, les bois et les balles de riz sont les biomasses utilisées par les centrales à biomasse en marche actuellement. (CIRAD, 2018)

De nombreux acteurs nationaux et internationaux se sont engagés dans divers projets de Biomasse, comme en témoigne le projet GEMAHA qui a été inauguré en juin 2019 sur le site de l'usine PHILEOL à Tsihombe. L'usine produit en effet plus de 5000 litres d'huile par semaine extraite des graines de Jatropha Mahafalensis. Cette huile permet d'alimenter le groupe électrogène de l'usine ainsi que l'alimentation en électricité de Tsihombe dont les besoins hebdomadaires sont d'environ 8,9MWh. De plus, le tourteau produit lors de l'extraction de l'huile pourrait être valorisé comme amendement organique, ou pour l'alimentation animale ou encore comme combustible domestique.

Dans le cadre de son plan d'électrification pour 13 régions, l'ADER a identifié un certain nombre de projets biomasse. Tous ces projets présentent un coût de production supérieur à 35 c€/kWh. Ainsi, pour le Plan de Développement au Moindre Coût, les projets biomasse avec des puissances relativement faibles afficheront sans doute des performances économiques similaires, ce qui les rendra difficilement viable d'un point de vue économique. Ces projets de type biomasse n'ont donc pas été considérés dans le cadre du PDMC.

## ANNEXE 4 : Liste des 362 sites hydro potentiels considérés

Le tableau suivant présente la liste des potentiels hydro considérés  
(scénario : b = Bas ; R=Référence, h = haut)

**Tableau 18 : Liste de potentiels hydro à Madagascar**

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
1	Abetsikoban	1,61	0,4	0,08	30	6	1000	4580	48,04070	-17,33180	B-R
2	Akohodavo	1,61	0,66	0,05	25	8	1328	6082	45,03350	-19,55520	B-R-H
3	Ambalatevan	9,63	3,06	0,54	70	8	6112	27993	46,56040	-17,50240	R
4	Ambatolahitelo	0,79	0,18	0,01	80	3	528	2418	48,13990	-20,48230	B-R-H
5	Ambatomalam	0,92	0,34	0,04	60	8	840	3847	46,10620	-22,53360	B
6	Ambatomiankina	4,57	1,26	0,17	50	6	2512	11505	47,97830	-16,42170	B-R-H
7	Ambatonandr	34,22	5,76	2,14	250	3	11520	52762	48,54070	-19,17860	R
8	Amberina	51,48	10,45	1,53	80	3	20896	95704	49,09370	-16,41230	R
9	Ambilany	8,85	2,14	0,46	200	6	4288	19639	47,37360	-17,83830	B-R-H
10	Amboaramato	15,07	3,6	0,82	65	6	7200	32976	47,23980	-17,87690	R
11	Ambodiampal	10,26	1,69	0,68	40	3	3376	15462	49,07610	-17,82310	B-R
12	Ambodimongy	14,05	3,87	0,51	100	6	7744	35468	48,42200	-16,18850	R
13	Ambodimotsy	14,01	3,78	0,55	140	6	7552	34588	47,79580	-16,57040	R
14	Ambodiriana-ad - 112	58,09	10,92	2,55	70	3	21840	100027	49,54060	-15,54240	
15	Ambodiriana-ad - 135	0,53	0,14	0,02	20	6	408	1869	49,01000	-15,92290	B-R-H
16	Ambodiriana-ad - 363	32,67	5,63	1,92	40	3	11264	51589	48,97400	-18,43460	R
17	Ambodiriana-ad - 431	1,59	0,28	0,09	25	3	700	3206	48,86230	-19,17980	B
18	Ambodiriana-gec - 059	8,98	1,62	0,46	20	3	3232	14803	47,43510	-21,88270	B-R
19	Amboditamén	24,61	4,05	1,63	200	3	8096	37080	48,99370	-17,71620	R
20	Amboditavol	6,74	1,2	0,36	20	3	2400	10992	48,00250	-20,23370	B-R-H
21	Ambodoroka	319,64	114,52	14,35	30	8	229040	1049003	46,95040	-16,93860	
22	Ambohibory	4,46	1,43	0,25	15	8	2864	13117	49,35490	-12,72900	B-R
23	Ambohiboto	29,99	8,47	0,99	15	6	16944	77604	46,56520	-19,40780	R
24	Ambohijoky	4	1,04	0,18	10	6	2080	9526	47,48390	-19,08970	
25	Ambohipisak	34,85	11,43	1,86	20	8	22864	104717	45,94960	-17,84340	R
26	Ambohisanak	11,63	3,09	0,48	20	6	6176	28286	46,04870	-20,85040	R
27	Ambohitramb	2,03	0,5	0,1	20	6	1240	5679	47,66840	-18,65210	
28	Ambohitrari	29,17	5,7	1,07	40	3	11408	52249	49,36030	-16,05170	R
29	Ambohitsara-ad - 266	432,32	86,45	14,06	40	3	172896	791864	48,97970	-17,30580	
30	Ambohitsara-ad - 599	11,44	2,03	0,62	30	3	4064	18613	47,80390	-20,54870	B-R

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
31	Ambondrevola	17,1	6,21	0,74	60	8	12416	56865	44,89800	-17,11940	R
32	Ambongomira	0,59	0,19	0,03	20	8	576	2638	49,12200	-12,35750	B
33	Ampandri-ambazaha	47,52	9,8	4,18	50	8	19600	89768	49,08940	-13,85100	
34	Ampasatsarety	3,47	1,46	0,1	100	8	2912	13337	48,48820	-14,75040	B-R-H
35	Ampitabe	51,49	9,42	2,5	40	3	18848	86324	47,79190	-21,03160	
36	Ampitabepoa	8,3	2,74	0,44	10	8	5472	25062	45,97050	-18,71790	
37	Ampitambe	4,29	0,76	0,23	50	3	1520	6962	48,68620	-18,92890	B-R
38	Ampitilina	11,44	2,9	0,54	30	6	5808	26601	47,80940	-17,71810	R
39	Analambolo	3,15	0,54	0,19	30	3	1072	4910	49,79330	-16,35730	B-R-H
40	Analavory	1,52	0,4	0,06	70	6	1000	4580	48,62680	-16,39950	B-R-H
41	Andakana	21,4	5,22	1,1	30	6	10448	47852	46,85890	-17,59510	R
42	Andampibe	2,68	0,4	0,22	30	3	1000	4580	49,88780	-14,38750	B-R
43	Andavatsobe	1,07	0,44	0,03	100	8	1100	5038	48,58730	-15,23190	B-R-H
44	Andemoka	0,24	0,04	0,02	10	3	120	550	48,43870	-19,19510	B-R
45	Andolomiroh	17,43	6,46	0,72	35	8	12928	59210	45,43020	-19,02330	R
46	Andramangarana	4,15	0,71	0,25	30	3	1424	6522	48,07780	-20,11190	B-R-H
47	Andramasina	6,7	1,62	0,35	20	6	3248	14876	47,58950	-19,18640	
48	Andranolava-gec - 155	1,63	0,26	0,11	18	3	660	3023	50,09740	-14,73180	B-R
49	Andranolava-gec - 156	3,78	1,11	0,1	40	6	2224	10186	48,03050	-16,23430	B-R-H
50	Andranomadi	1	0,32	0,06	25	8	800	3664	46,56620	-18,13460	B-R-H
51	Andranomafa	161	40,15	7,9	30	6	80304	367792	46,81800	-20,99560	
52	Andranomiditra	0,53	0,15	0,02	30	6	456	2088	48,75260	-15,71120	B-R-H
53	Andranomial	1,29	0,34	0,06	20	6	840	3847	46,91350	-19,76940	
54	Andranonampela	10,06	3,65	0,44	15	8	7296	33416	44,74280	-16,97720	R
55	Andranotsara	143,73	36,08	6,94	20	6	72160	330493	48,07550	-19,30410	
56	Andratambe	20,08	3,58	1,07	140	3	7152	32756	49,55300	-15,62760	R
57	Andriamamov	7,33	1,94	0,3	100	6	3888	17807	47,78290	-16,71880	B-R-H
58	Andriamamovoka-gec - 176	2,23	0,57	0,1	40	6	1136	5203	48,09790	-17,89780	B-R
59	Andriamamovoka-gec - 181	17,47	3,76	1,14	20	6	7520	34442	48,13920	-19,02550	
60	Andriamamovoka-gec - 185	1,61	0,43	0,06	40	6	1080	4946	46,78690	-18,87920	
61	Andriamamovoka-gec - 186	1,87	0,32	0,11	30	3	800	3664	48,61870	-19,66080	B-R-H
62	Andriamanja	7,55	1,67	0,47	15	6	3344	15316	47,52990	-20,30760	B
63	Andriamanjavona	2,23	0,87	0,08	40	8	1744	7988	48,60190	-14,74020	B-R-H
64	Andriamirafy	6,3	1,07	0,38	50	3	2144	9820	48,13580	-20,08670	B-R-H
65	Andriampidi	28,94	5,44	1,27	50	3	10880	49830	47,62700	-20,96850	R
66	Andriana	1,13	0,3	0,05	20	6	740	3389	46,87950	-18,93850	
67	Andrianabe	8,97	1,54	0,54	60	3	3072	14070	48,21950	-19,32240	B-R
68	Andriantafi	4,4	1,1	0,22	45	6	2192	10039	46,80770	-19,77720	

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
69	Andrivaroni	54,15	9,58	2,95	300	3	19152	87716	47,73030	-20,49470	
70	Anjahambe	8,82	1,53	0,51	50	3	3056	13996	49,55680	-16,05870	B-R-H
71	Ankeniheny	4,92	1,3	0,21	150	6	2592	11871	46,84610	-19,47500	B
72	Ankevo	1,78	0,7	0,06	100	8	1392	6375	44,52640	-17,47170	B-R-H
73	Ankisatra	1,16	0,43	0,05	20	8	1080	4946	45,28990	-18,51580	B-R-H
74	Anorananaha	10,33	2,63	0,48	70	6	5264	24109	46,44020	-20,66930	R
75	Anosibe	102,7	17,8	5,94	250	3	35600	163048	48,33400	-19,79790	
76	Antafiambe	8,83	1,6	0,84	50	8	3200	14656	49,55550	-14,19350	B-R-H
77	Antafofo-ad - 471	312,75	123	10,94	25	8	246000	1126680	45,50250	-19,52650	
78	Antafofo-fr - 059	4,67	1,18	0,22	50	6	2352	10772	46,99190	-17,37590	B-R-H
79	Antalay	12,76	2,25	0,7	120	3	4496	20592	47,73310	-21,31040	B-R
80	Antanatomen	1,87	0,34	0,1	15	3	840	3847	47,45360	-22,90260	B-R
81	Antanimarin	5,01	1,3	0,22	25	6	2592	11871	46,68100	-18,95260	
82	Antenimbe	0,64	0,18	0,02	5	6	528	2418	47,07340	-19,20870	B
83	Antenina	10,03	1,76	0,56	100	3	3520	16122	48,78680	-17,48950	B-R
84	Antetezambato	1335,35	340,15	62,06	150	6	680304	3115792	46,64740	-20,24820	
85	Antohaka	2,04	0,36	0,11	20	3	900	4122	49,21160	-17,26060	B-R-H
86	Antohakabe	8,59	3,82	0,18	80	8	7632	34955	48,31900	-14,73990	R
87	Antsahabe	5,13	1,55	0,12	150	6	3104	14216	48,07460	-16,18750	B-R-H
88	Antsahamamy	1,22	0,33	0,05	15	6	820	3756	48,87090	-16,32540	B-R-H
89	Antsahamben	1,01	0,32	0,02	160	6	800	3664	48,97730	-15,50060	B-R-H
90	Antsaroro	148,97	43,73	9,42	40	8	87456	400548	48,24990	-14,62510	
91	Antsevabe	4,85	1,24	0,22	250	6	2480	11358	46,80490	-18,21190	B-R-H
92	Antsihivato	4,43	1,02	0,26	30	6	2048	9380	46,85940	-21,50660	B
93	Antsimahala	3,51	0,82	0,2	20	6	1632	7475	47,67720	-17,87990	B-R-H
94	Antsinjoria	61,26	11,06	3,12	70	3	22128	101346	49,62170	-15,84640	
95	Antsoriabe	5,42	2,01	0,22	70	8	4016	18393	48,76260	-15,06010	B-R-H
96	Andranotsara	1,14	0,45	0,04	60	8	1120	5130	45,74680	-19,29420	B-R-H
97	Andriambola	1,15	0,3	0,05	60	6	760	3481	46,92400	-19,04270	
98	Androkabe	10,09	1,82	0,52	100	3	3632	16635	48,67770	-17,53980	B-R
99	Ankafotra	0,5	0,16	0,01	100	6	480	2198	46,38280	-19,36820	B-R
100	Anosy	52,45	9,76	2,4	30	3	19520	89402	47,64770	-21,41770	R
101	Antanimenabaka	0,37	0,1	0,02	25	6	288	1319	48,42380	-16,87900	B-R-H
102	Antiona	62,78	11,3	3,23	20	3	22608	103545	48,73990	-19,54030	
103	Beandrarezo	4,54	1,27	0,3	30	8	2544	11652	48,68450	-14,46850	B-R-H
104	Befiana	8,25	3,95	0,09	15	8	7904	36200	48,13290	-15,02870	
105	Begoaka	3,44	1,3	0,14	30	8	2592	11871	45,28140	-16,79400	B-R-H
106	Behofa	6,45	2,4	0,26	80	8	4800	21984	48,70170	-14,92760	B-R-H

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
107	Bejono	5,3	0,89	0,34	50	3	1776	8134	50,14660	-15,13880	B-R
108	Bemangevo	1,9	0,34	0,1	15	3	860	3939	47,45880	-22,85260	B-R
109	Betaimboraka	1,18	0,5	0,03	40	8	1240	5679	48,58000	-15,05490	B-R-H
110	Betsakotsako (v perer)	3,94	0,74	0,37	40	8	1472	6742	49,88910	-13,86200	B-R-H
111	Betoafo	2676,34	591,91	33,1	150	3	1183824	5421914	47,11420	-23,01430	
112	Chute d'andriamamovoka	103,29	18,87	5,06	45	3	37744	172868	48,09950	-20,04680	
113	Fatihita	325,7	61,26	14,27	200	3	122528	561178	47,73820	-21,04260	
114	Fotsimeloka	40,18	7,28	2,02	20	3	14560	66685	48,05380	-20,58030	R
115	Iaborano	21,49	4,21	0,78	120	3	8416	38545	47,20520	-22,90980	R
116	Iatsora	9,23	2,3	0,46	130	6	4592	21031	46,68970	-20,99140	B-R-H
117	Ifony	139,13	59,06	3,63	30	8	118128	541026	45,29070	-23,46230	
118	Ikipantsy mangarano	1,22	0,31	0,06	15	6	780	3572	46,77540	-18,55290	B-R
119	Itete	142,2	29,16	3,94	300	3	58320	267106	47,21660	-23,29960	
120	Jondrona	4,4	1,11	0,21	40	6	2224	10186	46,55750	-18,28650	B-R-H
121	Kalavinta	3,63	0,83	0,3	12	8	1664	7621	49,17760	-13,32890	B-R-H
122	Kapokapoka	25,31	5,12	0,77	400	3	10240	46899	47,17250	-23,38520	R
123	Kelilalina	4,66	1,62	0,22	20	8	3232	14803	45,82970	-18,01710	B-R-H
124	Komangoroke	1,24	0,34	0,05	40	6	840	3847	47,76490	-16,62690	B-R-H
125	Lavajiro	1,98	0,33	0,13	100	3	820	3756	48,14590	-20,13540	B-R-H
126	Lemena	9,09	2,13	0,51	30	6	4256	19492	47,19530	-20,07250	B
127	Lily	5,34	1,36	0,25	10	6	2720	12458	46,68500	-19,03140	
128	Lomboka	55,29	10,1	2,7	25	3	20208	92553	48,84150	-19,05570	
129	Mahalamoka	8,9	2,54	0,28	250	6	5088	23303	47,77320	-16,48180	R
130	Mahalay	3,81	0,89	0,22	15	6	1776	8134	46,80810	-21,51850	B
131	Mahatsinjo	20,43	5,65	0,74	20	6	11296	51736	46,87830	-19,22960	
132	Mahatsinjoh	6,16	1,08	0,34	100	3	2160	9893	47,37290	-21,98350	B-R
133	Mahavangana	12,07	2,14	0,66	30	3	4272	19566	48,02750	-19,80990	B-R-H
134	Mahavola	433,89	118,46	16,34	40	6	236912	1085057	46,84680	-18,06200	
135	Mahazoma	6,06	1,94	0,34	40	8	3888	17807	46,58370	-17,24190	B-R-H
136	Maherivarat	542,9	108,92	17,32	250	3	217840	997707	49,50460	-15,73060	
137	Maintsovava	45,54	11,34	2,24	250	6	22688	103911	46,74070	-18,23230	R
138	Manamboariv	6,29	1,14	0,32	30	3	2272	10406	47,50290	-21,48720	B-R
139	Mananety	8,27	2,26	0,31	35	6	4512	20665	46,99300	-19,32220	
140	Mandabe	0,26	0,1	0,01	25	8	312	1429	46,06210	-24,01130	B-R-H
141	Mandriamber	2,91	0,64	0,18	40	6	1280	5862	47,16870	-20,34720	B
142	Manendriendry	0,76	0,2	0,03	40	6	500	2290	48,05100	-16,70390	B-R-H
143	Mangariky	2,61	0,95	0,11	150	8	1904	8720	45,50370	-17,03370	B-R-H

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
144	Manirenja	3,17	1,02	0,18	50	8	2032	9307	48,95890	-12,64160	B-R
145	Manolotrony	68,66	16,84	3,5	20	6	33680	154254	46,86320	-21,02040	
146	Manompy	2,09	0,54	0,1	30	6	1072	4910	48,06250	-16,76570	B-R-H
147	Mapa	5,15	1,84	0,23	70	8	3680	16854	45,98770	-19,42830	B-R-H
148	Marivolanit	58,4	13,58	3,34	170	6	27168	124429	47,48450	-20,71360	
149	Marivorondro	2,3	0,62	0,09	20	6	1248	5716	48,66570	-16,34880	B-R-H
150	Maropapango	145,68	51,7	6,68	20	8	103408	473609	47,51050	-16,56730	
151	Maropia	0	0	0	0	8	0	0	45,02010	-19,50940	B-R-H
152	Marotsipoy	0,99	0,23	0,06	10	6	580	2656	47,66600	-17,95340	B-R-H
153	Marozavavy	8,75	4,21	0,09	15	8	8416	38545	48,06920	-14,98510	
154	Masiaposa	89,59	15,18	5,51	40	3	30368	139085	49,68370	-14,61810	
155	Masimbola	71,08	14,59	1,95	400	3	29184	133663	47,06760	-23,91360	R
156	Masora	19,62	3,39	1,14	60	3	6784	31071	48,29120	-20,20880	R
157	Menazomby	2,93	0,71	0,15	30	6	1424	6522	47,89640	-16,88230	B-R-H
158	Merimandros	8,23	1,96	0,45	30	6	3920	17954	47,05940	-18,00800	B-R-H
159	Moninando	7,59	1,94	0,35	40	6	3872	17734	46,39560	-20,08940	B-R-H
160	Morafeno	2,02	0,53	0,09	25	6	1056	4836	46,76140	-18,73050	B
161	Mamoro	7,02	1,62	0,57	150	8	3248	14876	48,96720	-13,66560	B-R-H
162	Mandalo	11,91	4,21	0,55	30	8	8416	38545	46,11330	-19,10520	R
163	Nom inconnu 3	28,46	5,82	0,8	20	3	11648	53348	49,01740	-16,48100	R
164	Nombaratsy	7,74	1,92	0,38	70	6	3840	17587	46,65850	-20,56310	B-R-H
165	Parc national andohaela	0,79	0,17	0,02	70	3	504	2308	46,85820	-24,76880	B-R
166	Ranomafana	74,05	19,94	2,92	10	6	39888	182687	47,02030	-18,60900	
167	Sahandaso ou centrale	3,7	0,64	0,22	50	3	1280	5862	48,98070	-18,46680	B-R
168	Sahandrazah	5,7	1,02	0,3	30	3	2032	9307	49,40820	-16,25740	B-R-H
169	Sahanjala	2,24	0,69	0,05	200	6	1376	6302	48,65410	-15,26070	B-R-H
170	Sahasoma	19,82	3,47	1,11	50	3	6944	31804	48,55950	-19,68270	R
171	Sahatavy	21,12	3,61	1,27	50	3	7216	33049	48,95000	-17,48900	R
172	Sahavelona	7,58	1,31	0,44	20	3	2624	12018	48,13630	-19,94210	B-R-H
173	Salangina-ad - 244	67,1	12,09	3,45	110	3	24176	110726	49,20910	-17,01310	
174	Salangina-ad - 280	10,69	1,88	0,59	40	3	3760	17221	48,89670	-17,46120	B-R-H
175	Sarotramalo	7,43	1,7	0,44	20	6	3392	15535	47,67910	-17,79210	B-R-H
176	Sf - 006	71,06	12,06	4,36	30	3	24112	110433	49,72740	-14,59370	
177	Sf - 010	46,87	9,1	4,29	40	8	18192	83319	49,67170	-13,32280	
178	Sf - 013	239,96	47,19	8,56	50	3	94384	432279	49,45200	-16,71240	
179	Sf - 021	641,83	123,78	25,22	25	3	247568	1133861	48,39020	-19,84620	
180	Sf - 025	49,09	8,7	2,66	35	3	17408	79729	48,57970	-19,33430	
181	Sf - 027	140,87	25,22	7,39	100	3	50432	230979	48,51780	-18,72250	

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
182	Sf - 028	108,36	18,36	6,67	150	3	36720	168178	48,78780	-18,03210	
183	Sf - 030	164,3	28,79	9,21	100	3	57584	263735	48,98390	-17,74430	
184	Sf - 055	208,26	94,21	3,79	50	8	188416	862945	45,58180	-21,62610	
185	Sf - 057	401,32	141,2	18,75	25	8	282400	1293392	45,56690	-19,80670	
186	Sf - 062	21,51	7,42	1,05	30	8	14832	67931	45,76710	-20,07900	R
187	Sf - 065	146,46	55,52	5,71	20	8	111040	508563	46,15360	-19,40600	
188	Sf - 068	20,41	7,81	0,78	140	8	15616	71521	45,50360	-19,14720	R
189	Sf - 070	3,62	1,34	0,15	35	8	2672	12238	45,31370	-18,36930	B-R-H
190	Sf - 071	17,59	6,52	0,73	35	8	13040	59723	45,40870	-19,05270	R
191	Sf - 073	58,21	18,59	3,26	20	8	37184	170303	46,01500	-17,56360	
192	Sf - 075	11,33	3,88	0,56	20	8	7760	35541	45,84160	-18,11190	R
193	Sf - 081	22,1	4,54	1,95	40	8	9072	41550	49,09830	-13,95540	R
194	Sf - 085	15,38	4,49	0,44	40	6	8976	41110	48,82390	-15,43710	R
195	Sf - 088	708,62	257,58	30,77	40	8	515152	2359396	46,86080	-17,36160	
196	Sf - 090	277,44	76,43	10,12	20	6	152864	700117	46,79750	-17,73610	
197	Sf - 096	27,6	7,35	1,13	20	6	14704	67344	47,54720	-18,07890	R
198	Sf - 097	22,47	6,02	0,9	30	6	12032	55107	47,83100	-18,36130	
199	Sf - 099	189,34	67,71	8,54	25	8	135424	620242	47,47690	-16,50270	
200	Sf - 108	12,96	2,34	0,66	15	3	4688	21471	49,24610	-17,05390	B-R-H
201	Sf - 115	2,6	0,65	0,13	30	6	1296	5936	48,12820	-17,70700	B
202	Sf - 116	2,35	0,59	0,11	30	6	1184	5423	48,10020	-17,70080	B
203	Sf - 119	1076,28	215,22	35,02	100	3	430432	1971379	48,95020	-17,31010	
204	Sf - 120	8,98	1,65	0,43	20	3	3296	15096	48,98390	-17,29740	B-R-H
205	Sf - 121	11,74	2,16	0,56	30	3	4320	19786	48,97490	-17,26750	B-R-H
206	Sf - 134	4,88	0,86	0,27	10	3	1712	7841	49,18250	-17,95950	B
207	Sf - 137	14,6	2,38	0,98	80	3	4768	21837	48,83530	-18,01580	B-R
208	Sf - 139	53,64	9,27	3,13	20	3	18544	84932	49,01250	-18,08080	
209	Sf - 140	59,35	10,1	3,61	140	3	20208	92553	48,67570	-18,52280	
210	Sf - 144	42,95	7,26	2,66	140	3	14512	66465	48,69110	-18,40640	
211	Sf - 153	11,66	3,03	0,51	70	6	6064	27773	47,93980	-18,69320	
212	Sf - 155	18,93	3,25	1,13	80	3	6496	29752	48,69780	-18,61020	R
213	Sf - 156	24,6	5,18	1,66	250	6	10368	47485	47,95500	-19,43670	
214	Sf - 160	8,44	1,94	0,5	10	6	3872	17734	47,69640	-19,82970	B-R
215	Sf - 161	1,36	0,31	0,08	10	6	780	3572	47,64020	-19,50360	B
216	Sf - 162	21,96	5,29	1,17	35	6	10576	48438	47,32230	-19,73730	
217	Sf - 163	5,61	1,5	0,22	15	6	3008	13777	47,20710	-19,60930	
218	Sf - 165	17,82	3,09	1,03	150	3	6176	28286	47,91880	-19,84610	R
219	Sf - 167	91,64	16,46	4,75	50	3	32928	150810	48,21540	-19,73350	

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
220	Sf - 169	2,91	0,5	0,17	10	3	1260	5771	48,49290	-19,83870	B-R-H
221	Sf - 170	7,09	1,26	0,38	20	3	2512	11505	48,01000	-20,23960	B-R-H
222	Sf - 173	6,71	1,19	0,36	40	3	2384	10919	47,85060	-20,10420	B-R-H
223	Sf - 178	15,07	2,68	0,81	35	3	5360	24549	48,09360	-20,66670	R
224	Sf - 184	4,5	0,77	0,27	25	3	1536	7035	48,26210	-20,19060	B-R-H
225	Sf - 188	338,83	64,62	14,01	70	3	129232	591883	47,74120	-21,00550	
226	Sf - 190	32,34	7,29	1,96	120	6	14576	66758	47,48580	-21,04600	
227	Sf - 191	33,58	7,61	2,02	300	6	15216	69689	47,40910	-20,91950	R
228	Sf - 192	11,22	2,54	0,67	100	6	5088	23303	47,40150	-20,85670	R
229	Sf - 193	12,68	2,3	0,64	20	3	4592	21031	47,81320	-20,82610	B-R-H
230	Sf - 199	4,6	0,8	0,26	60	3	1600	7328	47,43970	-21,81280	B-R
231	Sf - 201	23,04	4,02	1,31	200	3	8032	36787	47,43080	-21,65840	
232	Sf - 206	77,94	14,08	3,97	400	3	28160	128973	47,27150	-22,03650	
233	Sf - 207	79,49	15,04	3,4	500	3	30080	137766	47,22800	-22,12610	
234	Sf - 213	14,53	3,01	0,38	40	3	6016	27553	47,10080	-23,86740	R
235	Sf - 224	0,43	0,22	0	20	8	560	2565	43,96250	-22,28730	B-R-H
236	Sf - 229	2,54	0,61	0,14	25	6	1216	5569	46,84670	-20,11940	B-R
237	Sf - 231	3,43	0,82	0,18	40	6	1648	7548	46,72030	-20,51150	B-R-H
238	Sf - 234	2,24	0,52	0,13	25	6	1040	4763	46,86940	-20,59970	B-R-H
239	Sf - 236	7,84	1,86	0,43	25	6	3712	17001	47,12290	-20,53970	B-R
240	Sf - 238	4,53	1,58	0,22	45	8	3152	14436	45,91960	-19,98630	B-R-H
241	Sf - 241	3,15	0,82	0,14	50	6	1648	7548	46,27280	-19,99220	B-R-H
242	Sf - 244	8,01	2,02	0,38	40	6	4032	18467	46,46480	-20,36050	B-R-H
243	Sf - 245	3,72	0,98	0,16	60	6	1952	8940	46,41360	-20,36290	B-R-H
244	Sf - 248	1,23	0,46	0,05	35	8	1160	5313	45,89300	-20,42420	B-R-H
245	Sf - 250	8,19	2,11	0,37	100	6	4224	19346	46,43090	-20,82710	B-R-H
246	Sf - 253	2,17	0,78	0,1	25	8	1568	7181	45,97530	-20,73170	B-R-H
247	Sf - 254	2,77	1,18	0,07	25	8	2352	10772	45,79440	-21,17560	B-R-H
248	Sf - 259	2,35	0,59	0,11	40	6	1184	5423	46,72230	-21,02740	B-R
249	Sf - 264	1,86	0,68	0,08	20	8	1360	6229	45,33720	-18,13550	B-R-H
250	Sf - 265	1,83	0,66	0,08	30	8	1328	6082	45,41860	-18,21190	B-R-H
251	Sf - 280	35,39	8,3	2,83	30	8	16592	75991	45,36260	-22,83800	
252	Sf - 281	3,42	0,92	0,24	20	8	1840	8427	45,49970	-22,71930	B-R-H
253	Sf - 288	10,28	2,74	0,73	50	8	5488	25135	45,50960	-22,08240	R
254	Sf - 292	4,22	1,03	0,22	50	6	2064	9453	47,90950	-17,67310	B-R
255	Sf - 294	1,29	0,3	0,07	40	6	760	3481	47,91190	-17,58660	B-R
256	Sf - 295	6,83	1,74	0,32	20	6	3472	15902	47,96370	-17,43190	B-R
257	Sf - 297	2,07	0,54	0,09	10	6	1088	4983	48,19520	-16,90920	B-R-H

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
258	Sf - 310	55,94	17,9	3,12	20	8	35792	163927	45,93830	-17,67760	
259	Sf - 320	2,09	0,71	0,1	20	8	1424	6522	47,06320	-16,87890	B-R-H
260	Sf - 324	15,57	4,22	0,6	100	6	8448	38692	46,86960	-19,51920	
261	Sf - 326	5,04	1,3	0,22	15	6	2608	11945	46,60770	-19,39340	B-R
262	Sf - 328	2,8	0,74	0,12	30	6	1472	6742	46,86060	-19,33320	B
263	Sf - 331	4,66	1,26	0,18	20	6	2512	11505	47,02840	-19,27340	B
264	Sf - 332	13,26	3,58	0,52	60	6	7152	32756	46,99900	-19,22600	
265	Sf - 333	1,63	0,42	0,07	20	6	1060	4855	46,75510	-18,69180	B
266	Sf - 335	2,07	0,54	0,09	30	6	1088	4983	46,73310	-19,52700	B-R
267	Sf - 337	34,15	9,57	1,17	30	6	19136	87643	46,60620	-19,46260	R
268	Sf - 349	2,08	0,74	0,1	20	8	1472	6742	45,81580	-18,58720	B-R
269	Sf - 354	1,59	0,62	0,06	40	8	1248	5716	45,39970	-18,88140	B-R-H
270	Sf - 355	1,33	0,52	0,05	41	8	1040	4763	45,34900	-18,74440	B-R-H
271	Sf - 356	1,54	0,6	0,06	35	8	1200	5496	45,42460	-19,10490	B-R-H
272	Sf - 357	3,02	0,74	0,15	25	6	1488	6815	47,47190	-18,57810	B
273	Sf - 358	1,24	0,3	0,06	20	6	760	3481	47,46320	-18,41250	B-R
274	Sf - 359	1,7	0,42	0,09	20	6	1040	4763	47,36710	-18,39580	B-R
275	Sf - 360	4,1	1,01	0,21	40	6	2016	9233	47,67490	-18,47380	B
276	Sf - 362	3,09	0,75	0,16	20	6	1504	6888	47,64010	-18,59730	B
277	Sf - 364	7,88	2,09	0,33	20	6	4176	19126	47,91650	-18,58750	
278	Sf - 367	1,16	0,4	0,06	20	8	1000	4580	46,36310	-18,55300	B-R
279	Sf - 369	1,04	0,26	0,05	10	6	660	3023	47,87330	-18,14700	B-R
280	Sf - 377	1,7	0,42	0,09	10	6	1040	4763	47,05440	-18,37030	B-R
281	Sf - 380	533,49	146,71	19,58	40	6	293424	1343882	46,82310	-17,84910	
282	Sf - 382	3	0,72	0,16	20	6	1440	6595	47,18100	-18,12190	B-R-H
283	Sf - 385	7,04	2,22	0,4	40	8	4448	20372	46,72490	-17,47080	B-R-H
284	Sf - 387	8,7	2,18	0,42	30	6	4352	19932	46,87490	-17,50970	B-R-H
285	Sf - 388	6,27	1,46	0,36	100	6	2912	13337	46,90180	-21,49770	B
286	Sf - 390	3,23	0,78	0,17	40	6	1568	7181	46,82100	-21,46460	B
287	Sf - 391	1,82	0,46	0,09	15	6	1140	5221	46,76500	-21,59170	B
288	Sf - 392	1,03	0,3	0,03	20	6	740	3389	46,73730	-21,86920	B
289	Sf - 394	2,73	0,76	0,1	50	6	1520	6962	46,34580	-21,24510	B-R-H
290	Sf - 396	2,83	0,7	0,14	70	6	1392	6375	46,83440	-21,54040	B
291	Sf - 397	12,56	3,7	0,34	100	6	7392	33855	46,84630	-22,01690	
292	Sf - 398	11,16	3,24	0,33	150	6	6480	29678	46,87830	-22,07910	R
293	Sf - 400	3,58	1,31	0,15	35	8	2624	12018	45,63240	-19,75190	B-R-H
294	Sf - 406	2,89	1,04	0,13	20	8	2080	9526	45,77960	-19,60910	B-R-H
295	Sf - 410	29,42	7,11	1,55	65	6	14224	65146	46,51700	-19,83280	R

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
296	Sf - 411	2,3	0,56	0,12	35	6	1120	5130	46,79510	-19,91020	
297	Sf - 414	3,96	0,99	0,19	50	6	1984	9087	46,86900	-19,76320	
298	Sf - 416	2,83	0,73	0,13	40	6	1456	6668	46,47620	-19,92950	B-R
299	Sf - 424	23,73	4,15	1,34	40	3	8304	38032	48,50280	-19,27230	R
300	Sf - 427	23,6	4,06	1,39	80	3	8128	37226	48,34430	-19,29890	R
301	Sf - 428	60,93	10,74	3,35	60	3	21488	98415	48,45150	-19,43400	
302	Sf - 431	3,77	0,66	0,21	30	3	1328	6082	48,63830	-19,16790	B-R
303	Sf - 432	5,05	0,87	0,3	20	3	1744	7988	48,58190	-19,21300	B-R
304	Sf - 437	6,03	2,24	0,25	15	8	4480	20518	45,00030	-16,73570	B-R-H
305	Sf - 441	1,47	0,4	0,06	20	6	1000	4580	48,53810	-16,60830	B-R-H
306	Sf - 442	1,31	0,36	0,05	20	6	900	4122	48,51760	-16,57530	B-R-H
307	Sf - 446	1,29	0,34	0,06	15	6	840	3847	48,02910	-16,66620	B-R-H
308	Sf - 463	1,12	0,58	0	15	8	1152	5276	48,10160	-15,27870	B-R
309	Sf - 467	0,74	0,35	0,01	15	8	880	4030	47,87920	-15,79730	B-R-H
310	Sf - 472	1,81	0,74	0,06	30	8	1472	6742	48,56030	-15,10350	B-R-H
311	Sf - 477	2,71	0,72	0,11	20	6	1440	6595	47,38930	-16,77350	B-R-H
312	Sf - 479	5,75	1,84	0,32	80	8	3680	16854	49,00870	-12,64320	B-R
313	Sf - 489	2,68	0,48	0,26	20	8	1200	5496	49,80500	-14,19470	B-R-H
314	Sf - 490	5,45	1,52	0,37	80	8	3040	13923	48,66850	-14,42060	B-R-H
315	Sf - 491	5,08	0,76	0,41	40	3	1520	6962	49,76510	-14,34300	B-R
316	Sf - 498	1,35	0,64	0,02	30	8	1280	5862	48,25250	-14,58790	B-R
317	Sf - 507	22,98	6,12	1,63	170	8	12240	56059	48,67760	-13,82460	R
318	Sf - 516	11,84	2,17	1,12	60	8	4336	19859	49,67370	-13,51940	B-R
319	Sf - 523	47,44	9,71	1,33	50	3	19424	88962	48,96490	-16,47120	R
320	Sf - 524	12,78	3,42	0,51	50	6	6848	31364	48,76790	-16,62290	R
321	Sf - 527	9,35	1,61	0,55	50	3	3216	14729	49,78000	-16,41130	B-R-H
322	Sf - 530	45,77	8,63	1,98	30	3	17264	79069	49,53670	-16,06440	R
323	Sf - 532	27,83	5,46	1,01	40	3	10912	49977	49,32830	-16,04750	R
324	Sf - 536	36,85	6,54	1,98	250	3	13088	59943	49,51770	-15,70540	R
325	Sf - 540	18,64	3,3	1,02	70	3	6592	30191	49,56780	-15,83520	R
326	Sf - 541	42,21	7,66	2,12	100	3	15312	70129	49,53720	-15,84360	R
327	Sf - 553	14,03	3,83	0,53	150	6	7664	35101	48,68220	-16,38660	R
328	Sf - 554	4,98	1,37	0,18	30	6	2736	12531	48,68500	-16,17770	B-R-H
329	Sf - 556	12,56	3,46	0,46	100	6	6928	31730	48,43380	-16,20360	R
330	Sf - 557	1,88	0,53	0,06	25	6	1056	4836	48,41830	-16,23230	B-R-H
331	Sf - 559	12,48	3,12	0,61	60	6	6240	28579	48,89590	-14,91290	R
332	Sf - 560	10,09	3,63	0,45	200	8	7264	33269	48,73080	-14,79770	R
333	Sf - 561	2,48	0,78	0,14	40	8	1552	7108	48,79420	-14,74750	B-R-H

N°	Nom	Prod. GWh/an	P (MW)	Pmin (MW)	Chute (m)	étiage (mois)	Investissement (k€) (Mio Ar)		Longitude	Latitude	Scénario
334	Sf - 562	121,43	49,5	3,75	15	8	98992	453383	48,04060	-15,43850	
335	Sf - 564	7,71	2,19	0,25	60	6	4384	20079	48,78370	-15,08970	B-R-H
336	Sf - 567	6,36	1,78	0,22	30	6	3568	16341	48,83720	-15,16680	B-R-H
337	Sf - 569	6,66	1,46	0,56	70	8	2928	13410	49,08050	-13,74760	B-R-H
338	Sf - 571	11,8	2,51	1,02	100	8	5024	23010	49,07910	-13,95260	R
339	Sivanina	12,97	2,28	0,72	50	3	4560	20885	48,07140	-20,89040	B-R-H
340	Soavindrono	8,81	2,45	0,31	20	6	4896	22424	46,68380	-19,45300	R
341	Sotroe	14,8	2,59	0,83	200	3	5184	23743	47,32980	-21,84380	R
342	Sur la route Analavory Tsiroanomandidy	0,97	0,26	0,04	5	6	640	2931	46,70880	-18,96400	
343	Talaviana	91,6	23,12	4,36	50	6	46240	211779	47,03360	-20,19090	
344	Tampoketsa	42,15	10,38	2,13	100	6	20768	95117	47,78260	-16,73720	R
345	Tazonana	27,8	6,44	1,6	100	6	12880	58990	47,42720	-20,69540	R
346	Telomita	0,62	0,15	0,03	12	6	456	2088	47,51360	-17,51950	B-R-H
347	Tratrambolo	3,67	0,79	0,24	20	6	1584	7255	47,64470	-20,19920	B-R
348	Tsaralalana	1,74	0,48	0,06	80	6	1200	5496	48,88690	-15,71490	B-R-H
349	Tsaramilaza	16,96	2,9	1,02	150	3	5808	26601	48,45920	-19,51440	R
350	Tsararano	3,62	1,04	0,11	40	6	2080	9526	47,86230	-16,35740	B-R-H
351	Tsaratana	11,94	3,1	0,53	40	6	6192	28359	46,69500	-19,41010	R
352	Tsaravinany	55,56	9,7	3,14	100	3	19408	88889	48,50080	-19,29430	
353	Tsiandalovana	25,46	8,75	1,25	15	8	17504	80168	44,96000	-16,75300	R
354	Tsiarenana	3,05	1,43	0,04	150	8	2864	13117	46,48750	-22,07760	B-R-H
355	Tsilavoana	38,49	7,09	1,83	40	3	14176	64926	47,55830	-21,54960	R
356	Vatana	5,5	0,96	0,31	30	3	1920	8794	48,61990	-19,59560	B-R-H
357	Vatopaka	7,1	1,19	0,45	40	3	2384	10919	49,13280	-17,98590	B
358	Vodirandran	45,58	10,59	2,61	100	6	21184	97023	46,79330	-20,91150	
359	Vohimanitra	15,26	3,63	0,83	30	6	7264	33269	47,09400	-20,99650	
360	Vohimasina	31,01	5,49	1,69	100	3	10976	50270	48,00920	-20,70770	R
361	Vohitrambo	3,41	0,8	0,19	15	6	1600	7328	47,11810	-21,94000	B
362	Vavarano firingalava	15,36	3,82	0,76	70	6	7632	34955	46,92780	-17,67880	R

## ANNEXE 5 : Résultats des mini réseaux hydroélectriques

Tableau 19 : Liste des projets en Mini-hydro

ID	Nom site	Région	Investissement initial (10 <sup>6</sup> Ar)	k€	LCOE (Ar/kWh)(€/kWh)	P inst (kW)	nb villages	Pop.	% Hydro*	
1	Ambatolahitelo	Vatovavy fitovinany	3 552	776	1592	0,35	176	7	8401	63%
2	Ambatomiankina	Alaotra mangoro	15 561	3 398	1727	0,38	1256	8	12303	86%
3	Ambodiriana-gec - 059	Vatovavy fitovinany	20 981	4 581	222	0,05	1616	39	50339	90%
4	Sf - 234	Amoron i mania	6 743	1 472	1213	0,26	520	10	12610	85%
5	Ampasatsarety	Sofia	19 169	4 185	2000	0,44	1456	20	27404	43%
6	Analavory	Sofia	6 940	1 515	1643	0,36	400	6	6675	69%
7	Andampibe	Sava	7 287	1 591	242	0,05	400	12	8466	93%
8	Andemoka	Alaotra mangoro	1 890	413	769	0,17	40	1	1673	69%
9	Andramangarana	Atsinanana	8 764	1 914	806	0,18	712	16	16151	91%
10	Andranolava-gec - 155	Sava	5 579	1 218	310	0,07	264	4	6811	89%
11	Andranolava-gec - 156	Sofia	13 489	2 945	1882	0,41	1112	11	9795	73%
12	Andranomiditra	Sofia	2 846	621	1854	0,40	152	3	4316	49%
13	Andriamamovoka-gec - 176	Alaotra mangoro	7 303	1 595	359	0,08	568	7	10515	77%
14	Andriamamovoka-gec - 186	Atsinanana	5 949	1 299	1041	0,23	320	9	9393	86%
15	Andriamanjavona	Sofia	10 115	2 208	1858	0,41	872	8	12100	55%
16	Andriamirafy	Atsinanana	13 313	2 907	827	0,18	1072	20	22340	93%
17	Andrianabe	Alaotra mangoro	20 034	4 374	203	0,04	1536	24	34407	92%
18	Antafiambe	Sava	19 187	4 189	740	0,16	1600	24	31984	94%
19	Antohaka	Analanjirifo	5 259	1 148	938	0,20	360	6	9736	88%
20	Antsahabe	Sofia	15 815	3 453	6462	1,41	1552	3	2342	100%
21	Antsahamamy	Sofia	5 142	1 123	1615	0,35	328	5	5849	67%
22	Antsoriabe	Sofia	24 554	5 361	1777	0,39	2008	22	26447	61%
23	Begoaka	Boeny	16 312	3 562	2783	0,61	1296	9	6154	87%
24	Behofa	Sofia	25 800	5 633	2089	0,46	2400	12	15328	82%
25	Bejono	Sava	12 368	2 700	206	0,04	888	12	18583	93%
26	Betaimboraka	Sofia	8 857	1 934	2079	0,45	496	12	17008	32%
27	Betsakotsako (v perer)	Sava	8 218	1 794	726	0,16	736	8	17364	92%
28	Manendriendry	Alaotra mangoro	4 860	1 061	1776	0,39	200	3	8934	53%
29	Manompy	Alaotra mangoro	5 924	1 293	5651	1,23	536	1	1260	100%
30	Marivorondro	Sofia	8 638	1 886	2587	0,56	624	3	3333	94%
31	Marotsipoy	Analamanga	3 674	802	1412	0,31	232	2	5295	76%
32	Menazomby	Betsiboka	8 964	1 957	1478	0,32	712	6	6768	92%
33	Parc national andohaela	Anosy	4 239	926	592	0,13	168	5	6503	67%
34	Sahandaso ou centrale	Atsinanana	9 573	2 090	235	0,05	640	14	14364	91%
35	Sarotramalo	Analamanga	21 353	4 662	1372	0,30	1696	19	18746	93%
36	Tratrambolo	Amoron i mania	11 803	2 577	294	0,06	792	18	22482	87%
37	Tsaralalana	Sofia	7 022	1 533	1665	0,36	480	8	6752	70%
38	Tsararano	Sofia	11 153	2 435	4563	1,00	1040	3	2415	100%
39	Tsiarenana	Haute matsiatra	19 952	4 356	2161	0,47	1432	26	51750	35%
40	Manirenja	Diana	12 823	2 800	416	0,09	1016	12	12638	74%

ID	Nom site	Région	Investissement initial (10 <sup>6</sup> Ar) k€		LCOE (Ar/kWh)(€/kWh)		P inst (kW)	nb villages	Pop.	% Hydro*
41	Ambohibory	Diana	16 883	3 686	341	0,07	1432	13	14153	82%
42	Kalavinta	Diana	10 280	2 245	976	0,21	832	10	13496	89%
43	Mamoro	Diana	18 784	4 101	954	0,21	1624	17	25870	90%
44	Beandrarezo	Sofia	14 080	3 074	1214	0,26	1272	12	17328	82%
45	Andavatsobe	Sofia	6 609	1 443	1995	0,44	440	10	11662	37%
46	Sahanjala	Sofia	8 131	1 775	1663	0,36	688	9	12758	56%
47	Antsahamben	Sofia	5 408	1 181	1868	0,41	320	8	8744	44%
48	Ambodiriana-ad - 135	Sofia	2 968	648	1701	0,37	136	2	4699	54%
49	Anjahambe	Analanjirifo	18 165	3 966	804	0,18	1528	28	31405	92%
50	Sahandrazah	Analanjirifo	13 048	2 849	883	0,19	1016	20	21245	90%
51	Analambolo	Analanjirifo	7 024	1 534	856	0,19	536	8	12028	91%
52	Komangoroke	Betsiboka	5 494	1 199	1597	0,35	336	8	8279	58%
53	Andriamamov	Betsiboka	20 441	4 463	1626	0,35	1944	11	14625	90%
54	Mangariky	Boeny	10 782	2 354	3188	0,70	952	3	3337	96%
55	Mahazoma	Betsiboka	21 253	4 640	1416	0,31	1944	13	26289	77%
56	Abetsikoban	Alaotra mangoro	7 688	1 679	436	0,10	400	6	7435	79%
57	Salangina-ad - 280	Analanjirifo	21 398	4 672	810	0,18	1880	22	37065	92%
58	Ankevo	Melaky	9 918	2 165	2219	0,48	696	7	6683	64%
59	Antenina	Alaotra mangoro	21 527	4 700	197	0,04	1760	23	39230	92%
60	Lavajiro	Atsinanana	5 917	1 292	974	0,21	328	8	10048	87%
61	Telomita	Betsiboka	2 911	635	1574	0,34	152	4	3803	63%
62	Ambodiampal	Analanjirifo	21 788	4 757	203	0,04	1688	25	41440	92%
63	Antsimahala	Analamanga	10 592	2 313	1211	0,26	816	7	12020	87%
64	Merimandros	Analamanga	24 782	5 411	1208	0,26	1960	22	33175	82%
65	Kelilalina	Bongolava	19 088	4 168	1911	0,42	1616	9	15267	83%
66	Andranomadi	Bongolava	5 268	1 150	1779	0,39	320	3	5490	71%
67	Antsevabe	Analamanga	15 987	3 491	1385	0,30	1240	13	22011	76%
68	Jondrona	Bongolava	13 583	2 966	1447	0,32	1112	7	13541	87%
69	Ankisatra	Menabe	7 241	1 581	2222	0,49	432	7	6939	65%
70	Ampitambe	Atsinanana	11 439	2 498	234	0,05	760	14	15751	91%
71	Ankafotra	Itasy	150	33	886	0,19	160	2	6345	43%
72	Soavindrono	Vakinankaratra	28 011	6 116	387	0,08	2448	17	49171	68%
73	Mapa	Bongolava	21 017	4 589	1666	0,36	1840	8	30952	66%
74	Vatana	Atsinanana	12 315	2 689	828	0,18	960	18	21576	91%
75	Mahavangana	Alaotra mangoro	25 262	5 516	842	0,18	2136	39	42609	93%
76	Sahavelona	Atsinanana	16 309	3 561	1055	0,23	1312	17	17828	98%
77	Moninando	Amaron i mania	21 121	4 611	2024	0,44	1936	6	19966	97%
78	Amboditavol	Atsinanana	14 043	3 066	823	0,18	1200	15	24623	91%
79	Ambohitsara-ad - 599	Amaron i mania	28 315	6 182	211	0,05	2032	50	57077	92%
80	Nombaratsy	Amaron i mania	21 140	4 616	1804	0,39	1920	11	21711	97%
81	Sivanina	Vatovavy fitovinany	31 549	6 888	952	0,21	2280	56	73258	90%
82	Iatsora	Amaron i mania	27 570	6 020	1243	0,27	2296	20	58327	83%
83	Antalay	Vatovavy fitovinany	31 248	6 823	202	0,04	2248	54	59467	93%
84	Manamboariv	Vatovavy fitovinany	15 805	3 451	215	0,05	1136	29	29639	92%
85	Mahatsinjoh	Vatovavy fitovinany	14 829	3 238	215	0,05	1080	24	31833	91%
86	Bemangevo	Atsimo atsinanana	5 258	1 148	303	0,07	344	9	13735	85%
87	Antanatomen	Atsimo atsinanana	5 505	1 202	317	0,07	336	7	14165	84%
88	Mandabe	Anosy	2 091	457	2198	0,48	104	1	6334	33%
89	Sf - 070	Melaky	13 242	2 891	4301	0,94	1336	1	3867	100%

ID	Nom site	Région	Investissement initial (10 <sup>6</sup> Ar) k€		LCOE (Ar/kWh)(€/kWh)		P inst (kW)	nb villages	Pop.	% Hydro*
90	Sf - 108	Analanjirofo	27 145	5 927	852	0,19	2344	36	50867	87%
91	Sf - 120	Analanjirofo	19 035	4 156	859	0,19	1648	23	36480	87%
92	Sf - 121	Alaotra mangoro	27 628	6 032	949	0,21	2160	27	40201	92%
93	Sf - 137	Alaotra mangoro	27 045	5 905	121	0,03	2384	10	22710	100%
94	Sf - 160	Vakinankaratra	21 952	4 793	241	0,05	1936	16	32143	87%
95	Sf - 169	Atsinanana	7 013	1 531	891	0,19	504	9	12102	88%
96	Sf - 170	Atsinanana	15 238	3 327	919	0,20	1256	15	21453	95%
97	Sf - 173	Atsinanana	14 993	3 274	936	0,20	1192	19	21097	94%
98	Sf - 184	Atsinanana	9 751	2 129	827	0,18	768	13	17633	90%
99	Sf - 193	Amoron i mania	29 620	6 467	1148	0,25	2296	44	47699	96%
100	Sf - 199	Vatovavy fitovinany	12 746	2 783	247	0,05	800	24	24922	90%
101	Sf - 224	Atsimo andrefana	5 244	1 145	2354	0,51	224	7	16093	21%
102	Sf - 229	Vakinankaratra	7 486	1 635	298	0,07	608	4	11536	82%
103	Sf - 231	Amoron i mania	10 914	2 383	1240	0,27	824	10	22230	83%
104	Sf - 236	Amoron i mania	20 961	4 577	276	0,06	1856	44	46805	84%
105	Sf - 238	Amoron i mania	16 415	3 584	4148	0,91	1576	3	6972	100%
106	Sf - 241	Vakinankaratra	8 269	1 805	6386	1,39	824	1	1497	100%
107	Sf - 244	Amoron i mania	20 319	4 436	6182	1,35	2016	3	5797	100%
109	Sf - 248	Amoron i mania	8 056	1 759	2075	0,45	464	5	13851	55%
110	Sf - 250	Amoron i mania	23 364	5 101	2517	0,55	2112	9	16211	99%
111	Sf - 253	Amoron i mania	9 459	2 065	1770	0,39	784	5	14237	73%
112	Sf - 254	Haute matsiatra	14 019	3 061	3218	0,70	1176	8	8301	78%
113	Sf - 259	Haute matsiatra	8 696	1 899	345	0,08	592	5	15744	81%
114	Sf - 264	Melaky	8 759	1 912	1897	0,41	680	6	7235	69%
115	Sf - 265	Melaky	7 107	1 552	5967	1,30	664	1	1206	100%
116	Sf - 281	Anosy	12 649	2 762	1366	0,30	920	9	17459	88%
117	Sf - 292	Alaotra mangoro	16 252	3 548	379	0,08	1032	15	20530	79%
118	Sf - 294	Betsiboka	6 208	1 355	322	0,07	304	2	2405	96%
119	Sf - 295	Betsiboka	18 136	3 960	160	0,03	1736	2	1543	100%
120	Sf - 297	Alaotra mangoro	7 140	1 559	1429	0,31	544	4	9746	79%
121	Sf - 320	Betsiboka	8 626	1 883	1599	0,35	712	8	11556	63%
122	Sf - 326	Vakinankaratra	15 080	3 292	311	0,07	1304	6	24830	78%
123	Sf - 335	Vakinankaratra	7 871	1 719	408	0,09	544	5	11287	72%
124	Sf - 349	Bongolava	10 058	2 196	499	0,11	736	5	11051	66%
125	Sf - 354	Menabe	8 454	1 846	1959	0,43	624	11	14495	52%
126	Sf - 355	Menabe	6 172	1 348	15812	3,45	520	1	545	100%
127	Sf - 356	Bongolava	8 929	1 950	2059	0,45	600	6	9722	57%
128	Sf - 358	Analamanga	5 808	1 268	448	0,10	304	4	5987	77%
129	Sf - 359	Analamanga	8 523	1 861	480	0,10	416	6	8506	74%
130	Sf - 367	Bongolava	6 961	1 520	673	0,15	400	3	9895	56%
131	Sf - 369	Analamanga	136	30	540	0,12	264	3	6419	66%
132	Sf - 377	Analamanga	6 989	1 526	405	0,09	416	5	7637	77%
133	Sf - 382	Analamanga	9 027	1 971	1288	0,28	720	7	9660	86%
134	Sf - 385	Betsiboka	25 956	5 667	2035	0,44	2224	16	13010	95%
135	Sf - 387	Betsiboka	23 298	5 087	2091	0,46	2176	11	11358	98%
136	Sf - 394	Haute matsiatra	9 234	2 016	2331	0,51	760	4	7558	92%

ID	Nom site	Région	Investissement initial (10 <sup>6</sup> Ar) k€		LCOE (Ar/kWh)(€/kWh)		P inst (kW)	nb villages	Pop.	% Hydro*
137	Sf - 400	Menabe	15 799	3 450	1761	0,38	1312	19	25709	63%
138	Sf - 406	Menabe	11 981	2 616	1926	0,42	1040	5	13324	79%
139	Sf - 416	Vakinankaratra	9 663	2 110	354	0,08	728	5	13882	76%
140	Sf - 431	Alaotra mangoro	10 097	2 205	245	0,05	664	9	14527	90%
141	Sf - 432	Alaotra mangoro	13 613	2 972	230	0,05	872	17	18711	92%
142	Sf - 437	Melaky	23 969	5 233	3783	0,83	2240	7	6339	98%
143	Sf - 441	Alaotra mangoro	7 270	1 587	1755	0,38	400	8	7224	72%
144	Sf - 442	Alaotra mangoro	6 613	1 444	3271	0,71	360	3	2479	94%
146	Sf - 463	Sofia	10 491	2 291	1040	0,23	576	15	20782	24%
147	Sf - 467	Sofia	6 327	1 381	2251	0,49	352	8	11127	28%
148	Sf - 472	Sofia	9 221	2 013	2184	0,48	736	6	6810	59%
149	Sf - 477	Betsiboka	9 201	2 009	1497	0,33	720	8	9085	77%
150	Sf - 479	Diana	20 621	4 502	234	0,05	1840	8	6615	99%
151	Sf - 490	Sofia	18 236	3 982	1338	0,29	1520	14	16488	89%
152	Sf - 491	Sava	12 928	2 823	214	0,05	760	16	16793	95%
153	Sf - 498	Sofia	9 606	2 097	871	0,19	640	12	15592	32%
154	Sf - 516	Sava	26 875	5 868	157	0,03	2168	21	23484	100%
155	Sf - 527	Analanjirifo	18 424	4 023	777	0,17	1608	26	33474	92%
156	Sf - 557	Alaotra mangoro	7 613	1 662	1799	0,39	528	5	6368	77%
157	Sf - 561	Sofia	10 093	2 204	1525	0,33	776	11	10059	73%
158	Sf - 564	Sofia	22 951	5 011	2987	0,65	2192	5	8027	97%
159	Sf - 567	Sofia	19 413	4 239	1880	0,41	1784	10	12001	87%
160	Andranotsara	Bongolava	8 475	1 850	2136	0,47	448	6	11586	46%
161	Androkabe	Alaotra mangoro	22 176	4 842	150	0,03	1816	16	19566	99%
162	Antafofo-fr - 059	Betsiboka	12 591	2 749	7041	1,54	1176	2	1827	100%
163	Antanimenabaka	Alaotra mangoro	2 181	476	1768	0,39	96	2	4829	45%
164	Sf - 569	Diana	14 693	3 208	5216	1,14	1464	3	2414	100%
165	Ikipantsy mangarano	Bongolava	5 362	1 171	477	0,10	312	3	7972	70%
166	Ambilany	Analamanga	23 935	5 226	1477	0,32	2144	14	20355	93%
167	Akohodavo	Menabe	8 950	1 954	2090	0,46	664	10	14345	50%
168	Sf - 489	Sava	6 536	1 427	811	0,18	480	8	10962	91%
169	Sf - 554	Sofia	16 471	3 596	1683	0,37	1368	13	12126	82%

\*%Hydro : [Demande sur 20ans]/[production hydro sur 20ans]

## ANNEXE 6 : Hypothèses technico-économique

### 1.1 Paramètres réseaux

Les hypothèses suivantes ont été utilisées en fonction des données ADER et JIRAMA :

**Tableau 20 : Paramètres technico-économiques des réseaux électriques**

PARAMETRES TECHNIQUES	Valeur	Unité
<b>Générale</b>		
Année de recensement de la population	2018	
Horizon de planification (production)	20	Ans
Année de référence pour les coûts	2020	
<b>Economique</b>		
Taux d'actualisation pour analyse économique	10	%
Taux d'inflation étranger	5	%
Taux d'inflation local	4.5	%
Taux de change	4580	MGA/EUR
Prix d'achat du kWh MT à la compagnie d'électricité	750	AR /kWh
Revenu moyen par kWh perçu par la compagnie d'électricité	487	AR /kWh
<b>Densification des réseaux</b>		
Nombre de client par km BT (zone urbaine) *	100	Client/km
Nb km BT par transformateur*	2	Km BT/TFO
Longueur du réseau MT par transformateur*	1.2	Km MT / TFO
Nb de ménage par client JIRAMA	1.6	Ménage/client
Coût transformateur	45 000 000	AR
<b>Extension du réseau et mini-réseau</b>		
Nombre de client par km BT (zone rurale)	60	Client/km
Ratio ligne MT/ligne BT dans les fokontany	10	%
Coût de ligne BT/km (poteaux bétons)	62 309 000	AR
Coût de ligne MT/km (poteaux bois)	126 332 000	AR
Coût compteur faible capacité	250 000	AR
Coût compteur haute capacité	520 000	AR
Durée de vie ligne MT	40	Ans
Durée de vie ligne BT	20	Ans
Durée de vie transformateur	25	Ans
Coût de maintenance ligne BT	25	% inv. total
Coût de maintenance ligne MT	15	% inv. total
Coût de maintenance transformateur	25	% inv. total
LCOE maximal pour valider un mini réseau hydroélectrique	0.5	€/MWh
<b>Interconnexion</b>		
<b>Extension du réseau HT</b>		
Coût moyen global des lignes MT (/km), distribution comprise	50 000 000	AR (fourchette basse)
<b>Connexion au réseau</b>		
Coût de la connexion réseau	5 000 000	AR
Durée de vie de la connexion	25	Ans
Coût de maintenance de la connexion	2	% inv. total
<b>Divers</b>		
Heures de pointe par jour de semaine (/24)	3	Heures

PARAMETRES TECHNIQUES	Valeur	Unité
Salaire mensuel moyen du personnel	500 000	AR
Coût de fonctionnement	31	% masse salariale
Coût bâtiment de la centrale	90 000 000	AR
Durée de vie du bâtiment de la centrale	30	Ans

\* calculé à partir des données géographiques fournies par la JIRAMA à Antananarivo et Antsirabe

**Tableau 21 : Coûts des Transformateurs**

Transformateur	Coût (Ariary)
25 kW	32 000 000
50 kW	35 000 000
100 kW	42 500 000
160 kW	45 000 000

**Tableau 22 : Coûts des Groupes Diesel**

Groupe Diesel	Coût (Ariary)
20 kW	42 000 000
100 kW	57 000 000
200 kW	105 000 000
480 kW	250 000 000
640 kW	320 000 000
1000 kW	520 000 000

## 1.2 Paramètres hors-réseaux

Les hypothèses suivantes ont été retenues pour les CAPEX (€/W) sur base des données de l'ADER et d'opérateurs privés d'électrification rurale à Madagascar et dans d'autres pays similaires.

**Tableau 23 : Coûts unitaires (CAPEX) des solutions ENR**

CAPEX TDV 2021	Qté	Unité	CAPEX (€/kWc)
Pico système	5	Wc	10 000
SHS avec TV 19"	40	Wc	8 000
Nanoréseau PV*	140	Wc	4 500
Micro-réseau 100% PV*	20	kWc	4 000
Mini-réseau PV/diesel*	100	kWc	3 200
Pico-réseau hydro	0-20	kW	4 000
Micro-réseau hydro	20-200	kW	3 000
Mini-réseau hydro	200-500	kW	2 500
Mini-réseau hydro	500-2000	kW	2 000
Mini-réseau éolien/diesel	50	kW	3 500
Mini-réseau Biomasse	100	kW	4 000

Par ailleurs, le tableau ci-dessous donne la **décomposition des coûts unitaires** pour une centrale solaire PV sur base d'un benchmark réalisé par IED sur des promoteurs privés de MR hybrides\* au Bénin (2021).

**Tableau 24 : Coûts unitaires des équipements solaires**

Coûts unitaires	Taille type	Unité	100kWc	
Modules	100	kWc	200	€/kWc
Structure	100	kWc	220	€/kWc
Batterie LI	450	kWh	450	€/kWh
Batterie LA	0	kWh		€/kWh
Onduleur PV	110	kWc	150	€/kWc
Onduleur Batterie	75	kVA	400	€/kVA
<b>Sous-total</b>			<b>3 000</b>	€/kWc
BoS Hybride	20%	% CAPEX	600	€/kWc
Groupe électrogène	0	kVA	0	€/kVA
<b>Total</b>			<b>3 600</b>	€/kWc

\* Coûts d'investissements en €, installé, hors taxe, hors transport, hors GE

## ANNEXE 7 : Bilan des investissements et ménages électrifiés en pré-électrification

Tableau 25 : Nombre de ménages et de fokontany ciblés pour les pico systèmes

	Nb de ménages pico systèmes Scénario de référence				Nb de fkt
	2021	2025	2030	2035	
Alaotra Mangoro	8 374	17 782	27 330	38 894	586
Amoron i Mania	5 982	12 777	19 781	28 359	749
Analamanga	7 769	16 588	25 669	36 782	936
Analanjirofo	10 006	21 248	32 655	46 473	774
Androy	8 439	18 394	29 209	42 948	1 910
Anosy	6 046	13 179	20 926	30 770	773
Atsimo Andrefana	12 832	27 970	44 414	65 305	1 533
Atsimo Atsinanana	6 703	14 318	22 167	31 779	775
Atsinanana	9 186	19 507	29 980	42 666	887
Betsiboka	2 947	6 458	10 325	15 286	354
Boeny	5 125	11 231	17 956	26 582	458
Bongolava	4 763	10 171	15 739	22 552	293
Diana	5 186	11 142	17 377	25 094	494
Haute Matsiatra	8 252	17 627	27 290	39 124	708
Ihorombe	2 722	5 815	9 002	12 906	260
Itasy	5 387	11 502	17 798	25 503	472
Melaky	2 397	5 253	8 397	12 432	335
Menabe	5 195	11 323	17 981	26 438	535
Sava	9 449	20 303	31 663	45 726	788
Sofia	12 515	27 427	43 848	64 913	1 356
Vakinankaratra	12 711	27 141	41 999	60 181	867
Vatovavy Fitovinany	10 202	21 792	33 738	48 367	1 206
<b>Total Scénario de référence</b>	<b>162 187</b>	<b>348 947</b>	<b>545 246</b>	<b>789 079</b>	<b>17 049</b>
<b>Total bas</b>	<b>76 324</b>	<b>158 612</b>	<b>280 641</b>	<b>433 309</b>	<b>17 049</b>
<b>Total haut</b>	<b>238 511</b>	<b>972 823</b>	<b>1 138 602</b>	<b>1 331 856</b>	<b>17 049</b>

Tableau 26 : Nombre de ménages et de fokontany ciblés pour les SHS

	Nb de ménages - SHS Scénario de Référence				Nb de fkt
	2021	2025	2030	2035	
Alaotra Mangoro	8 374	17 782	27 330	38 894	586
Amoron i Mania	5 982	12 777	19 781	28 359	749
Analamanga	7 769	16 588	25 669	36 782	936
Analanjirofo	10 006	21 248	32 655	46 473	774
Androy	8 439	18 394	29 209	42 948	1 910
Anosy	6 046	13 179	20 926	30 770	773
Atsimo Andrefana	12 832	27 970	44 414	65 305	1 533
Atsimo Atsinanana	6 703	14 318	22 167	31 779	775
Atsinanana	9 186	19 507	29 980	42 666	887
Betsiboka	2 947	6 458	10 325	15 286	354

Boeny	5 125	11 231	17 956	26 582	458
Bongolava	4 763	10 171	15 739	22 552	293
Diana	5 186	11 142	17 377	25 094	494
Haute Matsiatra	8 252	17 627	27 290	39 124	708
Ihorombe	2 722	5 815	9 002	12 906	260
Itasy	5 387	11 502	17 798	25 503	472
Melaky	2 397	5 253	8 397	12 432	335
Menabe	5 195	11 323	17 981	26 438	535
Sava	9 449	20 303	31 663	45 726	788
Sofia	12 515	27 427	43 848	64 913	1 356
Vakinankaratra	12 711	27 141	41 999	60 181	867
Vatovavy Fitovinany	10 202	21 792	33 738	48 367	1 206
<b>Total Scénario de référence</b>	<b>162 187</b>	<b>348 947</b>	<b>545 246</b>	<b>789 079</b>	<b>17 049</b>
<b>Total bas</b>	<b>76 324</b>	<b>158 612</b>	<b>280 641</b>	<b>433 309</b>	<b>17 049</b>
<b>Total haut</b>	<b>238 511</b>	<b>972 823</b>	<b>1 138 602</b>	<b>1 331 856</b>	<b>17 049</b>

Tableau 27 : Nombre de ménages et de fokontany ciblés pour les nano-réseaux

	Nb de ménages bénéficiant de nano-réseaux				Nb de fkt
	2021	2025	2030	2035	
Alaotra Mangoro	2 004	4 255	6 540	9 307	87
Amoron i Mania	3 687	7 875	12 192	17 479	275
Analamanga	2 485	5 306	8 211	11 765	229
Analanjirofo	6 445	13 687	21 036	29 937	257
Androy	7 292	15 895	25 240	37 112	922
Anosy	5 369	11 702	18 582	27 322	356
Atsimo Andrefana	11 860	25 852	41 050	60 359	778
Atsimo Atsinanana	5 461	11 664	18 059	25 889	332
Atsinanana	5 323	11 303	17 371	24 721	272
Betsiboka	2 017	4 420	7 066	10 461	141
Boeny	4 861	10 654	17 032	25 215	238
Bongolava	2 675	5 712	8 840	12 666	80
Diana	4 102	8 812	13 743	19 847	211
Haute Matsiatra	1 790	3 824	5 921	8 488	73
Ihorombe	1 792	3 827	5 925	8 495	105
Itasy	510	1 089	1 686	2 415	40
Melaky	2 397	5 253	8 398	12 433	179
Menabe	3 563	7 767	12 333	18 134	217
Sava	5 704	12 256	19 114	27 603	281
Sofia	9 837	21 558	34 466	51 023	614
Vakinankaratra	2 269	4 845	7 498	10 744	83
Vatovavy Fitovinany	5 190	11 086	17 163	24 605	360
<b>Total Scénario de référence</b>	<b>96 633</b>	<b>208 643</b>	<b>327 464</b>	<b>476 020</b>	<b>6 130</b>
<b>Total bas</b>	<b>106 492</b>	<b>221 451</b>	<b>392 149</b>	<b>605 982</b>	<b>10 323</b>
<b>Total haut</b>	<b>52 983</b>	<b>217 340</b>	<b>256 194</b>	<b>301 817</b>	<b>3 627</b>

**Tableau 28 : Investissement en pico-systèmes par région (Euros)**

Région	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total
Alaotra Mangoro	1 155 860	620 579	751 687	2 528 125
Amoron i Mania	830 508	455 286	557 533	1 843 328
Analamanga	1 078 234	590 275	722 315	2 390 825
Analanjirofo	1 381 090	741 504	898 160	3 020 755
Androy	1 195 637	702 921	893 034	2 791 592
Anosy	856 613	503 607	639 813	2 000 033
Atsimo Andrefana	1 818 065	1 068 850	1 357 931	4 244 846
Atsimo Atsinanana	930 656	510 187	624 764	2 065 607
Atsinanana	1 267 944	680 756	824 578	2 773 279
Betsiboka	419 796	251 346	322 417	993 559
Boeny	730 043	437 101	560 697	1 727 841
Bongolava	661 099	361 916	442 874	1 465 888
Diana	724 229	405 258	501 649	1 631 136
Haute Matsiatra	1 145 758	628 107	769 166	2 543 030
Ihorombe	377 953	207 195	253 726	838 874
Itasy	747 608	409 275	500 827	1 657 709
Melaky	341 419	204 418	262 221	808 058
Menabe	736 023	432 712	549 743	1 718 479
Sava	1 319 663	738 447	914 087	2 972 196
Sofia	1 782 750	1 067 390	1 369 209	4 219 349
Vakinankaratra	1 764 157	965 781	1 181 819	3 911 757
Vatovavy Fito.	1 416 471	776 512	950 899	3 143 882
<b>Total scénario réf.</b>	<b>22 681 576</b>	<b>12 759 422</b>	<b>15 849 149</b>	<b>51 290 147</b>
<b>Total scénario bas</b>	<b>10 309 807</b>	<b>7 931 883</b>	<b>9 923 419</b>	<b>28 165 110</b>
<b>Total scénario haut</b>	<b>63 233 485</b>	<b>10 775 659</b>	<b>12 561 509</b>	<b>86 570 653</b>

**Tableau 29 : Investissement en SHS par région (Euros)**

Région	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total
Alaotra Mangoro	5 868 210	3 150 629	3 816 257	12 835 097
Amoron i Mania	4 216 426	2 311 453	2 830 554	9 358 433
Analamanga	5 474 114	2 996 782	3 667 139	12 138 035
Analanjirofo	7 011 688	3 764 560	4 559 891	15 336 139
Androy	6 070 158	3 568 677	4 533 864	14 172 699
Anosy	4 348 958	2 556 775	3 248 282	10 154 015
Atsimo Andrefana	9 230 175	5 426 467	6 894 113	21 550 755
Atsimo Atsinanana	4 724 868	2 590 181	3 171 879	10 486 929
Atsinanana	6 437 254	3 456 148	4 186 321	14 079 723
Betsiboka	2 131 273	1 276 062	1 636 886	5 044 221
Boeny	3 706 374	2 219 126	2 846 614	8 772 114
Bongolava	3 356 347	1 837 419	2 248 435	7 442 202
Diana	3 676 852	2 057 465	2 546 833	8 281 150
Haute Matsiatra	5 816 925	3 188 849	3 904 994	12 910 768

Ihorombe	1 918 840	1 051 911	1 288 148	4 258 899
Itasy	3 795 547	2 077 858	2 542 658	8 416 063
Melaky	1 733 357	1 037 817	1 331 274	4 102 448
Menabe	3 736 734	2 196 845	2 791 005	8 724 583
Sava	6 699 827	3 749 037	4 640 747	15 089 612
Sofia	9 050 885	5 419 058	6 951 369	21 421 311
Vakinankaratra	8 956 491	4 903 196	6 000 002	19 859 689
Vatovavy Fito.	7 191 313	3 942 291	4 827 643	15 961 248
<b>Total scé réf.</b>	<b>115 152 618</b>	<b>64 778 605</b>	<b>80 464 910</b>	<b>260 396 133</b>
<b>Total bas</b>	<b>59 674 270</b>	<b>32 937 389</b>	<b>50 380 437</b>	<b>142 992 096</b>
<b>Total haut</b>	<b>321 031 542</b>	<b>54 707 190</b>	<b>63 773 817</b>	<b>439 512 548</b>

Tableau 30 : Investissement nano-réseaux par région (Euros)

Région	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total
Alaotra				
Mangoro	609 253	327 107	396 214	1 332 573
Amoron i				
Mania	1 127 564	618 133	756 952	2 502 648
Analamanga	759 736	415 915	508 952	1 684 603
Analanjirifo	1 959 756	1 052 189	1 274 482	4 286 427
Androy	2 275 899	1 338 013	1 699 893	5 313 805
Anosy	1 675 516	985 044	1 251 460	3 912 020
Atsimo				
Andrefana	3 701 476	2 176 117	2 764 671	8 642 264
Atsimo				
Atsinanana	1 670 125	915 566	1 121 182	3 706 872
Atsinanana	1 618 323	868 874	1 052 440	3 539 637
Betsiboka	632 848	378 906	486 047	1 497 802
Boeny	1 525 421	913 319	1 171 572	3 610 311
Bongolava	817 913	447 763	547 924	1 813 601
Diana	1 261 761	706 047	873 980	2 841 788
Haute				
Matsiatra	547 566	300 177	367 590	1 215 333
Ihorombe	548 002	300 416	367 882	1 216 300
Itasy	155 964	85 382	104 481	345 827
Melaky	752 147	450 334	577 673	1 780 154
Menabe	1 112 056	653 784	830 606	2 596 446
Sava	1 754 795	981 935	1 215 488	3 952 218
Sofia	3 086 728	1 848 124	2 370 706	7 305 558
Vakinankaratra	693 756	379 794	464 751	1 538 300
Vatovavy Fito.	1 587 252	870 135	1 065 548	3 522 934
<b>Total scé réf.</b>	<b>29 873 858</b>	<b>17 013 070</b>	<b>21 270 493</b>	<b>68 157 421</b>
<b>Total bas</b>	<b>31 707 768</b>	<b>24 440 772</b>	<b>30 617 026</b>	<b>86 765 566</b>
<b>Total haut</b>	<b>31 119 117</b>	<b>5 563 193</b>	<b>6 532 346</b>	<b>43 214 656</b>

**Tableau 31 : Bilan des investissements en pré-électrification (Euros)**

	Scé.	2021-2025	2026-2030	2031-2035	Total
<b>Pico Système</b>	Bas	10 309 807	7 931 883	9 923 419	28 165 110
	Référence	22 681 576	12 759 422	15 849 149	51 290 147
	Haut	63 233 485	10 775 659	12 561 509	86 570 653
<b>SHS</b>	Bas	59 674 270	32 937 389	50 380 437	142 992 096
	Référence	115 152 618	64 778 605	80 464 910	260 396 133
	Haut	321 031 542	54 707 190	63 773 817	439 512 548
<b>Nano réseaux</b>	Bas	31 707 768	24 440 772	30 617 026	86 765 566
	Référence	29 873 858	17 013 070	21 270 493	68 157 421
	Haut	31 119 117	5 563 193	6 532 346	43 214 656
<b>TOTAL</b>	<b>Bas</b>	<b>101 691 845</b>	<b>65 310 044</b>	<b>90 920 882</b>	<b>257 922 772</b>
	<b>Référence</b>	<b>167 708 052</b>	<b>94 551 098</b>	<b>117 584 552</b>	<b>379 843 701</b>
	<b>Haut</b>	<b>415 384 144</b>	<b>71 046 041</b>	<b>82 867 672</b>	<b>569 297 858</b>

## ANNEXE 8 : Etat des technologies MRV et systèmes individuels

Les informations ci-dessous sur l'état des technologies des mini-réseaux verts (MRV) et des systèmes solaires individuels à Madagascar viennent compléter le contenu du chapitre « 2.6 Electrification hors réseau et technologie ENR » du rapport principal.

### 1.1 Mini-réseaux verts (MRV) à Madagascar

#### 1.1.1 Mini réseaux hydro

La base de données de l'ADER recense 19 opérateurs qui ont un contrat d'autorisation dans le domaine de la production hydroélectrique, les plus anciens étant la JIRAMA et JIRAFI qui exploitent depuis plus de 20 ans. Les 4 derniers opérateurs du tableau (en rouge) ne sont plus actifs dans le secteur de l'électrification rurale.

OPERATEURS	Contrat d'Autorisation	Contrat de Concession	Depuis	Filière
JIRAMA	1	1	2000	Hydro, Thermique, Solaire, Fuel lourd
JIRAFI	1		2000	Hydro
Coopérative ADITSARA	1		2003	Hydro
SERMAD	1		2006	Hydro, Thermique
CASIELEC*	1		2006	Hydro, Solaire
SM3E	1		2008	Hydro
AIDER	1		2009	Hydro
BETC*	1		2010	Hydro, Biomasse Cogénération (mais à l'arrêt)
ERMA	1	1	2011	Hydro
ECOGEMA	1		2012	Hydro
TECTRA	1	1	2012	Hydro
HIER*	1	1	2012	Hydro
3ERAE	1		2014	Hydro
POWER & WATER /GREEN POWER	1			Hydro
SRAFI	1			Hydro (travaux en cours)
SAEE	1			Hydro (Candidature spontanée sans suite)
VITASOA	1			Hydro (n'est plus dans le secteur ER)
ELEC & EAU	1			Hydro (n'est plus dans le secteur ER)
CR Ranotsara	1			Hydro

(\*) Seuls 3 opérateurs partagent régulièrement les données d'exploitation avec l'ADER

Parmi les acteurs actifs dans la micro-hydroélectricité à Madagascar, on notera :

- Fondation Energie pour le Monde (FONDEM)** : La FONDEM a identifié et caractérisé 9 sites potentiels pour un programme de développement de la micro-hydroélectricité pour des localités rurales isolées dans 5 régions cibles (De l'électricité verte pour un million de ruraux à Madagascar, 2008). L'encadré ci-dessous illustre un projet type de microcentrale hydraulique réalisé à Antetetzambato (42kW) grâce à l'appui de la FONDEM.

#### LA MICROCENTRALE HYDRAULIQUE D'ANTETEZAMBATO

Aux alentours d'Ambositra, au centre du pays, le village d'Antetetzambato a été électrifié en 2002 grâce à un appui de la Fondation Énergies pour le Monde. L'installation d'une microcentrale hydraulique de 42 kW connectée à un réseau de quelques kilomètres a permis de raccorder les 54 premiers clients. Au cours des années suivantes, ce sont finalement plus de 180 abonnés qui ont eu accès aux services de l'électricité. Familles, école, centre de santé et petits entrepreneurs disposent d'éclairage, de moyens audiovisuels et de force motrice pour une amélioration du cadre de vie et un accroissement de leurs activités. L'exploitation de la microcentrale et du réseau est effectuée par une coopérative créée à cet effet. Ses techniciens entretiennent les infrastructures et procèdent aux extensions nécessaires. Le changement des pièces d'usure s'est effectué correctement sans interruption notable du service.

Le retour d'expérience acquis au cours des 6 années de fonctionnement confirme la pertinence de la technologie des microcentrales hydrauliques : d'un coût d'investissement limité, fiables et robustes, faciles d'entretien, elles répondent aux exigences du contexte malgache.

b) **L'entreprise BETC** a réalisé plusieurs centrales d'électrification rurale au cours des dernières années :

- **Projet Jiro Meva** : Le projet consiste à : (i) réhabiliter un site hydroélectrique par la construction d'une micro-centrale hydroélectrique à **Ambodiriana** afin d'améliorer l'accès à l'électricité fiable et abordable par la création d'un réseau de distribution isolé alimenté par une micro-centrale hydroélectrique (**2 x 35kW**) et, (ii) améliorer les performances financières et techniques de l'exploitant par l'adoption de bonnes pratiques de gestion. 15.000 habitants dont près de 6.000 habitants dans les 4 localités qui bénéficieront directement de l'électrification rurale, les établissements scolaires, les centres de santé, les producteurs agricoles, les entrepreneurs ruraux et les services publics. Malheureusement les ouvrages ont été détruits par glissement de terrain lors du grand cyclone de 2018, après seulement 3 ans de bon fonctionnement.
- **Projet Pheder** : Electrification du chef-lieu de la Communes Rurale d'**Ambatomanoina** ainsi que les localités d'Amparihibe et de Mananjary, à partir d'une microcentrale hydroélectrique de **100kW** sur la rivière de Mananara avec une ligne électrique de transport de 9,15 km et d'un réseau électrique de distribution de 8,32 km. La Commune Rurale d'Ambatomanoina compte 23425 habitants, répartis sur 11 Fokontany, dont la population de ces trois localités cibles est de 8538 habitants. Le chef-lieu de la Commune Rurale d'Ambatomanoina se situe à 39km au Nord de Talata Volonondry, pistes d'accès difficilement accessible en période de pluie. Les principales activités de la population sont l'élevage et l'Agriculture. La centrale réalisée par BETC est actuellement exploitée par l'opérateur SRAFI.
- **Projet Jiro Kanto** (en cours) : Electrification des localités **Amparafaravola** - Alaotra Mangoro (17) à partir de deux centrales hydroélectriques de 2x800kW sur les rivières Lovoka et Maheriara. Un réseau MV de 70km alimentera une population cible de 191.000 habitants dans une quinzaines de communes rurales.

Les **barrières** formulées par BETC sont (i) les cyclones dévastateurs, (ii) les difficultés de dialogue avec la Jirama lorsque des opérateurs privés se trouvent dans la zone de concession de Jirama ou en bordure (problèmes de vente d'électricité, d'harmonisation de tarifs ou de rétrocession de localités) et (iii) l'accès aux financements.

c) **L'entreprise CASIELEC** prévoit de réaliser le projet de mini-réseaux hydro-solaire JIRA TARATRA sur la période 2019-2023 dans 18 localités d'un même district.

Pipeline 2019-23	Regions	District	kW	Localités cibles	Nom du site
JIRO TARATRA HYDRO-SOLAIRE BONGOLAVA (AP1)	Bongolava	Tsiroanomandidy	1 100 + 215	14 +4	<i>Mandalobe</i>

d) L'entreprise **HIER** a réalisé 3 mini-réseaux hydro (60 ; 100 ; 560kW) en 2014-15 et prévoit sur la période 2019-2023 de réaliser plusieurs projets de mini-réseaux alimentés par ces centrales hydro de plus grandes capacités (voir tableau ci-dessous).

Pipeline 2019-23	Regions	District	kW	Localités cibles	Nom du site
<b>RHYVIERE II Ambatosia</b>	Sofia	Bealalana	1050	5	<i>Andriamanjavona</i>
<b>RHYVIERE II</b>	Haute Matsiatra	Ambohimahasoa	1500	3	<i>Sahatona</i>
<b>DABOLAVA</b>	Menabe	Miandrivazo	498	2	<i>Morafeno</i>
<b>Angadanoro PRIRTEM</b>	Analamanga	Anjozorobe	700	7	<i>Angadanoro</i>
<b>Maromanana</b>	Amoron'i Mania	Fandriana	4998	66	<i>Maromanana</i>
<b>Lokoho (AP1)</b>	Sava	Andapa	8000	135	<i>Belaoko Lokoho</i>

e) Plus récemment, la société **WELIGHT** s'est aussi lancée dans la micro-hydroélectricité avec une première centrale hydro de 100kW pour alimenter 375 ménages et 13 activités génératrices de revenus pour le Fokontany Fialofa (commune rurale de Sarobatra), mise en service en août 2019 et exploitée par Sagemcom. La grande particularité de l'approche de Welight est que les 2 turbines hydro-électriques de 50kW ont été fabriquées localement par l'atelier Tsiky qui devient le prestataire de référence sur le marché de la fabrication de turbines au niveau local. Un deuxième projet similaire a été réalisé à Sarobaratra ifanja et d'autres sont prévus. (voir <https://www.commissionoceanindien.org/la-pico-centrale-hydro-electrique-dandriamamovoka-operationnelle/>)

#### Coûts de la technologie hydro

En termes de **coûts d'investissement**, l'ADER estime que le CAPEX moyen pour une micro-centrale hydro type peut varier entre 1000€ et plus de 3000€/kW selon la capacité (voir tableau ci-dessous) mais aussi selon les caractéristiques du site et des contraintes de construction des ouvrages de génie civil. Les coûts d'exploitation (OPEX) sont estimés à ~10% des coûts d'investissement (CAPEX).

CAPEX ADER 2021	Qté	Unité	CAPEX (Ar)	CAPEX (€)	OPEX (€/an)	€/kW
Micro-centrale hydro	15	kW	230 000 000	50 109 €	4 793 €	<b>3 341 €</b>
Centrale hydro	100	kW	485 000 000	105 664 €	10 675 €	<b>1 057 €</b>

Dans une autre étude antérieure (**3E - PIC, 2014**), le CAPEX a été estimé pour des micro-centrales hydro : 1000€/kW (>300kW) à 2000€/kW (150kW), y compris : ligne MT de liaison, route d'accès, GC, conduite, turbine & EM. Le détail des hypothèses sont repris dans le tableau ci-dessous :

Capital cost	Hypoth	
<i>Génie civil (kW)</i>	350	61 044 €
<i>Canal (km)</i>	20 000	0 €
<i>Conduite (km)</i>	64 000	18 560 €
<i>Turbine &amp; EM (kW)</i>	600	104 647 €
<i>Ligne MT (km)</i>	18 000	0 €
<i>Route (km)</i>	7 000	3 500 €
<b>Total CAPEX</b>		<b>187 751 €</b>
<i>Coût unitaire / kW</i>		1 076 €
<b>Total OPEX annuel</b>	<b>20%</b>	<b>37 550 €</b>
Durée de vie	an	25

Les prévisions du programme FONDEM (2008) indiquent des coûts d'investissements supérieurs : 3000-5000€/kW pour centrale hydro entre 80 et 160kW, mais probablement avec le coût des réseaux de distribution.

### 1.1.2 Mini réseaux solaires ou hybrides solaire/diesel

La base de données de l'ADER recense 20 opérateurs qui ont un contrat d'autorisation dans le domaine de la production solaire (dont 4 ont un contrat temporaire), les plus anciens étant la JIRAMA et EDM/WELIGHT qui installent et exploitent, depuis environ 20 ans, des installations solaires. 13 d'entre eux sont actifs depuis moins de 10 ans. Et 4 opérateurs solaires ne fournissent que des solutions individuelles de pré-électrification (pico systèmes, stations & kiosks) qui seront détaillées ci-dessous.

OPERATEURS	Contrat d'Autorisation	Contrat de Concession	Depuis	Filière
JIRAMA	1	1	2000	Hydro, Thermique, Solaire, Fuel lourd
EDM / WELIGHT	1		2003	Hybride Solaire-Diesel
CASIELEC	1		2006	Hydro-Solaire
Ass. FAHAZAVANA	1		2010	Solaire
ANGOVO SOAN'ANDROY	1		2010	Solaire
EOSOL / ANKA	1		2012	solaire, hybride solaire/diesel (Café Lumière)
HERI**	1		2012	Solaire (Kiosks, pico ...)
Association FIHAMY	1		2016	Solaire
Association Telorae Tea Fahazavagne (TTF)	1		2016	Solaire
Entreprise Toky Construction	1		2016	Solaire
Société MAJIKA	1		2016	Hybride Solaire-Diesel
Energie Technologie	1		2017	Hybride Solaire-Diesel
Autarsys	1		2017	Hybride Solaire-Diesel
JIRO VE**	1*		2017	Solaire (pico, kiosks, lanterne)
NANOE (Nano Réseau) ***	1*		2017	Solaire
HFF	1		2017	Hybride Solaire-Diesel
BAOBAB+ **	1*		2019	Solaire (pico + PAYG, lanterne)
CANAL+ **	1*		2019	Solaire (pico + PAYG, lanterne)
SEEM	1			Hybride solaire -diesel
Entreprise tantely Miarisoa	1			Hybride solaire -diesel (travaux en cours)

(\*) contrat temporaire

(\*\*) opérateur de pré-électrification ; voir § 1.2

(\*\*\*) opérateur de nano-réseaux ; voir § 1.1.2.1

Les évolutions technologiques récentes en termes de modules solaires, d'onduleurs, de batteries, et de système de gestion de plusieurs sources (systèmes hybrides) et les baisses de coûts associées ont permis un développement important des mini- ou micro-réseaux alimentés par des centrales solaires en Afrique.

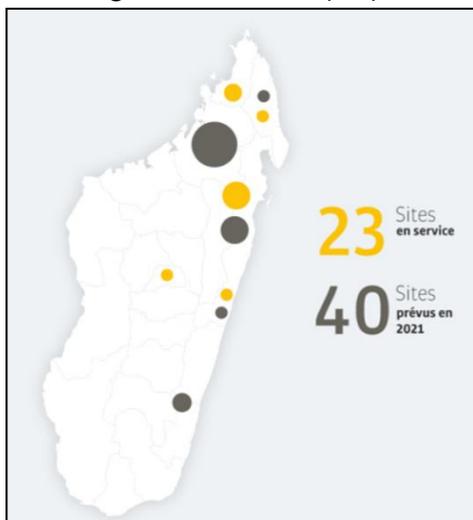
On notera en particulier les avancées suivantes :

- **Modules PV** : amélioration des performances, baisse des coûts et allongement des durées de garanties
- **Batteries** : baisse des coûts de la filière Li-Ion et amélioration de la fiabilité/sécurité
- **Onduleurs** : amélioration des performances, augmentation de l'offre, baisse des coûts

- **Scada** : amélioration des systèmes de gestions de plusieurs sources (hybrides)
- **Génie civil** : De plus en plus de fournisseurs proposent des solutions conteneurisées, facile et rapide à mettre en œuvre, permettant de réduire les coûts et délais. Exemple : Conteneur AKUO/ENELEC

Parmi les acteurs actifs dans les mini-réseaux solaires à Madagascar, on notera :

- a) **Welight** développe à Madagascar avec ses partenaires techniques EDM et Sagemcom des mini-réseaux solaires (hybrides) fournissant une électricité propre et abordable.
- Selon la base de données de l'ADER, Welight avait 74 projets dans le pipeline [2020-2023], soit 2153kWc total sur 4 ans. C'est l'opérateur le plus actif dans le domaine des mini-réseaux verts. Les centrales sont de tailles variables (8 à 138kWc) avec une puissance moyenne de 30kWc par site.
  - En janvier 2021, 23 villages étaient en service dans 5 régions avec près de 1MWc installés et plus de 10.000 personnes étaient connectées. Deux nouveaux villages Mahavanona – 22kWc (dans la région de Diana, à proximité d'Antsiranana), et Ambatoharanana – 28kWc (dans la région d'Analanjifofo, à proximité de Mananara Nord) ont été ajoutés et alimentent plus de 3.000 personnes supplémentaires, en collaboration avec l'ADER et avec la contribution financière du Pôle intégré de croissance (PIC).



voir « 2020-Rapport-d'impact – Welight »

- b) **Energie Technologie** installe et parfois exploite quelques mini-réseaux hybrides solaire/diesel depuis 2017 à Madagascar. A titre d'exemple :
- Centrale hybride de **Mahaboboka** (Antsimo Andrefana) : puissance solaire de 15kWc et thermique diesel de 15kVA. C'est la première installation où la société est opérateur et a participé à hauteur de 23% aux investissements de 135 k€ environ.
    - o Nombre de population : 2.400 au sein de la commune
    - o Longueur du réseau : 3,2 km en basse tension triphasé
    - o Bénéficiaires directs et indirects : 100 ménages raccordés et 50 autres en hors réseau.

Energie Technologie a aussi fourni et installé des mini-réseaux hybrides pour l'opérateur ANKA (voir ci-dessous).

- c) **ANKA** : Dans la base de données de l'ADER, ANKA est opérateur pour plusieurs projets dont 2 avec mini-réseaux :
- o Projet Café-Lumière (2x 12kWc),
  - o Projet Envol (1x117kWc) :
    - Centrale de Ambohimahavelona (détails non disponibles)
  - o Projet Solaire Sud (620kWc en 2020) ; financement PIC-EOSOL :

- Centrale hybride de Anakao : 220 kWc solaire et de 175 kVA thermique permet d'assurer la fourniture en électricité en permanence à la population et aux opérateurs hôteliers. Anakao est une ville touristique en bord de mer accessible pratiquement par bateaux. La piste existe mais demande du courage comme la plupart des routes en dehors des axes principaux.
  - Centrale hybride de Mangily: 400kWc solaire et 350kVA thermique en appoint vient d'être installée et sera remise début 2021. Le parc de batteries lithium a une capacité de 660kWh et le réseau a une longueur de 10,5 km en moyenne tension et de 31,5 km en basse tension.
- d) **ANKA Madagascar** est une société malagasy à impact, spécialisée dans le développement et la fourniture de solutions solaires pour les communautés rurales et isolées, les particuliers et les industriels. Elle provient d'une fusion d'EOSOL Madagascar et MAJKA en oct. 2019.
- **Projet Marosely** avec une centrale hybride de 84kWc. La vente d'électricité solaire au village de Marosely, environ 2500 habitants, devrait permettre de couvrir les frais de fonctionnement et même de rembourser une partie aux investisseurs.
  - Le concept de **Mini-grid 3.0** consiste à promouvoir (incuber) localement des nouvelles activités commerciales et encourager les activités existantes à utiliser l'électricité pour améliorer la viabilité financière du mini-réseau. Un concept clef pour la viabilité des projets et la pérennité des installations.
- e) **Experts Solidaires** est impliqué dans l'accès à l'électricité pour la région de Diana depuis 7 ans. En 2016, 2018 et 2019, Synergie Solaire a soutenu les projets d'**Ampasindava** et **Marosely** (115 kWc installés). 4 ans après la mise en service du premier réseau vert à Ampasindava, les communes rurales bénéficiaires sont unanimes : l'arrivée de l'électricité sur le territoire a amélioré les conditions de vie des populations (santé, éducation, gouvernance locale) ainsi que l'attractivité des zones. Cependant le développement économique, bien que présent reste long et difficile à développer.
- f) **Fondation Energie pour le Monde (FONDEM)** : historiquement, FONDEM (ONG) a été l'un des acteurs les plus actifs pour le développement des mini-réseaux à Madagascar, et plus spécifiquement en faveur du développement de mini-réseaux solaires photovoltaïques. Fondem a déjà déployé une dizaine de mini-réseaux entre 7,5 et 15 kWc, dont certains ont été co-financés par l'UE, dans le cadre du projet BOREALE (Best Options for Rural Energy and Access to Light and Electricity). FONDEM a identifié et caractérisé 42 sites potentiels pour un programme de développement de la micro-hydroélectricité pour des localités rurales isolées dans 7 régions cibles (De l'électricité verte pour un million de ruraux à Madagascar, 2008).

#### Coûts de la technologie d'une centrale hybride solaire/diesel

En termes de **coûts d'investissement**, l'ADER estime que le CAPEX moyen pour une centrale solaire type (partie génération ; hors transport !) peut varier entre 2000€ et 3300€/kW selon la capacité (voir tableau ci-dessous). Des coûts indicatifs pour les réseaux BT et HTA sont aussi donnés dans ce tableau.

Le coût du transport varie selon l'état des voies d'accès au site et la distance pour le transport. Le tableau indique aussi le coût indicatif de référence pour les réseaux de distribution basse tension (BT) et moyenne tension (MT) en fonction de la longueur de ligne.

CAPEX ADER 2021	Qté	Unité	CAPEX (Ar)	CAPEX (€)	OPEX (€/an)	Coût unitaire
Micro-centrale solaire	5	kWc	53 000 000	11 547 €	4 793 €	2 309 €/kWc
Centrale hybride solaire/diesel	40	kWc	599 000 000	130 501 €	13 072 €	3 263 €/kWc
Centrale hybride solaire/diesel	100	kWc	1 500 000 000	326 797 €	17 429 €	3 268 €/kWc
Réseaux BT-SBA - 0,4kV-62kW*	4,2	km	263 000 000	57 298 €	- €	13 642 €/km
Réseaux MT-SBA - 33kV-6MW*	271	km	18 382 000 000	4 004 793 €	- €	14 778 €/km

(\*) Puissance transitée

Dans une autre étude (« **Ecler Ivoire** », IED, 2020), le CAPEX a été estimé, sur base de marchés attribués pour des mini-réseaux solaires, entre 1600 et 5700 €/kWc selon la capacité (voir tableau ci-dessous). L'analyse des offres a montré que la part du génie civil augmente inversement avec la taille des centrales.

kWc	€/kWc (avec génie civil)	€/kWc (sans génie civil)	Abonnés	Wc/abonné
10	5700	3500	30	333
20	2900	1900	50	400
50	2100	1500	120	417
100	1600	1100	230	435

Dans une autre étude antérieure (**3E - PIC, 2014**), les CAPEX et OPEX ont été estimés pour des centrales solaires PV mais les coûts ont sensiblement baissé depuis cette étude.

- CAPEX PV : 2.200€ par kWp (coûts de l'onduleur PV compris)
- OPEX PV : 40€ par kWp et par an
- Générateur diesel CAPEX : 600€ par kW
- Diesel OPEX : 0.03 €/heure (heures d'exploitation)
- Coûts de la batterie : 600€ pour une batterie plomb-acide de 2V, 1.000Ah et 2kWh (y compris coûts du boîtier et de l'installation)
- Onduleurs de batterie 500€ par kW
- CAPEX et OPEX pour l'infrastructure de réseau (CAPEX : ~46k€, OPEX : ~3.7k€)

Sur base d'un benchmark sur des promoteurs privés de mini-réseaux hybrides au Bénin (IED, 2021), la décomposition des coûts pour les composants d'une centrale type de 100kWc est la suivante :

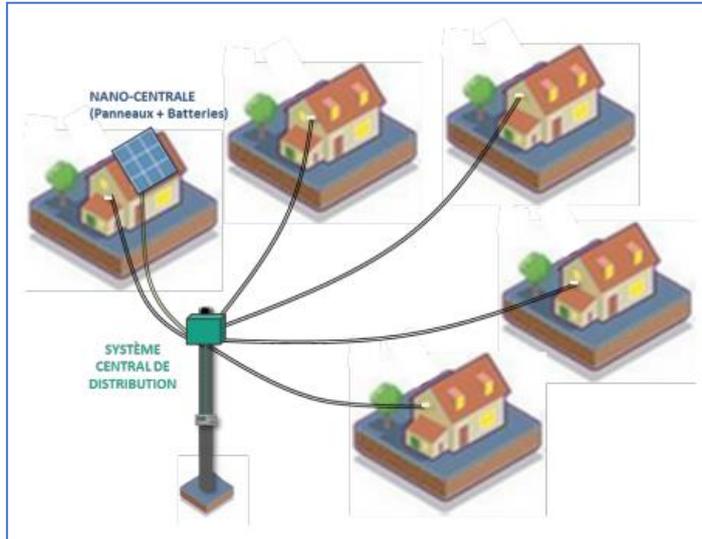
Coûts unitaires*	Taille type	Unité	100kWc	
Modules	100	kWc	200	€/kWc
Structure	100	kWc	220	€/kWc
Batterie LI	450	kWh	450	€/kWh
Batterie LA	0	kWh		€/kWh
Onduleur PV	110	kWc	150	€/kWc
Onduleur Batterie	75	kVA	400	€/kVA
<b>Sous-total</b>			<b>3 000</b>	€/kWc
BoS Hybride	20%	% CAPEX	600	€/kWc
Groupe électrogène	0	kVA	0	€/kVA
<b>Total</b>			<b>3 600</b>	€/kWc

\* Coûts d'investissements en €, installé, hors taxe, hors transport, hors GE

Enfin, les prévisions du programme FONDEM (2008) indiquent des coûts d'investissements supérieurs : **14.000€/kWc** pour des mini-réseaux solaires (moyenne sur 10 centrales solaires d'une puissance totale de 251 kWc), mais probablement avec le coût des réseaux de distribution. Depuis cette étude en 2008, les coûts ont sensiblement baissé.

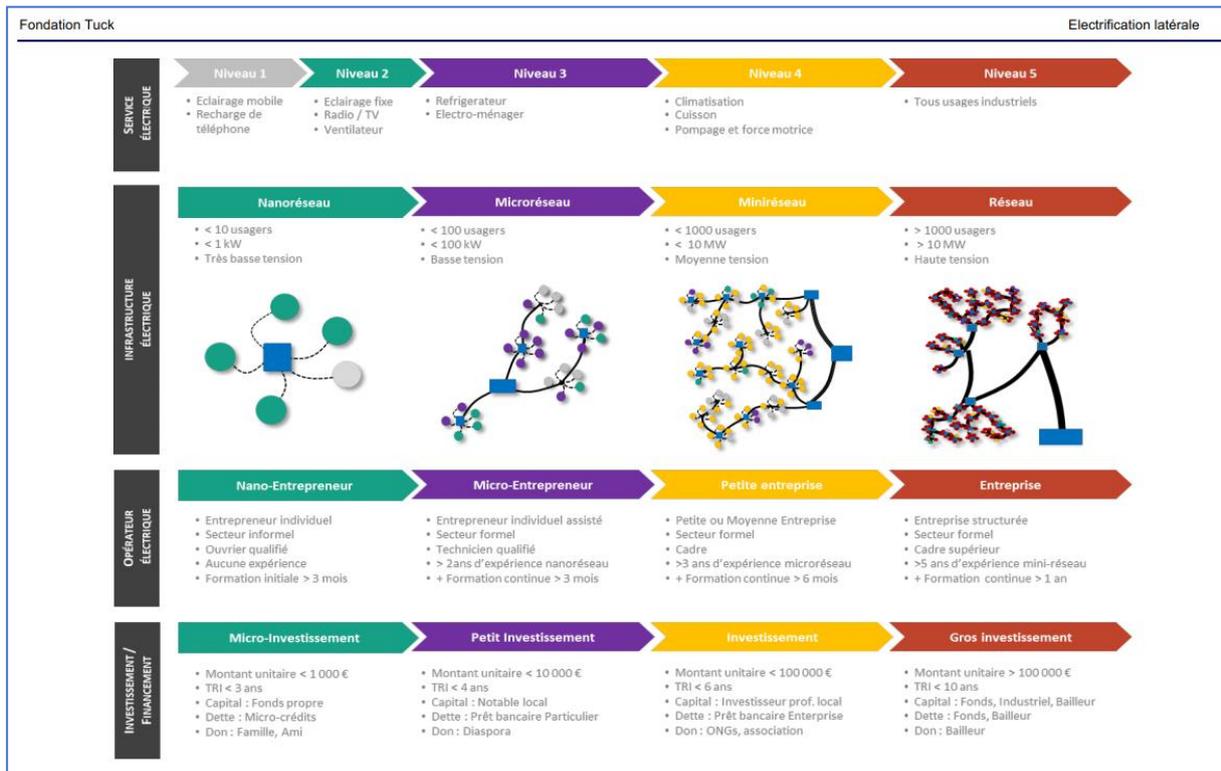
### 1.1.2.1 Nanoréseaux solaires

Les nano-réseaux sont des systèmes solaires collectifs alimentant en courant continu (12 ou 24 V) 4 à 6 foyers achetant en prépaiement (par mobile) l'accès à la journée ou à la semaine à un service électrique adapté (Tier 1 ou Tier 2). Un schéma de principe est donné ci-dessous.

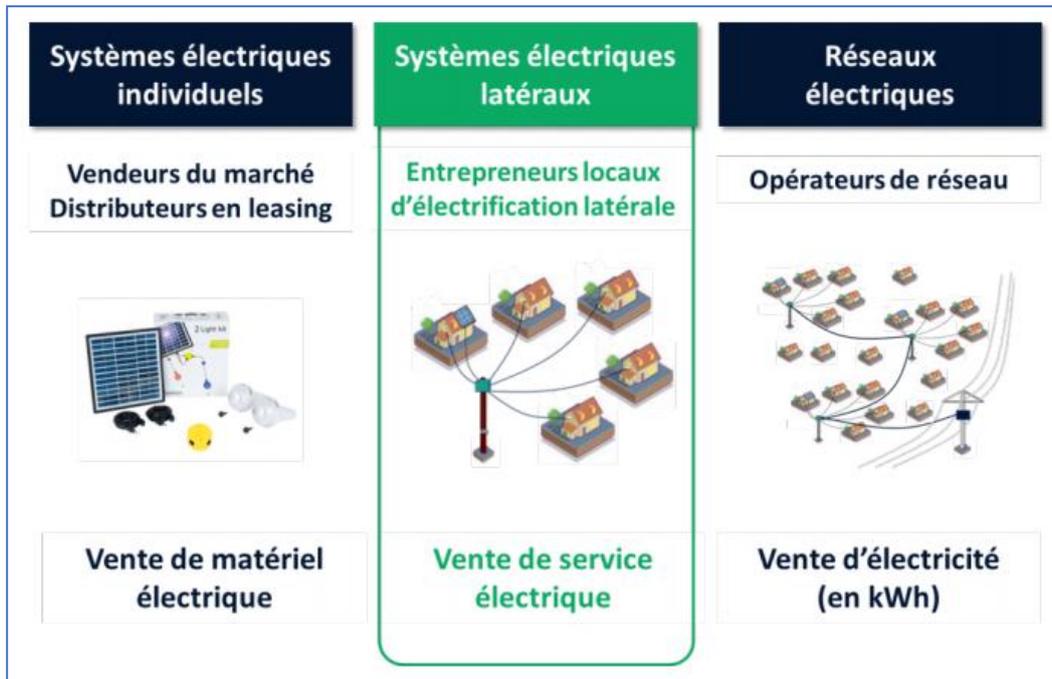


Le nano réseau constitue la base d'un nouveau « modèle d'électrification latérale » ; la particularité du concept est de pouvoir faire évoluer le système de production et distribution au fur et à mesure que la demande augmente, à condition que la demande soit relativement dense pour réduire les pertes en ligne. Des nano réseaux mitoyens peuvent être progressivement interconnectés en basse tension (48V DC) entre eux pour former des micro-réseaux qui permettent une mutualisation des capacités de production et de stockage. Les micro-réseaux eux-mêmes peuvent être ultérieurement interconnectés en mini-réseaux via des liaisons en basse ou moyenne tension.

L'agrégations successives de systèmes électriques autonomes est illustrée par la figure suivante (les informations de cette section proviennent essentiellement du [Rapport électrification latérale \(fondation-tuck.fr\), 2018](http://Rapport%20%C3%A9lectrification%20lat%C3%A9rale%20(fondation-tuck.fr),%202018)).



Ce modèle innovant propose une gestion technico-commerciale par des entrepreneurs locaux et une vente de service électrique, qui le distingue des systèmes individuels classiques et des mini-réseaux ruraux. La mise en œuvre de nano-réseaux est extrêmement facile et rapide.

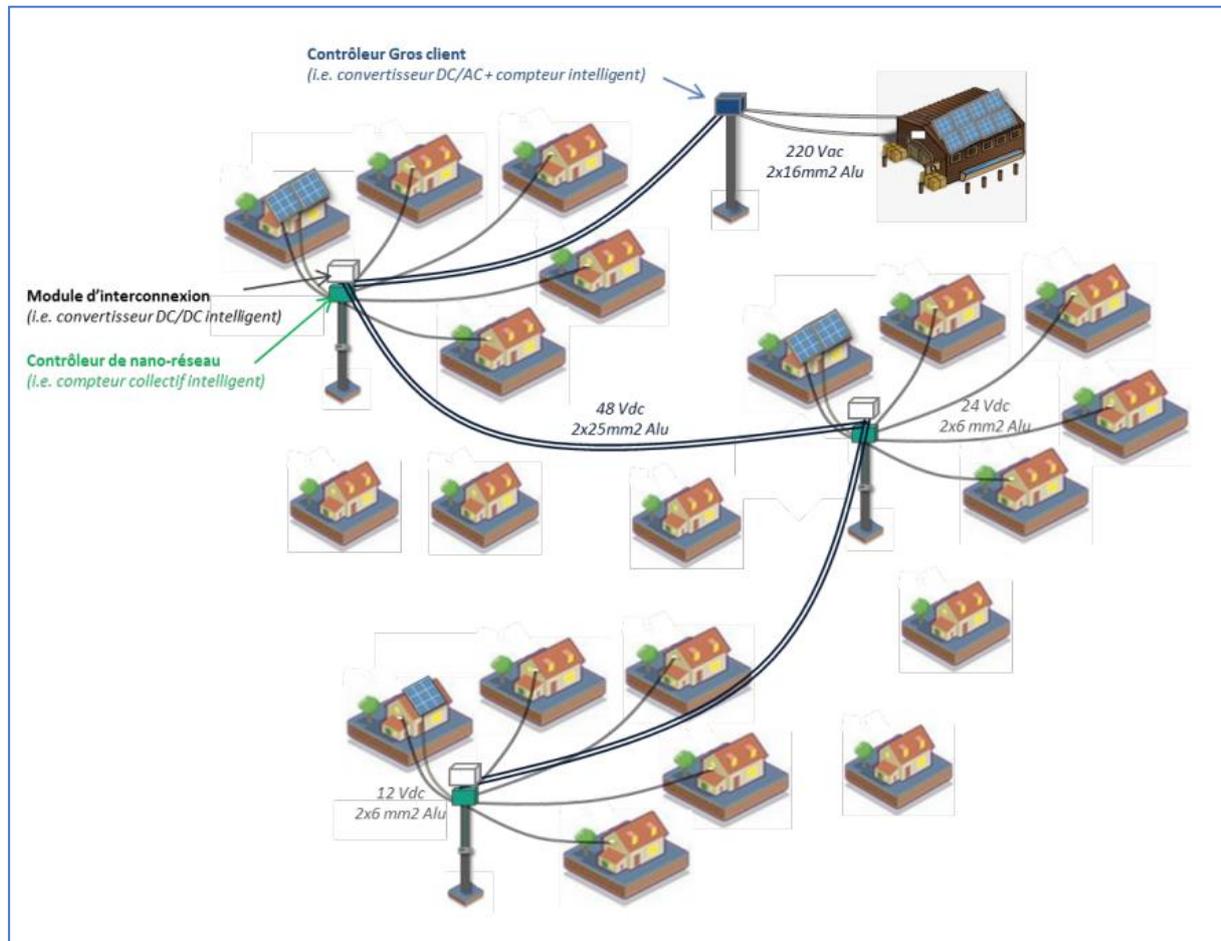


Les nano-réseaux intègrent un système de vente de type Pay-As-You-Go permettant aux usagers :

- De choisir le niveau de service électrique souhaité : plusieurs forfaits étant possibles en fonction du nombre de points lumineux et de prises souhaités et le passage de l'un à l'autre est réalisé de manière souple.
- D'accéder au service électrique souscrit pendant une certaine durée : le comptage à la journée offre le double avantage d'être plus facilement compréhensible par les usagers et significativement moins coûteux que le comptage au kilowattheure.

- De prépayer leurs consommations : le prépaiement permet aux usagers d'adapter leurs consommations à leurs trésoreries plutôt que l'inverse et constitue pour l'exploitant une assurance contre le risque de non-recouvrement et de fraude.
- De payer en cash ou par paiement mobile : l'accès de chaque usager au service électrique est géré par une plateforme de paiement centralisée et sécurisée pilotée par la société Nanoé recevant des paiements mobiles et envoyant par SMS des codes permettant le déblocage des systèmes pour la durée correspondante.

L'optimisation dynamique de l'équilibre Offre-Demande est l'enjeu principal de rentabilisation de tout système électrique. Les nano-réseaux développés pour la phase pilote incluent des contrôleurs collectifs d'énergie intelligents.



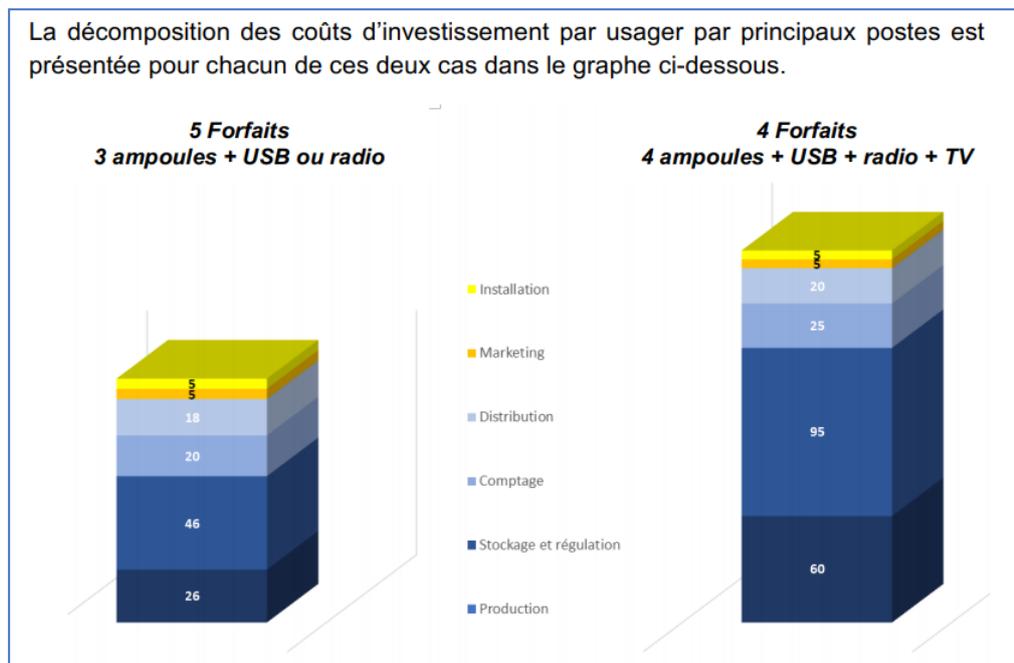
### Coûts des nano-réseaux

Le coût d'investissement dans un nano-réseau s'élève pour l'opérateur entre **100 et 300 € par usager**. Ce montant d'investissement inclut l'ensemble des composants de production, stockage, régulation, distribution et comptage (mais pas le coût des installations intérieures prises en charge par l'utilisateur) ainsi que les coûts de main d'œuvre pour le démarchage des usagers et la construction du système. Ce coût dépend principalement du nombre d'usagers raccordés (pouvant varier de 4 à 6), du forfait souscrit par chacun (pouvant varier de 2 ampoules à 8 ampoules + recharge Téléphone + Radio + TV + Décodeur ou lecteur DVD) et dans une moindre mesure de la distance entre les différents usagers raccordés. 2 exemples sont illustrés ci-dessous.

- Le coût d'investissement dans un nano-réseau composé de 5 usagers souscrivant un forfait leur garantissant suffisamment d'énergie pour alimenter quotidiennement 3 ampoules de 500 lumens et une prise de recharges de téléphone (ou une radio) pendant 5 heures s'élève à environ 600 € soit 120 €/usager. → **Tier 1**

- Le coût d'investissement dans un nano-réseau composé de 4 usagers souscrivant un forfait leur garantissant suffisamment d'énergie pour alimenter quotidiennement 4 ampoules de 500 lumens, une prise de recharge de téléphone, une radio et une télévision pendant 5 heures s'élève à environ 840 € soit 210 €/usager. → **Tier 2**

La décomposition des coûts d'investissement par usager par principaux postes est présentée pour chacun de ces deux cas dans le graphe ci-dessous.



Une analyse comparative des coûts pour l'utilisateur de plusieurs solutions d'électrification est illustrée ci-dessous. A service équivalent, les nano-réseaux s'avèrent moins cher pour l'utilisateur (en coûts initiaux et mensuels) que les kits solaires PAYG mais plus cher que les coûts mensuels d'un réseau classique.

	Coûts initiaux (en €)				Coûts réguliers (en €/mois)			
	Kit solaire Cash	Kit solaire PAYG*	Réseau classique	Nano-réseau*	Kit solaire Cash	Kit solaire PAYG*	Réseau classique	Nano-réseau*
2:💡	20 - 60	5 - 10	50 - 150	4 - 8	0	5 - 9	2 - 4	2 - 3
3:💡 + 📱	30 - 80	10 - 15	60 - 160	6 - 12	0	7 - 12	3 - 5	4 - 5
4:💡 + 📱 + 📺	50 - 100	12 - 20	80 - 180	11 - 18	0	9 - 15	4 - 8	6 - 9
5:💡 + 📱 + 📺 + 📺	120 - 200	60 - 100	150 - 300	60 - 80	0	14 - 20	6 - 12	10 - 14
6:💡 + 📱 + 📺 + 📺 + 📺 + 📺	700 - 1500	300 - 500	300 - 500	N.D**	0	30 - 40	15 - 25	N.D**

\* Hypothèses : Circuits d'éclairages et de recharges de téléphone fournis par l'opérateur mais autres équipements acquis séparément par l'utilisateur  
 \*\* Offre de ce type en cours de préparation par Nanoé mais non encore commercialisée

A Madagascar, l'entreprise NANOÉ développe et expérimente son modèle innovant et sa plateforme entrepreneuriale. Sur la base des 900 premiers nano-réseaux installés principalement dans 2 districts à Madagascar, les caractéristiques d'un **nano-réseau moyen** sont les suivantes :

Connexions	<b>4,42 usagers/nano-réseau</b>
Service	Tier 2

PV	<b>142 Wc<sup>3</sup></b>
Batterie	121 Ah / 12V
PL (points lumineux)	1,5 x 500 Lm/usager
Tél	0,5 prise USB 5W /usager
Radio	0,4 radio 10W/usager
TV	0,05 TV 15W/usager
Autres multimédias (Lecteur DVD, décodeur, etc)	0,4 équipement 10W /usager
Réfrigérateur/Congélateur	0,01 Frigo 60W /usager
CAPEX Nano-réseau	<b>630 €HT</b> (dont 222 €HT pour les batteries) soit 142 €HT/usager hors installations intérieures
OPEX	8 %/an
Renouvellement Batterie	Tous les 3,5 ans
Durée de vie (hors batterie)	> 10 ans
Coût initial moyen	15 €/usager
Forfait mensuel moyen souscrit	5,5 €/mois/client
Revenu moyen par client	4 €/mois/client (compte tenu du fait qu'un forfait d'un mois peut durer plus d'un mois lorsque les clients ne consomment pas tous les jours)

Le modèle reste néanmoins délicat à répliquer massivement : une grande responsabilité repose sur les franchisés qui se rémunèrent par une commission sur les ventes et qui doivent trouver leur clientèle, la fiabiliser, construire les infrastructures (min. 15 nano-réseaux), les exploiter, et si possible investir dans les infrastructures (copropriété avec Nanoé). Nanoé assure leur formation et les accompagne.

Au-delà des nano-réseaux, leur inter-connectabilité (en 48 ou 60V<sub>DC</sub>) sera testée fin 2021 en labo en France. Il s'agira de relier les nano-réseaux avec un réseau d'équilibrage dans lequel transite peu d'énergie. La configuration des hameaux (souvent une centaine de ménages regroupés) et leur dispersion (1 à 5 km) semblent appropriées pour développer le concept de Nanoé.

Il faut souligner que ce concept innovant de système collectif n'est pas certifié, ni certifiable par la procédure actuelle de Lighting Global.

### 1.1.3 Mini réseaux éoliens

Les aérogénérateurs pour sites isolés permettent de répondre à une large gamme de besoins de puissance (5 à quelques centaines de kW) et donc d'alimenter des micro ou mini-réseaux ruraux, à condition d'être combiné à du stockage et/ou un générateur thermique pour pallier les intermittences. Les machines nécessitent une maintenance régulière, assurée localement, après formation du personnel exploitant. Avec un entretien régulier, les aérogénérateurs ont une durée de vie de 20 ans environ.

A l'instar du solaire PV, la solution éolienne est aussi modulaire : en fonction de l'évolution de la demande locale d'électricité, de nouvelles turbines peuvent être installées pour renforcer le parc de production. Des hybridations éolien/solaire/hydro peuvent aussi être envisagées pour exploiter les éventuelles complémentarités saisonnières.

L'offre de petits aérogénérateurs de qualité (<100kW) pour l'électrification rurale reste malheureusement assez limitée et les coûts d'investissement n'ont pas baissé autant que ceux du solaire PV. A titre indicatif :

<sup>3</sup> Selon les nano-réseaux et la demande des ménages, la capacité solaire varie de 20 à 600Wc par ménage ! La moyenne est à 142Wc.

- Le prix d'un kit éolien complet hors-réseau de **10kW – 16m** (mât, visseries, régulateur de charge, onduleur, batteries) : 25 000 à 30 000 €, soit 3000€/kW livré en France, auquel s'ajoute les transports internationaux et locaux et le coût d'installation.
- Le prix d'un kit éolien complet hors-réseau de **50kW – 18m** (mât, visseries, régulateur de charge, onduleur, sans batteries) : 50 000 €, soit 1000€/kW livré en France, auquel s'ajoute les transports internationaux et locaux et le coût d'installation.

Le coût installé d'une éolienne de 10 à 50kW en zone rurale malgache sera vraisemblablement supérieur à 3000€/kW installé.

A Madagascar, le potentiel éolien est concentré sur les zones côtières ou sur des sites très spécifiques en zones montagneuses. La variabilité des vents et l'occurrence de cyclones fréquents sont des obstacles majeurs au déploiement des aérogénérateurs sur l'île, même si les fabricants ont développé des aubains rabattables en cas de cyclone. Les capacités techniques de maintenance sont très limitées en milieu rural à Madagascar et peuvent coûter très cher.

Le délai de mise en œuvre d'un projet de MR éolien peut dépasser une année si des campagnes de mesures sur site sont nécessaires pour confirmer le potentiel éolien ; ce qui peut être un obstacle dans la mise en œuvre de programmes prioritaires d'électrification rurale.

La base de données de l'ADER ne recense qu'un seul opérateur dans le secteur des MR éoliens. C'est **MadEole** qui est actif depuis à Madagascar depuis 2004. Les premiers projets pilotes en 2010 étaient de 5 à 30kW (3 turbines de 10kW). Madeole développe aussi des projets solaires comme la centrale PV de 167kW à Joffreville réalisé en 2020 qui a permis d'électrifier 5 localités. Le prix indicatif d'une centrale éolienne d'environ 50kW varie entre 2000 et 5000€ selon les conditions du site et les éventuelles autres sources combinées.

Depuis près de 15 ans, **FONDEM** a aussi soutenu le développement de projets de centrales éoliennes à Madagascar, avec une part financée par des investisseurs privés. Le programme FONDEM (2008) a identifiés 22 projets éoliens dans 4 régions avec des coûts d'investissement élevés et variables selon les régions : entre 4850€ et 13.000€/kW installé, réseau de distribution inclus. Selon le site, une centrale éolienne de 50kW pouvait coûter entre 4000 et 8000€/kW.

#### **1.1.4 Mini réseaux Biomasse**

Hormis les quelques expériences de centrales électriques biomasse développée par des agro-industriels pour valoriser leurs déchets (bagasse, mélasse, balle de riz, ...) et qui sont pour la plupart raccordées aux réseaux interconnectés, il y a eu très peu de projets biomasse spécifiquement dédiés à l'électrification rurale.

Bioenergelec avec l'ADER et le CIRAD ont été actifs pour promouvoir la filière. Un « Guide standard pour demande de financement en électrification rurale décentralisée fondée sur la biomasse » a même été produit pour faciliter l'identification et le montage de projets biomasse-vapeur.

Un rapport du CIRAD (2015) liste les principaux projets biomasse réalisés à Madagascar (6 gazogènes, 1 centrale à vapeur) et leur état de fonctionnement en 2013.

Tableau 2 : Les caractéristiques principales des sites installés

Unité	Technologie	Etat 2013	Localité	Région
Centrale électrique ERD de Bejofo (opérateur BE2)	Gazéificateur + moteur dual mode	Hors service	Bejofo	Alaotra-Mangoro
Centrale électrique ERD d'Ambatondrazaka (opérateur BE2)	Gazéificateur + moteur dual mode	Hors service	Ambatondrazaka	Alaotra-Mangoro
Centrale électrique ERD de Boriziny	Gazéificateur + moteur 100 % gaz	Hors service	Port-Berger	Sofia
Centrale électrique ERD d'Anjajia (opérateur CASIELEC)	Gazéificateur + moteur dual mode	En service	Anjajia	Boeny
Centrale électrique d'Andaingo (opérateur BETC)	Chaudière + moteur vapeur	En service	Andaingo	Alaotra-Mangoro
Unité industrielle de BIONEXX	Gazéificateur + chaudière	En service	Fianarantsoa	Haute Matsiatra
Unité industrielle de Le Relais Madagascar	Gazéificateur + moteur dual mode	En service	Isorana	Haute Matsiatra

La base de données de l'ADER mentionne 6 mini-réseaux biomasse mais un seul était encore en exploitation en 2019.

On notera le projet du CIRAD de **centrales électriques à biomasse-vapeur (bois d'Eucalyptus)** sur plusieurs sites dans les régions d'Alaotra-Mangoro (opérateurs BETC et SERMAD) et Boeny (opérateur CASIELEC) mis en service entre 2012 et 2015 après plusieurs années de préparation, contractualisation et travaux. Selon un rapport détaillé<sup>4</sup>, le retour d'expérience de ces centrales peut se résumer comme suit :

- La technologie est assez simple (chaudière à vapeur + foyer de combustion + moteur à vapeur + alternateur) et ...
- ... compétitive par rapport aux autres alternatives diesel ou ENR. Le coût de revient du kWh produit est moins cher que celui d'une centrale diesel (mais supérieur à celui qui avait été projeté). Le prix de vente est compris entre 700 et 1000 Ar/kWh selon le contexte de production. Le coût de la biomasse ne représente que 90 à 170 Ar/kWh vendu (7 kg de bois par kWh produit)
- Peu de fabricants (expérimentés) dans le monde
- Délais de mise en œuvre sont très long surtout en phase pilote (identifier et sécuriser la ressource biomasse, ...)
- Technologie difficile à mettre en œuvre par des opérateurs locaux
- Difficulté de trouver localement le personnel motivé, compétent et fiable ; besoins de formations répétées pour la maintenance préventive et corrective des équipements
- Difficulté d'impliquer les communautés locales pour la gestion durable et l'approvisionnement en bois.
- Difficultés d'approvisionnement en biomasse (quantités et caractéristiques des biomasses pour la combustion) et en eau (quantité de vapeur produite) pour une production d'électricité donnée (relevé régulier des compteurs électriques).
- Variabilité du prix, de la disponibilité et de la qualité de la biomasse
- Manque d'expérience dans la gestion des approvisionnements en biomasse (collecte, séchage, stockage, main d'œuvre, contrôle qualité, ...)
- Difficulté de constituer et gérer un stock de pièces détachées et d'adopter une procédure de maintenance performante pour permettre une rentabilité optimale des fonds propres
- Difficulté d'optimiser la production ; la centrale devrait idéalement tourner au moins 18h/jour pour être rentable mais difficulté de vendre l'énergie en milieu rural. Le développement des activités génératrices de revenus (AGR) sont lentes à promouvoir et à développer.
- Taux de pannes et coupures relativement important, ce qui ne séduit pas les usagers productifs.

Les 3 installations ont néanmoins fonctionné plusieurs années mais sont actuellement à l'arrêt.

<sup>4</sup> Retour d'expérience sur le fonctionnement des centrales électriques à biomasse de 2008 à 2015, Bioenergelec

L'opérateur BETC a exploité la centrale d'Andaingo (zone rurale forestière - plantations d'eucalyptus - et rizicole située à environ 500 km de la capitale, Antananarivo) plusieurs années depuis 2012 mais les équipements (Brésil) étaient mal conçus et de mauvaise qualité et la centrale tombait en panne tous les mois, jusqu'à finalement être arrêtée. La construction de la centrale biomasse (chaudière à vapeur avec générateur de 75kW) a coûté **185 400 €** (2012), dont 80% ont été assurés par l'ADER et 20% par l'UE. → 2500€/kW installé.

La filière bois-énergie n'est plus à l'ordre du jour étant donné la très forte pression sur la ressource bois (voir potentiel des ENR).

La source biomasse non-ligneuse la plus prometteuse à Madagascar est probablement la **balle de riz** récupérable au niveau des décortiqueuses industrielles et utilisable pour la filière de la gazéification couplée à un moteur dual fuel (gaz + diesel). Les gazogènes peuvent être fabriqués avec des capacités <500kW, plus adaptés pour l'électrification rurale hors réseau.

Trois petits projets de gazéification ont été identifiés à Madagascar :

- Une petite centrale électrique (2x40kW) à la balle de riz pour **Anjiajia** (district d'Ambato Boeny, dans la région Boeny), développée et exploitée par CASIELEC depuis 2010, a offert de l'électricité à plus de 200 ménages pendant 14h par jour. Mais le moteur à gaz de l'installation a cassé du fait d'une absence de maîtrise de la combustion et des gaz produits et n'a pu être réparé à ce jour.
- Le gazogène de **Bejofo** (120 kW) a lui explosé pour des raisons similaires.
- Le gazogène de **Fianarantsoa** a été abandonné car l'instabilité dans la qualité du gaz ne permettait pas d'assurer une production régulière de vapeur pour l'unité industrielle.

Dans la conduite des installations à gazéificateur, le problème majeur est l'instabilité dans la qualité et la quantité des gaz produits.

Par ailleurs, les informations géolocalisées sur les ressources biomasse (par exemple, les rizières et décortiqueuses) ne sont pas disponibles ou pas récentes. Et pas d'information sur d'éventuels retour d'expériences en gazéification à Madagascar.

## 1.2 Systèmes individuels

### 1.2.1 Projet OMDF

La Banque Mondiale finance un programme de soutien financier aux distributeurs de petits kits solaires pour faciliter l'accès à l'énergie à Madagascar via un fond OMDF (Off-Grid Market Development Fund) de 40M\$ géré localement par Bamboo Capital Partners.

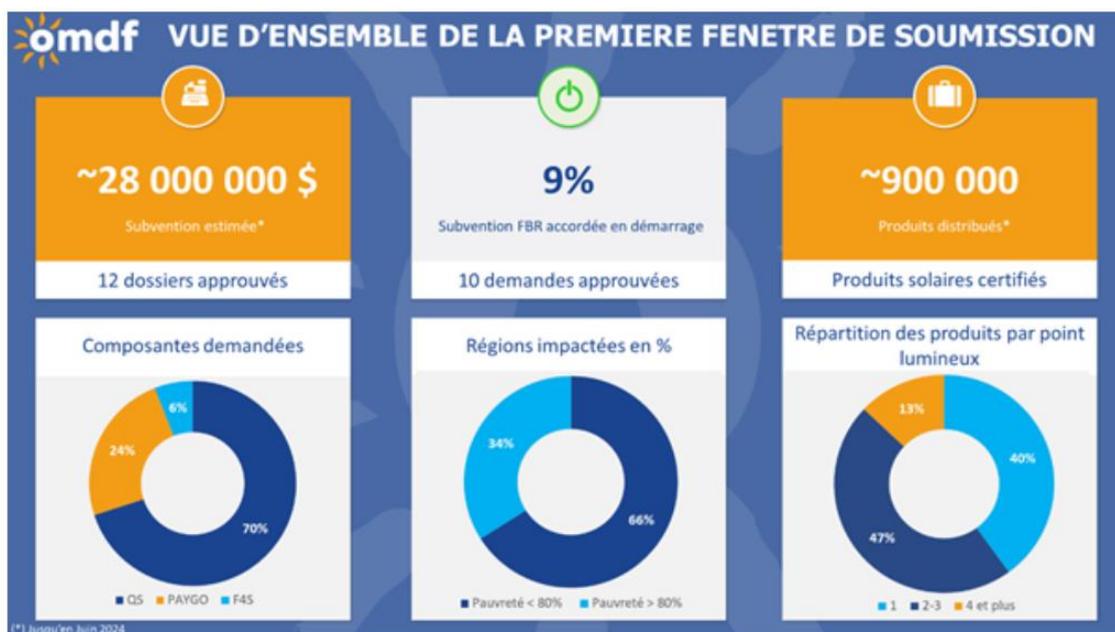
Deux modes d'appui sont prévus :

- la subvention en mode RBF pour les distributeurs pour chaque vente avérée de produit solaire qualifié avec SAV (<https://omdf.mg/subvention/>);
- la ligne de crédit (financement de la dette - <https://omdf.mg/credit/>) pour les entrepreneurs du secteur ou distributeurs de solutions agréées (**fonds de roulement** associés à la commercialisation de stocks de matériel et à l'octroi aux clients finaux de crédits à la consommation).

Le programme a été lancé le 12/11/2020 pour une durée de 4 ans et cible environ 300.000 foyers avec des lanternes et petits systèmes solaires (Tier 1 et 2). La subvention estimée être décaissée pour la distribution de plus de 900.000 produits solaires certifiés QS-LG d'ici juin 2024 se chiffre à près de 28 Millions USD. Une prime géographique est prévue pour la subvention dans les zones à plus faible pouvoir d'achat.

La première phase (première fenêtre de soumission de la demande de subvention) s'est finalisée par la signature de douze (12) contrats de subvention de l'OMDF avec les entreprises / distributeurs malgaches listés ci-dessous :

1. **Baobab+** - <http://www.baobabplus.com>
2. EcoGemmat sarl -
3. EDM - <http://www.edm.mg>
4. HERi Go - <http://www.heri.mg>
5. **HERi** Madagascar –
6. **Jiro-Ve** - <http://www.jirove.com>
7. Jovena - <http://www.jovena.mg>
8. LR Technologies –
9. Metaplasco - <http://www.metaplasco.com>
10. Orange - <http://www.orange.mg>
11. **Telma** - <http://www.telma.mg>
12. Welight - <http://www.welight-africa.com>



Le **Market Flyer de l'OMDF** fourni des informations très utiles (encadré ci-dessous) sur le sous-secteur de l'électrification rurale à Madagascar.

#### Caractéristiques du marché hors réseau à Madagascar

- 587 295 km<sup>2</sup> dont 62% dans les régions rurales
- 25,7 millions d'habitants et 6,2 millions de ménages
- PIB per capita : 522,2 \$ en 2019
- Croissance du PIB : 4,6% en 2018
- Revenu mensuel moyen ≈ 99.600 MGA (30 USD) et **48% de la population avec un revenu mensuel < 40 000 MGA (12 USD)**
- Réseaux interconnectés fournissant l'électricité à 14% de la population
- Consommation de l'électricité annuelle per capita : 48,53 kWh
- Prix de vente de l'électricité **0,15 €/kWh** dans des réseaux connectés, allant jusqu'à **0,50€ / kWh** pour des mini-réseaux dans les régions rurales
- 20% des ménages malgaches utilisent des kits solaires dont majoritairement non certifiés
- Vente de près d'un million de kits solaires hors réseau au cours des cinq dernières années
- Taille globale du marché des SSD et des lampes solaires approuvées par LG était d'environ 42.000 en 2019
- Un potentiel client de 2.5 à 5 millions ménages
- Augmentation de la demande à 5 millions de ménages sur la décennie selon la Banque Mondiale
- Exonération de la TVA et des droits de douanes pour des lampes solaires et kits solaires

Une croissance accélérée des solutions de paiement et de financement via le « mobile banking » :

- Utilisateurs de téléphones mobiles : plus de 6,6 millions d'abonnés
- Taux de couverture réseau téléphonique : 86%
- Taux d'accès à la téléphonie mobile : 40%
- Taux de pénétration du « mobile banking » : 54,2 comptes de mobile money actifs sur 277,3 souscriptions pour 1000 adultes

OMDF a aussi publié un flyer sur les obligations et recommandations en matière de gestion des déchets issus des produits en fin de vie (rebut).

En pratique, 4 opérateurs se distinguent des autres : **Baobab+** (le plus d'expérience, avec PAYG), **Telma** (très bon réseau de distribution mais démarre), **Heri** (partenaire avec Telma), **Jiro-VE**. Les autres démarre plus timidement.

OMDF souligne que le retour d'expérience est inférieur à 1 an et il n'y a pas encore d'analyse statistique. La réalité des ventes (types de distribution) risque d'être différentes des prévisions annoncées par les entreprises ; par exemple, le schéma de location semble mieux fonctionner que les ventes cash à Madagascar. OMDF souligne déjà 3 défis majeurs :

- les produits pico-solaires certifiés au-dessus de la lampe solaire portable sont trop chers et nécessitent un financement échelonné (PAYG, microfinance, etc.) ;
- la logistique pour atteindre les clients isolés (« last-miles », « bottom-of-pyramid ») reste compliquée et cher ; la collecte et le recyclage des déchets est encore plus complexe et intéresse peu les distributeurs ;
- créer le marché pour un produit plus cher mais de qualité (certifié) ;
- adapter la réglementation fiscale aux produits pico-solaires avec option PAYG. En pratique, les avantages douaniers et fiscaux sont souvent difficiles à mettre en œuvre.

La deuxième fenêtre du projet OMDF a été ouverte le 12 avril 2021.

### 1.2.2 Pico systèmes solaires

Les pico systèmes solaires ont généralement des petits systèmes d'éclairage alimentés par des panneaux solaires PV de quelques Wc. La gamme s'étend de la lampe de poche solaire aux kits plus évolués qui offrent plusieurs points lumineux et une possibilité de recharge de téléphone portable et/ou de radio. De plus en plus de fabricants offre l'option d'un paiement mobile à distance (PAYG – encadré).

**Les systèmes Pay-as-you-go (PAYG) fonctionnent de la manière suivante : le client acquiert moyennant une faible contribution de départ un système verrouillé qu'il débloque temporairement selon ses besoins et capacités de paiement en achetant des crédits de consommation. Le système est définitivement débloqué au bout d'1 à 4 ans lorsque les crédits achetés ont permis de rembourser le coût total du système.**

(Source : Tuck, 2021)

Comme dans de nombreux pays africains, on retrouve à Madagascar de nombreux distributeurs de produits pico-solaires mais peu sont certifiés par Lighting Global (LG devenu Verasol). La plupart des produits sont non-certifiés et moins chers mais la qualité est incertaine.

Divers modèles commerciaux coexistent (vente cash, vente à crédit, location-vente, location pure) via des revendeurs, des agents, des franchisés, des boutiques, des kiosques, des IMF, etc.

A titre d'exemple, 3 distributeurs de pico-systèmes importants sur le marché malgache ont partagé leurs informations :

## 1) Baobab+ (PAYG)

Baobab+ est une entreprise sociale qui agit dans les domaines de l'accès à l'énergie et au digital dans 4 pays africains Madagascar, Sénégal, Mali et Côte d'Ivoire. Elle commercialise des produits innovants avec solutions de financement. Son expérience du PAYG Solaire à Madagascar (avec la plateforme Angaza) est capitalisée dans le Livre Blanc de Baobab+, un document très détaillé publié en 2020.

Les informations clefs pour Madagascar sont :

- Objectif 2021 à Madagascar : 3000 ventes /mois
- Prix uniforme sur tout le pays, tous les points de vente
- CAP : le produit répond aux besoins et non aux revenus (estimation incertaine). La demande en kits avec TV varie selon les régions, mais reste très faible.
- Stratégie de distribution :
  - o 16 bureaux dans les chefs-lieux de région (offrent le PAYG) + agents freelances qui sont payés à la commission (R<20km)
  - o Centaine de points de « vente partenaire » ou de rattachement pour assurer le stockage, le SAV et les paiements (cash point)
  - o Réseau d'agences de crédit (Baobab Banque) dans 21 régions (1 seule région n'est pas couverte, très difficile d'accès)
- Principalement 2 marques certifiées Verasol : Biolite et Greenlight Planet
- Sur base des ventes déjà réalisées, la répartition des 3 modes de paiement est la suivante :
  - o 70% PAYG
    - 70% SHS classique (Home 40Z ou SH 620)
    - 30% SHS avec TV (SH5000)
  - o 30% Crédit (via micro-finance)
    - 85% pico et lanternes (Pro, Torch)
    - 15% SHS (Home 40Z ou 60 ou SH 620)
  - o + 5% ventes Cash
- A titre d'exemple, le tarif pour la location-vente du Home 40Z : 28000Ar + 900Ar/jr pendant 12 mois (max 18m)
- Taux de collection = 95% avec 5% de retard à cause du PAYG mais verrouillage pour éviter de dépasser 180 jours de remboursements.
- Problèmes techniques rencontrés :
  - o Taux de pannes : 2% sur les batteries, <1% pour le reste.
  - o Durée de vie batteries = 5 ans
  - o Pas encore de capacité de diagnostic et réparation sur place
- Le système PAYG a besoin de connexion internet. Les 3 réseaux GSM existants permettent généralement la téléphonie, mais pas toujours pour l'internet.
  - o Telma : le plus étendu ; 85% des clients
  - o Orange (plus dans le Nord)
  - o Airtel (plus dans le Sud)
- Arrivée du terminal YOP (Mobile Money de Société Générale) qui donnera accès à l'internet via le réseau téléphonique.
- Les Cash Points (pour ceux qui n'ont pas de portefeuille mobile) ont besoin d'accès internet !

L'entreprise Baobab+ souligne les **3 barrières principales** suivantes :

- TVA et douanes : OK pour lampes, batteries, SHS mais pas encore pour TV, pompe, réfrigérateurs, ventilos.
- OMDF met en concurrence mais besoin de contrôler les possibles dérives (concurrence déloyale) → créer une association des professionnels du secteur.

- Gestion des déchets : absence de structure pour le recyclage. Actuellement un container de 20' est rempli de batteries Li-Ion usagées. La collecte des produits usager n'est pas encore organisée ; stratégie encore en réflexion (voir Googla)

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques des produits pico-solaires distribués par BAOBAB+ à Madagascar.

Modèle	Module	Batterie	Equipement	Wh/jr dispo	Lm.hr/jr	Port	TTC (Ar)
Sunking Pro (EasyBuy)	2,7Wc-4,9V	LFP-3,2Ahx3,3V	1x160lm (L)	-	960	USB-5,5V	140.900
Sunking Home 40Z	4Wc-4,9V	LFP-3,2Ahx3,3V	2x100lm (P) 1x50lm (L)	11	1100	USB-5,5V	365.000
Sunking Home 60	6Wc-5,8V	LFP-5,9Ahx3,3V	2x100lm (P) 1x160lm (L)	14	1610	2xUSB 2.0 2x12Vjack	365.500 (cash only)
Biolite – SH620 ***	6Wc-4,9V	LFP-3,4Ahx6,5V	2x120lm (P) 1x68lm (I) 1x120lm (S) Radio (I)	17	1700	USB-5,5V	700.000
Biolite – SH5000	50Wc-12V	NMC-7,6Ahx14,8V	3x210lm (P) 1x210lm (S) Radio (I) TV 24"-8,4W	110	12600	4xUSB 2.0 2x12Vjack	2.995.000

\*\*\* la plus vendue !

## 2) TELMA – Mbalik

L'opérateur TELMA distribue activement des pico systèmes (principalement 4 produits certifiés de Greenlight Planet / Sun King) via son réseau de plus de 650 distributeurs agréés dans tout le pays et via son application de paiement mobile « MBALIK », grâce au réseau Telma qui couvre 80% de la population Malagasy.

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques des produits pico-solaires distribués par TELMA.

Modèle	Module	Batterie	Equipement	Lm.hr*	Port	TTC (Ar)**
Pro	2,7Wc-4,9V	LFP-3Ahx3,3V	1x175lm (L)	960	USB-5,5V	139.000
Home 40Z	4Wc-4,9V	LFP-3Ahx3,3V	2x100lm (P) 1x175lm (L)	1100	USB-5,5V	199.000
Home 60	6Wc-5,8V	LFP-6Ahx3,3V	2x100lm (P) 1x175lm (L)	1610	USB-5,5V 1x12V ?	299.000
Home 600 + TV32"	60Wc-18V	NMC-140Wh-11,1V	2x100lm (P) 2x400lm (T) 1x100lm (S) TV LED 32"	15600 (4020)	USB-5,5V 4x12V 1x TV 32"	1.999.000
Radio en option	2,5W – 5V					40.000

(P) plafonnier, (L) lanterne portable, (T) tubulaire, (S) sécurité avec détecteur de mouvement

(\*) Lm-hr de Verasol/OMDF

(\*\*) prix promotionnels

Telma offre un **mode de paiement** abordable et simplifié sur tout le territoire Malagasy : cash ou échelonné selon un plan de paiement sur 10 à 30 semaines grâce au système PAYG (acompte + X « jours de lumière »). Accessible à partir de 800 Ar/jour, les lampes sont activables à tout moment en fonction des besoins du client. Les forfaits sont payables via paiement mobile (par SMS).

### 3) JIRO-VE

L'entreprise Jiro-VE, comme détaillé dans la section des kiosques ci-dessous, développe via un réseau de micro-franchisés des stations solaires pour recharge de batteries et une location de lanternes solaires rechargeables.

#### 1.2.3 Kiosques solaires

Les kiosques solaires sont l'équivalent des stations de recharge ou des plateformes multifonctionnelles existantes depuis plusieurs décennies. Ils permettent de développer des activités commerciales utiles aux communautés, souvent les plus pauvres (« bottom of pyramid »). Le concept est d'avoir dans une localité un (ou plusieurs) générateur solaire qui permet d'offrir des services de base aux habitants ruraux qui n'ont pas d'autres accès à l'énergie moderne. Selon les besoins et les capacités à payer, la gamme de services s'étend d'une simple station de recharge de batteries ou de lanternes solaires moyennant paiement, à des plateformes énergétiques qui offre des services de recharge de téléphones, de réfrigération, d'outils/moteurs, de bureautique, d'internet, d'audiovisuel, etc. La taille du générateur solaire est donc variable, généralement de quelques centaines de Wc à 2kWc. Au-delà de la fourniture de produits et services énergétiques, les kiosques sont aussi des centres de vie locale pouvant facilement être utilisés pour offrir de nouveaux produits et services, tels que l'accès au mobile banking ou à des institutions de microfinance.

La vente de services permet aussi de s'affranchir de la réglementation sur la vente d'électricité (kWh). Pour être rentable, cette activité de kiosques doit atteindre une taille critique.

A Madagascar, au moins 2 opérateurs offrent ce genre de solutions Jiro-VE et Heri Madagascar avec plus de 200 kiosques en service.

#### 1) Jiro-VE

L'entreprise Jiro-VE a développé un modèle innovant de micro-franchisés pour fournir un éclairage de qualité et abordable pour les communautés marginalisées. Le modèle consiste à louer une lanterne LED rechargeable certifiée QV (Pico 50, Mobyia de Schneider) ou batterie rechargeable (Powerbank 2600mAh, Powerbank 4800mAh) à un prix journalier inférieur à ce que le ménage paye en bougie ou kérozène. Pour 250 Ariary par jour (≈ 0,06 €), le client reçoit une lampe rechargée livrée à sa porte par le franchisé. Avant le programme OMDf, les lanternes de JIRO-VE n'étaient pas certifiées QV.

Une station de recharge MOBISOL (« kiosk ») est installée chez les franchisés (entrepreneurs locaux) pour qu'ils puissent charger les lanternes pour les clients finaux. Les caractéristiques du modèle actuel sont données dans le tableau ci-dessous :

INFO PRODUIT	
Marque	Mobisol
Modèle	200W
Module PV	200Wc - 18V
Batterie	100Ah x 12V (LFP/NMC/LA)
Points lumineux	3 x 200 lm
Lm.hr/jr	45.000 lm.hr/jr
Ports	2 x USB-5,5V 2 x 12V
Tél GSM	n/a W
Radio	n/a W
Autres équipements	Powerbank charger Jiro-Ve
Durée de vie	7 ans (hors batterie)

<b>Fréq. renouvelle Bat</b>	tous les 7 ans
<b>Coût renouvelle Bat</b>	1.000.000 Ar
<b>Mode paiement</b>	Cash
<b>Prix vente - TTC (Ar)</b>	2.000.000 Ar
<b>Coût d'installation</b>	100.000 Ar
<b>Coût de transport</b>	150.000 Ar
<b>OPEX</b>	5-10%/an
<b>Mode paiement</b>	Location-vente sur ... mois
<b>Tarif : montant initial</b>	0 Ar
<b>Forfait mensuel</b>	145.000 Ar/mois

## 2) HERi Madagascar

En s'implantant au cœur des villages isolés de Madagascar, HERi propose un accès à des produits électriques à basse consommation mais à haute valeur sociétale. Le modèle de distribution innovant et inclusif, similaire à celui de Jiro-VE, est basé sur le déploiement d'un réseau de kiosques énergétiques gérés par des entrepreneurs franchisés au cœur des villages ruraux de Madagascar.

Pour moins de 200 Ariary par jour (environ 5 centimes d'euros), les clients peuvent louer une lampe solaire rechargée dans les kiosques pendant la journée et livrée à leur domicile avant la tombée de la nuit. Ils bénéficient ainsi d'une source d'énergie sûre, non polluante et peu onéreuse pour l'éclairage et le chargement de leurs téléphones portables. Tout cela en réalisant des paiements journaliers de faibles montants comme ils le font déjà pour acheter des bougies ou du pétrole lampant.

Après un acompte initial, les clients peuvent utiliser la technologie PAYG et rembourser leur produit en réalisant des paiements journaliers ou hebdomadaires, en fonction de leurs capacités. Après avoir effectué un certain nombre de paiements, ils deviennent propriétaires du produit qui se débloque alors définitivement.

En 2018, HERi comptabilisait 110 kiosques dans 9 régions malgaches, soit plus de 33.300 clients (plus de 200 kiosques actuellement).

La lanterne solaire **Sun King Pico** vient renforcer l'offre des kiosques HERi avec un prix ultra-abordable de 150 Ar par jour soit moins de 4 centimes d'euros ! Cette lanterne fournit jusqu'à 72 heures de lumière après un seul jour de charge.

La **Sun King Boom** est une lanterne solaire intégrant une radio, un lecteur MP3 et une recharge de téléphone portable. La Boom est équipée de ports SD et USB pour lire de la musique directement à partir d'une carte SD ou d'une clé USB et comprend de nombreuses options : Mute, Pause, veille et une prise jak pour brancher des écouteurs. Elle sera commercialisée avec une solution de financement PAYG à travers le réseau de kiosques HERi.

### 1.2.4 Café-Lumières (ESF)

Le concept du « café-lumière » est une plateforme multiservices combinée à des micro-réseaux afin d'atteindre un taux de couverture maximale dans une localité. Le café-lumière permet de développer à la fois :

- des services marchands (soudure, réfrigération, transformation agroalimentaire ou commerce)
- des services individuels (éclairage, radio et télévision, recharge de téléphones ou informatique).
- des services publics tels que les mairies, écoles et centres de santé.

L'ensemble des habitants du village tire ainsi profit de l'installation. Placée sous la responsabilité des autorités locales, l'installation « Café-Lumière » est gérée par un délégataire qui en assure l'équilibre financier et ainsi la pérennité.

Selon la base de données de l'ADER, le projet piloté par ESF cible 4 localités, avec des infrastructures solaires gérées par 2 opérateurs locaux : EOSOL (2x20kWc) et Anka (2x12kWc). <http://www.cafe-lumiere-madagascar.org/>

### 1.2.5 Kits solaires domestiques (SHS), Kits communautaires & productifs

La plupart des distributeurs solaires listés au §1.2.1 (voir rapport « SE4ALL 2019 ») offrent aussi des kits solaires de plus grandes puissances (entre 40 et 500 Wc) avec batteries LA (plomb-acide) ou LI (Lithium Ion) pour des clients domestiques ou non-domestiques.

Grâce aux avancées technologiques, des kits de 40Wc ou 60Wc certifiés LG offrent aujourd'hui un service de qualité pour les ménages (Tier 1 et Tier 2), incluant des équipements de très basse consommation tels qu'un ventilateur et une télévision (voir §1.2.2 Pico systèmes).

Certains fournisseurs proposent des systèmes de plus de 250Wc offrant un service supérieur au Tier 3 pour des besoins communautaires ou commerciaux. A titre d'exemple, **Mada Green Power** distribue une **kit « BUSH »** de 320Wc offrant un service de qualité pour des besoins communautaires ou commerciaux.

Modèle	Module	Batterie	Equipement	Lm.hr	Port	TTC (Ar)
Bush	4x80Wc	LA-4x55Ah-12V	11x7W CFL 1x20W rad/TV 1x45W ordi 1x50W Hifi 1x100W Refri		230V AC	4.610.000

Mais il n'y a pas encore de retour d'expériences sur les **systèmes solaires productifs** tels que des installations de production de froid pour les pêcheurs (projet Swiofish II – Banque Mondiale/Ministère de l'Agriculture/ADER).

Pour les infrastructures communautaires rurales, les systèmes solaires ont déjà fait leurs preuves depuis de nombreuses années :

- centres de santé : 1kWc pour les CSB 1 et 2kWc pour les CSB 2
- écoles : 600Wc pour les primaires EP et secondaires ES),

Malheureusement, ces installations ne sont pas encouragées par le programme OMDF.