

Institut national de la recherche scientifique  
Centre Eau Terre Environnement



Mémoire de maîtrise en Sciences de la terre  
Présenté par Madame Habsatou ANGO

**Evaluation des potentialités des ressources en eau  
du Parc W du Niger**

**ANNEXES ÉLECTRONIQUES DU MÉMOIRE**

**ANNEXE ÉLECTRONIQUE 1 :**  
**RAPPORT DE STAGE DE DELESTRE (2017)**

**ANNEXE ÉLECTRONIQUE 2 :**  
**COURBE VOLUME-ALTITUDE DES MARES**

**Tableau AE1: Volume cumulé de la mare de Moussa kouara**

<b>Courbe de niveau</b>	<b>Hauteur (m)</b>	<b>Surface (m2)</b>	<b>Surface moy (m2)</b>	<b>Volume partiel (m3)</b>	<b>Volume cumulé (m3)</b>	<b>Observations</b>
233,50	-	51,51	-	-	-	
233,75	0,25	67,82	59,67	14,92	14,92	
234,00	0,25	566,16	316,99	79,25	94,16	
234,25	0,25	853,46	709,81	177,45	271,62	
234,50	0,25	1 133,52	993,49	248,37	519,99	
234,75	0,25	1 411,23	1 272,38	318,09	838,08	
235,00	0,25	1 773,09	1 592,16	398,04	1 236,12	
235,25	0,25	2 079,55	1 926,32	481,58	1 717,70	
235,50	0,25	2 384,99	2 232,27	558,07	2 275,77	
235,75	0,25	2 704,78	2 544,89	636,22	2 911,99	
236,00	0,25	3 037,52	2 871,15	717,79	3 629,78	
236,25	0,25	3 388,99	3 213,26	803,31	4 433,09	
236,50	0,25	3 762,76	3 575,88	893,97	5 327,06	
236,75	0,25	4 156,65	3 959,71	989,93	6 316,99	
<b>237,00</b>	<b>0,25</b>	<b>4 597,95</b>	<b>4 377,30</b>	<b>1 094,33</b>	<b>7 411,31</b>	PE actuel
237,25	0,25	5 176,42	4 887,19	1 221,80	8 633,11	
237,50	0,25	5 944,16	5 560,29	1 390,07	10 023,18	
237,75	0,25	6 773,53	6 358,85	1 589,71	11 612,89	
238,00	0,25	10 130,74	8 452,14	2 113,03	13 725,93	
238,25	0,25	13 678,62	11 904,68	2 976,17	16 702,10	
<b>238,50</b>	<b>0,25</b>	<b>16 790,32</b>	<b>15 234,47</b>	<b>3 808,62</b>	<b>20 510,71</b>	Hautes eaux

**Tableau AE2: Volume cumulé de la mare de Batinga**

<b>Courbe de niveau</b>	<b>Hauteur (m)</b>	<b>Surface (m2)</b>	<b>Surface moy (m2)</b>	<b>Volume partiel (m3)</b>	<b>Volume cumulé (m3)</b>	<b>Observations</b>
227,75	-	135,26	-	-	-	
228,00	0,25	689,89	412,58	103,14	103,14	
228,25	0,25	1 579,44	1 134,67	283,67	386,81	PE actuel
228,50	0,25	1 961,86	1 770,65	442,66	829,47	
228,75	0,25	2 405,92	2 183,89	545,97	1 375,45	
229,00	0,25	3 070,80	2 738,36	684,59	2 060,04	
229,25	0,25	4 232,46	3 651,63	912,91	2 972,94	
229,50	0,25	5 516,97	4 874,72	1 218,68	4 191,62	
229,75	0,25	6 455,59	5 986,28	1 496,57	5 688,19	Hautes eaux
230,00	0,25	7 357,63	6 906,61	1 726,65	7 414,84	

**Tableau AE3: Volume cumulé de la mare de Dadinga**

Courbe de niveau	Hauteur (m)	Surface (m2)	Surface moy (m2)	Volume partiel (m3)	Volume cumulé (m3)	Observations
185,00	-	75,21	-	-	-	
185,25	0,25	327,51	201,36	50,34	50,34	
185,50	0,25	668,20	497,86	124,46	174,80	
185,75	0,25	1 078,07	873,14	218,28	393,09	
<b>186,00</b>	<b>0,25</b>	<b>1 846,21</b>	<b>1 462,14</b>	<b>365,54</b>	<b>758,62</b>	PE actuel
186,25	0,25	2 933,05	2 389,63	597,41	1 356,03	
<b>186,50</b>	<b>0,25</b>	<b>4 104,80</b>	<b>3 518,93</b>	<b>879,73</b>	<b>2 235,76</b>	Hautes eaux
186,75	0,25	4 812,60	4 458,70	1 114,68	3 350,44	

**Tableau AE4: Volume cumulé de la mare de Moussiémou**

Courbe de niveau	Hauteur (m)	Surface (m2)	Surface moy (m2)	Volume partiel (m3)	Volume cumulé (m3)	Observations
204,00	-	-	-	-	-	
204,25	0,25	50,87	25,44	6,36	6,36	
204,50	0,25	457,00	253,94	63,48	69,84	
204,75	0,25	1 270,90	863,95	215,99	285,83	
205,00	0,25	2 492,60	1 881,75	470,44	756,27	
205,25	0,25	4 592,47	3 542,54	885,63	1 641,90	
<b>205,50</b>	<b>0,25</b>	<b>8 911,98</b>	<b>6 752,23</b>	<b>1 688,06</b>	<b>3 329,96</b>	Plan d'eau
205,75	0,25	10 507,37	9 709,68	2 427,42	5 757,38	
206,00	0,25	12 270,58	11 388,98	2 847,24	8 604,62	
206,25	0,25	14 208,34	13 239,46	3 309,87	11 914,49	
206,50	0,25	16 320,66	15 264,50	3 816,13	15 730,61	
206,75	0,25	18 821,36	17 571,01	4 392,75	20 123,36	
<b>207,00</b>	<b>0,25</b>	<b>20 985,48</b>	<b>19 903,42</b>	<b>4 975,86</b>	<b>25 099,22</b>	Hautes eaux

Figure AE1: Courbe hauteur-volume de la mare de Moussa kouara

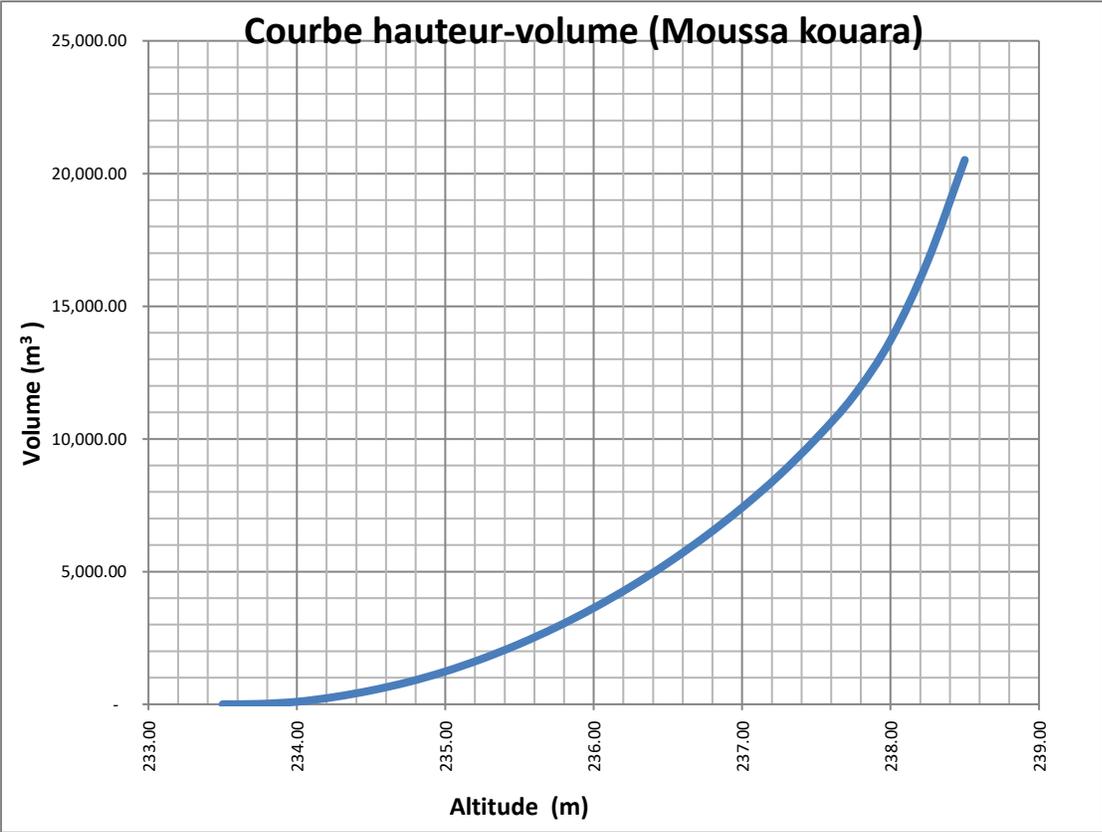


Figure AE2: Courbe hauteur-volume de la mare de Batinga

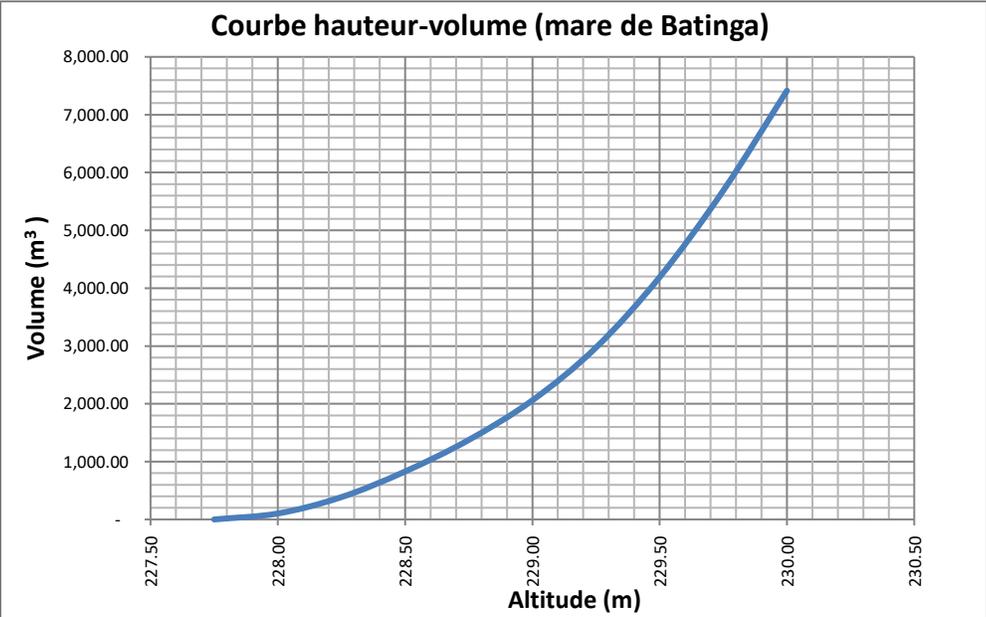


Figure AE3: Courbe hauteur-volume de la mare de Dadinga

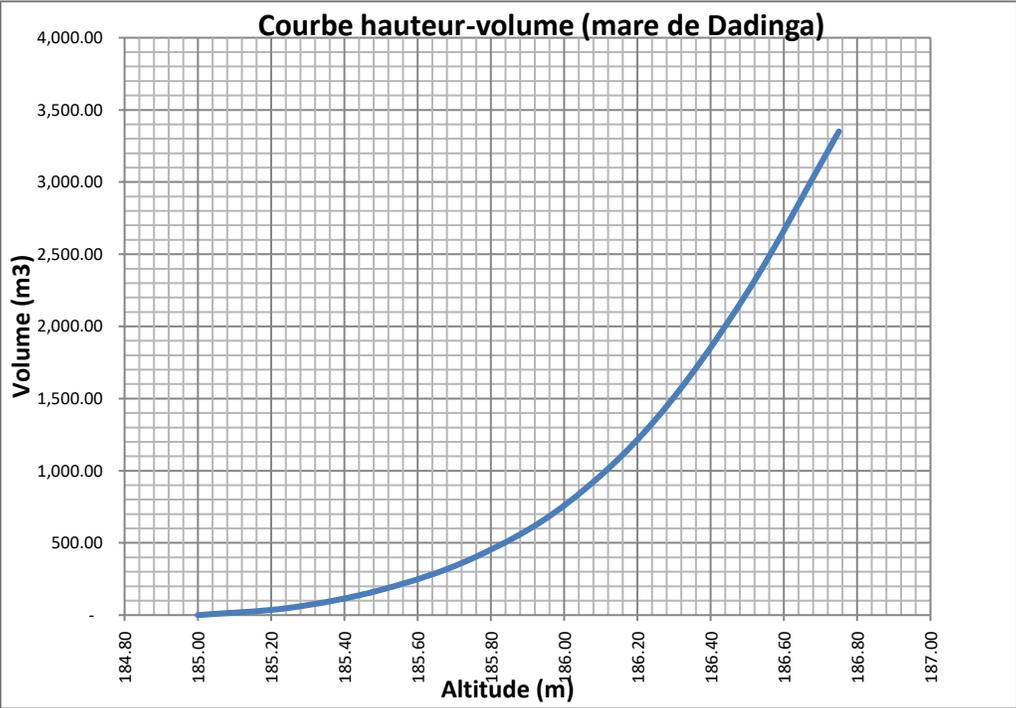
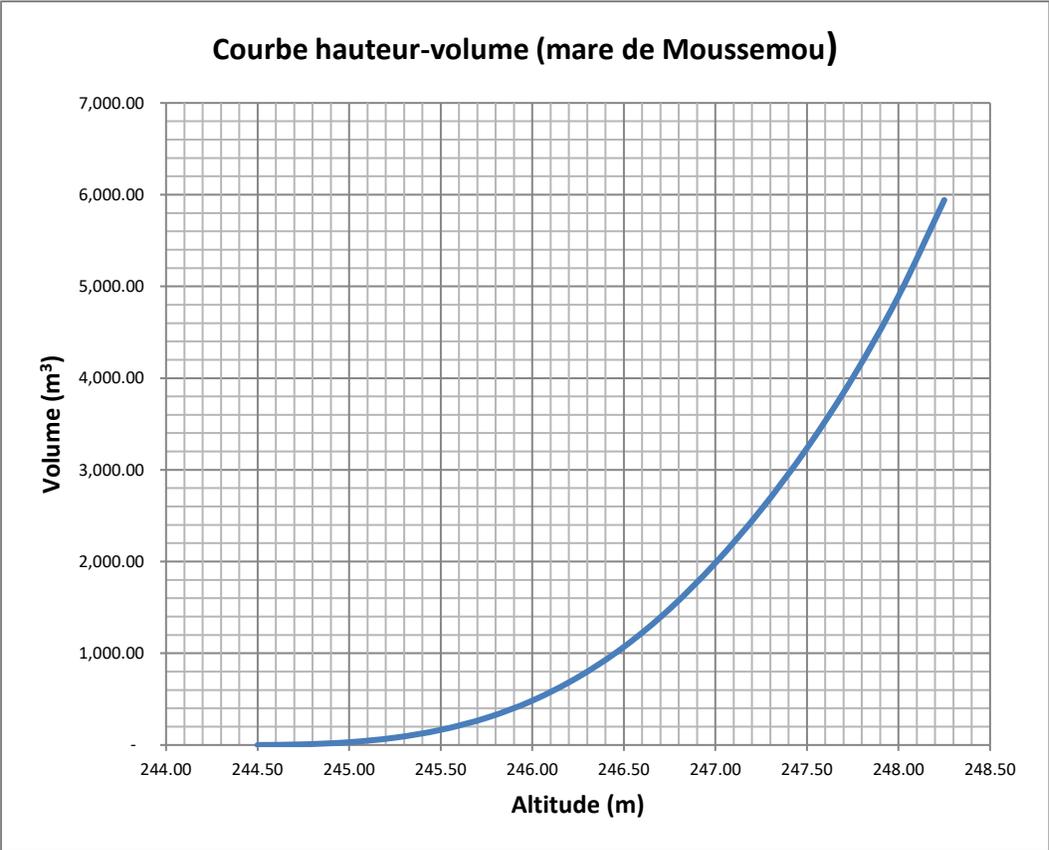


Figure AE4: Courbe hauteur-volume de la mare de Moussièmou



**ANNEXE ÉLECTRONIQUE 3 :  
ESSAIS HYDRAULIQUES**

**Tableau AE 5: Fiche de pompage, palier 1 (Moussiémou)**

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné				Palier 1	
Données administratives					
NOM DU SITE	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH: ALG BID 28648			
Departement:	Say	Longitude (Est): 02°30'24.7"			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord): 12 ° 26' 24.4"			
Données techniques					
Type d'ouvrage:	Forage de Moussiémou	Profondeur forée (m):	90.49		
Altitude (m):	222	Diamètre (mm): 110/125 mm			
NS/repère (m):	22.14	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):	0.3	Crépine 1 (supp.) haut :			
Date palier (jj/mm/aa):	10/10/2018	Crépine 2 haut :			
Heure palier (hh:mm):	19 h 16 mn	Cote pompe/sol (m):	52		
Piezo suivis (nombre):		Type pompe: PVC	Franklin triphasée		
		Puissance		2.2 KW	
		Débit "Moyen":		1.04	
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	22.14	0.00		
	1	26.20	4.06	1.04	
	2	26.40	4.26		
	3	26.62	4.48		
	4	26.79	4.65		
	5	26.92	4.78		
	6	27.02	4.88		
	8	27.25	5.11		
	10	27.47	5.33		
	15	27.87	5.73		
	20	28.22	6.08		
	25	28.5	6.36		
	30	28.7	6.56		
	35	28.85	6.71		
	40	28.98	6.84	1.05	
	50	29.2	7.06		
	60	29.38	7.24		

**Tableau AE6: Fiche de pompage, palier 2 (Moussiémou)**

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné				Palier 2	
<b>Données administratives</b>					
Village:	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH: ALG-BID 28649			
Departement:	Say	Longitude (Est):			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord):			
<b>Données techniques</b>					
Type d'ouvrage:	Forage de Moussiémou	Profondeur forée (m):	90.45		
Altitude (m):	222	Diamètre (mm):	110 / 125		
NS/repère (m):	22.14	Equipement:	Foraduc		
Niveau repère/sol (m):	0.3	Crépine 1 (supp.) haut :			
Date palier (jj/mm/aa):	10/10/2018	Crépine 2 haut :			
Heure palier (hh:mm):	20 h16	Cote pompe/sol (m):	52		
Piezo suivis (nombre):		Type pompe:	Franklin triphasée		
Débit "Moyen":			2.38		
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	29.38	7.24		
	1			2.38	eau rougeatre
	2				Pas de mesure ,sonde coincée
	3				jusqu'à la 4e minute
	4				
	5	31.95	9.81		
	6	32.50	10.36		
	8	33.01	10.87		
	10	33.72	11.58		
	15	34.55	12.41		
	20	35.15	13.01		
	25	35.49	13.35		
	30	36.18	14.04		
	35	37.65	15.51		
	40	38.5	16.36		
	50	39.45	17.31	7.13	
1h	60	40.27	18.13		

**Tableau AE7 : Fiche de pompage, palier 3 (Moussiémou)**

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné				Palier 3	
<b>Données administratives</b>					
Village:	Parc W du Niger		Indice:		
Commune:	Tamou		No IRH: 28648		
Departement:	Say		Longitude (Est):	02°23'08.4"	
Region:	Tillabéri		Latitude (Nord):	12°26'26.6"	
<b>Données techniques</b>					
Type d'ouvrage:	Forage de Moussiémou		Profondeur forée (m):	90.45	
Altitude (m):	222		Diamètre (mm):	110/125	
NS/repère (m):	22.14		Equipement:		
Niveau repère/sol (m):	0.3		Crépine 1 (supp.) haut :		
Date palier (jj/mm/aa):	10/10/2018		Crépine 2 haut :		
Heure palier (hh:mm):	21h16		Cote pompe/sol (m):	52	
Piezo suivis (nombre):	0		Type pompe:	Franklin, triphasée	
			Débit "Moyen":	3.50	
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	40.27	18.13		
	1	40.70	18.56	3.50	
	2	42.60	20.46		
	3	43.26	21.12		
	4				coincement de la sonde
	5	44.50	22.36		
	6	44.65	22.51		
	8				Pas de de mesure coincement de la sonde
	10	52.31	30.17		
	15	56.07	33.93		
	20	56.24	34.10		
	25	56.31	34.17	2.55	
	30	56.33	34.19		
	35	56.33	34.19		
	40	56.34	34.20		
	50	56.35	34.21		
1h	60	56.37	34.23		

**Tableau AE8: Fiche de pompage, descente longue durée (Moussiémou)**

Fiche de pompage d'essai longue durée - pompage					
Données administratives					
Village:	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH:	ALG-BID 28648		
Departement:	Say	Longitude (Est):			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord):			
Données techniques					
Type d'ouvrage:	Forage de Moussiémou		Profondeur forée (m):	90.45	
Altitude (m):	222		Diamètre (mm):	110 /125	
NS/repère (m):	22.14		Equipement:		
Niveau repère/sol (m):	0.3		Crépine 1 (supp.) haut :		Bas:
Date descent (jj/mm/aa):	11/10/2018		Crépine 2 haut :		
Heure descent (hh:mm):	03h06		Cote pompe/sol (m):	61	Sous rep.:
Piezo suivis (nombre):	0		Type pompe:	Franklin	
			Puissance : 2.2 KW		
			Débit "Moyen":	1.45	
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	22.14	0.00		
	1	28.80	6.66	1.43	
	2	29.15	7.01		
	3	29.60	7.46		
	4	29.95	7.81		
	5	30.26	8.12		
	6	30.58	8.44		
	8	31.04	8.90		
	10	31.42	9.28		Ph = 6.6
	15	32.09	9.95		T = 31,5
	20	32.63	10.49		CE= 362 µS/cm
	25	33.07	10.93		
	30	33.48	11.34		
	35	33.69	11.55		
	40	33.85	11.71		
	50	34.09	11.95		
1h	60	34.24	12.10		
	80	34.66	12.52		
	100	34.88	12.74		
2h	120	35.05	12.91	1.47	
	140	35.24	13.10		
	160	35.52	13.38		
3h	180	35.76	13.62		
	200	35.95	13.81		
	220	36.13	13.99		
4h	240	36.28	14.14		
	270	36.53	14.39		
5h	300	36.31	14.17		
	330	36.32	14.18		
6h	360	35.72	13.58		à 6h 15
	390	35.32	13.18		

**Tableau AE9: Fiche de remontée après descente (Moussiémou)**

Fiche de Remontée après descente longue durée					
Données administratives					
Village:	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH:	ALG-BID 28648		
Departement:	Say	Longitude (Est):	002°23'08.7"		
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord):	12°26'26.7"		
Données techniques					
Type d'ouvrage:	Forage de Moussiémou		Profondeur forée (m):	90.45	
Altitude (m):	222		Diamètre (mm):	110 /125	
NS/repère (m):	22.14		Equipement:		
Niveau repère/sol (m):	0.3		Crépine 1 (supp.) haut :		Bas:
Date remontée (jj/mm/aa)	12/10/2018		Crépine 2 haut :		
Heure remontée (hh:mm)	09h36		Cote pompe/sol (m):	61	Sous rep.:
Piezo suivis (nombre):	0		Type pompe:	Franklin triphasée	
			Puissance : 2.2 KW		
		Débit "Moyen":			
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	35.32	13.18		
	1	33.51	11.37		
	2	33.20	11.06		
	3	33.19	11.05		
	4	33.10	10.96		
	5	32.95	10.81		
	6	32.55	10.41		
	8	31.92	9.78		
	10	31.41	9.27		
	15	30.50	8.36		
	20	29.91	7.77		
	25	29.51	7.37		
	30	29.19	7.05		
	35	28.93	6.79		
	40	28.72	6.58		
	50	28.35	6.21		
1h	60	28.08	5.94		
	80	27.62	5.48		
	100	27.25	5.11		
2h	120	26.97	4.83		
	140	26.70	4.56		
	160	26.41	4.27		
3h	180	26.94	4.80		
	200	26.05	3.91		
	220	25.85	3.71		
4h	240	25.71	3.57		
	270	25.48	3.34		
5h	300	25.30	3.16		
	330	25.10	2.96		
6h	360	24.96	2.82		

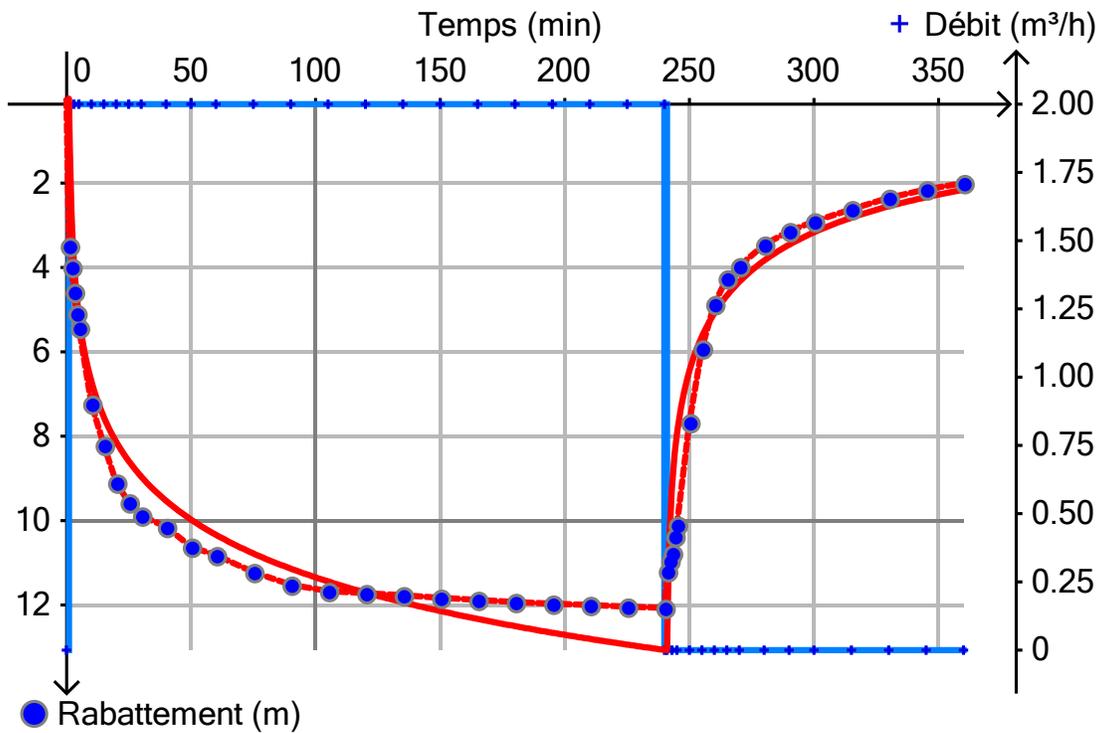


Figure 1: Essai de nappe Forage Tapoa Moussiémou

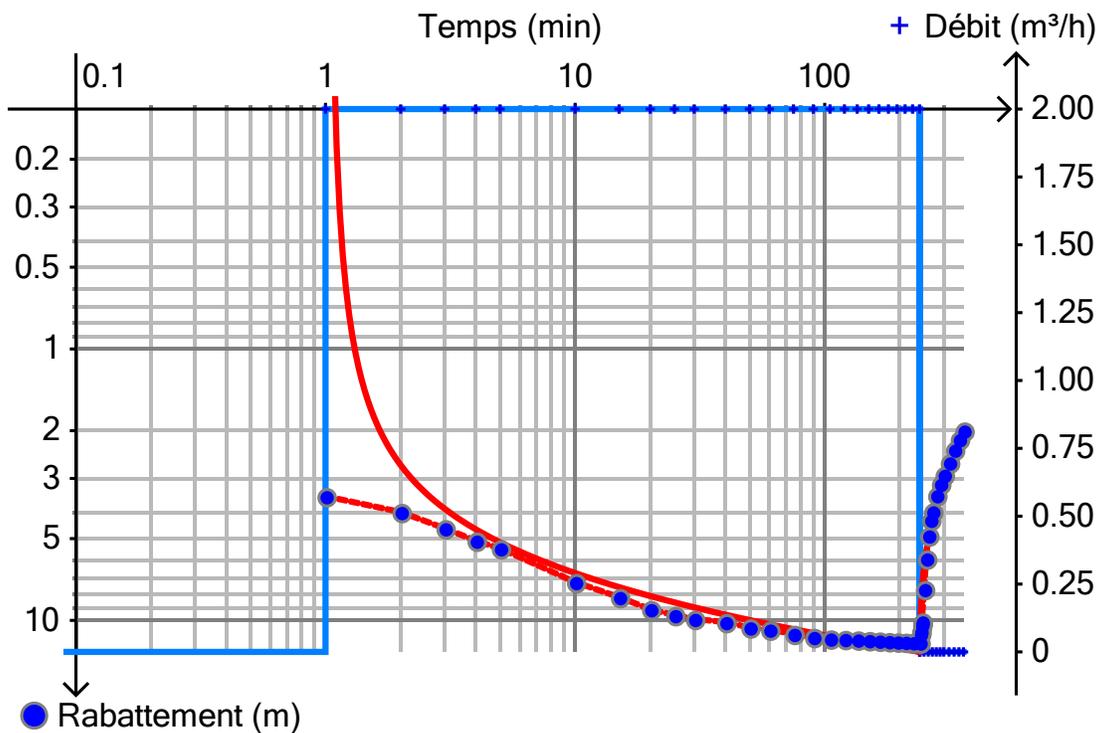


Figure 2: Essai de nappe Forage Tapoa Moussiémou graphique logarithmique

**Tableau AE11: Fiche de pompage, palier 1 (Bata)**

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné				Palier 1	
<b>Données administratives</b>					
NOM DU SITE	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH: ALG BID 28649			
Departement:	Say	Longitude (Est): 02°30'24.7"			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord): 12 ° 26' 24.4"			
<b>Données techniques</b>					
Type d'ouvrage:	Forage de Bata	Profondeur forée (m): 49.64 m			
Altitude (m): 97 m	97	Diamètre (mm): 110/125 mm			
NS/repère (m):	12.45 m	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):	0.73 m	Crépine 1 (supp.) haut :			
Date palier (jj/mm/aa):	12/10/2018	Crépine 2 haut :			
Heure palier (hh:mm):	16 h 00 mn	Cote pompe/sol (m):			
Piezo suivis (nombre):		Type pompe: PVC			
Débit "Moyen":				3.55	
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	12.45	0.00		
	1	15.07	2.62	3.55	
	2	15.17	2.72		
	3	15.27	2.82		
	4	15.33	2.88		
	5	15.38	2.93		
	6	15.44	2.99		
	8	15.51	3.06		
	10	15.58	3.13		
	15	15.78	3.33		
	20	15.78	3.33		
	25	15.81	3.36		
	30	15.87	3.42	3.47	
	35	15.9	3.45		
	40	15.93	3.48		
	50	15.97	3.52		
1h	60	16.01	3.56		

**Tableau AE12: Fiche de pompage, palier 2 (Bata)**

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné				Palier2	
<b>Données administratives</b>					
Village:	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH: ALG-BID 28649			
Departement:	Say	Longitude (Est):			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord):			
<b>Données techniques</b>					
Type d'ouvrage:	Forage de Bata	Profondeur forée (m): 49.64 m			
Altitude (m):	97 m	Diamètre (mm): 110 /125 mm			
NS/repère (m):	12.45 m	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):	0.73 m	Crépine 1 (supp.) haut :			
Date palier (jj/mm/aa):	12/10/2018	Crépine 2 haut :			
Heure palier (hh:mm):	17 h00	Cote pompe/sol (m):			
Piezo suivis (nombre):		Type pompe:			
		Débit "Moyen":	7.89		
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	16.01	3.56		
	1	18.76	6.31	9.16	
	2	18.63	6.18		
	3	18.41	5.96	7.20	
	4	18.37	5.92		
	5	18.40	5.95		
	6	18.43	2.42		
	8	18.52	2.51		
	10	18.59	2.39	7.30	
	15	18.75	2.86		
	20	18.87	2.92	7.12	
	25	18.93	3.15		
	30	19.05	3.04		
	35	19.16	3.15		
	40	19.19	3.18	7.04	
	50	19.29	3.28	7.13	
1h	60	19.37	3.36		

**Tableau AE13: Fiche de pompage, palier 3 (Bata)**

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné				Palier 3	
<b>Données administratives</b>					
Village:	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH: ALG - BID 28649			
Departement:	Say	Longitude (Est): 02°30'24.7"			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord): 12°26'24.4"			
<b>Données techniques</b>					
Type d'ouvrage:	Forage de Bata	Profondeur forée (m): 49.64 m			
Altitude (m):	97 m	Diamètre (mm): 110 /125			
NS/repère (m):	12.45	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):	0.73 m	Crépine 1 (supp.) haut :			
Date palier (jj/mm/aa):		Crépine 2 haut :			
Heure palier (hh:mm):	18 h 00	Cote pompe/sol (m):			
Piezo suivis (nombre):		Type pompe:			
Débit "Moyen":			10.60		
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Observations
	0	19.37	6.92		
	1	21.28	8.83	10.60	
	2	21.64	9.19		
	3	21.90	9.45		
	4	21.97	9.52		
	5	22.07	9.62		
	6	22.16	9.71		
	8	22.30	9.85		
	10	22.41	9.96		
	15	22.62	10.17		
	20	22.79	10.34		
	25	22.92	10.47		
	30	23.05	10.60		
	35	23.13	10.68		
	40	23.22	10.77		
	50	23.38	10.93		
1h	60	23.49	11.04		

**Tableau AE14 : Fiche de pompage, descente longue durée (Bata)**

Fiche de pompage d'essai longue durée - pompage					
Données administratives					
Village:	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH:	ALG-BID 28649		
Departement:	Say	Longitude (Est):			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord):			
Données techniques					
Type d'ouvrage:	Forage de Bata	Profondeur forée (m):	49.64 m		
Altitude (m):		Diamètre (mm):	110 /115		
NS/repère (m):	12.45	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):	0.73	Crépine 1 (supp.) haut :		Bas:	
Date descent (jj/mm/aa):	7/13/2014	Crépine 2 haut :			
Heure descent (hh:mm):	1h	Cote pompe/sol (m):		Sous rep.:	
Piezo suivis (nombre):	0	Type pompe:			
		Puissance :	2.2 KW		
		Débit "Moyen":	10.50		
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	12.45	0.00		
	1	18.71	6.26	10.50	
	2	19.30	6.85		
	3	19.58	7.13		
	4	19.82	7.37		
	5	20.08	7.63		
	6	20.27	7.82		
	8	20.59	8.14		
	10	20.90	8.45		Ph = 6.6
	15	21.26	8.81		T = 31,5
	20	21.58	9.13		CE= 362 µS/cm
	25	21.97	9.52		
	30	22.07	9.62		
	35	22.29	9.84		
	40	22.42	9.97		
	50	22.67	10.22		
1h	60	22.89	10.44		
	80	23.20	10.75		
	100	23.43	10.98		
2h	120	23.57	11.12		
	140	23.70	11.25		
	160	23.77	11.32		
3h	180	23.85	11.40		
	200	23.91	11.46		
	220	23.97	11.52		
4h	240	24.01	11.56		
	270	24.06	11.61		
5h	300	24.11	11.66		
	330	24.17	11.72		
6h	360	24.22	11.77		
	390	24.25	11.80		
7h	420	24.28	11.83		
	450	24.30	11.85		
8h	480	24.33	11.88		
	510	24.35	11.90		
9h	540	24.37	11.92		
	570	24.38	11.93		
10h	600	24.40	11.95		
	630	24.42	11.97		
11h	660	24.44	11.99		
	690	24.46	12.01		
12h	720	24.49	12.04		

**Tableau AE15: Fiche de remontée après descente (Bata)**

Fiche de pompage d'essai longue durée - remontée					
Données administratives					
Nom du site	Parc W du Niger		Indice:		
Commune:	Tamou		No IRH:	ALG-BID 28649	
Departement:	Say		Longitude (Est):		
Region:	Tillabéri		Latitude (Nord):		
Données techniques					
Type d'ouvrage:	Forage de Bata		Profondeur forée (m):	49.64	
Altitude (m):	97		Diamètre (mm):	110/125	
NS/repère (m):	12.45		Equipement:		
Niveau repère/sol (m):	0.73		Crépine 1 (supp.) haut :	Bas:	
Date remontée (jj/mm/aa):	13/10/2018		Crépine 2 haut :		
Heure remontée (hh:mm)	1h		Cote pompe/sol (m):	Sous rep.:	
Piezo suivis (nombre):	0		Type pompe:		
			Durée pompage $t_p$ (mn)		
Heure (jj:hh:mm)	Minute ( $t_r$ )	ND/rep (m)	Rabat (m)	$(t_p+t_r)/t_r$	Observations
	0	24.49	12.04		
	1	19.06	6.61		
	2	18.43	5.98		
	3	18.19	5.74		
	4	17.97	5.52		
	5	17.77	5.32		
	6	17.60	5.15		
	8	17.28	4.83		
	10	17.07	4.62		
	15	16.57	4.12		
	20	16.24	3.79		
	25	15.99	3.54		
	30	15.78	3.33		
	35	15.61	3.16		
	40	15.47	3.02		
	50	15.23	2.78		
1h	60	15.01	2.56		
	80	14.74	2.29		
	100	14.51	2.06		
2h	120	14.38	1.93		
	140	14.20	1.75		
	160	14.11	1.66		
3h	180	14.03	1.58		
	200	13.95	1.50		
	220	13.89	1.44		
4h	240	13.84	1.39		
	270	13.77	1.32		
5h	300	13.71	1.26		
	330	13.65	1.20		
6h	360	13.61	1.16		

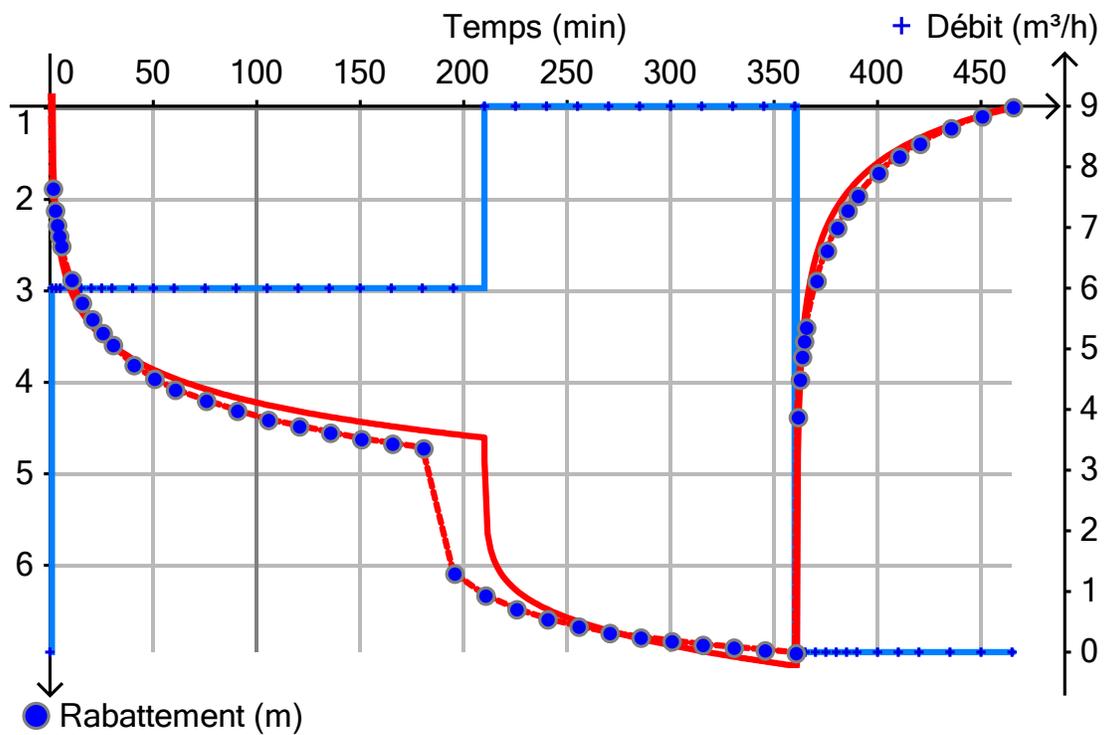


Figure: Essai de nappe Forage Tapoa Bata

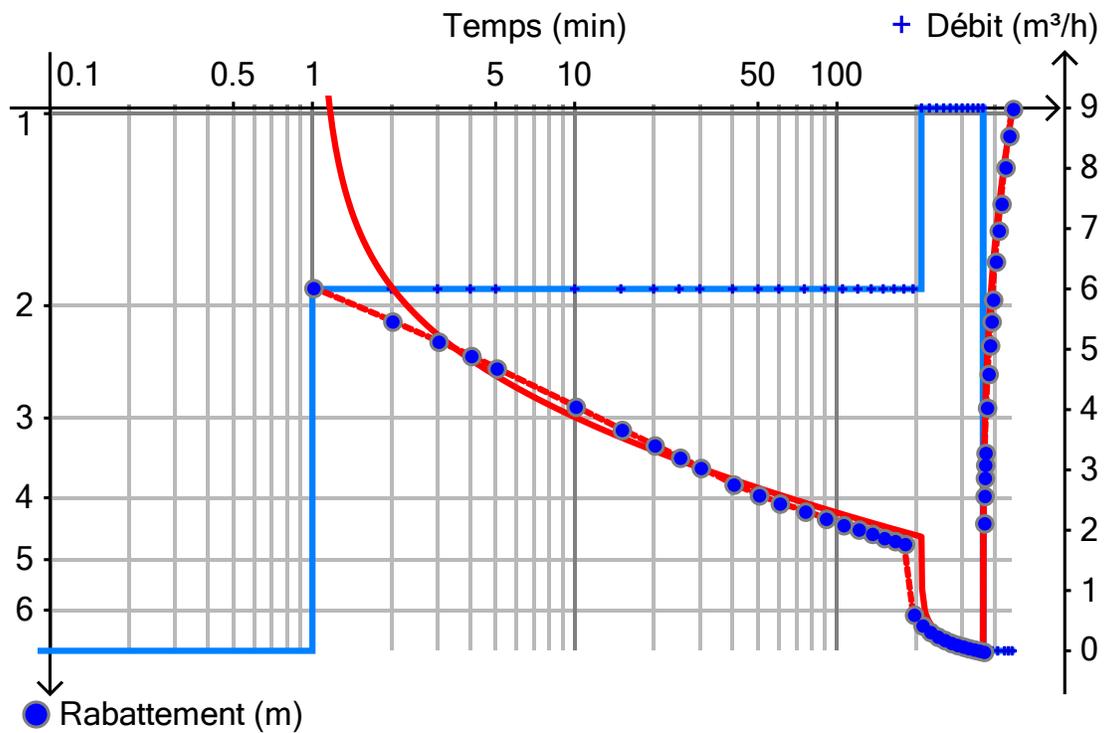


Figure :Essai de nappe Forage Tapoa Bata graphique logarithmique

**Tableau AE17 : Fiche de pompage, palier 1 (Tapoa Barrage)**

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné				Palier 1	
<b>Données administratives</b>					
Village:	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH: ALG-BID 28649			
Departement:	Say	Longitude (Est):			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord):			
<b>Données techniques</b>					
Type d'ouvrage:	Forage du site administratif	Profondeur forée (m): 66.05 m			
Altitude (m):		Diamètre (mm): 110 /125 mm			
NS/repère (m):	3.01	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):	0.73 m	Crépine 1 (supp.) haut :			
Date palier (jj/mm/aa):	15/10/2018	Crépine 2 haut :			
Heure palier (hh:mm):	18 h44	Cote pompe/sol (m): 36 m			
Piezo suivis (nombre):		Type pompe:			
		Débit "Moyen":	2.45		
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	3.01	0.00		
	1	6.99	3.98	2.45	
	2	7.60	4.59		
	3	8.15	5.14		
	4	8.56	5.55		
	5	8.81	5.80		
	6	9.00	5.99		
	8	9.25	6.24		
	10	9.40	6.39		
	15	9.86	6.85		
	20	9.83	6.82		
	25	9.93	6.92		
	30	10	6.99		
	35	10.11	7.10		
	40	10.13	7.12		
	50	10.31	7.30		
1h	60	10.4	7.39		

### Tableau AE18 : Fiche de pompage, palier 2 (Tapoa Barrage)

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné			Palier 2		
<b>Données administratives</b>					
NOM DU SITE	Parc W	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH: ALG BID 28649			
Departement:	Say	Longitude (Est): 02°30'24.7"			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord): 12 ° 26' 24.4"			
<b>Données techniques</b>					
Type d'ouvrage:	Forage du site administratif	Profondeur forée (m): 49.64			
Altitude (m): 97 m		Diamètre (mm): 110/140			
NS/repère (m):	3.01	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):	0.73	Crépine 1 (supp.) haut :			
Date palier (jj/mm/aa):	15/10/2018	Crépine 2 haut :			
Heure palier (hh:mm):	19 h 44 mn	Cote pompe/sol (m):			
Piezo suivis (nombre):		Type pompe: PVC			
		Débit "Moyen":		5.30	
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	10.40	7.39		
	1	14.27	11.26	5.30	
	2	16.14	13.13		
	3	17.43	14.42		
	4	18.42	15.41		
	5	18.89	15.88		
	6	19.28	16.27		
	8	19.91	16.90		
	10	20.14	17.13		
	15	20.7	17.69		
	20	20.99	17.98		
	25	21.25	18.24		
	30	21.48	18.47	5.25	
	35	21.68	18.67		
	40	21.86	18.85		
	50	22.04	19.03		
1h	60	22.21	19.20		

**Tableau AE19 : Fiche de pompage, palier 3 (Tapoa Barrage)**

Fiche de pompage d'essai par palier enchaîné				Palier 3	
<b>Données administratives</b>					
Village:	Parc W du Niger	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH:			
Departement:	Say	Longitude (Est):			
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord):			
<b>Données techniques</b>					
Type d'ouvrage:	Forage site administratif	Profondeur forée (m):	66.05		
Altitude (m):		Diamètre (mm):	110 / 140		
NS/repère (m):	3.01	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):		Crépine 1 (supp.) haut :			
Date palier (jj/mm/aa):	15 / 10 / 2018	Crépine 2 haut :			
Heure palier (hh:mm):	20h44	Cote pompe/sol (m):	36		
Piezo suivis (nombre):	0	Type pompe:			
		Débit "Moyen":			
Heure (jj:hh:mm)	Minute	ND/rep (m)	Rabat (m)	Débit (m3/h)	Observations
	0	22.21	19.20		
	1	26.70	23.69	7.67	
	2	26.03	23.02		
	3	27.60	24.59		
	4	28.14	25.13		
	5	29.40	26.39		
	6	29.59	26.58		
	8	29.93	26.92		
	10	30.16	27.15		
	15	30.58	27.57		
	20	30.88	27.87		
	25	31.13	28.12		
	30	31.35	28.34		
	35	31.56	28.55	7.35	
	40	31.78	28.77		
	50	32.12	29.11		
1h	60	32.4	29.39		

**Tableau AE20: Fiche de pompage, descente longue durée (Tapoa Barrage)**

Fiche de pompage d'essai longue durée ,pompage						
Données administratives						
Village:				Indice:		
Commune:				No IRH:		
Departement:				Longitude (Est):		
Region:				Latitude (Nord):		
Données techniques						
Type d'ouvrage:	Forage du site administratif	Profondeur forée (m):	66.05			
Altitude (m):		Diamètre (mm):				
NS/repère (m):	3.01	Equipement:				
Niveau repère/sol (m):		Crépine 1 (supp.) haut :		Bas:		
Date descente (jj/mm/aa)	15/10/2018	Crépine 2 haut :				
Heure descente (hh:mm)	23 h 00	Cote pompe/sol (m):	36	Sous rep.:		
Piezo suivis (nombre):	0	Type pompe:				
Heure (jj:hh)	Minute (tr)	ND/rep	Rabat	Débit (m3/h)	Observations	
	0	3.01	0			
	1	10.93	7.92	4.2		
	2	13.06	10.05			
	3	14.4	11.39			
	4	15.27	12.26			
	5	15.84	12.83			
	6	16.29	13.28			
	8	16.76	13.75			
	10	17.07	14.06			
	15	17.54	14.53			
	20	17.82	14.81			
	25	17.99	14.98			
	30	18.13	15.12			
	35	18.24	15.23			
	40	18.42	15.41			
1h	50	18.58	15.57			
	60	18.69	15.68	4.1		
	80	18.92	15.91			
	100	19.17	16.16			
2h	120	19.32	16.31			
	140	19.53	16.52			
	160	19.66	16.65			
3h	180	19.78	16.77			
	200	19.92	16.91			
	220	20.02	17.01			
4h	240	20.13	17.12			
	270	20.25	17.24			
5h	300	20.38	17.37			
	330	20.5	17.49			
6h	360	20.61	17.6			
	390	20.7	17.69			
7h	420	20.81	17.8			
	450	20.9	17.89			
8h	480	20.95	17.94			
	510	21.02	18.01			
9h	540	21.11	18.1	4.27		
	570	22.2	19.19			
10h	600	22.25	19.24			
	630	21.32	18.31			
11h	660	21.36	18.35	4.22		
	690	21.44	18.43			
12h	720	21.5	18.49			

**Tableau AE21: Fiche de remontée après descente longue durée (Tapoa Barrage)**

Fiche de pompage d'essai longue durée - remontée					
Données administratives					
Nom du Site	Parc W du Niger	Indice:			
Commune:	Tamou	No IRH:	28647		
Departement:	Say	Longitude (Est):	002°24'56.9"		
Region:	Tillabéri	Latitude (Nord):	12°28'0.90"		
Données techniques					
Type d'ouvrage:	Forage administratif	Profondeur forée (m):	66.05		
Altitude (m):	232	Diamètre (mm):	110/125		
NS/repère (m):	3.01	Equipement:			
Niveau repère/sol (m):	0.5	Crépine 1 (supp.) haut :		Bas:	
Date remontée (jj/mm/aa)	16/10/2018	Crépine 2 haut :			
Heure remontée (hh:mm)	11h 00	Cote pompe/sol (m):	36	Sous rep.:	
Piezo suivis (nombre):	0	Type pompe:	Franklin, triphasée		
		Durée pompage $t_p$ (mn)			
Heure (jj:hh:mm)	Minute ( $t_r$ )	ND/rep (m)	Rabat (m)	$(t_p+t_r)/t_r$	Observations
	0	21.50	18.49		
	1	13.05	10.04		
	2	12.30	9.29		
	3	11.43	8.42		
	4	10.64	7.63		
	5	10.45	7.44		
	6	10.15	7.14		
	8	9.75	6.74		
	10	9.45	6.44		
	15	8.92	5.91		
	20	8.53	5.52		
	25	8.27	5.26		
	30	8.02	5.01		
	35	7.81	4.80		
	40	7.63	4.62		
	50	7.21	4.20		
1h	60	7.00	3.99		
	80	6.50	3.49		
	100	6.11	3.10		
2h	120	5.82	2.81		
	140	5.52	2.51		
	160	5.29	2.28		
3h	180	5.07	2.06		
	200	4.88	1.87		
	220	4.72	1.71		
4h	240	4.57	1.56		
	270	4.35	1.34		
5h	300	4.18	1.17		
	330	4.02	1.01		
6h	360	3.88	0.87		
	390	3.74	0.73		
7h	420	3.62	0.61		

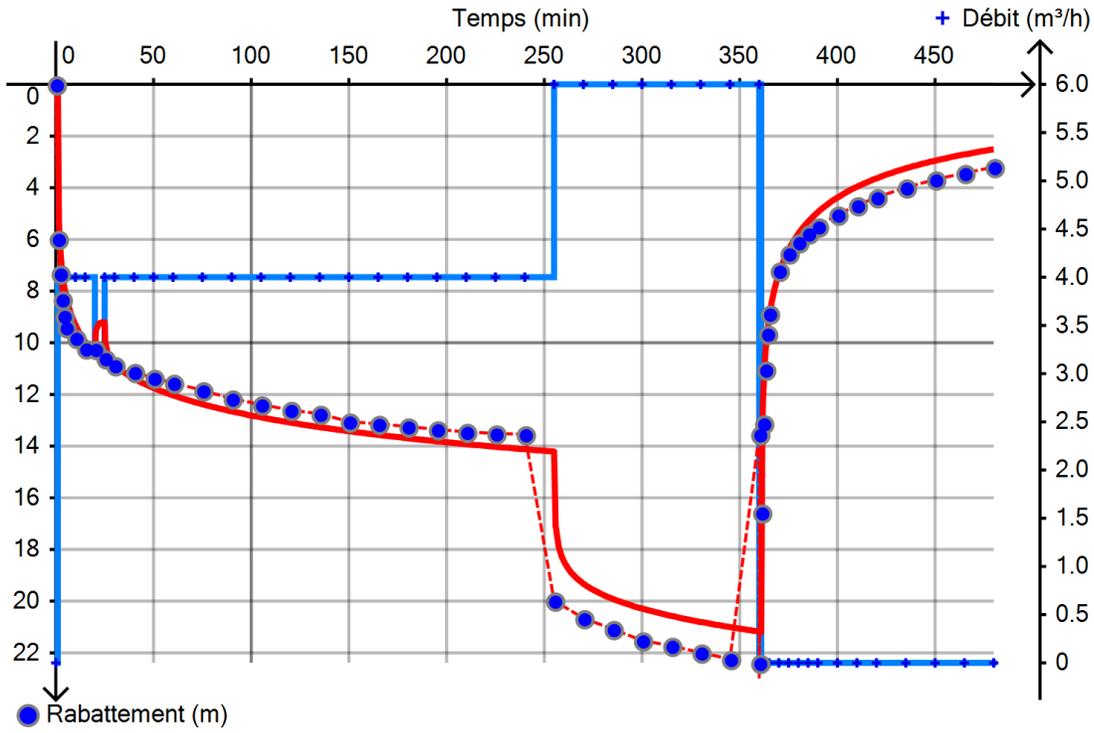


Figure 3: Essai de nappe -Forage Tapoa Barrage

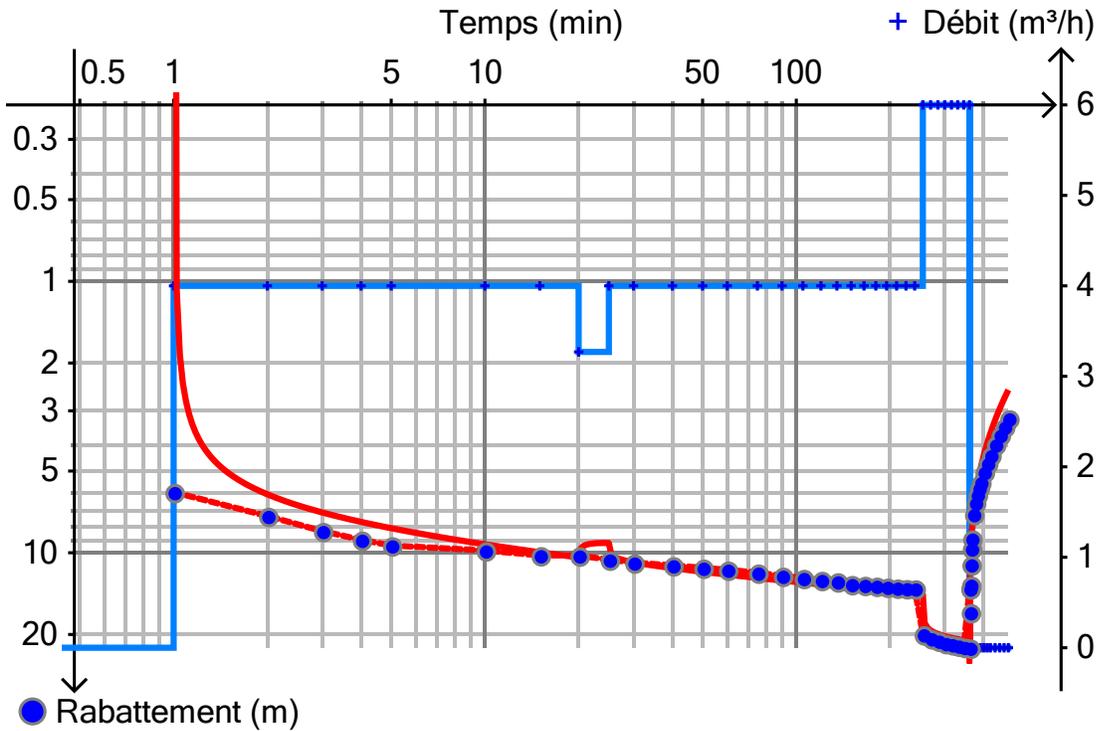


Figure: Essai de nappe Forage Tapoa Barrage graphique logarithmique

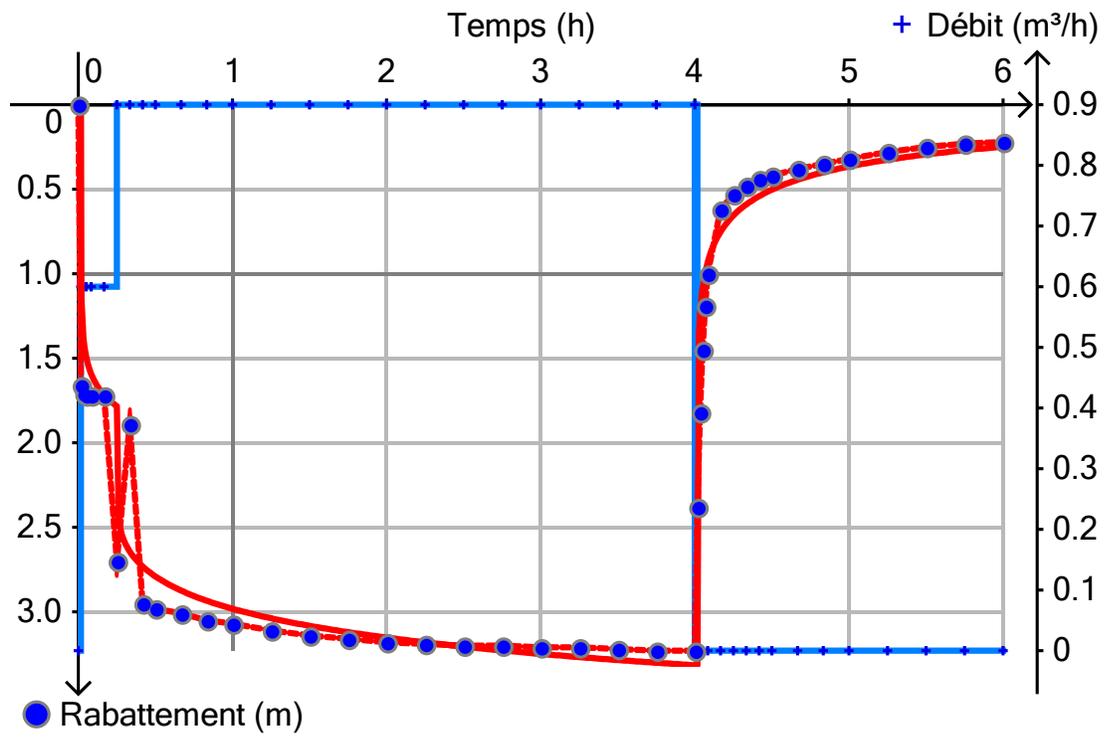


Figure 4: Essai de nappe -Forage Tapoa Gourfandou

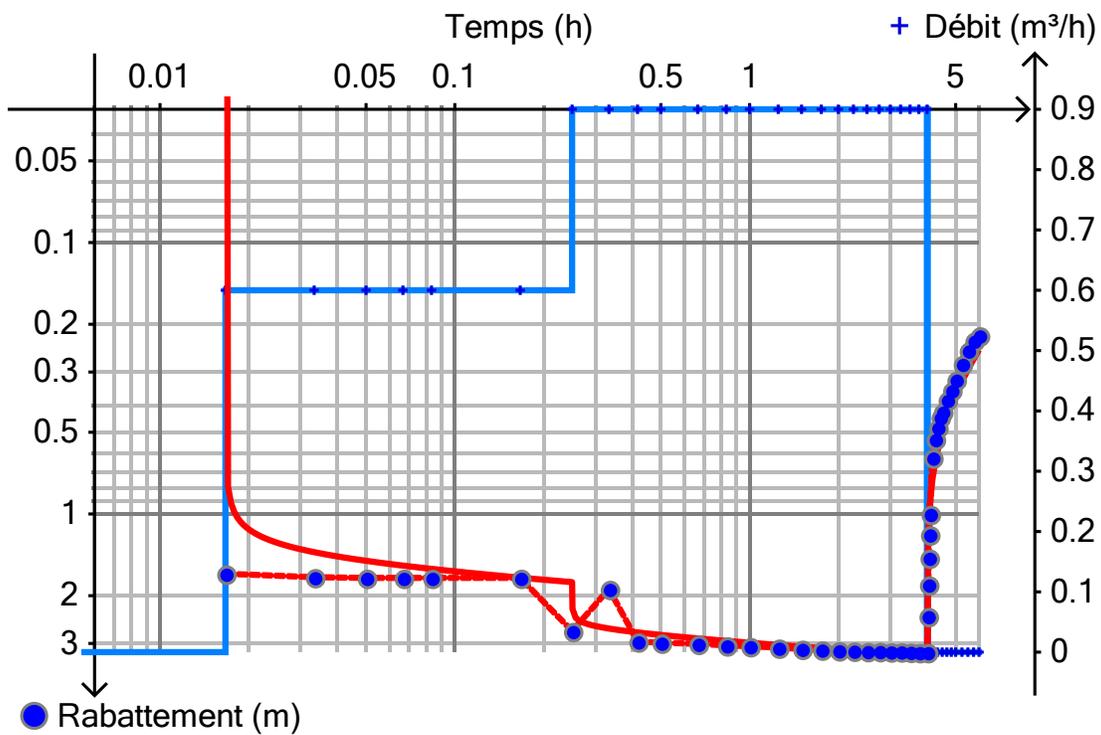


Figure 5: Essai de nappe Forage Tapoa Gourfandou graphique logarithmique

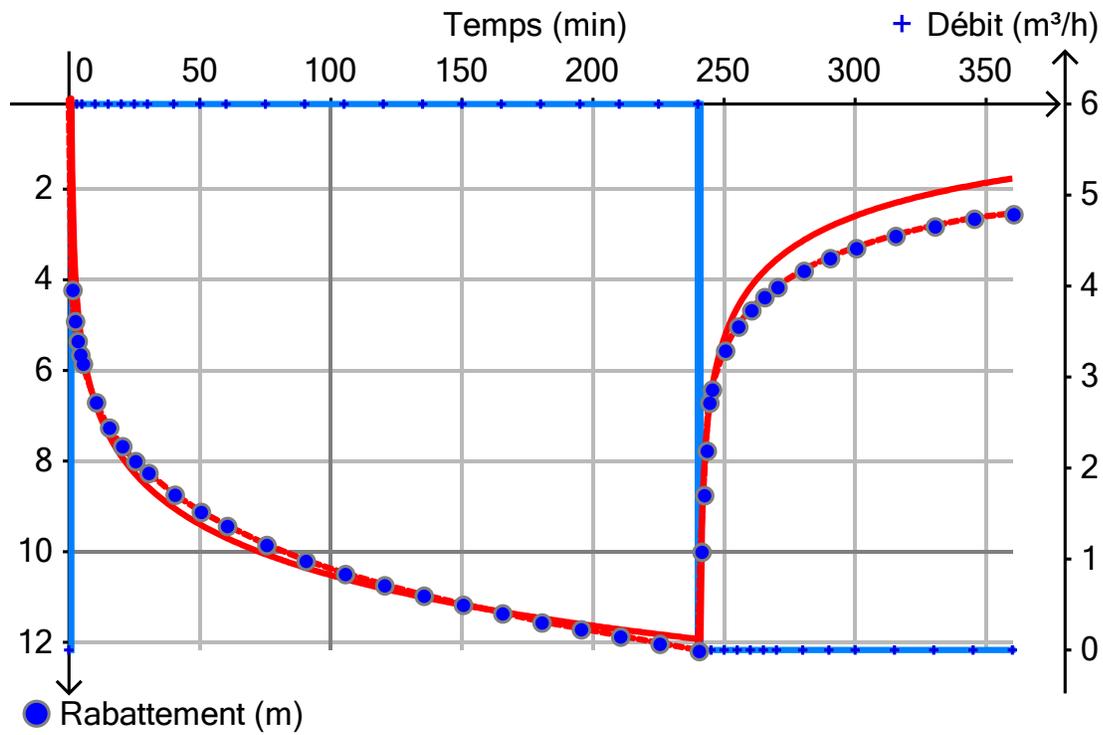


Figure 6: Essai de nappe forage Tapoa Fomboni

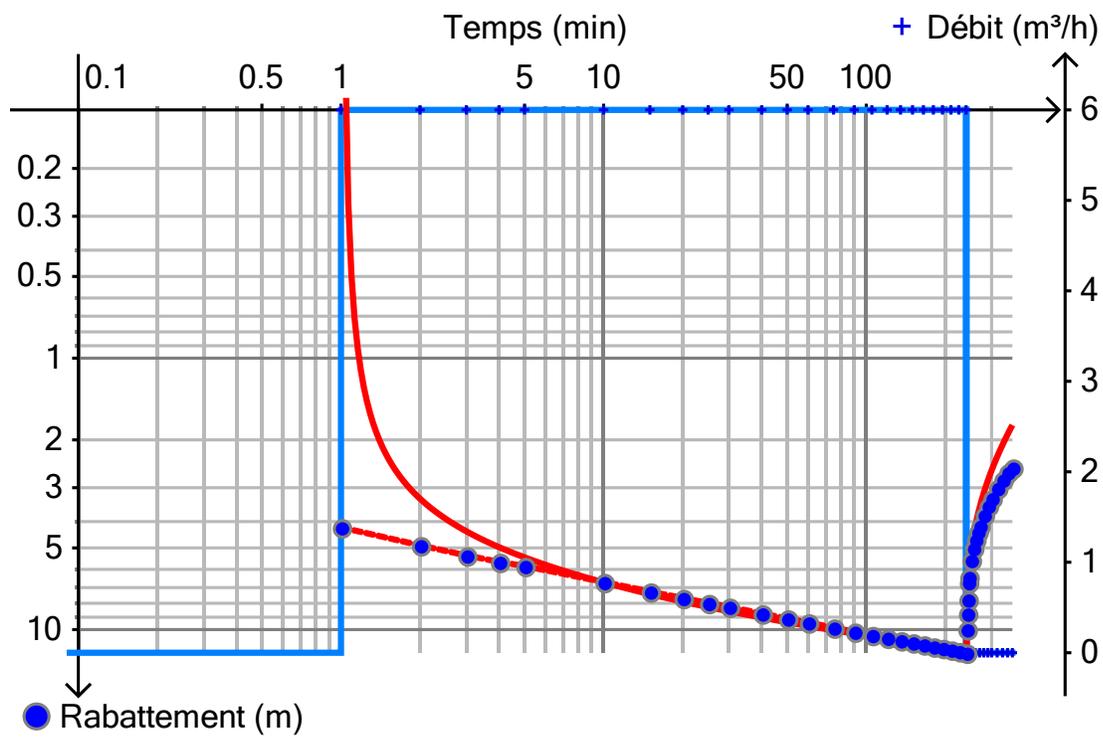


Figure 7: Essai de nappe Forage Tapoa Fomboni graphique logarithmique

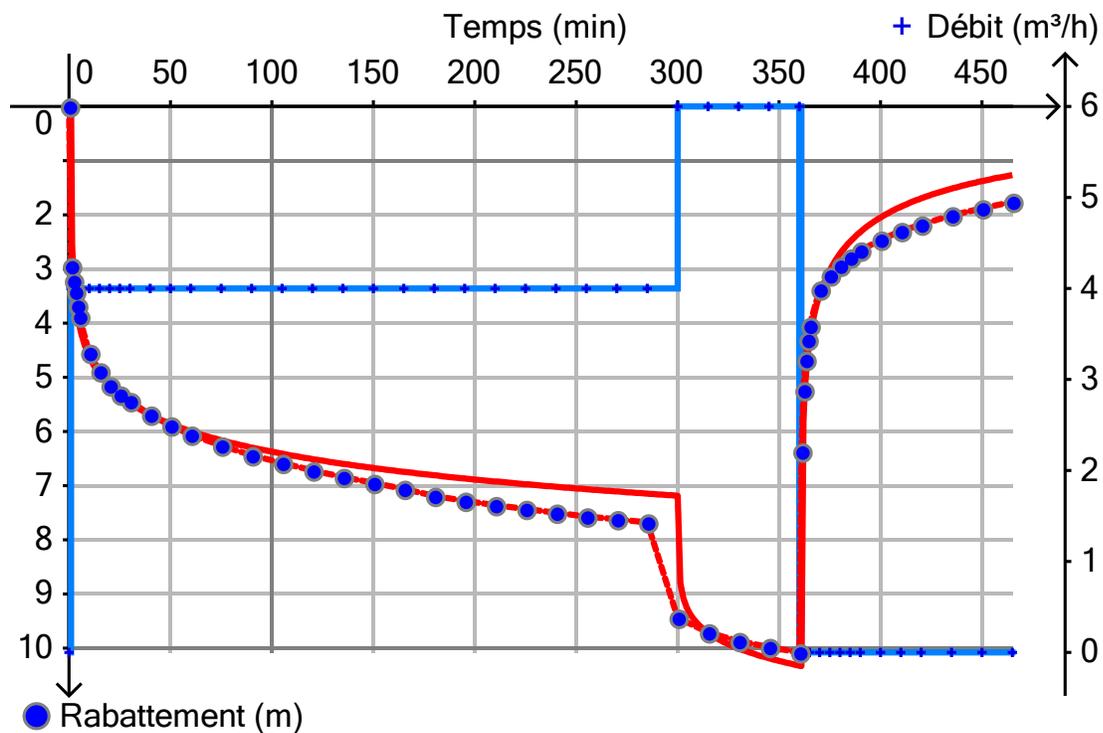


Figure 8: Essai de nappe Forage Tapoa Pérélegou

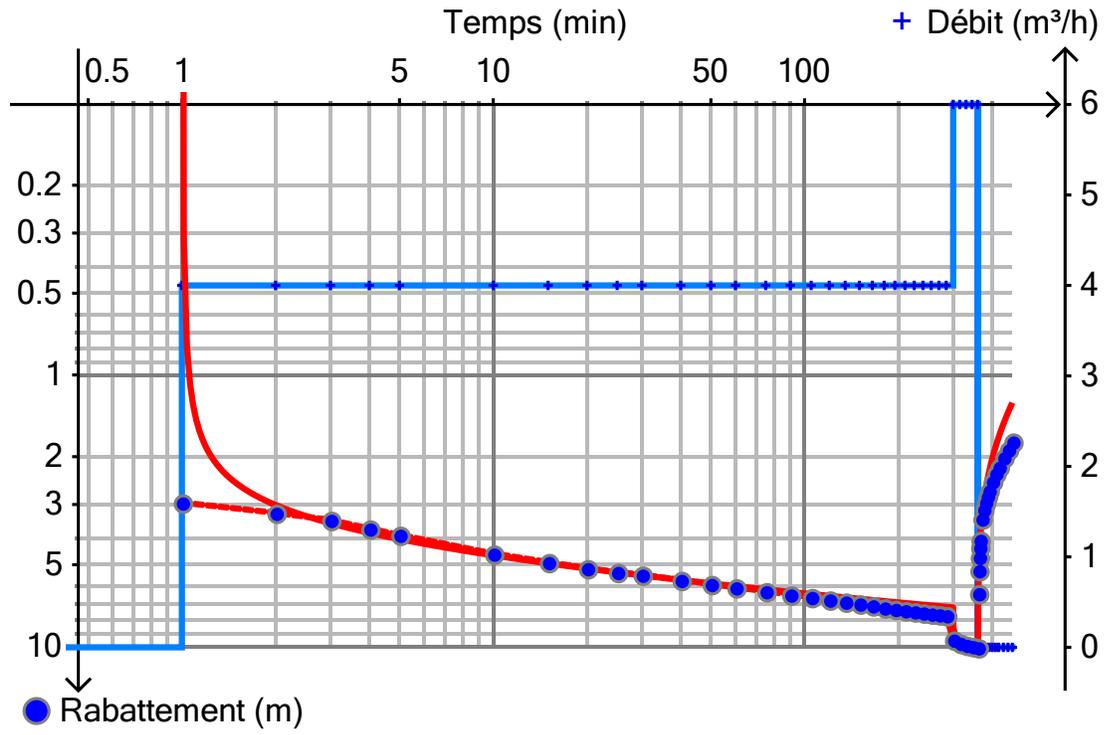
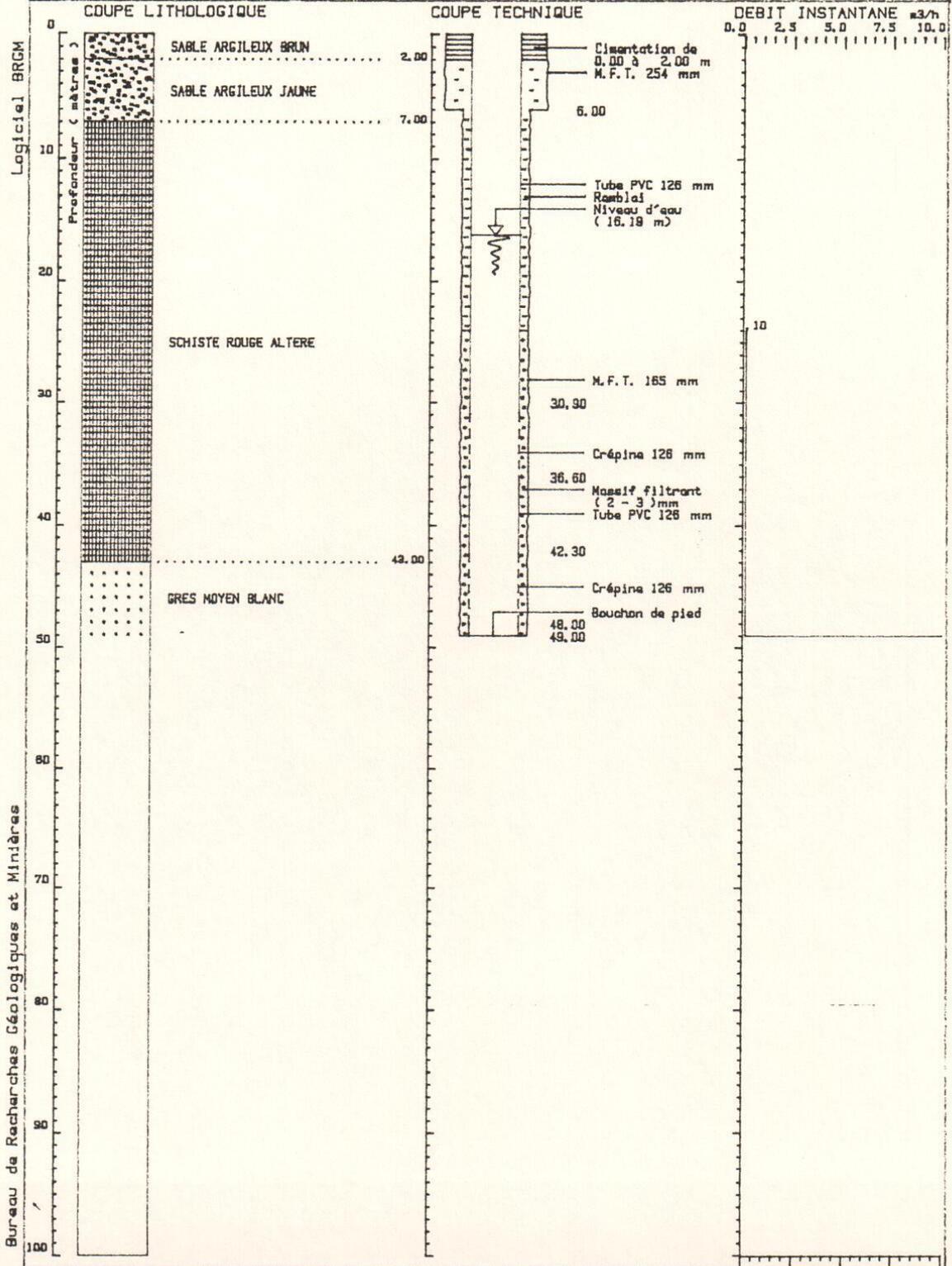


Figure 9: Essai de nappe Forage Tapoa Pérélegou graphique logarithmique

## **ANNEXE 4 : FICHES DES FORAGES**

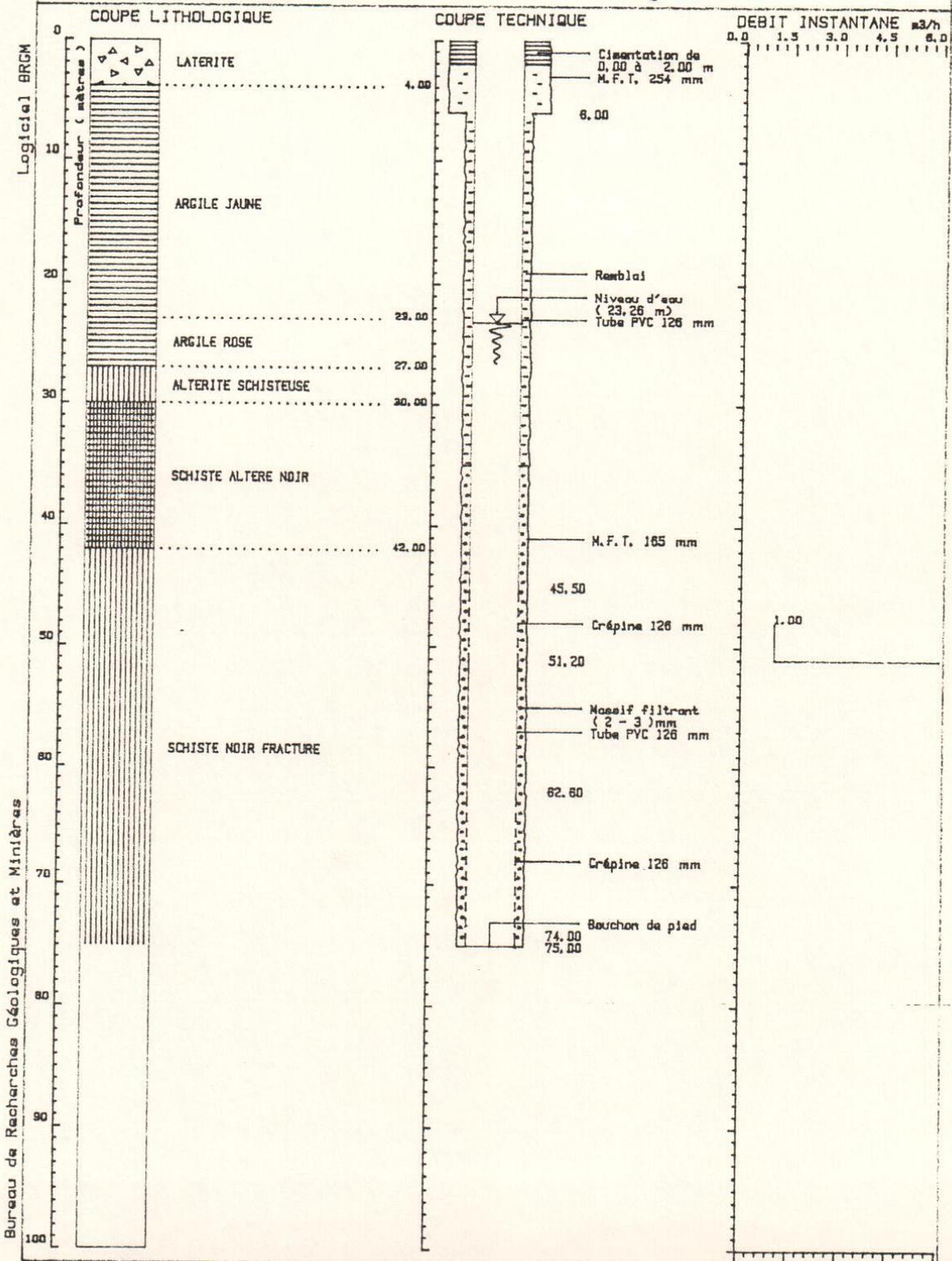
Arrondt. : SAY  
Village : TAPDA BATA

N° classement : 28649-  
Désignation : 4



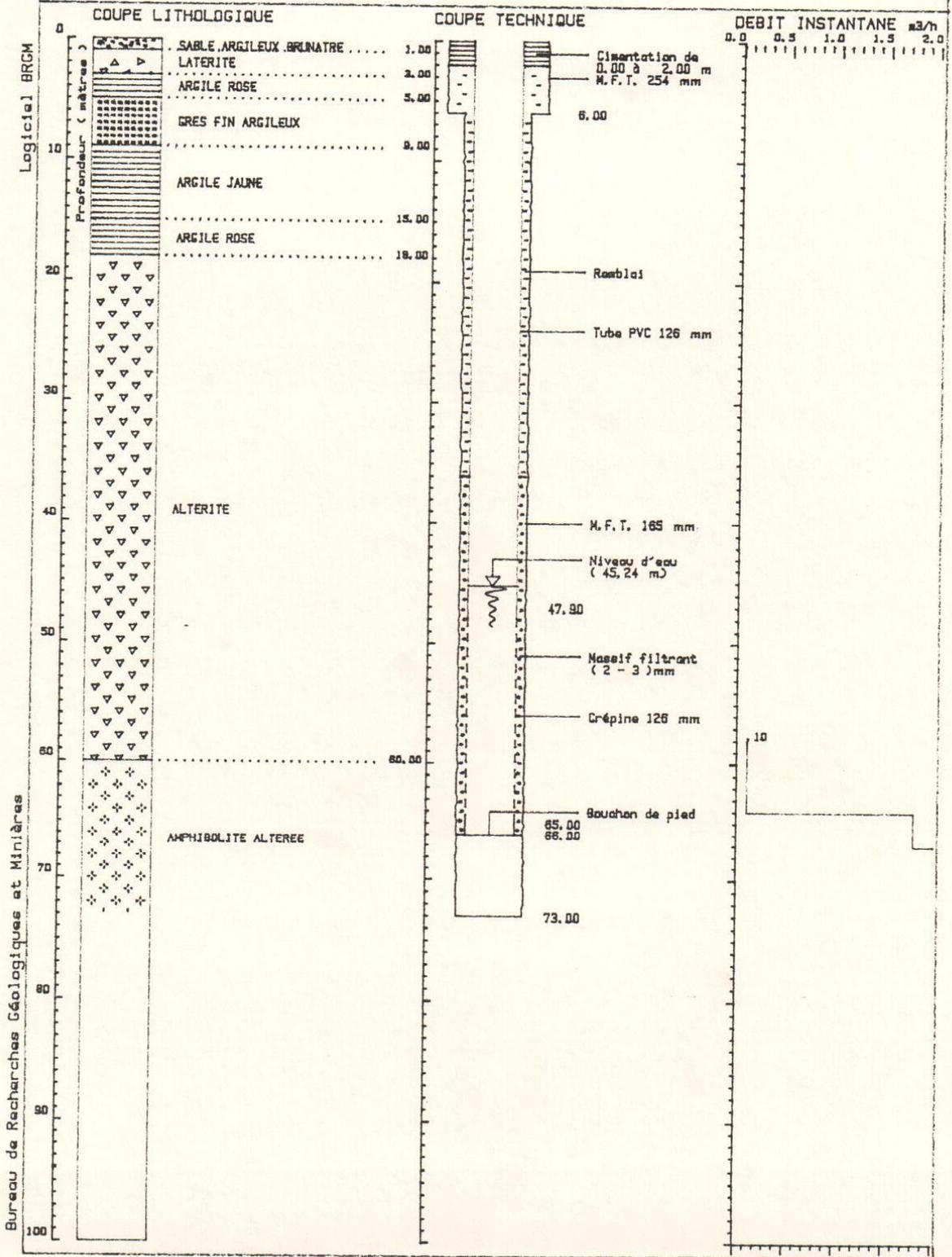
Arrondt. : SAY  
 Village : TAPDA FOMBONI

N° classement : 28651-  
 Désignation : 6



Arrondt. : SAY  
 Village : TAPDA GOURFANDOU

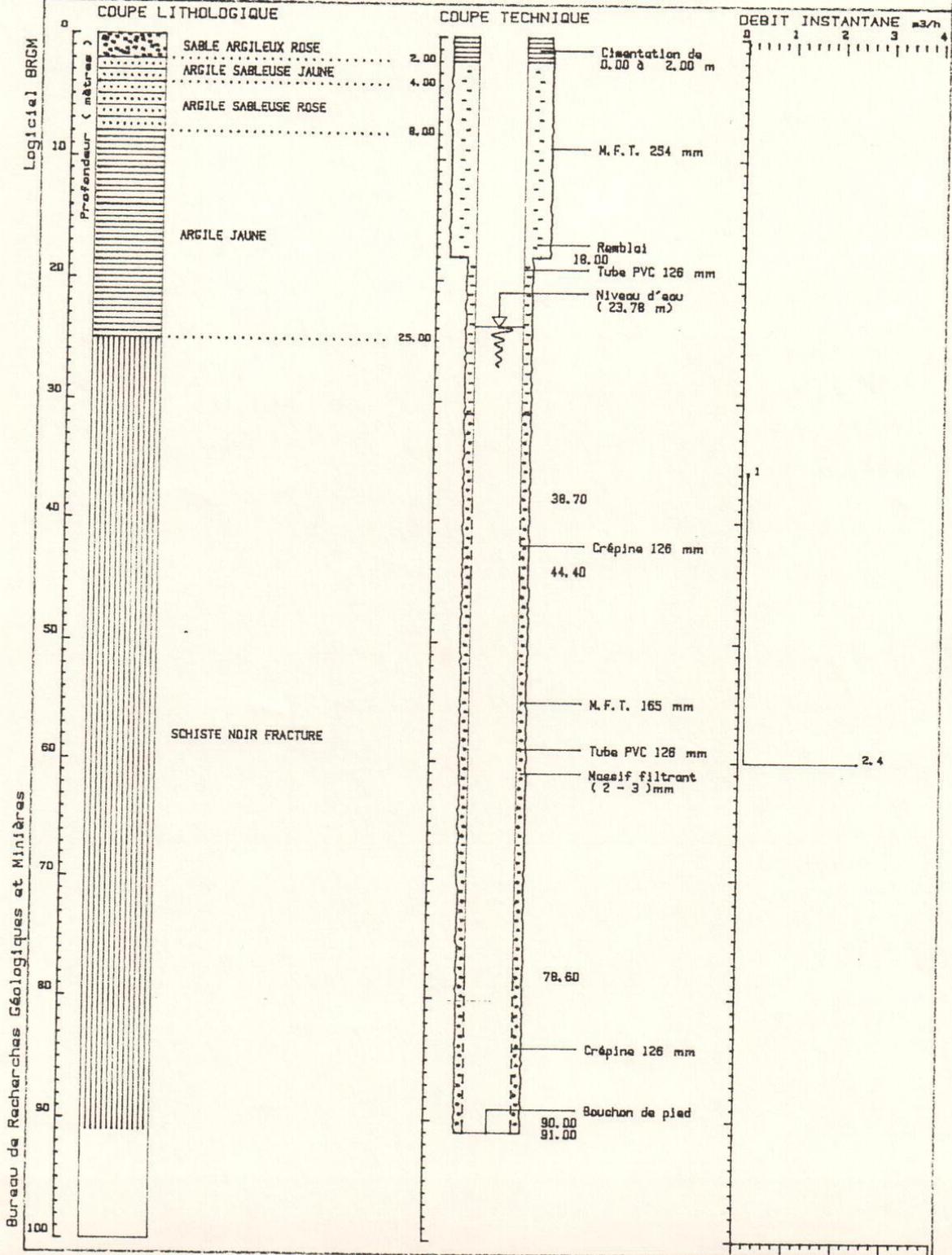
N° classement : 28652-





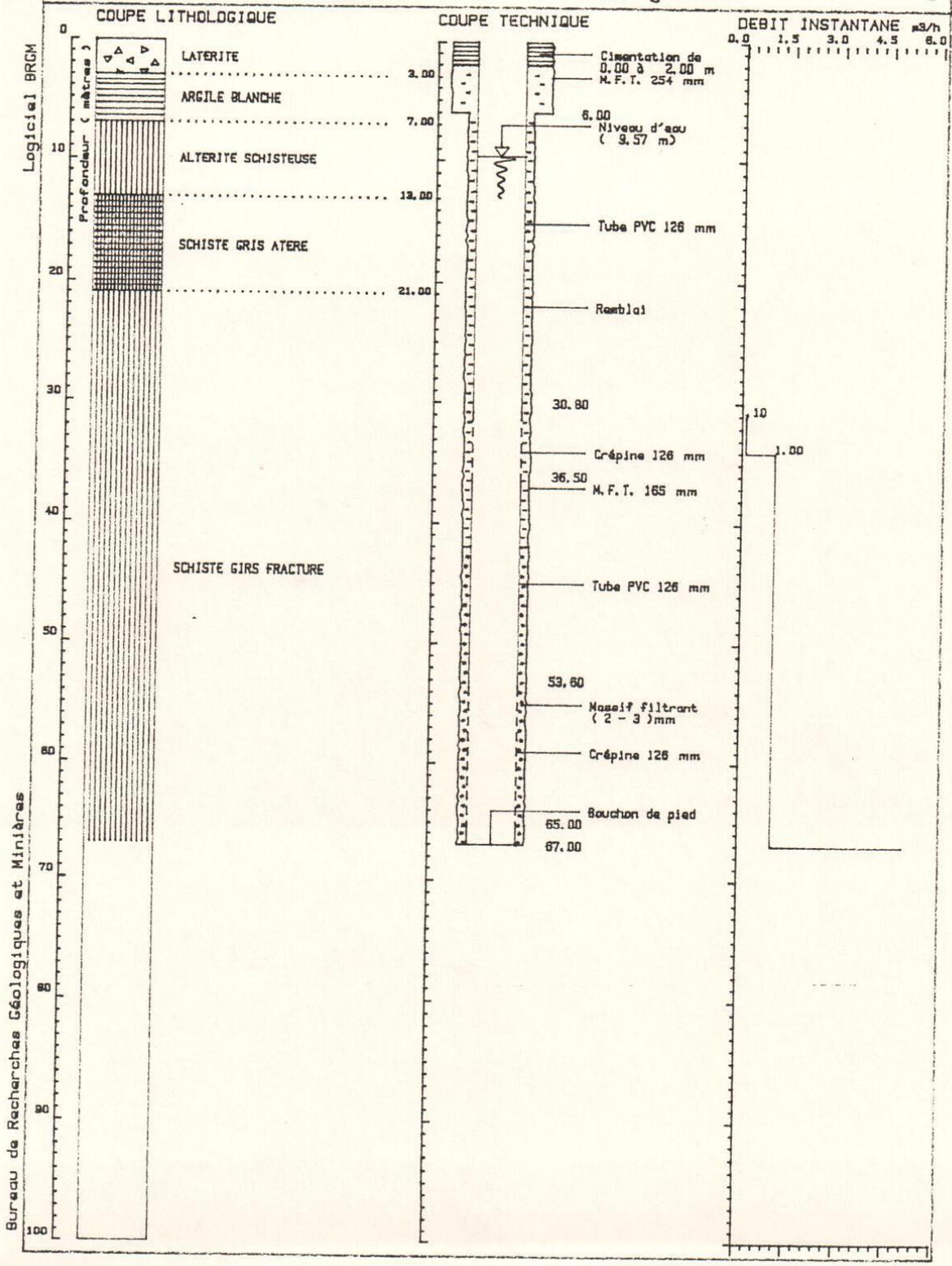
Arrondt. : SAY  
 Village : TAPOA MOUSSIEMOU

N° classement : 28648-  
 Désignation : 3



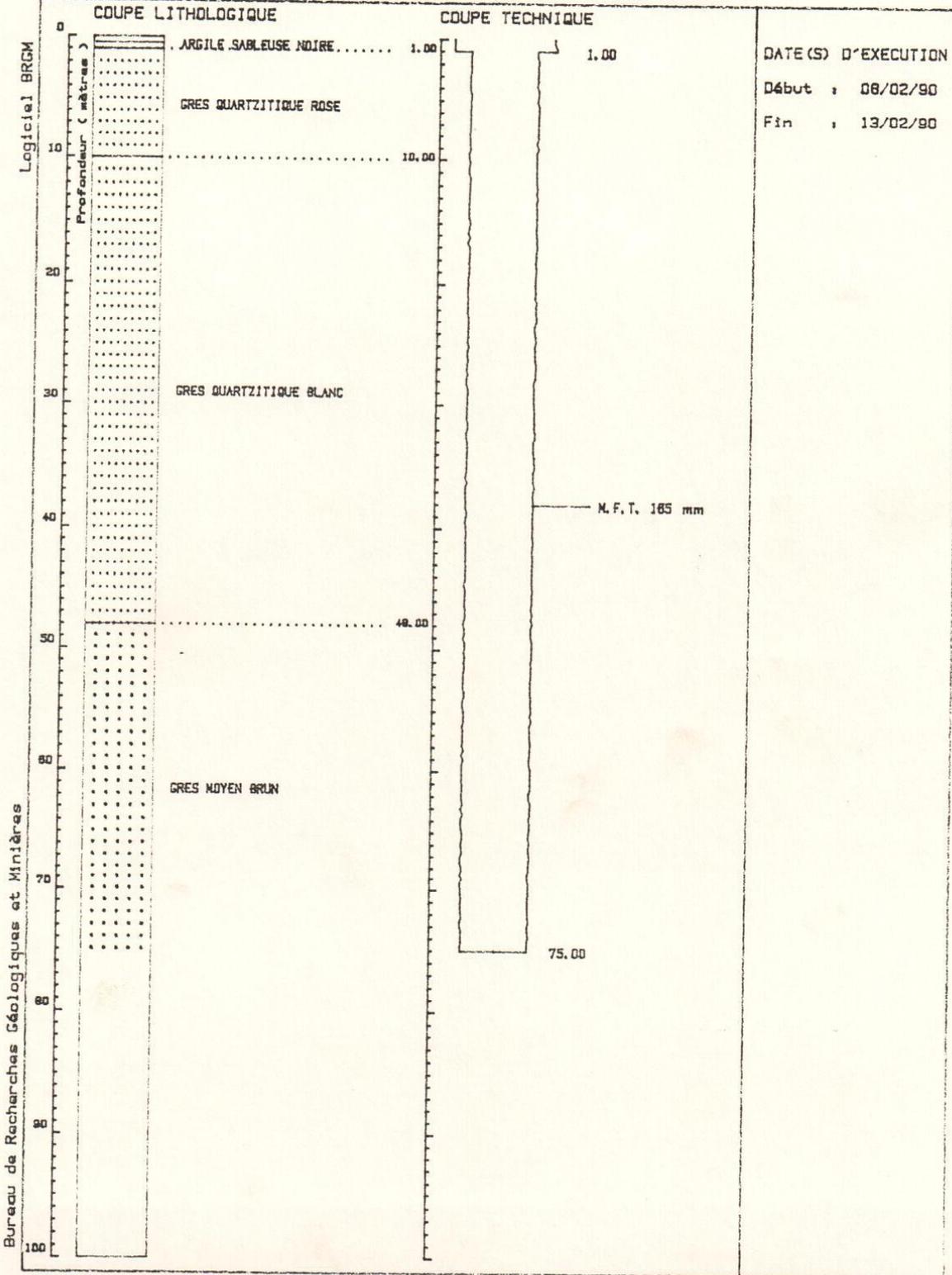
Arrondt. : SAY  
 Village : TAPOA PERELEGOU

N° classement : 28650-  
 Désignation : 5



Arrondt. : SAY  
Village : TAPDA VILLAGE

N° classement : 28646-  
Désignation : 1



# Table des matières

1. Introduction.....	2
2. Matériels et méthodes .....	3
A. Contexte naturel du parc .....	3
B. Estimation de la recharge .....	4
3. Résultats.....	8
A. Contexte naturel du parc .....	8
i. Localisation.....	8
ii. Géologie.....	8
iii. Topographie.....	9
iv. Climatologie .....	9
v. Hydrographie.....	10
vi. Hydrogéologie.....	11
vii. Pédologie .....	13
viii. Faune et flore .....	13
ix. Contexte anthropique.....	14
B. Estimation de la recharge .....	15
i. <i>Soil Moisture Balance</i> .....	15
ii. Calculs complémentaires.....	18
4. Interprétations.....	19
A. Calcul de la recharge .....	19
5. Conclusion.....	21

# 1. Introduction



Figure 1. Vue du fleuve Niger depuis le parc national du W (USGS/Grey Tappan).

Le parc national du W du Niger est l'un des parcs de préservation de la faune et de la flore les plus importants de tout le continent africain. Situé au Sud-Ouest du Niger, il s'étend sur plus de 2 200 km<sup>2</sup> soit environ un tiers de l'Ille-et-Vilaine (Figure 2). Son nom de « W » vient de la forme des méandres du fleuve Niger qui le borde au Nord (Figure 1). Zone préservée dès 1926, le parc fait aujourd'hui partie du complexe de parcs W-Arly-Pendjari, s'étendant sur plus de 16 000 km<sup>2</sup> à travers trois pays (UICN 2017). Par sa flore et sa faune tant terrestre, qu'aquatique et aérienne, d'une richesse et d'une préservation exceptionnelle, le parc du W du Niger est inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1996 (UICN 2017).

Diverses pressions pèsent sur l'intégrité écologique des lieux, principalement le braconnage et le déboisement, amplifié par un manque d'implication des villages aux alentours et un manque de moyens humains et matériels (UE/HPC 2008). Un des aspects primordiaux pour la préservation du parc est l'eau. Hormis le fleuve Niger au Nord, seule la rivière Mékrou, qui marque la frontière orientale, a un débit pérenne sur l'année. Au plus fort de la saison sèche, vers mars-avril, seuls quelques mares et points d'eau

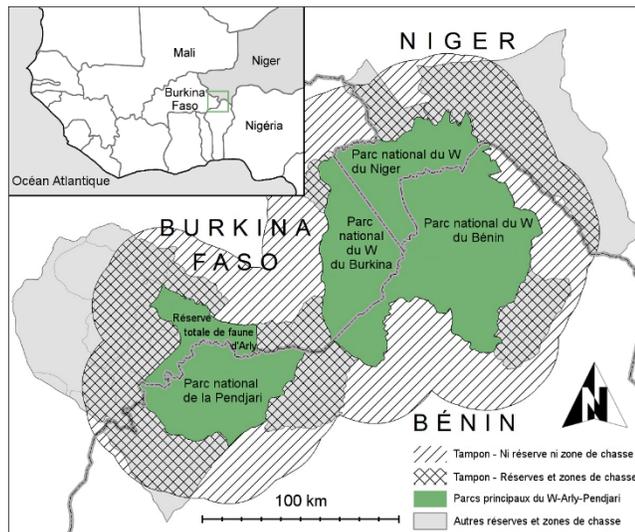


Figure 2. Carte de localisation du complexe WAP (Adapté de l'USGS).

alimentés par des résurgences souterraines subsistent (Oumarou 2011). Afin de retenir la faune, des mares artificielles et des forages ont été mis en place, mais cela ne suffit pas, et certains ne fonctionnent plus (Ango 2017). Le contexte hydrogéologique de la région est très mal connu. De plus, avec le changement climatique, les perspectives de pluie (et donc de stock d'eau souterraine) demeurent incertaines (e. g. Funk et al. 2012, Salack et al. 2016). Enfin, la croissance démographique très forte au Niger pourrait créer des risques pour la durabilité des aquifères (puits et forages) et leur qualité (eaux usées et bétail, UE/HPC 2008).

Pour mieux gérer la ressource, il a été mis en place un projet sous forme de thèse de doctorat, menée par Habsatou Ango, Nigérienne, codirigée par le Pr. René Lefebvre, de l'Institut National de la Recherche Scientifique à Québec, mon maître de stage, et le Pr. Boureima Ousmane, de l'université Abdou Moumouni de Niamey. Le projet cherche à établir le potentiel aquifère du parc du W, en faisant notamment un inventaire de la ressource en eau de la zone, évaluer les besoins de la faune, étudier la physique, la chimie et l'isotopie des eaux souterraines et améliorer le rendement des installations hydrauliques en place par des essais de pompage. La thèse n'en est qu'à ses débuts, et une des premières étapes consiste à établir une définition initiale du contexte hydrogéologique du parc, comprenant entre autres les aspects géologiques, hydrologiques, pédologiques, climatiques et écologiques. Cette définition est l'objet principal de ce stage. Une première estimation de la recharge sur la zone a également été établie grâce aux données collectées, combinée à des calculs complémentaires pour permettre une meilleure planification des études de terrain à venir.

## 2. Matériels et méthodes

### A. Contexte naturel du parc

Établir une définition initiale du contexte naturel consiste principalement en une synthèse bibliographique. Elle doit couvrir tous les domaines jouant un rôle sur le cycle de l'eau local, soit la géologie pour la matrice qui recevra les écoulements souterrains et de surface, la géomorphologie qui joue un rôle important dans l'orientation et la vitesse de ces écoulements, l'hydrogéologie pour les écoulements souterrains, l'hydrologie pour ceux en surface, la pédologie pour l'efficacité de la recharge au premier mètre sous la surface, la climatologie qui apporte les pluies et suscite de l'évapotranspiration, et l'écologie qui impacte la recharge par le prélèvement d'eau du sol et en surface et en modifiant le ruissellement. L'occupation des sols est également une donnée potentiellement utile de même que des informations sur le peuplement de la région, des flux et des activités. Avec les informations de ces différents domaines, il serait ainsi possible d'avoir une idée générale mais assez complète du contexte naturel et secondairement anthropique (pressions et menaces) du parc du W.

La première source de donnée visitée a été les sites institutionnels : ceux des organismes publics de recherche, des organisations internationales et de leurs programme d'aide au développement, les sites gouvernementaux du Niger. Une des difficultés principales a été de démêler la toile de programmes, de leurs financeurs, leurs « maîtres d'œuvre », les différents acteurs et d'identifier qui héberge l'information recherchée. Une part non négligeable du temps de recherche a donc été employée à identifier la hiérarchie bureaucratique et le rôle de chacun dans la production des données, si elles sont disponibles. Car un autre frein à la collecte des données a été l'accessibilité des données en ligne. Il est régulièrement arrivé que les

informations potentiellement intéressantes ne soient pas utilisables, parce qu'elles ne sont pas publiées en ligne (Cartes du BRGM), ou de façon parcellaire, ou encore d'une façon telle qu'elle rend leur exploitation en toute bonne foi fastidieuse (SIG en ligne inexportable, données climatiques brutes sans « notice »). À cela s'ajoute les habituels liens morts et dysfonctionnement des sites. En outre, les localités mentionnées dans les cartes et rapports ne sont pas toujours connues par les services de cartographie.

L'étape suivante a été de fouiller dans la littérature des thèses et des articles scientifiques des informations avec deux objectifs principaux : d'une part identifier des sources de données qui pourraient servir pour établir le contexte du bassin ou permettraient d'effectuer ou d'affiner les modélisations et calculs préliminaires ; d'autre part trouver des informations sur les spécificités conceptuelles de la zone, notamment des descriptions géologiques, des études sur le climat de la région ou encore des commentaires sur l'applicabilité de tels ou tels modèles ou méthodes à la géologie et au contexte hydro-climatique locaux.

La rareté de l'information oblige à examiner un grand nombre de documents pour en récupérer les bribes d'informations utiles qui y sont disséminées. Il a donc fallu étendre la recherche bibliographique à des sites étudiant les mêmes vastes formations mais rarement sous les mêmes latitudes (et donc climats) ou contexte d'occupation des sols, rendant la « transposabilité » de l'information au cas du parc plus ou moins limitée.

Malgré tout, à force de recherche, il a été possible de regrouper des informations en des quantités et une qualité qui permettent de dessiner le cadre naturel du site dans ses multiples aspects.

## B. Estimation de la recharge

L'estimation de la recharge s'est faite avec la technique de Bilan d'humidité du sol (*Soil Moisture Balance*) en utilisant l'évapotranspiration réelle de Penman-Montieth. Peu coûteuse, cette technique est particulièrement intéressante pour une première estimation de la recharge et de sa variabilité temporelle (Simmers *et al.* 1992). Elle a fait ses preuves dans un vaste projet hydrogéologique au Nord du Ghana (WRC/SNC-Lavalin/INRS, 2011). Cette méthode a été régulièrement employée en Afrique pour le climat soudano-sahélien qui s'applique au Parc (e. g. Riou 1975, Girard 1993, Ardoin-Bardin 2004). Elle y a été jugée plus efficace que la méthode plus simple de Thornthwaite (Lemoine 1972, Girard 1993, Ardoin-Bardin 2004) tout en demandant un volume de données et de paramètres relativement facilement obtainable ou au moins estimable. Edmunds et Walton (1975), mettent toutefois en doute la pertinence de la méthode de Penman à leur cas d'étude, qui a lieu dans un contexte plus aride et qui utilise des méthodes plus adaptées mais plus coûteuses (lysimètres).

Il a été réutilisé les feuilles de calcul ayant servi pour le projet au Ghana. Devant les nombreuses incertitudes des paramètres et d'adaptation des variables, plusieurs configurations ont été calculées. Deux utilisant les moyennes climatiques mensuelles (calculées à partir des chroniques journalières), l'une avec

les paramètres et les variables les moins favorables à la recharge, l'autre avec les plus favorables. Quatre utilisant les données climatiques journalières et des conditions de recharge moyennement favorables, deux pour des années plus sèches, deux pour des années plus humides. Dans tous les cas, seules les données postérieures à 1994 ont été utilisées car elles correspondent à la tendance climatique actuelle (voir la section 3. A. iii. Climatologie). Les paramètres nécessaires sont les suivants. Une description plus complète se trouve en annexe.

Albédo : l'albédo a été établi à partir des mesures de MODIS. Deux cartes ont été étudiées, l'une en saison sèche (janvier), l'autre en saison humide (août) pour l'année 2016 (Figure 3). La valeur d'albédo appliquée est de 0,73 en saison sèche et 0,75 en saison humide sauf pour les calculs de recharge quotidienne où 0,74 a été appliqué toute l'année.

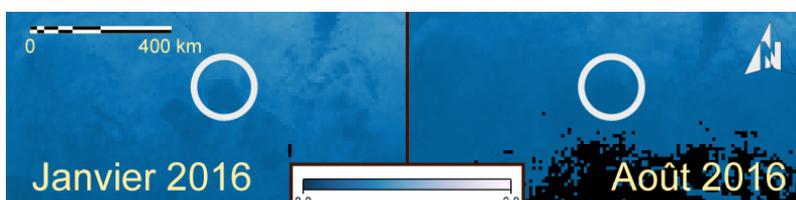


Figure 3. Cartes d'albédo dans la région du parc, encerclée. (NASA)

Hauteur des cultures : La hauteur de la végétation (savane arbustive principalement) a été arbitrairement réglée à 40 ou 80 cm selon les cas.

La capacité calorifique du sol (*Soil heat capacity*), la hauteur des mesures météo et la résistance stomatale brute (*Bulk stomatal resistance*) ont été laissées par défaut.

Les variables nécessaires sont les suivantes (plus de détails en annexe). Les chroniques de cinq stations météorologiques ont été exploitées (Figure 4).

Températures et précipitations : Pour la recharge minimale, la valeur de température utilisée est établie à partir de la moyenne pondérée des calculs des normales mensuelles établies par le logiciel WHAT<sup>1</sup> (Gosselin, 2016), sur la période 1994 - 2016 : les chroniques climatiques journalières ayant des trous, elles ont été complétées, pour chaque station, à partir des données des autres stations selon la méthode d'estimation des moindres déviations (*least absolute deviation*).

---

<sup>1</sup> Le logiciel libre Well Hydrograph Analysis Toolbox a été conçu par Jean-Sébastien Gosselin, ancien doctorant à l'INRS.

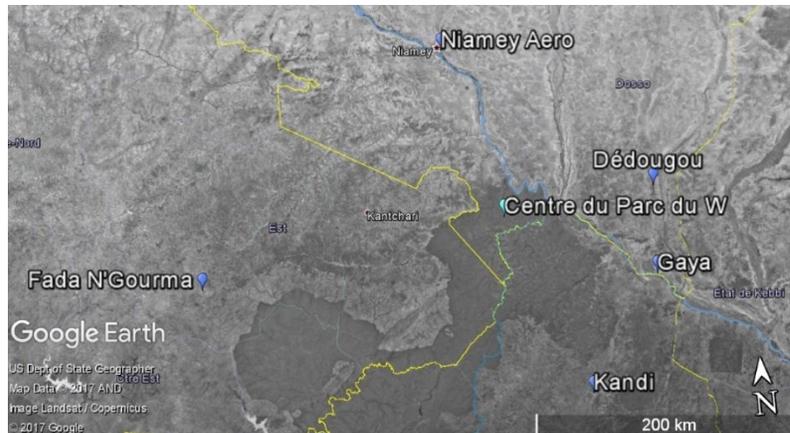


Figure 4. Localisation des stations météorologiques utilisées.

Humidité relative : Les données d'humidité relative sont celles de la station de Gaya mais disponibles sur la période 2010 – 2016 seulement. Pas de temps infra-quotidien. La même valeur a été appliquée pour la variable d'humidité relative minimale et maximale.

Heures d'ensoleillement : Les données proviennent également de la station de Gaya mais n'étaient disponibles qu'au pas de temps mensuel.

Vitesse des vents : Mesurée entre 10 et 12 m au-dessus du sol. Les données ont été recalculées à 2 m selon une formule trouvée dans un document de la Société géographique royale du Canada.

Ruissellement : Le ruissellement est l'entrée la plus incertaine. La littérature donne une large gamme de valeurs, allant de 0,1 % à 35 %. Le ruissellement dépend de nombreux facteurs qui varient de façon importante d'un site d'étude à l'autre. Des calculs supplémentaires ont été effectués pour estimer grossièrement le ruissellement sur le parc (voir la section « Résultats »). Une valeur moyenne déduite de 10 % a été appliquée.

Des calculs complémentaires ont été effectués pour vérifier la cohérence des résultats notamment l'évaluation du potentiel d'évapotranspiration à la surface de la rivière Mékrou ou l'étude de la réactivité du débit aux pluies ponctuelles :

#### Évapotranspiration de la Mékrou :

La longueur de la rivière a été trouvée dans la littérature, la largeur moyenne de la Mékrou a été établie en effectuant une série de mesures (quelques centaines) avec Google Earth. Cette largeur est assez incertaine de par l'incertitude de la mesure, estimée à +/- 2m, la représentativité des mesures semble toutefois correcte vu le nombre de mesures réalisées (898) et enfin le fait que les photos exploitées ont certes

été en grande majorité prises pendant la saison sèche mais à des années différentes. Or, il y a une grande variabilité des précipitations, et donc des écoulements de surface et de la largeur du lit de rivière, d'une année à l'autre.

#### Débit de base de la Mékrou :

Deux jeux de données ont été analysés : les données de débit à la station de *Kompongou*, en amont, juste à l'entrée du parc, et les données de la station *Barou Aval*, proche de l'embouchure sur le fleuve Niger.

Un travail de filtrage a été réalisé. Tout d'abord, seule la période 1994 – 2016 a été considérée, correspondant à la période climatique actuelle d'augmentation des précipitations annuelles. Ensuite, pour chaque station, seules ont été conservées les années quasi-complètes ou dont les trous n'empêchent pas la détermination du débit d'étiage. Un débit de base a alors été calculé. Enfin, un deuxième débit de base a été estimé en ne tenant compte cette fois que des années exploitables communes aux deux stations sont utilisées dans les calculs.

Pour le calcul du débit de base en lui-même, des recherches bibliographiques ont indiqué qu'une analyse précise aurait requis des outils statistiques lourds demandant des logiciels et un savoir-faire spécifiques (Pfaunder *et al.* 2011). Une alternative plus rapide et facile a été appliquée en calculant la moyenne mobile sur 5 jours. Pour chaque année ayant passé le filtrage, la moyenne mobile minimale de débit a été extraite puis moyennée aux moyennes mobiles des autres années.

Coefficient de ruissellement : le coefficient de ruissellement a été calculé en soustrayant la pluie totale (testée à 750, 850 et 950 mm/an) au débit moyen annuel sur 2006 – 2011 à l'embouchure de la Mékrou. L'ETP sur la Mékrou a été négligée ( $1/1000^e$  du débit).

Différence débit de la Mékrou – ETR : calculer cette différence permet d'identifier les périodes de débit de la rivière alimenté principalement par l'aquifère et les moments possibles de recharge. Les calculs ont été faits au pas de temps quotidien sur les années 2011, 2012 et 2014, années où les ETR quotidiennes ont été calculées. Le débit de la station aval a été soustrait au débit de la station amont, divisé par l'aire du bassin entre la station amont et la station aval. Enfin, l'ETR est soustrait au résultat.

# 3. Résultats

## A. Contexte naturel du parc

### i. Localisation

Le Parc national du W du Niger se trouve à environ 150 km au Sud-Est de la capitale Niamey, dans la région de Tillabéry (Figure 1). C'est le territoire le plus méridional du pays, en forme de triangle. Il partage sa frontière occidentale avec le Burkina Faso, délimité par la rivière Tapoa, et sa frontière orientale avec le Bénin, délimitée par la rivière Mékrou. Le parc s'étend sur 2 200 km<sup>2</sup> et est entouré de zones moins sévèrement protégées pour réduire les pressions anthropiques aux abords immédiats du parc.

### ii. Géologie

L'histoire géologique de la région (Figure 5) commence par le dépôt par la mer Voltaïque de schistes et de quartzites du Birrimien (Précambrien moyen, 3,8 – 2,5 Ga), intrudées de roches volcaniques (Ducellier 1953, Benoit 1998). L'enfouissement mène à la formation par endroits de roches vertes. Peu après la fin du Birrimien (2,1 Ga), un épisode tectonique plisse les couches et met en place par des intrusions granitiques et formation de migmatites intra- et péri-batholitiques : le socle du Liptako (Pons et al. 1995).

Une longue période de calme géologique permet une pénéplation du relief, la formation de plateaux et des dépôts sédimentaires dit « ensemble du Voltaïen » (1,1 Ga – 600 Ma), avec principalement des grès, des quartzites et des argiles (Bertrand et al. 1983, Obuobie 2008). Une seconde orogénie vers 600 Ma apporte par charriage les séries de l'Atacora et du Buem par l'Est, composées de schistes et de quartzites. Depuis, la région connaît un cuirassement de ses plateaux et des phénomènes d'érosion-dépôt (Ducellier 1953).

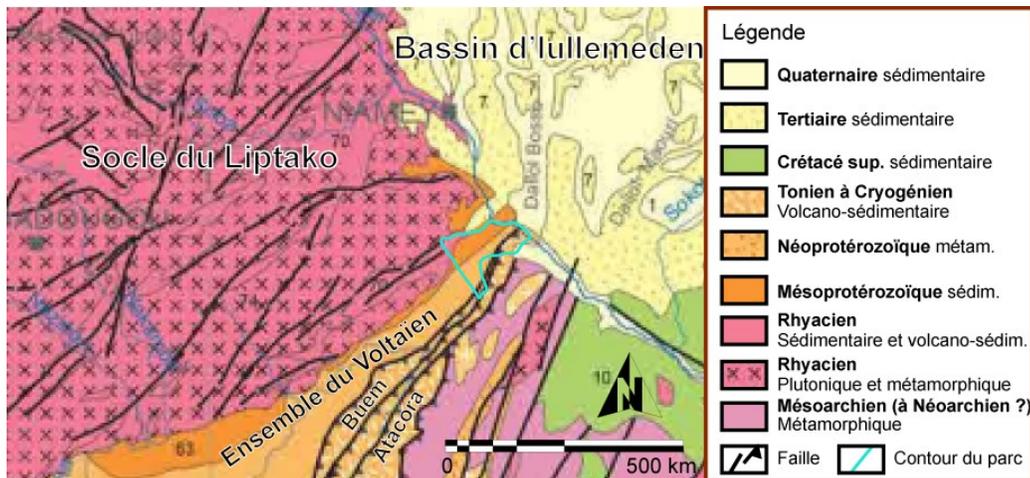


Figure 5. Détail de la carte géologique de l'Afrique. (BRGM 2016)

Les trois lithologies principales recouvrant le parc du W sont les grès, quartzites et argiles du Voltaïen inférieur, les argiles et tillites du Voltaïen moyen et au Nord-Ouest des schistes et des gneiss birrimiens (BRGM 1987, Benoit 1998). La carte du BRGM (2016) suggère moins de socle à l'Ouest que la littérature.

### iii. Topographie

L'altitude sur le site varie entre 200 m et 300 m ASL (Figure 6). Le paysage est dominé par des plateaux tabulaires rocheux et cuirassés, découpés par des vallées parfois abruptes (Benoit 1998). Le plateau principal du Parc s'élève à 250 m ASL, entaillé par des cours d'eau saisonniers et bordé par les vallées encaissées des plus grosses rivières qui descendent à environ 200 m ASL.

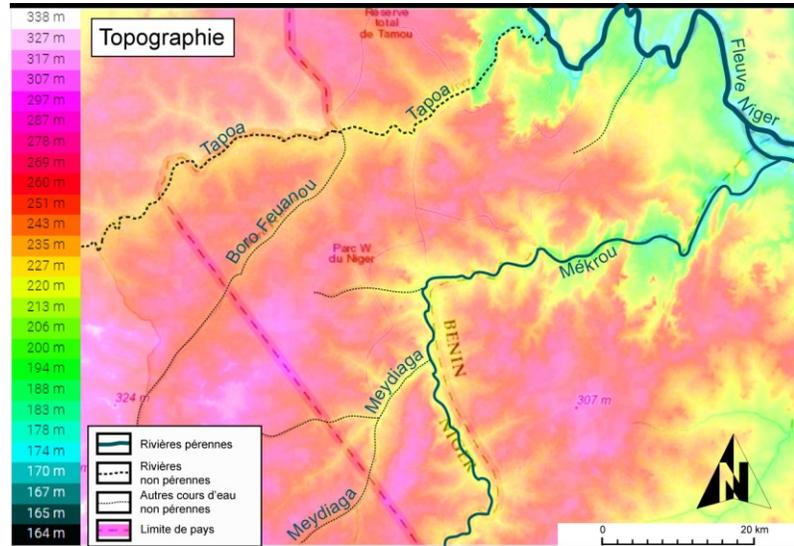


Figure 6. Carte topographique et du réseau fluvial principal du Parc du W. (NASA/topographic-map.com)

### iv. Climatologie

Le climat de la région, qualifié de « soudano-sahélien », est caractérisé par un mélange de stabilité et de variabilité dans le temps comme dans l'espace (Figure 7). Les températures restent relativement constantes tout au long de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année (moyenne 25,2 °C, minimale moyenne de 17,7 °C, moyenne maximale de 32,8 °C) et Avril est le mois le plus chaud (moyenne 33,1 °C, minimum 26,6 °C, maximum 32,8 °C, AQUASTAT/FAO). La déviation standard des températures annuelles est d'environ 0,5 °C (Funk et al. 2012).

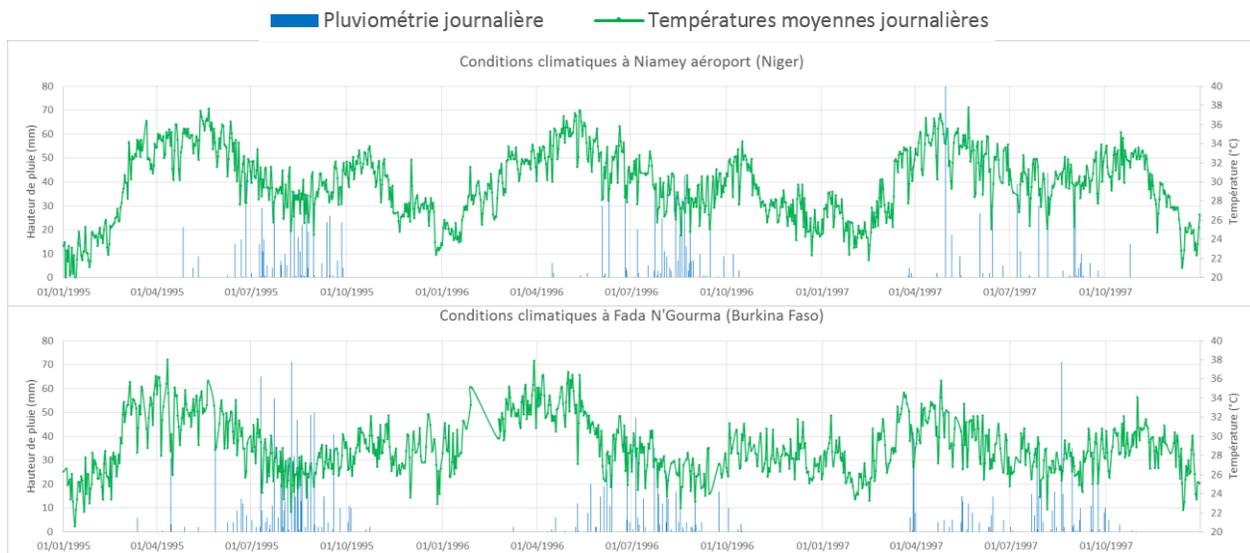
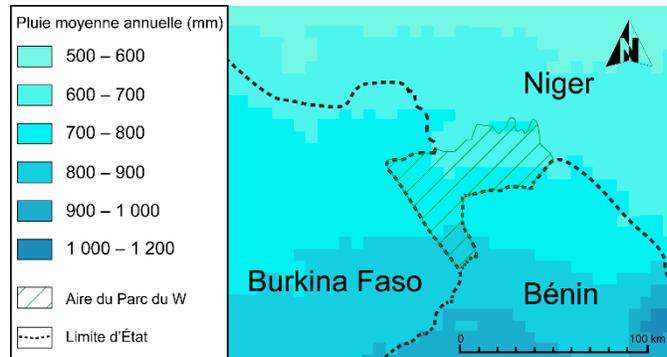


Figure 7. Comparaison des chroniques climatiques à Fada N'Gourma et Niamey. Si le schéma des températures est assez constant d'une année à l'autre, les précipitations sont, elles, beaucoup plus variables. Niamey est à une latitude 170 km plus au Nord. Source des données : NOAA

La plupart des précipitations ont lieu pendant la saison des pluies, de mai à septembre, avec une réduction de l'intensité à la mi-saison (AQUASTAT/FAO ; Hess *et al.* 1994 ; Funk *et al.* 2012). Ces pluies sont apportées par la mousson qui amène l'humidité depuis l'océan Atlantique (Ardoïn-Bardin 2004). Dans le Parc, les hauteurs précipitées vont de 600 – 700 mm dans un gros



tiers nord à 800 – 900 mm sur la pointe sud (Figure 8). Il y a une importante variabilité interannuelle des précipitations totale (Figure 7), probablement due aux circulations atmosphériques de grande échelle, à l'évapotranspiration et à la température de surface parmi d'autres paramètres (Hess *et al.* 1994). Une forte variabilité s'observe également spatialement, entre chaque station. Si les années 60 sont considérées comme humides, la période 1970 – 1990 est globalement en fort déficit, particulièrement dans les années 80 (Ardoïn-Bardin 2004). Les précipitations annuelles totales sont progressivement revenu à la normale depuis les années 90, avec un début de saison des pluies plus précoce et une fin plus tardive (Funk *et al.* 2012 ; Lawan *et al.* 2014). Dans un contexte plus régional, ce retour de de précipitations plus importantes est dominé par des saisons des pluies « hybrides », alternant des événements pluvieux plus intenses avec des événements plus chauds et plus secs (Salack *et al.* 2016).

#### v. Hydrographie

La rivière Mékrou, par son bassin versant de 10 690 km<sup>2</sup> (Amogu 2009), est la seule rivière avec le fleuve Niger à s'écouler à l'année, pourvu que l'année ne soit pas trop sèche (Figure 7). Le débit maximum s'observe en septembre (Vissin 2007) et est très variable, sur l'année comme entre chaque année, de 0,01 m<sup>3</sup>/s à plus de 200 m<sup>3</sup>/s (Figure 9). Tous les autres cours d'eau (dont la rivière Tapoa), ne s'écoulent que pendant la saison des pluies. Toutefois, certaines mares dans le lit des rivières sont toujours alimentées par des résurgences d'eau souterraine pendant la saison sèche (Oumarou 2011).



Figure 9. Débit de la Mékrou à son embouchure. En réalité, il y a toujours un débit. Cela vient probablement d'un mauvais positionnement de l'échelle limnimétrique. (Source des données : Agence du bassin du Niger)

## vi. Hydrogéologie

Les grès précambriens du Voltaïen recouvrent l'essentiel du Parc (BRGM 1987, Benoit 1998). Elles sont constituées de formations subhorizontales, très homogènes et épaisses de plusieurs centaines de mètres. Ces grès sont assez consolidés, et l'eau ne s'y écoule que par les fissures et les failles. Toutefois, il peut se trouver des intercalations calcaro-dolomitiques pouvant donner d'excellents débits si elles sont karstifiées (MCD 1992). De telles intercalations existent dans les séries du Voltaïen moyen. (MEB 1993).

Les aquifères dans le socle du Liptako sont considérés comme « discontinu » à cause de leur discontinuité hydraulique. La perméabilité de ces aquifères est due à la porosité secondaire, de fracture. Ils sont qualifiés de bicouche (Figure 10) : la partie supérieure est constituée de matériel très altéré, le régolithe, sous ces climats peu perméable mais capable de stocker des volumes d'eau appréciables. En dessous, la roche moins altérée, est très souvent fracturée, et ainsi susceptible de conduire et stocker localement l'eau en des volumes variables. Par endroit, l'érosion et le relief accumule des sédiments peu consolidés, très perméables (Chilton et Foster 1995). Dans le Sahel, il peut y avoir un compartimentage latéral dans le bassin, ce qui limite les déplacements latéraux des eaux (MCD 1992).

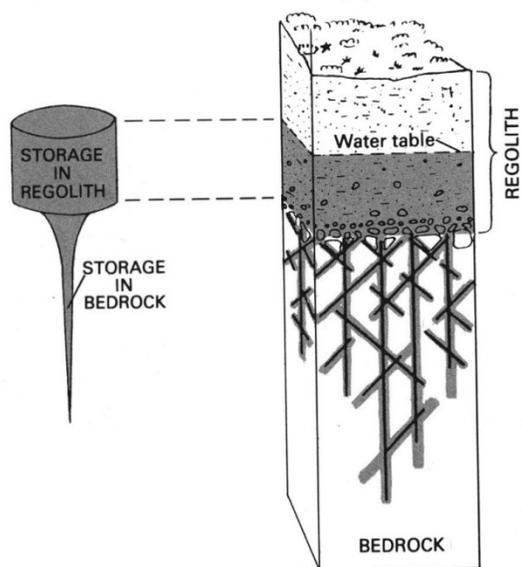


Figure 10. Modèle conceptuel d'un aquifère de socle sous climat semi-aride (Chilton et Foster 1995)

La présence d'une couche d'altération affecte non seulement les propriétés de l'aquifère mais aussi la recharge, difficile à travers le régolithe, qui peut varier localement (dépressions, affleurement de roche saine, régolithe fin...). Dans le contexte lithologique et climatique de la zone la recharge est principalement due à une alimentation directe par voies préférentielles (zones fracturées, veines quartzitiques...). La recharge peut également survenir indirectement par des apports des écoulements de surface vers les bas topographiques locaux (fonds de vallées, lits de rivière, marigots) ou plus régionaux (vallées alluviales) (MEB 1993). Ces apports diffus sont toutefois limités par des dépôts argileux (Ousmane *et al.* 1983). Desconnets *et al.* (1997) ont étudié un site au contexte similaire et ont conclu qu'en moyenne 10 à 20 mm de la pluie totale sur le plateau s'infiltreraient par le plateau et 10 à 80 mm dans les fonds de vallée, dépendant grandement de la distribution temporelle des événements pluvieux. La figure 11 montre les types d'aquifère au Niger d'après une carte produite par le BRGM en 2016 à l'échelle de l'Afrique entière. La carte est cohérente avec la présence du socle du Liptako à l'Ouest du fleuve Niger et les couches sédimentaires du Voltaïen sur le reste du Parc.

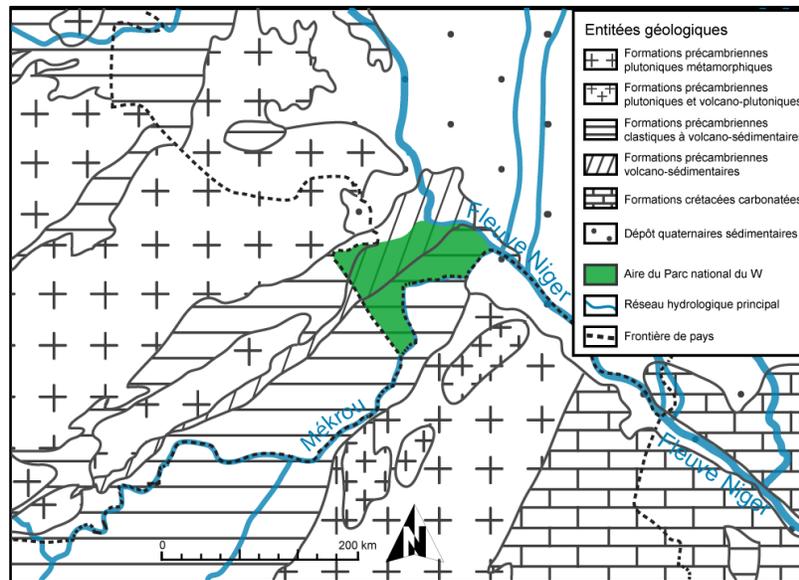


Figure 11. Carte des types d'aquifères dans la région du parc du W. (D'après BRGM 2016)

Le tableau 1 résume les propriétés hydrogéologiques dans des puits et forages aux alentours du Parc ou dans des contextes naturels similaires. Comme indiqué précédemment, le Parc n'a jamais fait l'objet d'une caractérisation hydrogéologique. Les puits ne sont guère productifs. Toutefois, les séries schisteuses birrimiennes peuvent constituer d'excellents réservoirs par ses failles et fractures, et les veines quartzitiques agissent comme des drains et contribuent grandement à améliorer la qualité du réservoir tant dans la couche altérée qu'en profondeur (MEB 1993). Seuls entre 65 et 80 % des forages peuvent être qualifiés de concluants dans le sens où leur productivité est suffisante pour être exploitée. Les profondeurs typiques de ces forages concluants vont de 45 à 65 m (BRGM 1987). L'épaisseur d'altération varie entre 10 et 30 m (MEB 1993).

Tableau 1. Quelques propriétés hydrauliques dans des puits et forages à proximité du Parc du W (Bernert 1981<sup>[1]</sup>, BRGM 1987<sup>[2]</sup>, MCD 1992<sup>[3]</sup>, Girard 1993<sup>[4]</sup>, Obuobie 2008<sup>[5]</sup>).

Propriété hydraulique	Grès	Schistes	Granites	Altérites
Profondeur moyenne de l'aquifère (m)	20 <sup>[3]</sup>	20 - 50 <sup>[1; 3]</sup>	20 - 40 <sup>[3]</sup>	1 <sup>[3]</sup> - 30 <sup>[1]</sup>
Débit moyen au puits (m <sup>3</sup> /h)	5.2 <sup>[5]</sup>	4.2 <sup>[2]</sup>	2.8 <sup>[2]</sup>	3.7 <sup>[2]</sup>
Débit spécifique moyen (m <sup>3</sup> /h/m)	10.25 <sup>[5]</sup>	1.05 <sup>[2]</sup>	0.53 <sup>[2]</sup>	1.22 <sup>[2]</sup>
Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	1.10 <sup>-4</sup> <sup>[3]</sup>	1.10 <sup>-4</sup> <sup>[3]</sup>	2.10 <sup>-5</sup> <sup>[3]</sup>	
Coefficient d'emmagasinement			10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-5</sup> <sup>[4]</sup>	

Ousmane *et al.* (1983) ont montré que dans le socle du Liptako les eaux souterraines mélangent eaux récentes et eaux infiltrées sur plusieurs dizaines d'années, et la présence d'eaux séculaires, voire millénaires.

Dinçer *et al.* (1983), Sarrot-Reynauld et Traore (1988) et Bison *et al.* (1988) ont tiré les mêmes conclusions dans le même socle au Mali et au Burkina Faso.

#### vii. Pédologie

Deux types de sols recouvrent le Parc (Figure 12, Benoit 1998, European Soil Centre 2015). D'une part, des sols peu évolués, des lithosols sur grès et quartzites, sur cuirasse, des sols peu évolués d'érosion sur altérite argileuse, sur glacis, des sols d'alluvions et de colluvions. D'autre part, des sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés, très évolués, rubéfiés, des hauts glacis ou alors lessivés-appauvris sur les quartzites du Voltaïen.

D'après un rapport de l'ORSTOM (1976) cité par le ministère de l'eau du Burkina Faso (1993), de la bordure nord-ouest à la bordure sud-ouest se trouvent des sols essentiellement gravillonnaires à profondeur faible (moins de 40 cm), des sols de la roche dure et des sols de la cuirasse, quelques taches hectométriques de sols argilo-sableux à argileux en surface, argileux en profondeur, et à l'extrême Sud des sols sableux ou gravillonnaires, parfois sur roche dure. Une vingtaine de kilomètres au Sud du Parc se trouvent des sols étroitement liés aux formations du Voltaïen moyen. Les sols dominants sont sablo-limoneux en surface et limono-argileux en profondeur avec la présence de sols peu épais gravillonnaires. Ces mêmes types de sols sont susceptibles de se retrouver dans le parc sur les lithologies du Voltaïen moyen. Il est également possible de trouver à l'Ouest des sols hydromorphes argileux et ferrugineux lessivés, développés sur des schistes argileux sédimentaires.

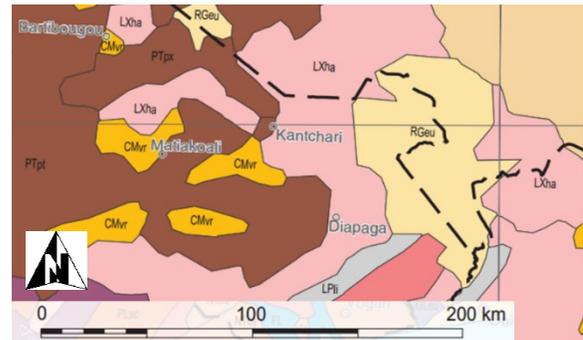


Figure 12. Carte pédologique de la région du Parc. On retrouve les deux types de sols mentionnés dans le premier paragraphe. RGeu signifie régosol, LXha signifie lixisol. (European Soil Centre)

#### viii. Faune et flore

La végétation est dominée par la savane arbustive, avec des graminées annuelles et parfois pérennes. Desséchée, elle brûle de la fin octobre au début du mois de novembre, soit un mois à un mois et demi après la fin de la saison des pluies (Figure 13). *Acacia ataxacantha*, *Bombax costatum* (Faux-kapokier) et *Adansonia digitata* (Baobab) sont quelques-unes des espèces d'arbre présentes (Benoit 1998). Certaines espèces sont relativement localisées, formant des bosquets. La plupart du temps, les arbres sont assez petits (4/5 m). La savane arborée peut se rencontrer principalement au bas des cuirasses et dans les vallées (affluents de la Tapoa et de la Mékrou) et brûle à son tour deux mois après la savane arbustive. Les arbres les plus communs sont *Bombax costatum* et *Isoberlinia doka* (Benoit 1998). Dans les vallées de la Tapoa, de la Mékrou et du fleuve Niger, ils peuvent former une canopée de 20 à 25 m de haut. Le sous-bois y est alors dense. La forêt inclue la plupart des espèces déjà citées de même que *Cola laurifolia* ou *Pterocarpus*

*erinaceus* (Vène). La savane « pure », sans aucun ligneux, est rare (< 1 % de la surface totale) et se trouve essentiellement au bord du fleuve Niger.

La faune est riche et diversifiée. L'ichtyofaune inclut *Synodontis sp.*, *Tilapia niloticus* ou *Citharinus latus* par exemple (Oumarou 2011). Plus de cent cinquante espèces de reptiles et d'amphibiens ont été identifiés avec des tortues terrestres et aquatiques, des lézards et des crocodiles. Plus de trois cent soixante espèces d'oiseaux ont également été répertoriées. Enfin, le Parc abrite la plupart des mammifères les plus emblématiques d'Afrique dont les « *Big five* » : le lion, l'éléphant (Figure 14), le guépard, le buffle et le rhinocéros (Oumarou 2011).



Figure 14. Végétation brûlée au début de la saison sèche. (IRD)



Figure 13. Éléphants s'abritant du soleil sous un arbre solitaire. (USGS)

#### ix. Contexte anthropique

Depuis les années 50, le Parc n'est plus habité (Oumarou 2011). Quelques villages se trouvent à la périphérie, dont le plus ancien à un siècle. La population aux alentours est estimée à 101 600 habitants (27 hab/km<sup>2</sup>) avec une croissance de 3,2 % par an. Les dynamiques migratoires sont à la fois permanentes (événements climatiques extrêmes) et saisonniers (transhumance) (Oumarou 2011).

Une base des gardes forestiers se trouve proche du centre du Parc. Quelques pistes et des chemins sillonnent principalement la moitié Nord. Des miradors le parsèment (Oumarou 2011). Le tourisme est relativement discret, avec 5 000 visites par an en date de 2011. Les visites semblent bien encadrées, avec un souci d'une perturbation minimale de l'environnement. Mais le contexte sécuritaire actuel et le manque de moyens pour le développement de l'activité tendent à maintenir cette confidentialité. Des activités moins positives ont lieu : le pâturage illégal, les feux de brousse pour nourrir le bétail, le défrichage et les cultures illégales, l'exploitation du bois et des graminées et le braconnage (Oumarou 2011).

Un article pour le congrès GéoOttawa 2017 qui aura lieu en octobre a été rédigé, soumis et accepté (voir Annexe 2). Cet article vise à établir le contexte naturel du parc du W, de présenter les enjeux de l'étude et de proposer un premier modèle conceptuel hydrogéologique.

## B. Estimation de la recharge

### i. Soil Moisture Balance

Face à la variabilité des paramètres et des variables, plusieurs configurations ont été utilisées (Voir la section Matériels et méthodes). Les résultats obtenus se présentent sous forme d'une chronique de valeurs moyennes mensuelles sur la période 1994 - 2016 pour les calculs avec les moyennes climatiques mensuelles (Figures 15 et 16). Pour le calcul de recharge quotidien, ce sont les valeurs quotidiennes sur l'année considérée qui sont représentées (Figures 17 à 20).

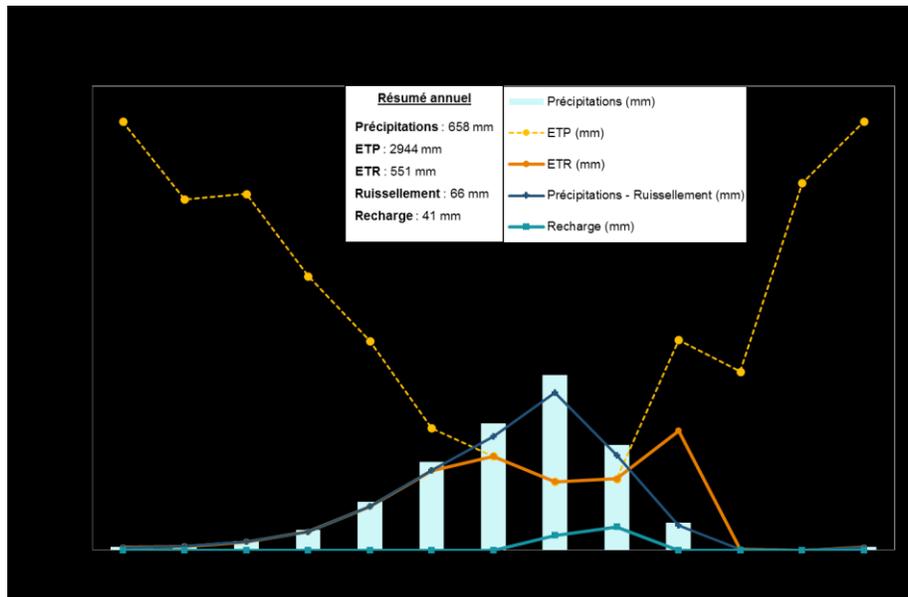


Figure 15

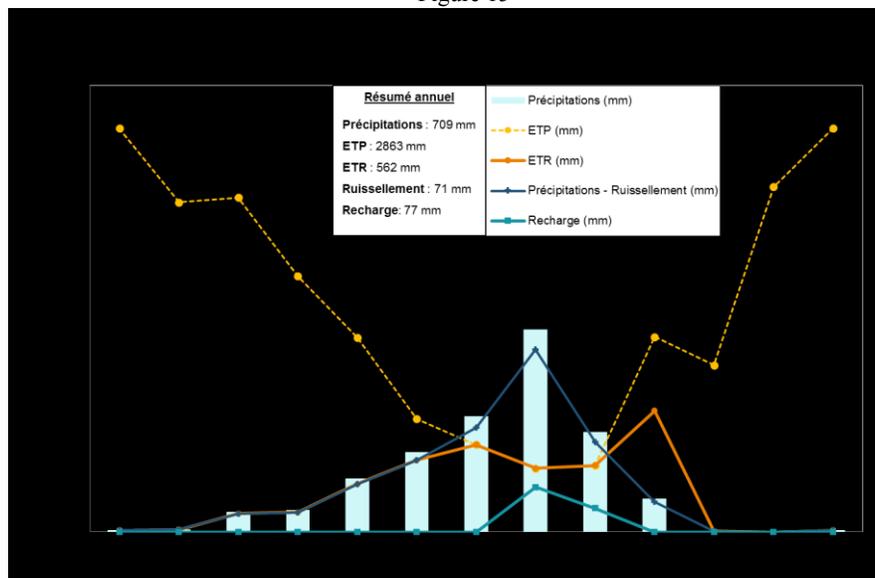


Figure 16

Les précipitations pallient l'évapotranspiration réelle (ETR) à partir du mois de juin. L'ETR équivaut ensuite à l'évapotranspiration potentielle (ETP). Les sols se réhumectent au cours du mois de juillet

et la recharge commence au mois d'août (16,0 mm), atteint son maximum en septembre (25,3 mm) et redevient nulle en octobre. L'évapotranspiration réelle dépasse alors les précipitations et le sol s'assèche. La situation est réinitialisée en janvier de l'année suivante.

Les précipitations pallient également l'ETR à partir du mois de juin. L'ETR équivaut ensuite à l'ETP. Les sols se réhumectent au cours du mois de juillet et la recharge commence en aussi en août (50,2 mm) mais cette fois la recharge est plus faible en septembre (26,5 mm). Elle est nulle en octobre, où l'ETR dépasse les précipitations et le sol s'assèche. La situation est réinitialisée l'année suivante.

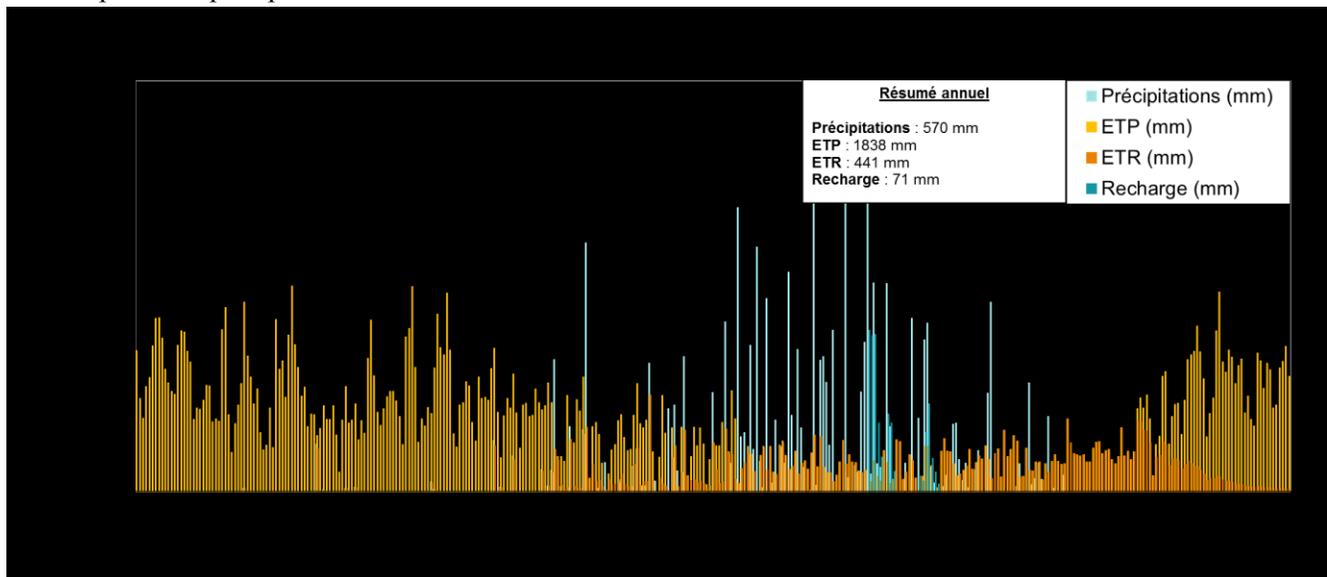


Figure 18

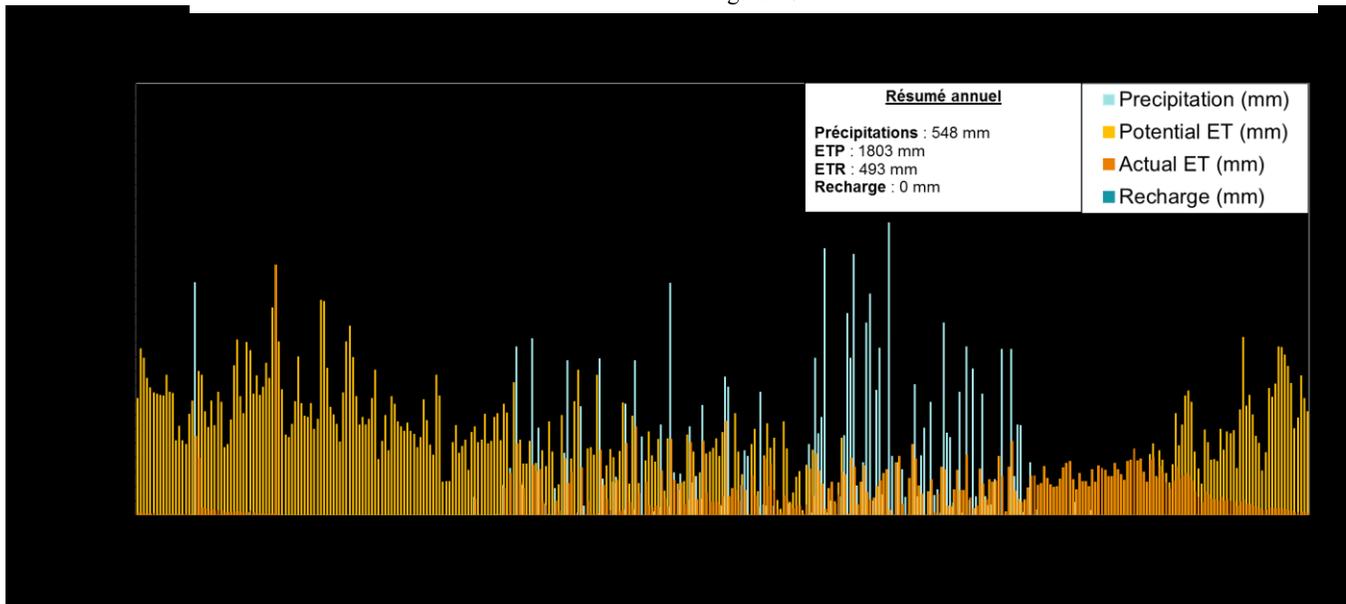


Figure 17

Des deux années sèches considérées, une donne une recharge (2011, 71 mm). Celle-ci a lieu du 20 au 24 août (période de recharge la plus importante tant en recharge totale avec 42,0 mm, que moyenne journalière avec 8,4 mm) et du 5 au 11 septembre. La réhumectation du sol commence le 15 mai. Son assèchement n'est toujours pas revenu à son niveau d'humidité initial au 31 décembre. Au cours de l'année 2014, les pluies parviennent à réhumecter le sol jusqu'à 0,5 mm de déficit d'humidité le 4 octobre mais n'arrivent jamais à générer de recharge.

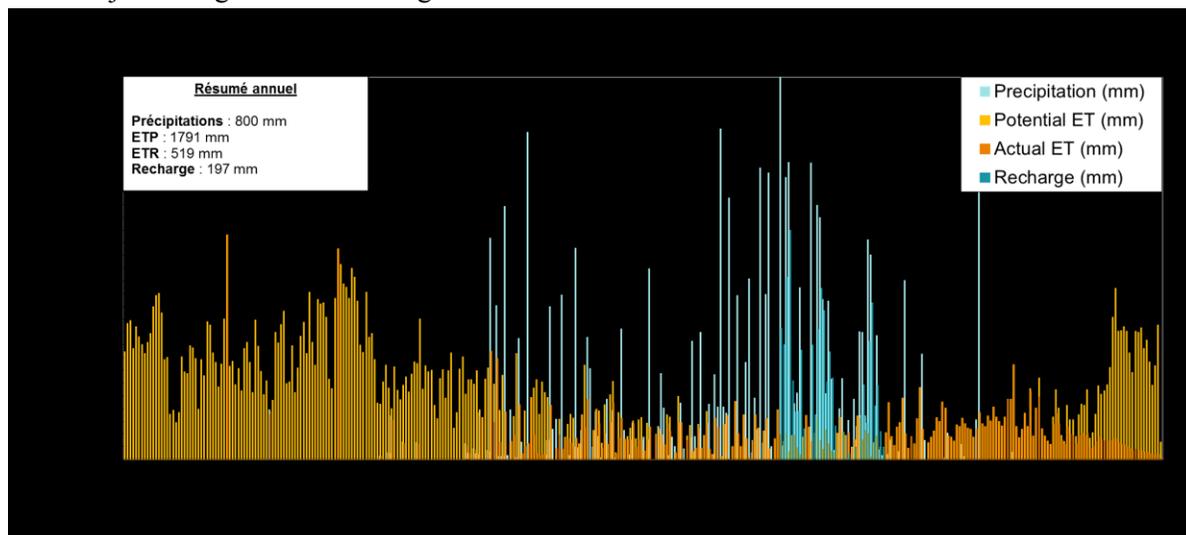


Figure 19

Pour les deux années humides, les recharges en 2012 ont lieu du 19 au 27 août, du 30 août au 7 septembre, les 10, 12 et 14 septembre et du 16 au 24 septembre. La recharge la plus importante (totale avec 76,0 mm et moyenne journalière avec 8,4 mm) a lieu du 19 au 27 août. La réhumectation des sols commence le 9 mai. Son assèchement n'est toujours pas revenu à son niveau d'humidité initial au 31 décembre. Pour 2015, où la recharge annuelle a été encore plus importante (226 mm contre 197 mm), cette dernière a eu

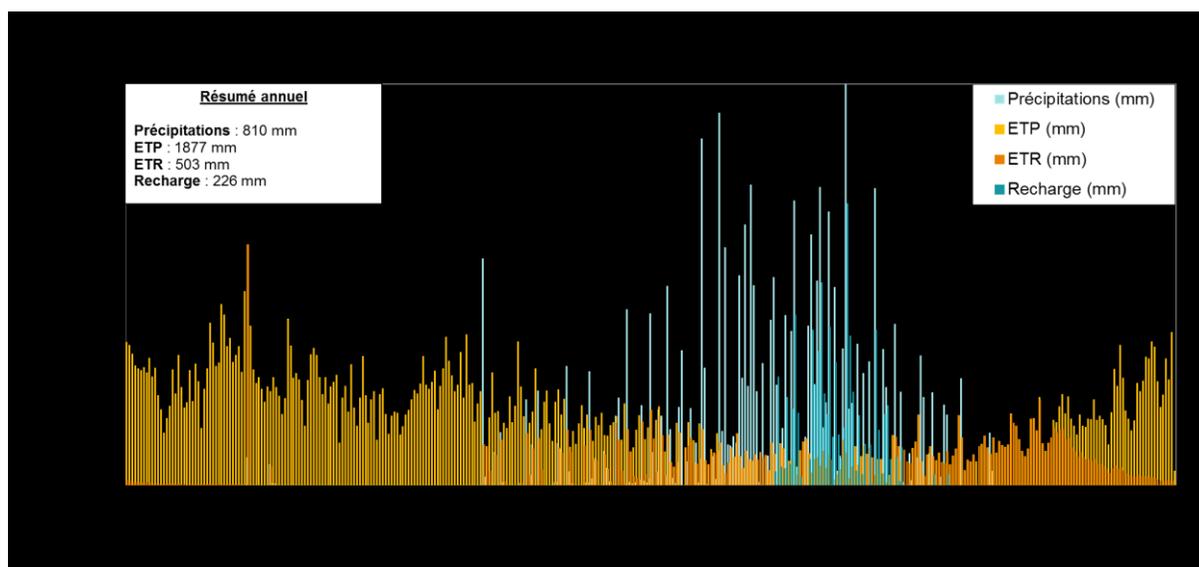


Figure 20

lieu du 14 au 23 août, du 26 août au 14 septembre, période de recharge la plus importante, totale, avec 142,3 mm, comme moyenne journalière avec 7,1 mm, du 16 au 23 et du 25 au 27 septembre, et les 8 et 13 octobre. La réhumectation du sol commence le 5 mai. Son dessèchement n'est toujours pas revenu à son niveau initial au 31 décembre.

## ii. Calculs complémentaires

Évapotranspiration sur la Mékrou : la longueur de la Mékrou 410 km (Mama *et al.* 1998). La largeur moyenne de la Mékrou a été estimée à 17 m +/- 2 m, la largeur médiane 16 m +/- 2m. La surface d'eau libre de la Mékrou estimée vaut donc environ  $7 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  (Incertitude -  $8 \cdot 10^5$  à  $+ 9,5 \cdot 10^5$ ).

L'évapotranspiration potentielle pour Niamey tirée de Abernethy (2000) indique une évapotranspiration annuelle moyenne d'environ 1900 mm/an (+/- 20 mm par les erreurs de lecture) sur 1950 – 1995. La littérature donne des valeurs de 3000 mm/an maximum en zone sahélienne (Ardoin-Bardin 2004), 1800 à 2000 mm/an à la latitude de la Mékrou (établie à 10 – 12° N) (Riou 1975) bien que le graphique utilisé ne soit calculé que sur des longitudes de 15° à 22° E, et 2500 mm/an au Nord du Ghana (Nord du bassin de la Volta) (Amisigo 2005 cité par Obuobie 2008).

L'évapotranspiration potentielle de la Mékrou à l'année a donc été évalué à  $1,31 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{an}$  +/-  $1 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{an}$ . En ne tenant compte que de la **saison sèche** (octobre à mai), l'ETP a été évaluée à  $8,63 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  (Incertitude -  $1,3 \cdot 10^5$  à  $+ 2,6 \cdot 10^5$ ).

Débit de base de la Mékrou :

Station	Débit de base moyen sur 5 jours (1994 – 2016)	Débit de base pour les années communes
Kompongou	0,01 m <sup>3</sup> /s	0,02 m <sup>3</sup> /s
Barou Aval	0,11 m <sup>3</sup> /s	0,14 m <sup>3</sup> /s

Le **débit de base** sur un an à Barou Aval vaut donc  $3,38 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ,  $4,26 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  pour les années communes (années exploitables à la fois pour la station de Kompongou et Barou Aval). La **recharge moyenne minimale** serait donc de **0,32 mm/an (0,40 mm/an pour les années communes)**.

Ruissellement : pour des pluies annuelles de 750 à 950 mm/an sur le bassin versant de la Mékrou et un débit annuel moyen (2006 – 2011) de  $7,66 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{an}$ , le coefficient de ruissellement vaut entre **8 et 11 %**. Le taux de 10 % a été retenu pour les calculs de recharge.

Étude de la réaction de la Mékrou à des pluies ponctuelles : une partie de l'année 2012, suffisamment humide pour faciliter l'étude, a été considérée (Figure 21).

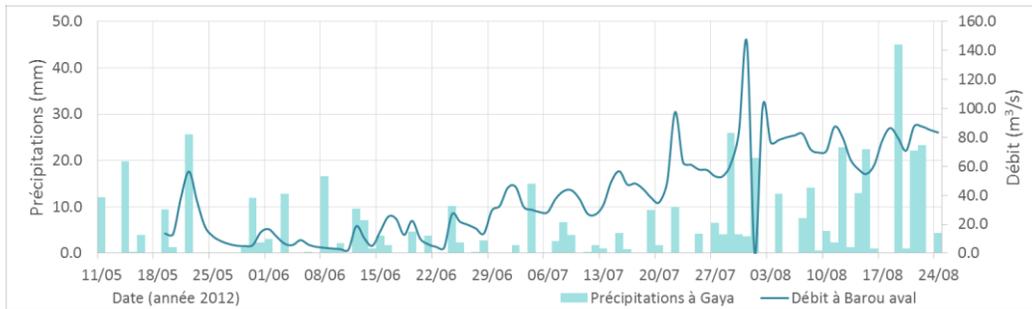


Figure 21. Chronique de débit de la Mékrou à Barou Aval et des précipitations à Gaya de mai à août 2012

Différence débit-ETR :

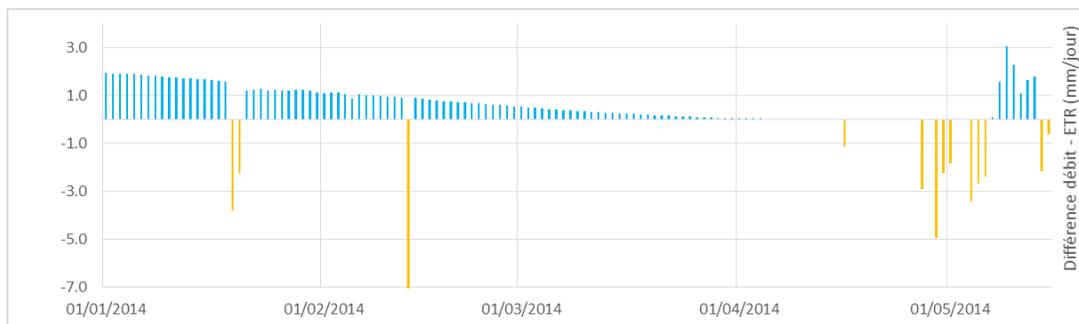


Figure 22. Différence débit de la Mékrou - ETR entre deux stations en 2014.

## 4. Interprétations

### A. Calcul de la recharge

Les deux calculs de recharge mensuelle s'accordent sur une recharge sur deux mois, août et septembre, soit les deux derniers mois complets de saison des pluies, qui se termine vers début octobre. La gamme de recharges estimées varie du simple à non loin du double. Mais le scénario de recharge favorable donne un maximum de recharge en août tandis que le scénario défavorable donne un maximum de recharge en septembre. Les sols n'atteignent la capacité au champ qu'au mois d'août, soit 4 mois après la saison des pluies. Il faut donc beaucoup de temps pour les réhumecter car au début de la saison des pluies, l'eau est rapidement évaporée dès avant qu'elle ne s'infiltré dans les premiers centimètres et quand bien même elle y parvient, elle est prélevée par la végétation. Ce ne sont toutefois que des résultats moyens sur tout le Parc, les conditions « d'infiltrabilité » pouvant grandement varier localement.

Les calculs de recharge quotidienne donnent des informations sur l'étendue temporelle de la recharge à l'intérieur du mois et sur la recharge probable en fonction des conditions climatiques. Les quatre simulations montrent que la recharge se concentre sur un nombre limité de jours, sur des périodes continues allant de l'unique jour à 21 jours. De plus, la période de recharge la plus « efficace » concentre une bonne

part de l'eau qui aboutit à l'aquifère. Par exemple, en 2015, 83 % de la recharge s'est faite du 26 août au 14 septembre, 59 % en 2011 sur 4 jours et 39 % en 8 jours pour 2012. Il semble que plus la pluie totale est importante, plus la période principale de recharge est longue (21 jours en 2015, 8 en 2012, 4 en 2011) et les derniers jours de recharge sont tard dans l'année (13 octobre en 2015, 24 septembre en 2012, 11 septembre en 2011). En revanche, les différences sur la date de début de la recharge sont moins flagrantes (14 août en 2015, 19 août en 2012, 20 août en 2011). Cela est très probablement lié à la quantité totale d'eau précipitée mais aussi à sa distribution temporelle au cours de l'année. Il est toutefois difficile de généraliser, les conclusions reposant sur l'analyse de 3 années avec recharge seulement. Les chroniques de recharge quotidienne indiquent que l'essentiel de la recharge a lieu plutôt vers la fin août ou à cheval entre fin août et début septembre. Il semble donc que les différences entre le maximum de recharge en août ou en septembre selon la configuration favorable ou non à la recharge dans les moyennes mensuelles (Figures 15 et 16) soient plus liées au choix des paramètres qu'aux variables climatiques.

La recharge est grandement dépendante des conditions locales. En Afrique de l'Ouest, les précipitations sont extrêmement variables dans l'espace et le temps. À l'échelle du parc du W, il se peut que selon l'endroit l'historique de pluies sur l'année soit très différent. Il suffit qu'elles soient faibles sur les zones de recharges principales (zones de failles et de fissures) pour que la recharge des aquifères soit faible, quand bien même à l'échelle du Parc les conditions ont été en moyenne plus favorables. Pour l'aspect temporel, il se peut que si la saison des pluies est entrecoupée de périodes de temps sec trop longues et trop intenses, l'évapotranspiration reprenne le dessus et commence à nouveau à assécher les sols, ce qui limiterait la recharge. La prépondérance annoncée pour un futur proche de saisons des pluies hybrides (Salack *et al.* 2016), avec à la fois des épisodes pluvieux plus intenses et des épisodes de temps plus chauds et plus secs, impacteront très probablement la recharge des aquifères.

La recharge dépend également de la géomorphologie. D'après Engalenc (1981), 40 à 80 mm de pluie sur du socle affleurant suffisent à renouveler la réserve utile en Afrique de l'Ouest.

Les valeurs de recharge en fraction de la précipitation totale P vont de 0,062 P à 0,279 P. Girard (1993) indique plusieurs valeurs de recharge estimées pour des climats semi-arides à arides (fraction de la précipitation totale P) : entre 0,065 P et 0,08 P au Sénégal (Aranyossy, 1992), autour de 0,11 P à Chypre et en Libye (Edmunds et Walton, 1978), entre 0,18 P et 0,45 P au Burkina Faso (Filippi *et al.*, 1990). Les valeurs de recharge trouvées pour le Parc sont en accord avec les valeurs trouvées dans la littérature mais constitue une gamme assez large, reflet des différentes situations testées. Le projet hydrogéologique au Ghana proposait des recharges calculées par la méthode de bilan de chlore (*Chloride Mass Balance*) donne des valeurs entre 11,7 mm/an +/- 3,6 mm/an et 76,6 mm/an +/- 48,4 mm/an avec une moyenne et une

médiane autour de 40 – 45 mm/an. Les résultats trouvés pour le Parc semblent donc assez cohérents avec les valeurs proposées dans une région similaire bien que plus humide.

Concernant les calculs d'évapotranspiration sur la Mékrou, 66 % de celle-ci se fait pendant la saison sèche. Cette valeur est toutefois incertaine à cause des incertitudes sur la largeur de la rivière qui évolue au cours d'une année et d'une année à l'autre selon le climat.

Pour le débit de base, la précision des calculs est limitée par les données de débit qui montraient des aberrations comme des variations de débit improbables ou des débits nuls même pour des années qui ne sont pas pluviométriquement sèches. Pourtant, la Mékrou est supposée s'écouler tout au long de l'année. Cela peut-être dû au fait que l'échelle limnimétrique soit émergée jusqu'à son pied malgré qu'il s'écoule encore un filet d'eau au centre du lit.

L'étude de la relation pluie-débit pour la Mékrou (Figure 21) montre une réactivité variable, qui semble aller de l'heure au jour. En vérité, les données de pluie sont trop éloignées du Parc pour en faire une analyse précise mais elles montrent néanmoins une certaine rapidité à réagir aux sollicitations pluvieuses.

Le calcul de la différence de débit de la Mékrou entre deux stations et l'ETR permet d'identifier deux phénomènes, particulièrement visibles pour l'année 2014 (Figure 22) mais qui s'observe aussi en 2011 et en 2012. Si l'ETR est supérieure au débit (barres orange), alors la rivière s'assèche. Si l'ETR est inférieure au débit (barres bleues), alors deux interprétations sont possibles. Soit cela a lieu pendant la saison sèche, et n'est donc pas lié à une pluie : dans ce cas cela indique la vidange progressive de l'aquifère, bien visible du 1<sup>er</sup> janvier à début avril (en 2012). Soit cela a lieu pendant la saison des pluies et alors les jours positifs indiquent une recharge probable (autour de la mi-mai). Mais pour vérifier qu'il y ait effectivement recharge, il faudrait prendre compte d'autres paramètres comme l'humidité du sol, ce qui est fait avec la *Soil moisture balance*. Ce calcul permet surtout d'identifier grossièrement les moments où l'aquifère domine dans l'alimentation de la rivière et les moments approximatifs de recharge.

## 5. Conclusion

Établir le contexte naturel du Parc national du W a mobilisé une grande quantité de documents et de données. Cela permet de dessiner les grandes lignes de tous les domaines jouant un rôle dans le cycle de l'eau régional, et en particulier dans la recharge des aquifères. Le substrat composé principalement de vieux grès et de schistes, fracturés, suggère un fonctionnement d'aquifères de socle dont la recharge se fait essentiellement par voies préférentielles. Les sols permettent rarement une recharge diffuse, sauf localement. Le réseau hydrographique est assez saisonnier, avec seulement la rivière Mékrou et le fleuve

Niger comme cours d'eau permanent. Le Parc reste assez bien préservé, avec une faune et une flore riche et des perturbations humaines limitées.

Le calcul de la recharge permet d'identifier les moments propices à l'alimentation des aquifères et leur variabilité d'une année à l'autre, dépendant des conditions climatiques, où les températures sont aussi stables que les précipitations sont variables à la fois dans le temps et l'espace. Si certaines années semblent amplement recharger les aquifères, certaines autres n'alimentent pas. Le gros de la recharge pour toute l'année se concentre sur quelques jours, et il suffit d'un contexte un peu moins favorable (humidité du sol, ensoleillement, vent...) pour varier drastiquement la hauteur d'eau rejoignant les aquifères.

Ce rapport n'a pas la prétention d'établir un descriptif précis du contexte naturel ni de chiffrer précisément la recharge mais plutôt de présenter le cadre d'étude du projet de manière à avoir une vue d'ensemble pour faciliter les travaux futurs. En effet, le calcul de la recharge est un élément central dans l'estimation du potentiel aquifère. Cette première estimation permettra de guider les méthodes d'investigation, générant ainsi un gain de temps et de moyens.