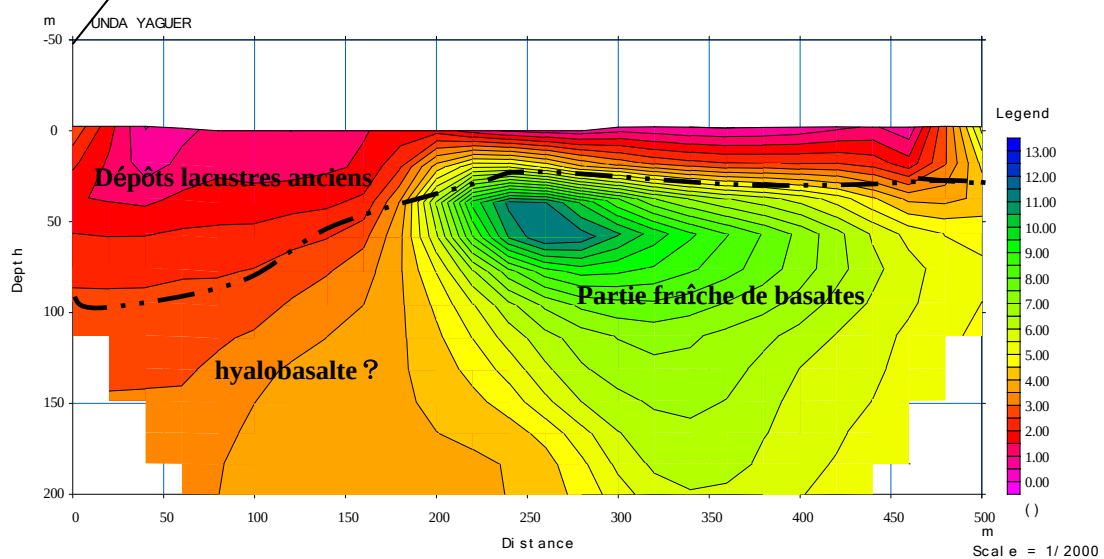
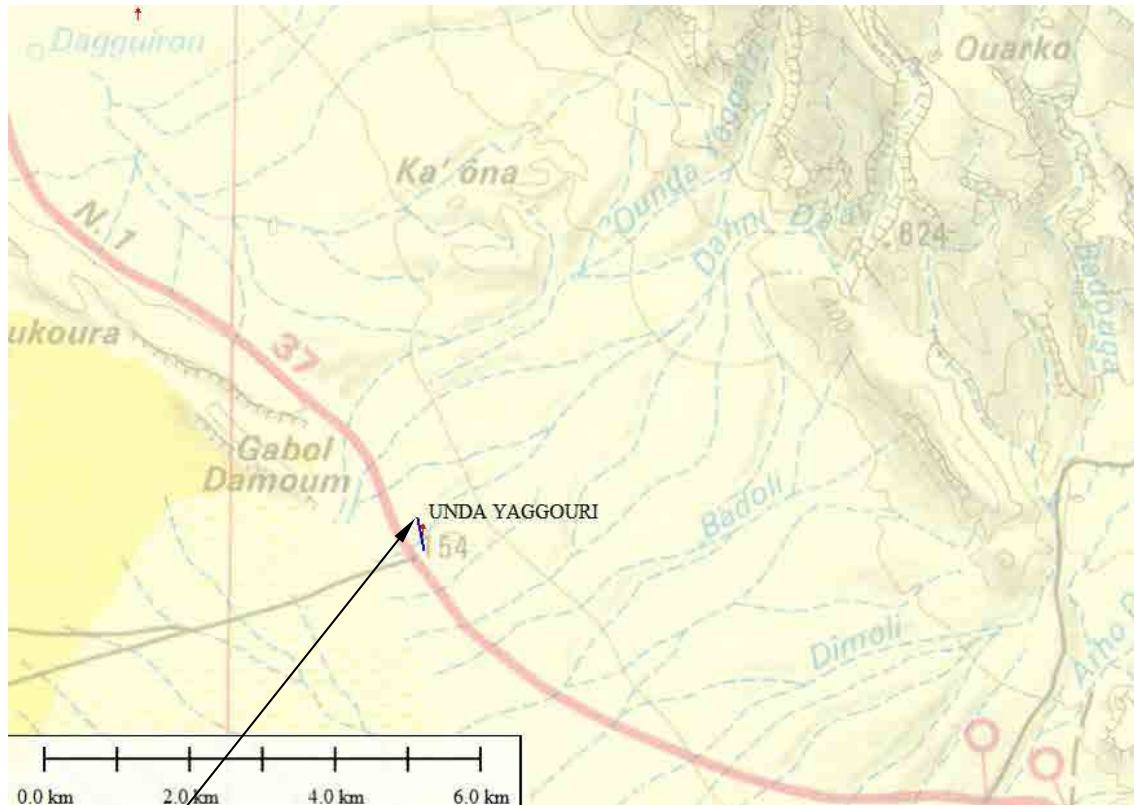


Appendice 7.
Résultat de l'exploration géophysique

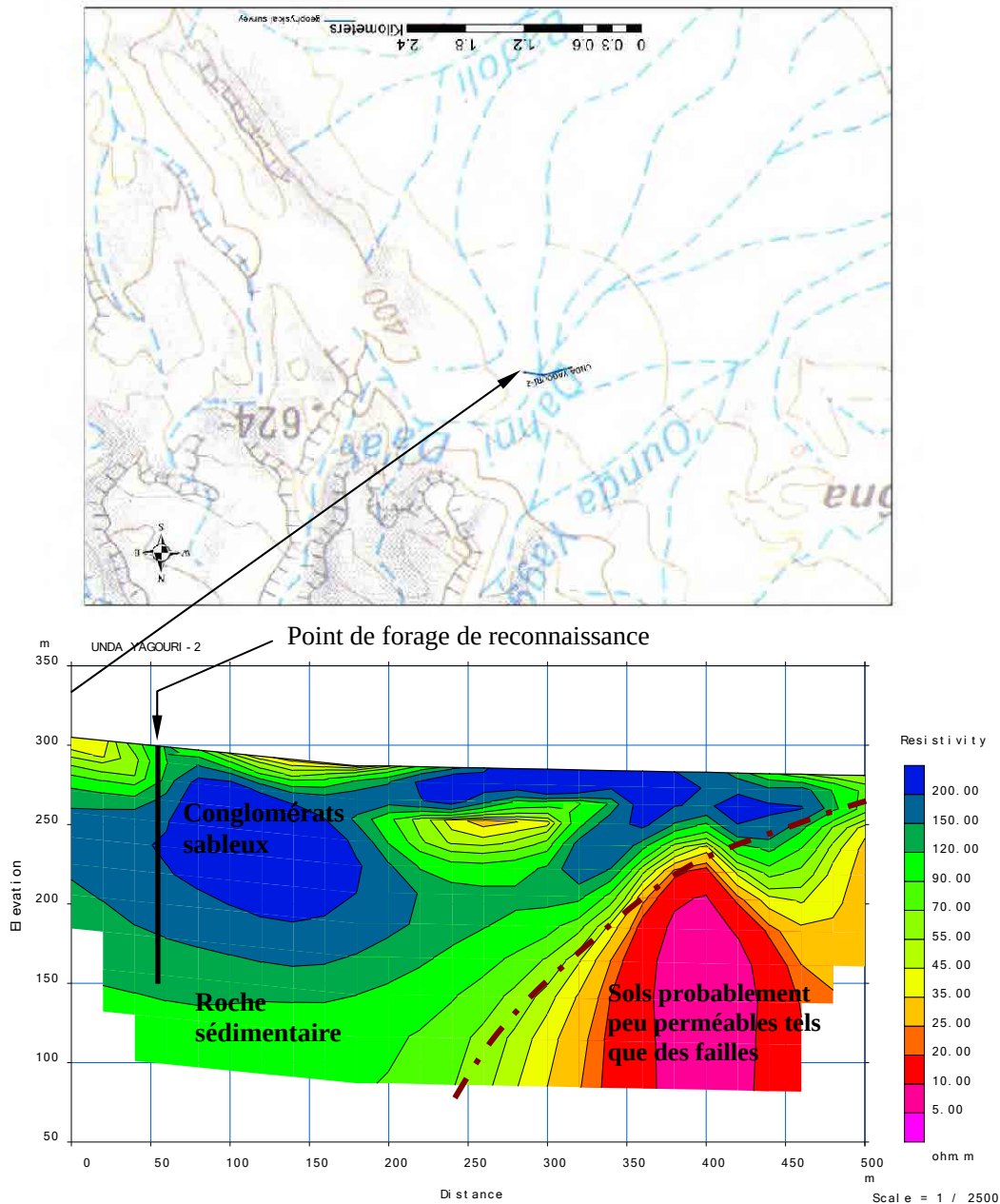
(1) HANLE (UNDA YAGGOURI)

Le site se situe sur la route nationale no. 1 allant de YOBOKI à GALAFI. Caractérisé par la distribution de dépôts sédimentaires anciens, le site présente une appréhension d'accumulation de sel. L'exploitation de l'eau souterraine n'est donc pas conseillée. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une faible résistivité inférieure à $13\Omega \cdot m$ dans la globalité du sol. Il y a une appréhension de salinisation de l'eau souterraine.



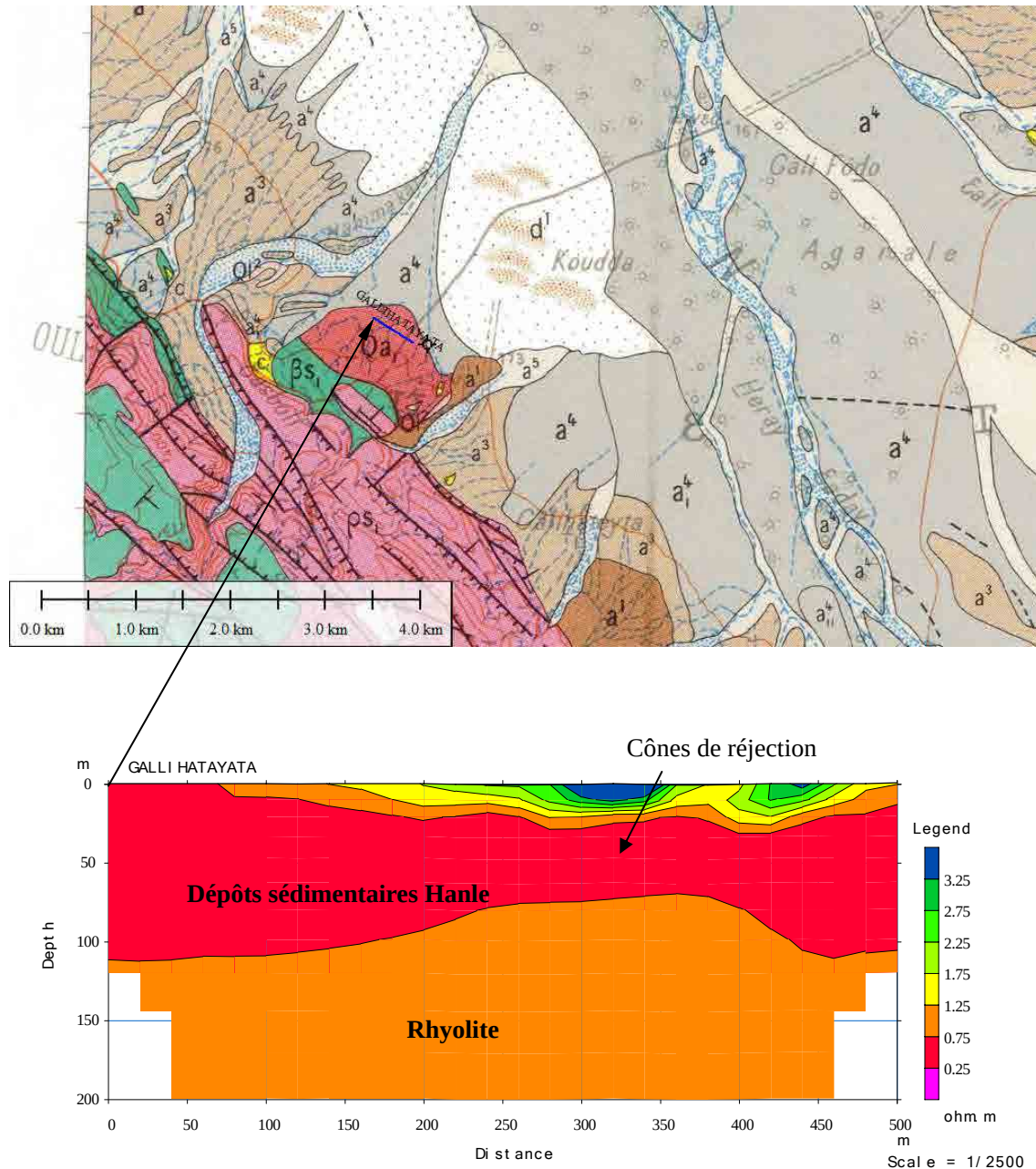
(2) HANLE (UNDA YAGGOURI(2))

Bien que le site soit doté d'une zone de recharge relevant des sols montagnards, on a estimé la présence de l'eau souterraine dans une profondeur supérieure à 200 m. Une exploitation de l'eau perchée a été donc considérée le long d'un wadi. Il a été identifié un point situé à l'ouest du profil en long au-dessous duquel se distribue un sol peu perméable permettant la formation d'eau perchée. Cependant, du fait que la foreuse n'a pas pu accéder à ce point, le forage a été effectué à 60 m sur le profil en long. Malgré tout, il a été difficile de retenir l'eau perchée, et le forage a été jugé négatif par conséquent.



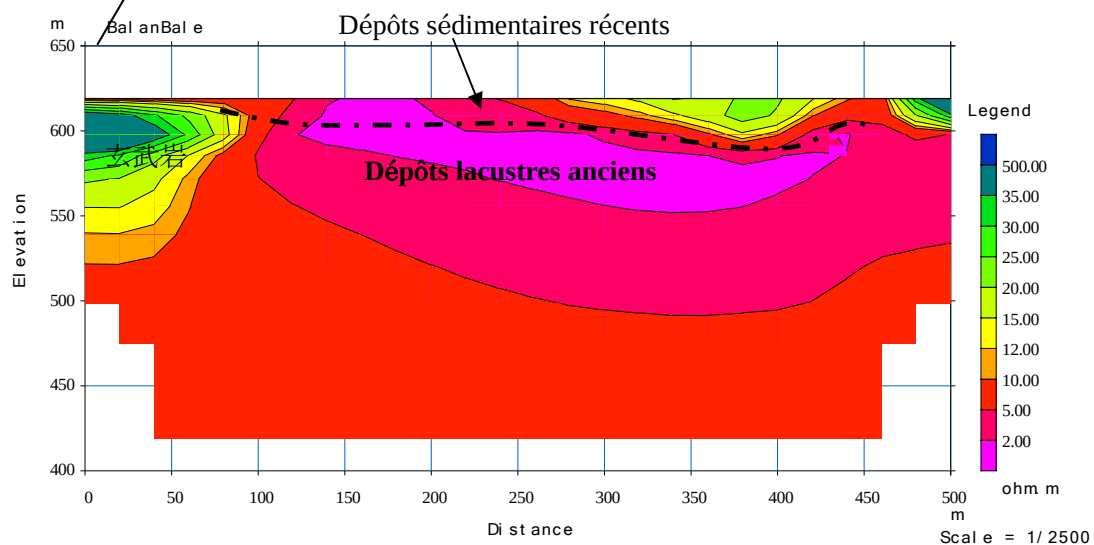
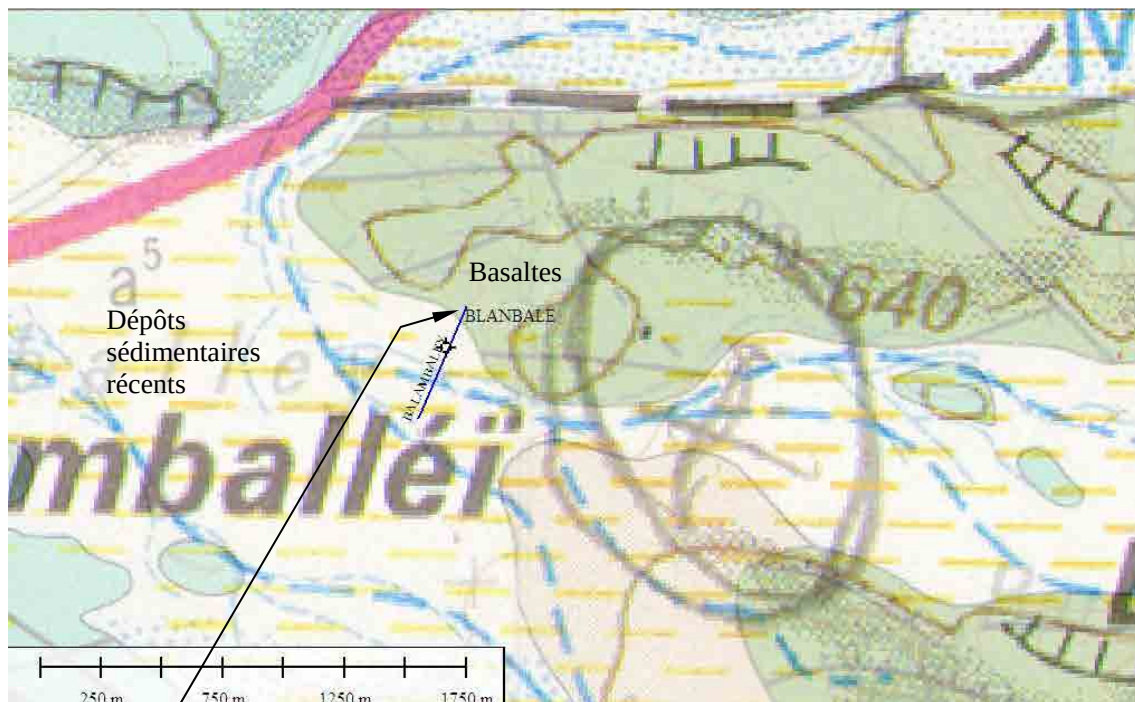
(3) GAALI HATAYATA

Le site se situe à l'extrémité en aval du wadi Hanle, ce qui présente une appréhension de salinisation de l'eau souterraine. Les forages exploités dans les projets du passé aux environs du site présentent une salinité élevée et ne sont pas utilisés pour la consommation humaine. Il a été visé donc à exploiter de cônes de réjection situés au pied ouest de la montagne, dont la couche est pourtant mince et présente une résistivité inférieure à $2\Omega \cdot m$, ce qui permet d'estimer que la salinité de l'eau souterraine est élevée.



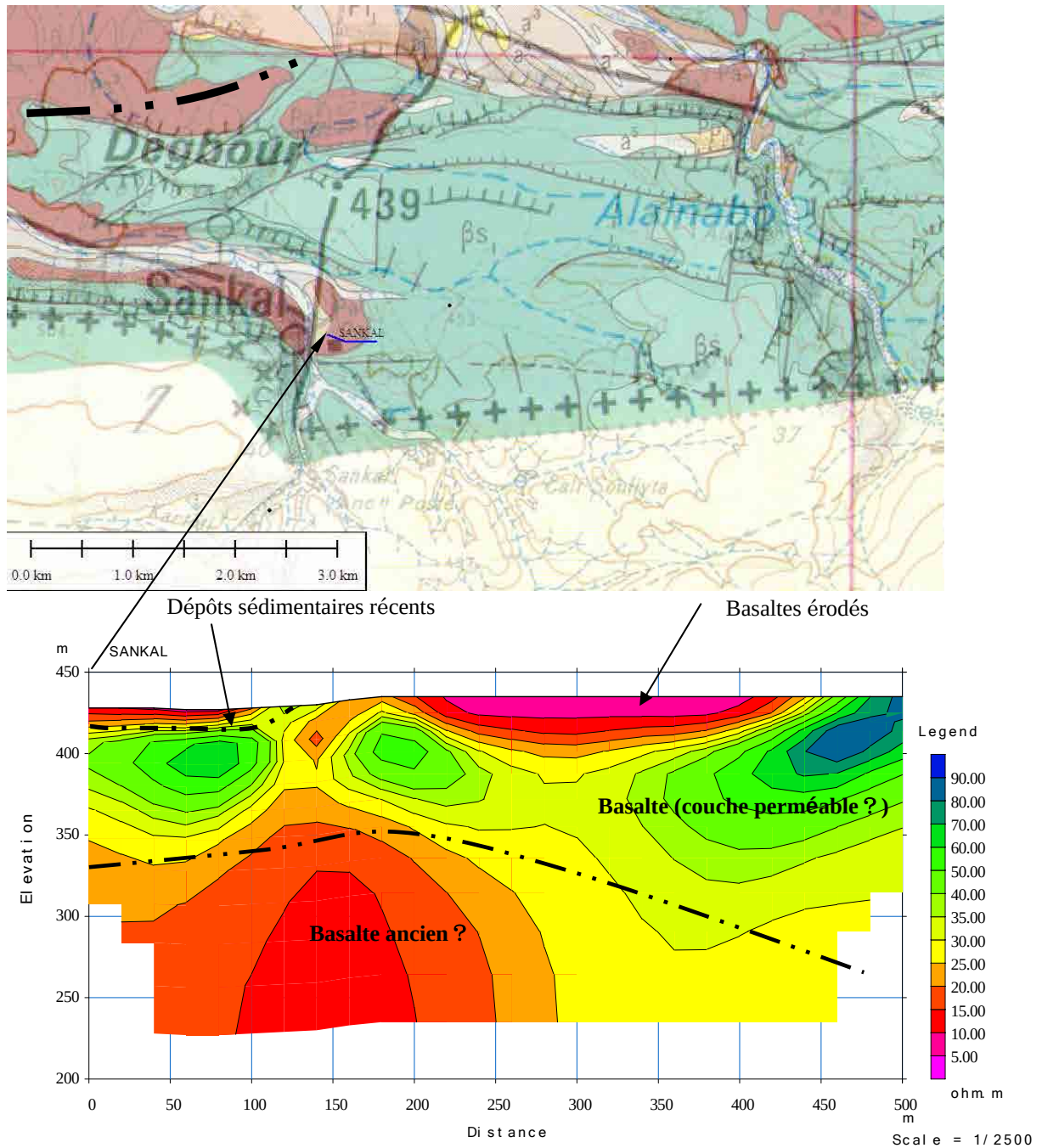
(4) BLANBALE

Le site se trouve au pied de la montagne dans une dépression située le long de la route nationale de Dikhil. La configuration topographique du site permet d'estimer qu'il n'est doté que d'une zone de recharge médiocre présentant une appréhension d'accumulation de sel. Il a été visé à exploiter l'eau souterraine s'écoulant gravitationnellement des montagnes (basaltes) se distribuant en amont. Le sondage géoélectrique rapporte que le sol se qualifie par la distribution générale des zones présentant une faible résistivité inférieure à $10\Omega \cdot m$. On estime que des dépôts lacustres anciens dont l'accumulation de sel progresse se distribuent sur une vaste étendue et que des basaltes se distribuent sur une zone limitée de l'extrémité initiale du profil en long (épaisseur de la couche d'environ 50m). De ce fait, le potentiel en exploitation de l'eau souterraine est estimé médiocre.



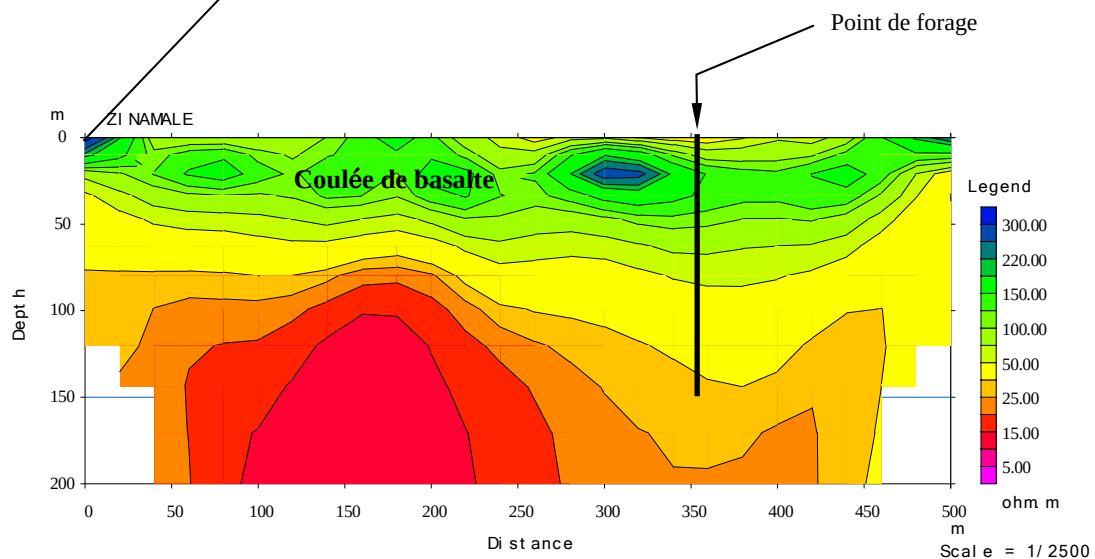
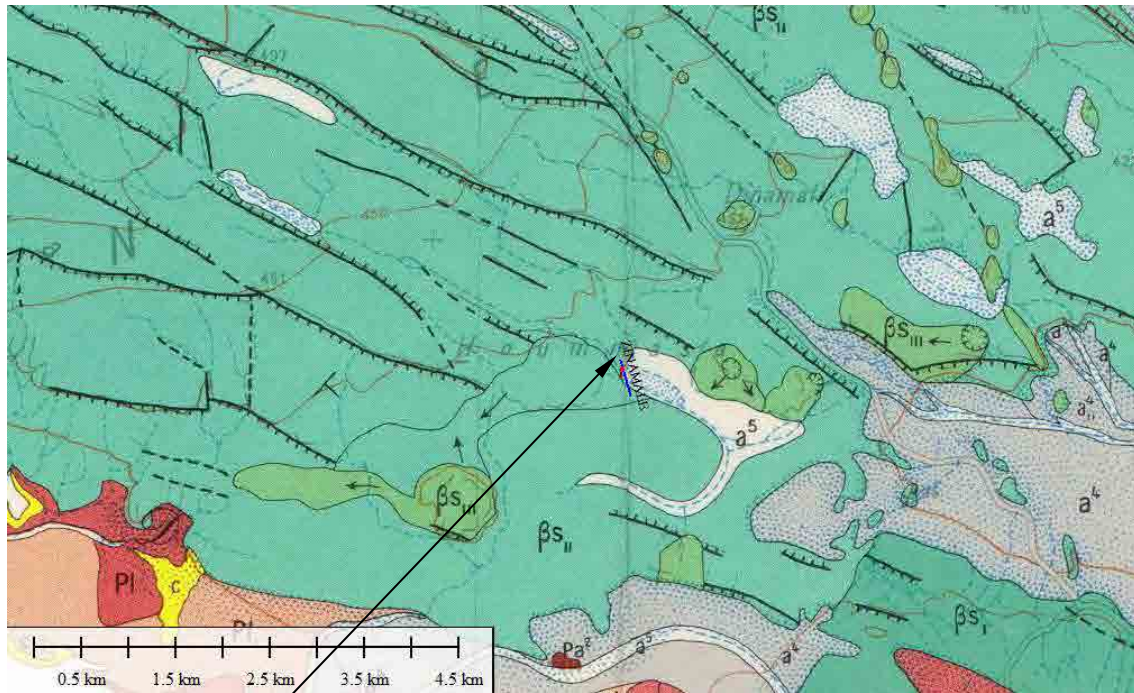
(5) SANKAL

Situé dans le sud de Dikhil, le site appartient au village frontalier avec l'Éthiopie. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution significative d'une haute résistivité supérieure à $30\Omega \cdot m$, ce qui permet d'escompter une distribution significative de basaltes, marque de la présence d'un sol hautement perméable largement déployé. Toutefois, il y a lieu d'estimer que la zone de recharge est limitée et que le potentiel théorique des ressources hydrauliques souterraines est médiocre. Il en résulte que l'exploitation de l'eau souterraine est estimée peu durable. En réalité, toute tentative de forage financée par d'autres donateurs se réalise sans résultat significatif.



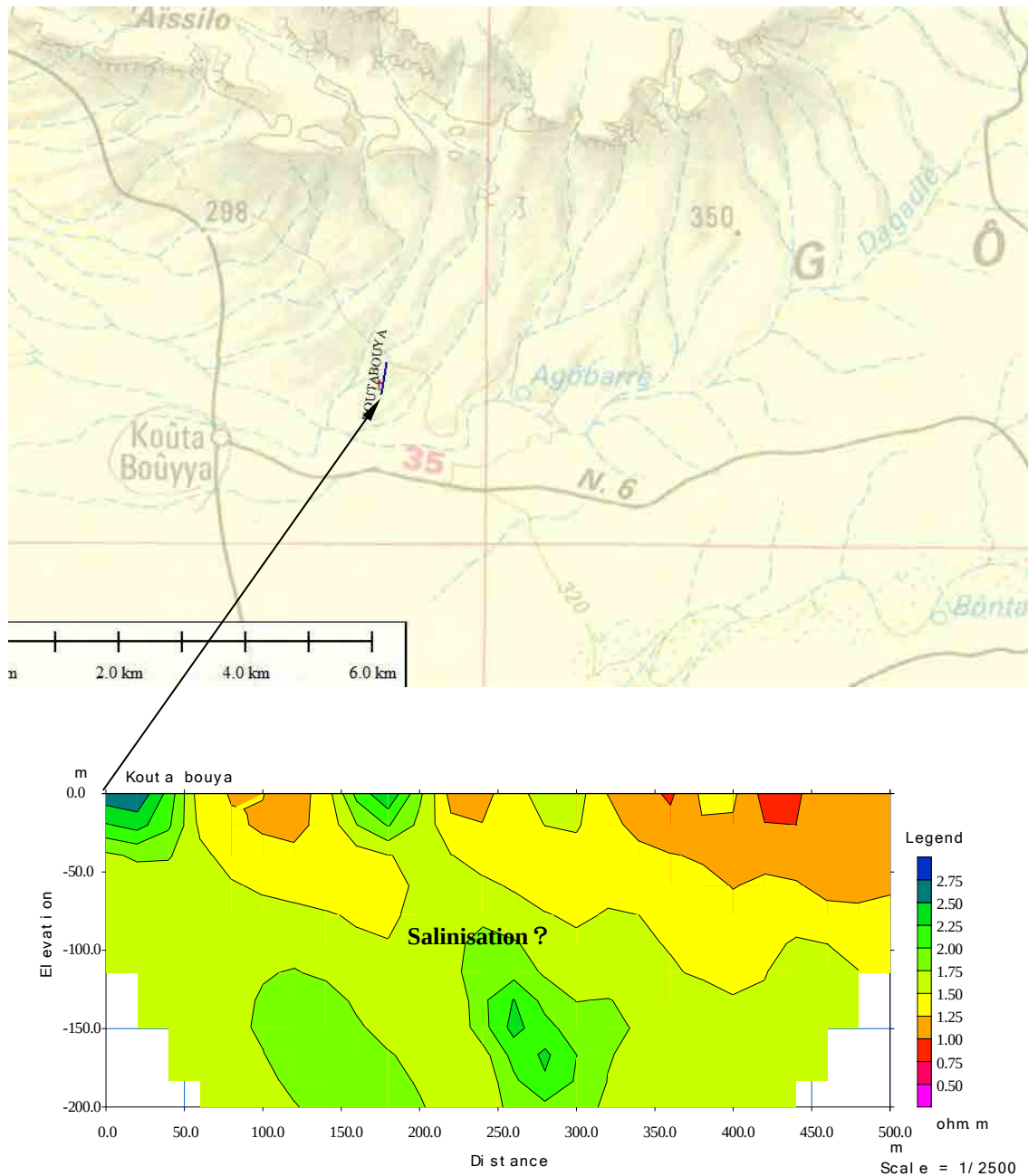
(6) ZINAMALE

Le site se situe dans les trapps entre deux wadi, Hnale et Gobbad. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution significative d'une haute résistivité supérieure à $50\Omega \cdot m$, ce qui permet d'estimer la présence d'une couche de basales distribués dans le sous-sol. Un document existant présenté par la Direction de l'eau et de l'assainissement rapporte également qu'on pénètre dans une nappe phréatique dès une profondeur de l'ordre de 50m. Par la haute perméabilité et la distribution significative de l'eau souterraine, le potentiel d'exploitation de l'eau souterraine s'estime important.



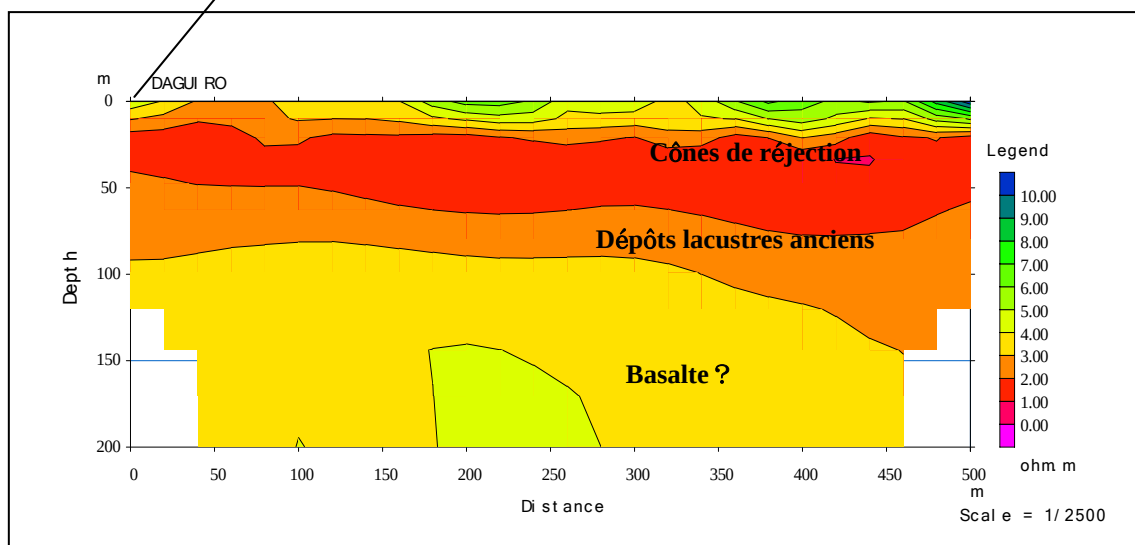
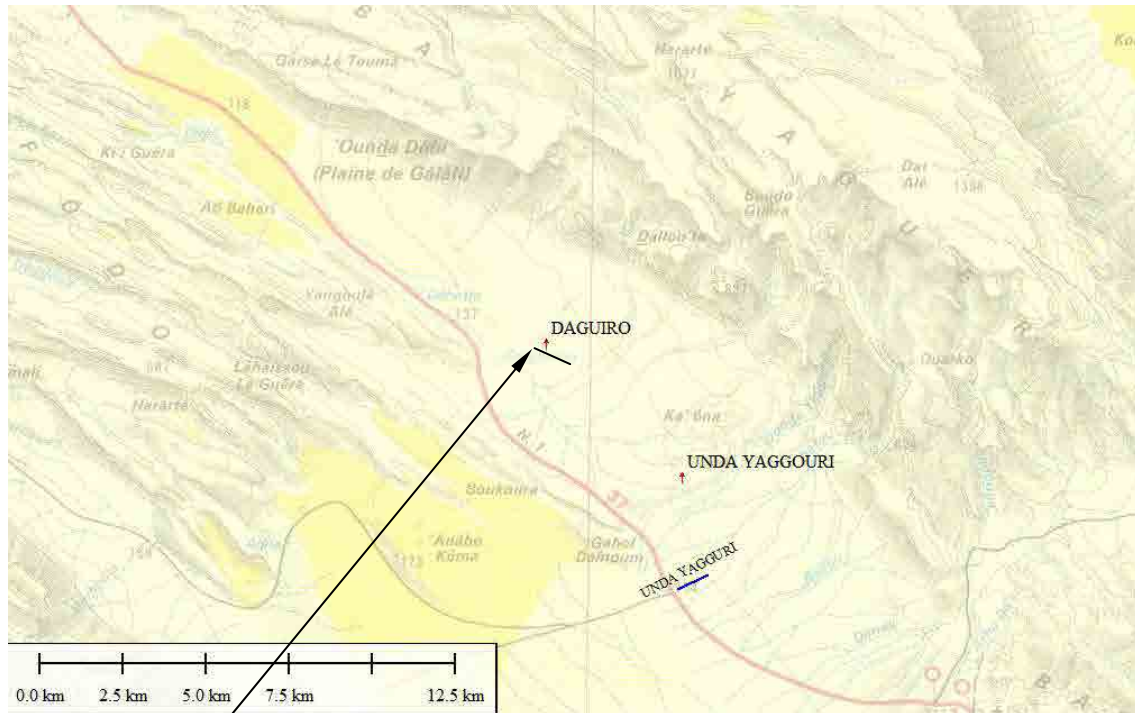
(7) KOUTABOUYA

Le site se situe à l'extrémité en aval des bassins versants de Gobbad. Il présente une appréhension d'accumulation de sel. En effet, l'eau provenant de plusieurs forages déjà exploités présentent une haute salinité, donc inappropriée à la consommation humaine. Le sondage géoélectrique mené le plus en amont que possible des bassins versants dans le souci d'éviter l'eau salinisée rapporte la distribution générale d'une faible résistivité inférieure à $3\Omega \cdot m$. Il en résulte que l'eau souterraine a une haute salinité.



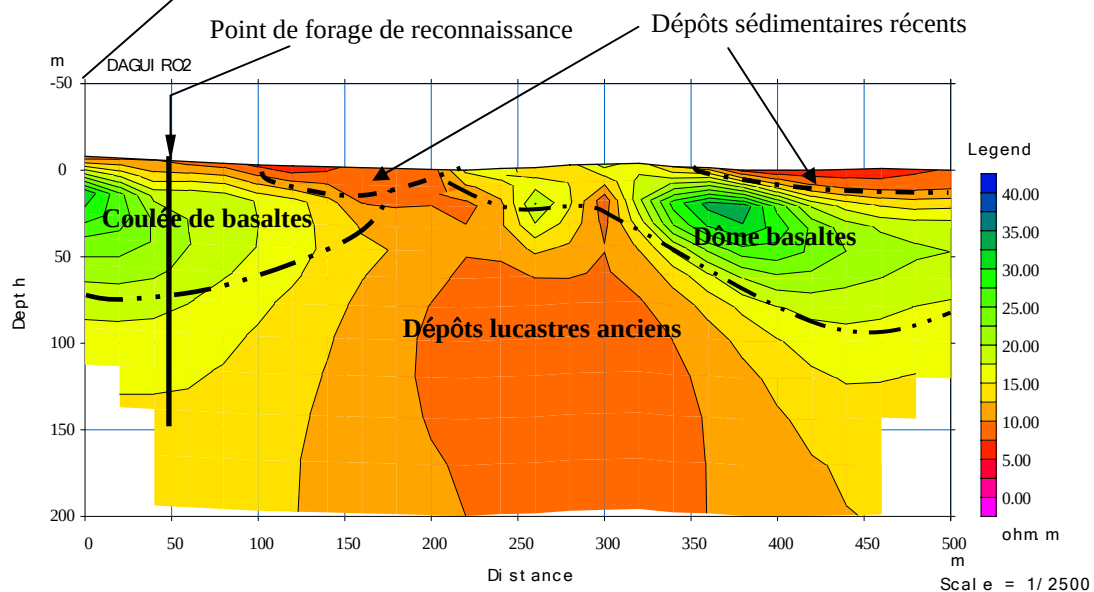
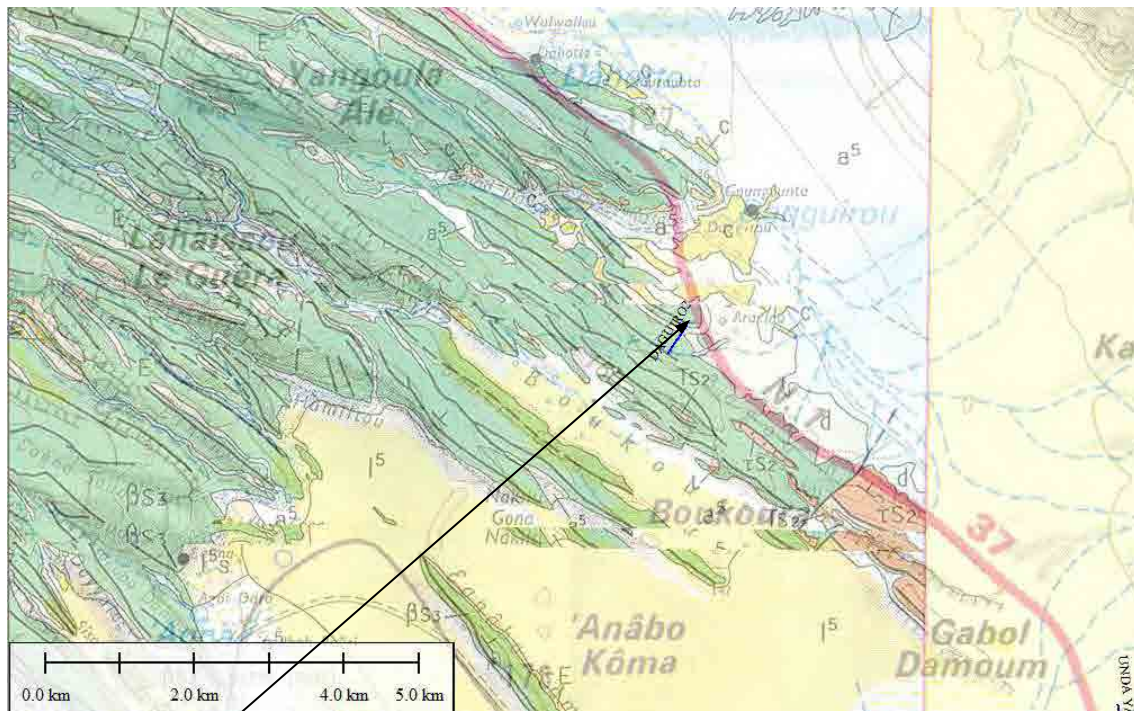
(8) DAGUIRO

Le site se situe au milieu de la route nationale 1 en allant de YOBOKI à GALAFI. Comme le cas du site d'UNDA YAGGOURI 1, on y observe une distribution significative de dépôts lacustres anciens, marque d'accumulation de sel dans l'eau souterraine, dont l'exploitation est déconseillée. De ce fait, le point de sondage a été déplacé, tout en évitant la dépression autant que possible, jusqu'au pied nord-est de la montagne de haute altitude. Le sondage rapporte la distribution significative d'une résistivité inférieure à $5 \Omega \cdot m$ dans le sol, ce qui permet d'estimer que la salinité de l'eau souterraine est élevée.



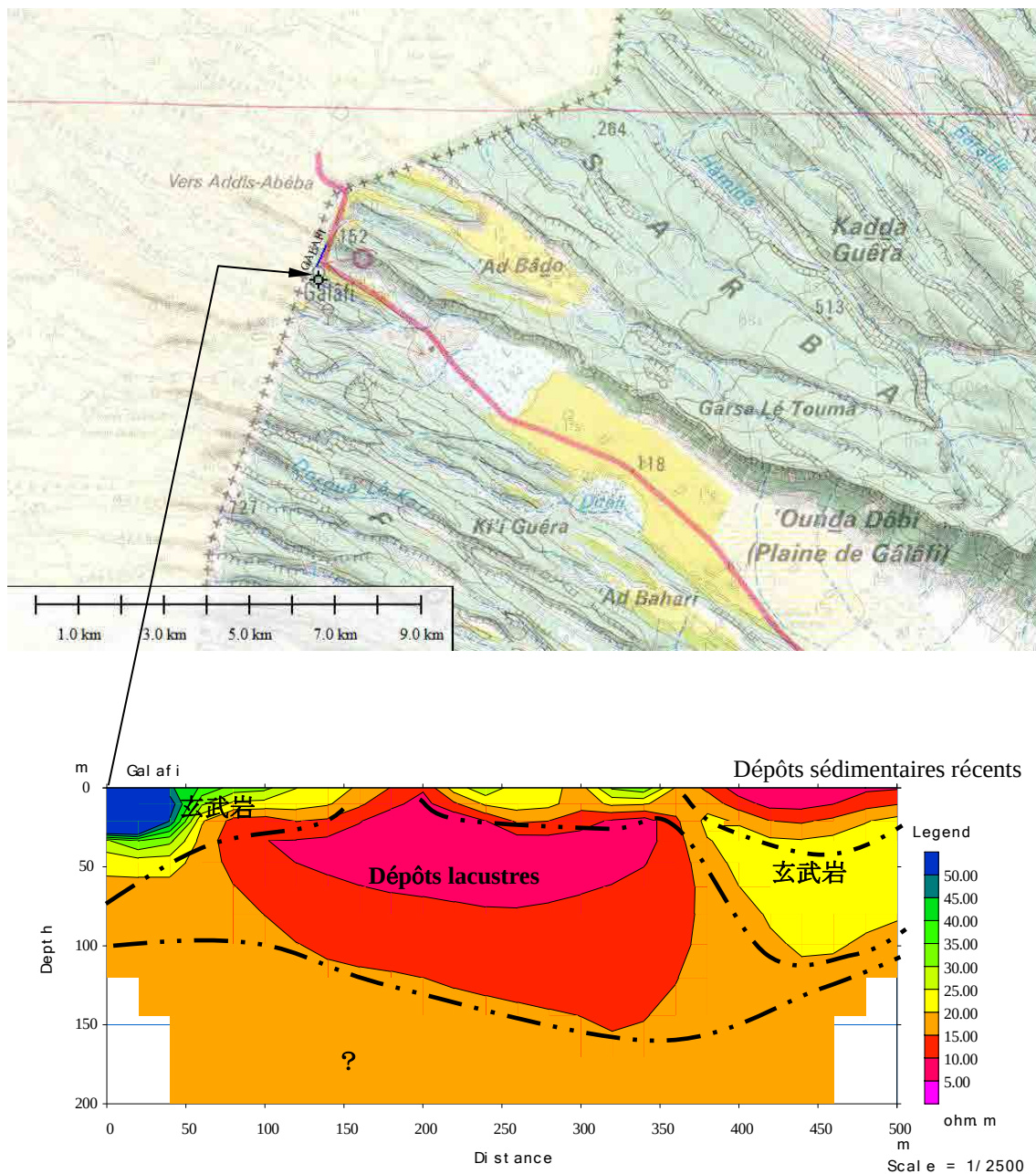
(9) DAGUIRO(2)

Le site se situe du côté sud de la route nationale 1 allant de YOBOKI à GALAFI. À GALAFI situé en aval, l'eau est prise dans les basaltes distribués dans ses environs. Il a été visé à exploiter l'eau souterraine à un point situé en aval des mêmes basaltes. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution au milieu d'une faible résistivité inférieure à $10\Omega \cdot m$, ce qui permet d'estimer une distribution de dépôts lacustres anciens captant l'eau souterraine de haute salinité. D'autre part, en ce qui concerne les deux extrémités du profil en long, côté début et côté fin, une haute résistivité de $25\Omega \cdot m$ se distribue, ce qui permet d'estimer une distribution de basaltes. Par conséquent, le Projet a effectué un forage à environ 50m du point de sondage.



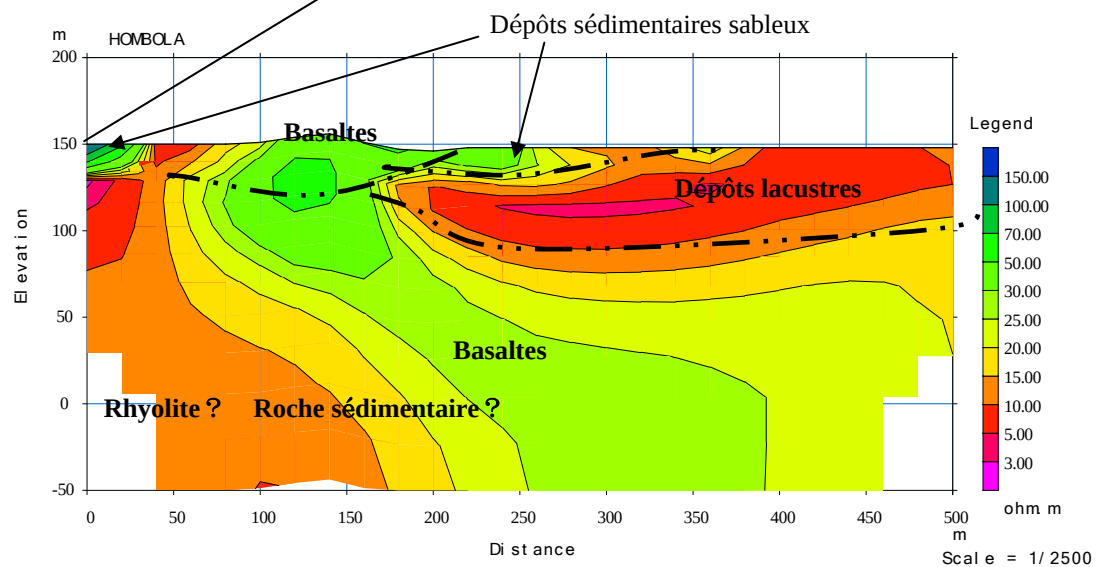
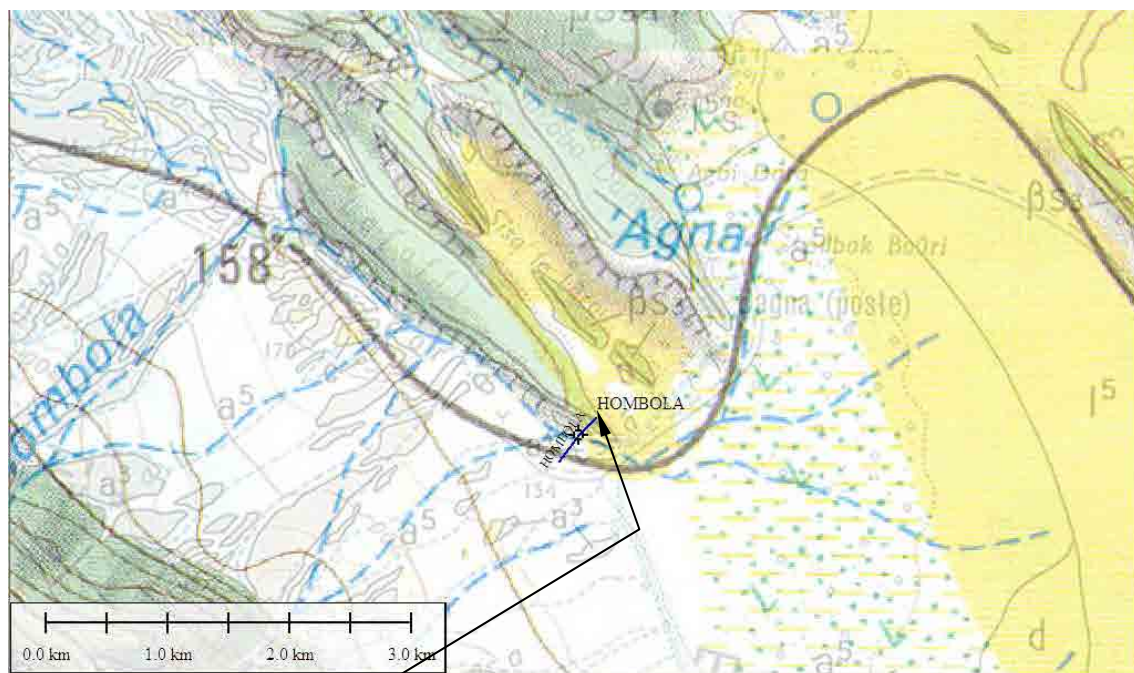
(10) GALAFI

C'est un village frontalier situé le long de la route nationale 1. Dans ses environs se distribue des basaltes. Par contre, dans les bassins versants de Hanle situés au sud-est du village se distribue largement des dépôts lacustres anciens, marque de haute salinité de l'eau souterraine. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution significative d'une faible résistivité inférieure à $20\Omega \cdot m$, en plus d'une autre résistivité d'environ $25\Omega \cdot m$ distribuée en fin du profil en long, marque de présence de basaltes. Il est toutefois signalé que le site appartient au commandement de l'armée djiboutienne et que ceci risque d'entraver éventuellement la participation des villageois au système de gestion et d'entretien du point d'eau. Il en découle que le site a été exclu du Projet.



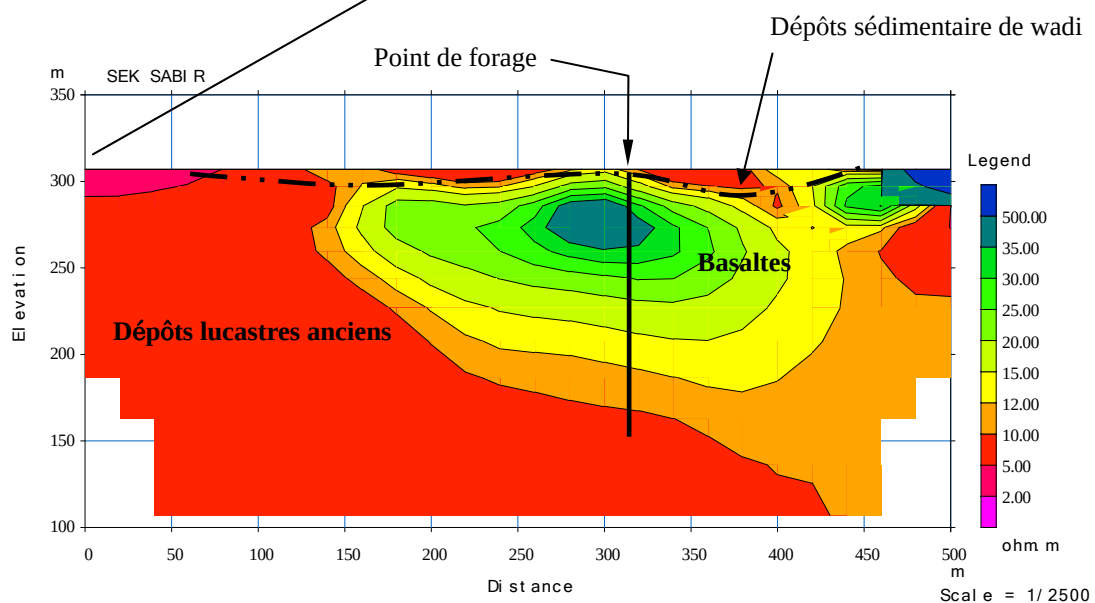
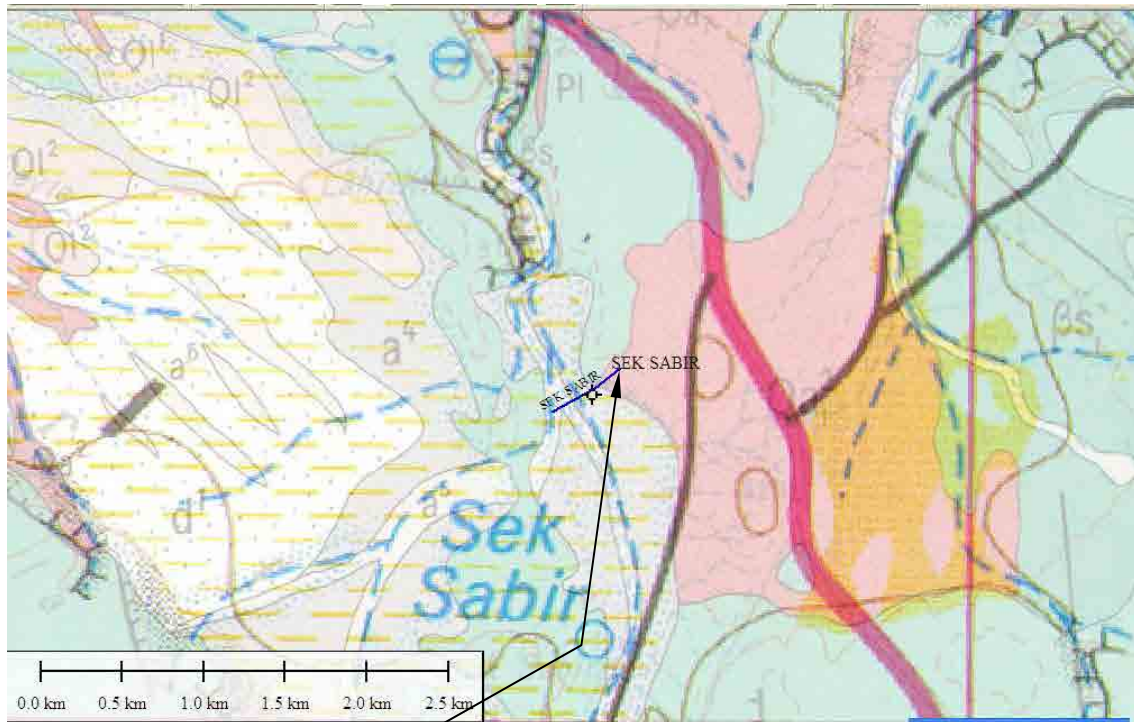
(11) HAMBOLA

Le site se situe à l'extrémité des bassins versants de Hanle avec dans ses environs la distribution significative de dépôts lacustres. Dans l'appréhension que ces dépôts lacustres contiennent l'eau souterraine de haute salinité, l'eau retenue dans les basaltes fait l'objet de l'exploitation. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une haute résistivité supérieure à $25\Omega \cdot m$ dans la moitié en amont du profil en long (côté nord-est), ce qui permet d'estimer la présence des basaltes relativement plus perméables. Par contre, dans la moitié en aval du profil en long (côté sud-ouest), une faible résistivité inférieure à $25\Omega \cdot m$ se distribue dans le sol moins profond que 100m, ce qui permet d'estimer qu'il y a une immense couche de dépôts lacustres. À titre indicatif, les voies et routes des environs du site ont risque d'être submergés en saison des pluies. En cas de construction d'un nouveau forage, il faut donc se préoccuper d'un travail d'entretien.



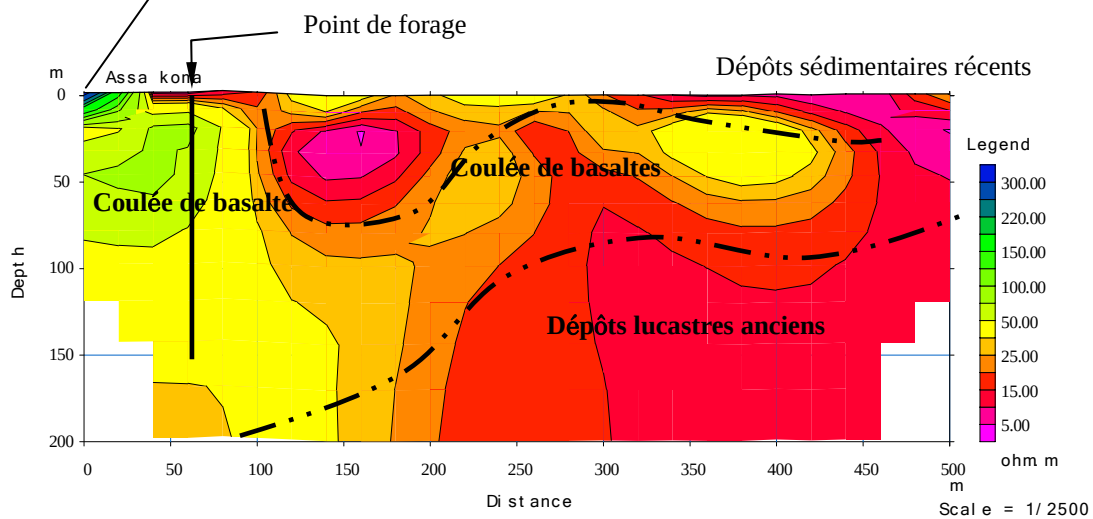
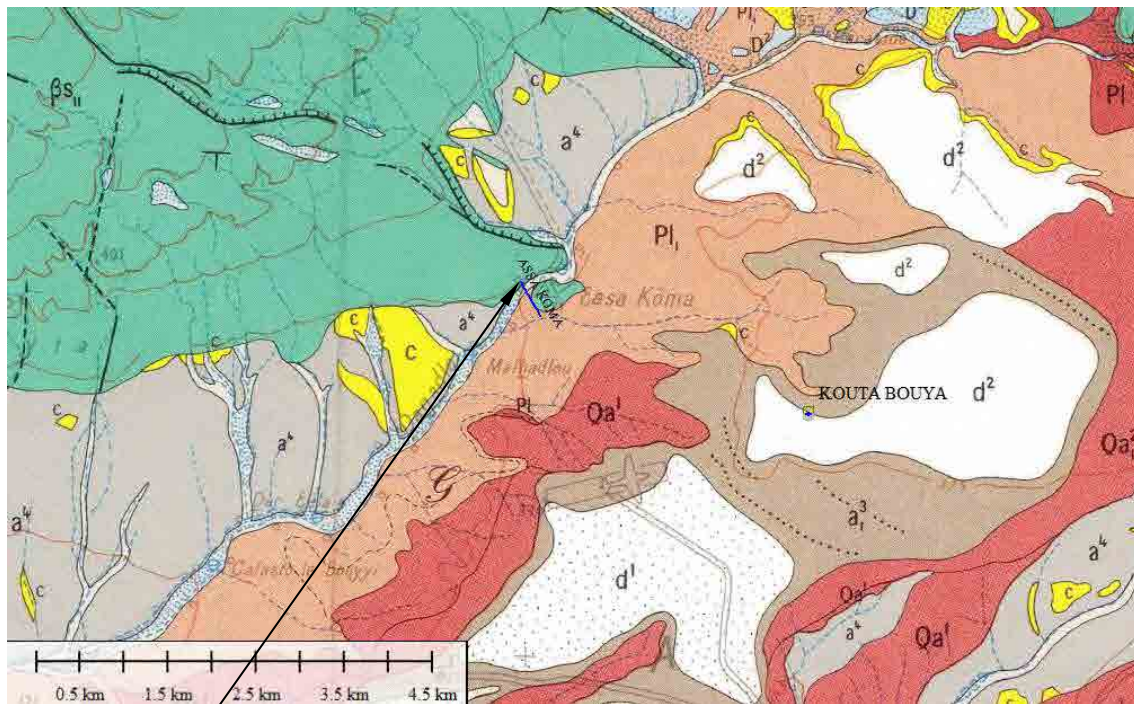
(12) SEK-SABIR

Le site se situe dans le cours moyen du wadi Hanle dans les environs duquel il y a plusieurs forages qui alimentent l'eau souterraine dont la salinité est relativement moins élevée. Dans le wadi se distribuent des dépôts sédimentaires fluviaux et sur sa rive droite (côté est) se distinguent des rochers basaltiques. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une haute résistivité supérieure à $20\Omega \cdot m$ à la fois dans le profond et sur la rive gauche (côté ouest), ce qui permet d'escompter la distribution de basaltes dont la couche aura une épaisseur d'environ 150m. Il en découle que le potentiel en exploitation de l'eau souterraine est relativement important.



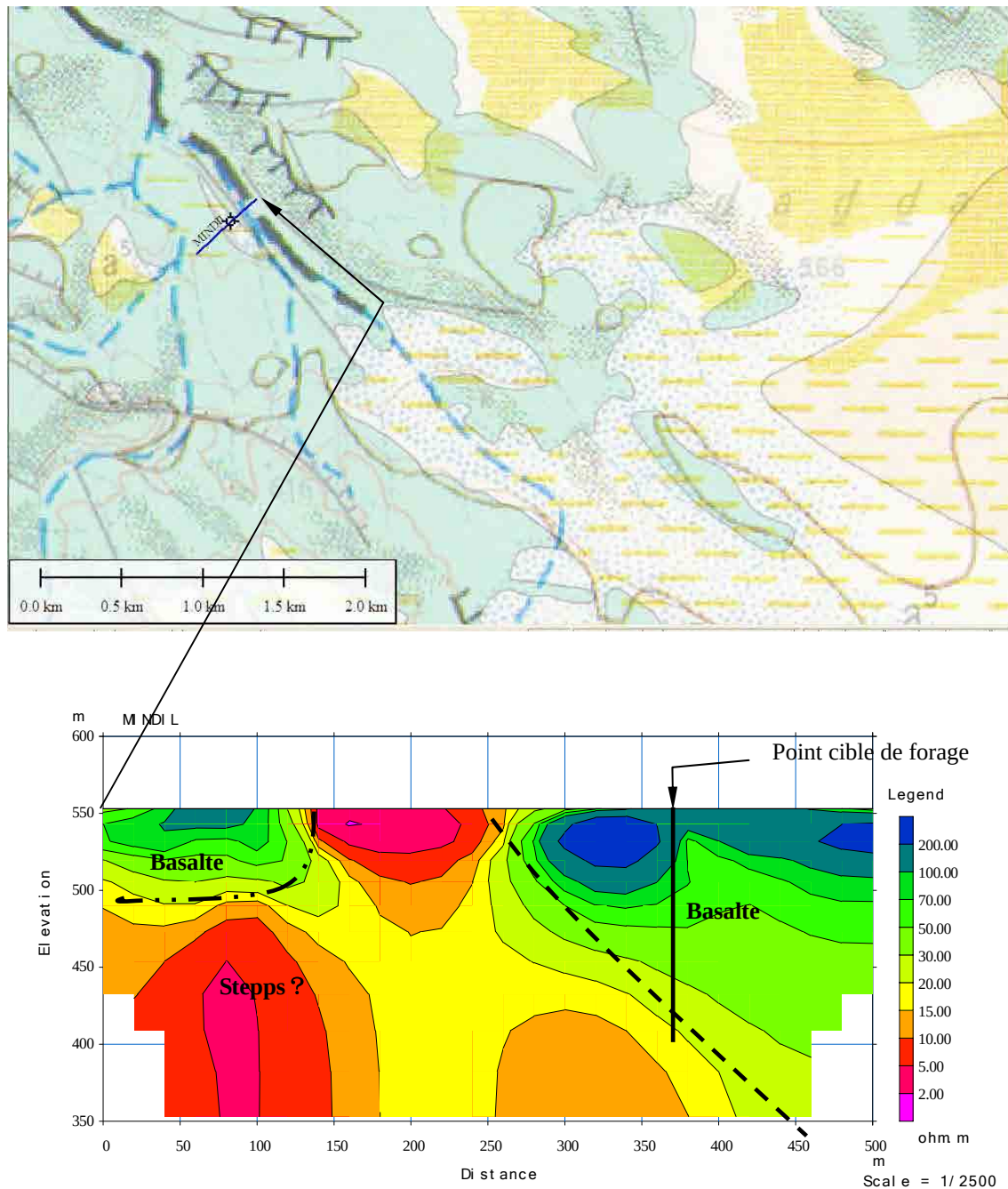
(13) ASSA KOMA

Le village se trouve dans le cours moyen des bassins versants de KOUTABOUYA. Par rapport au village de KOUTABOUYA situé plus en aval, on peut escompter moins d'accumulation de sel. Ses environs sont marqués par la distribution de basaltes, marque favorable à l'exploitation de l'eau souterraine. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution complexe entrecroisée de deux résistivités inférieure et supérieure à $25\Omega \cdot m$. Ceci est une interprétation topographique de la sédimentation de dépôts sur une dépression formée par la coulée gravitationnelle de basaltes. De ce fait, l'identification d'un point d'exploitation de l'eau souterraine a été orientée vers les dômes-coulées de basaltes se distribuant au début du profil en long dont l'épaisseur de la couche est relativement importante.



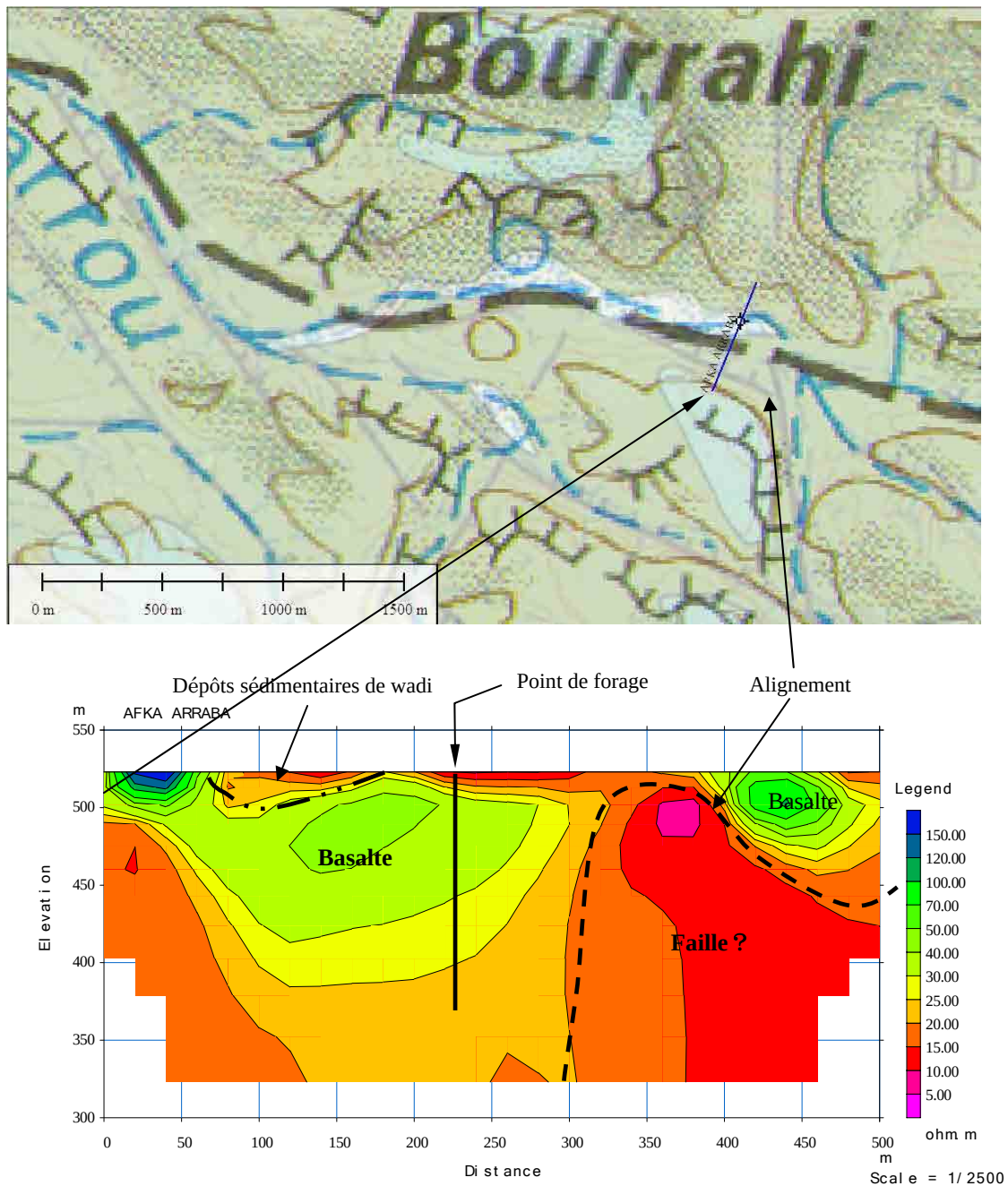
(14) MINDIL

Le site se situe sur des dômes-coulées de basaltes en amont des bassins versants de Gagadi. Si des basaltes des environs formaient une couche épaisse et se distribuent dans le profond, on pourrait escompter une haute perméabilité du sol. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une haute résistivité supérieure à $20\Omega \cdot m$ devenant plus dense dans la moitié en aval du profil en long (côté ouest), ce qui permet d'estimer la distribution de coulées de basalte plus dense dans la moitié en aval du profil en long.



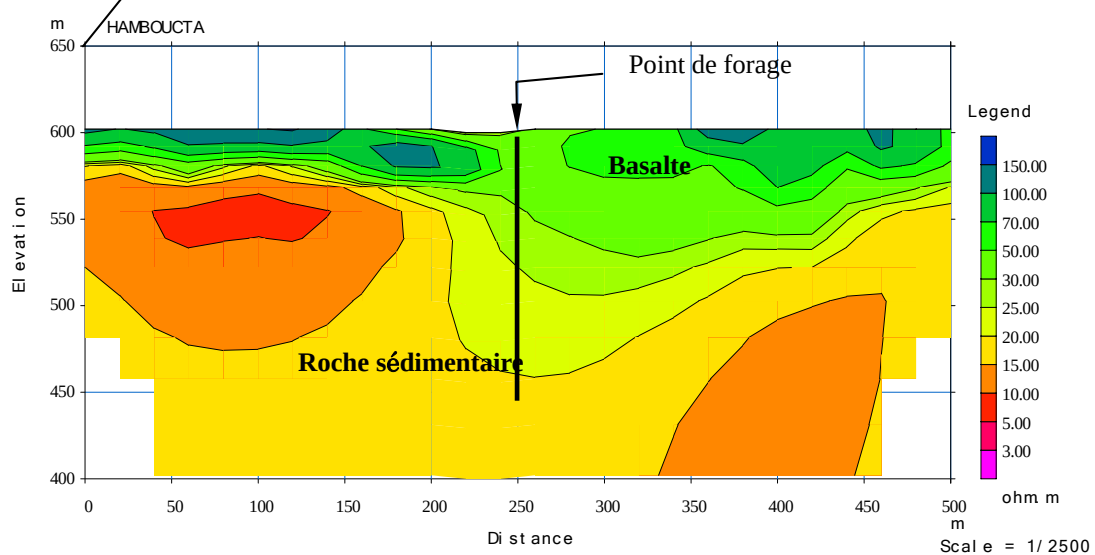
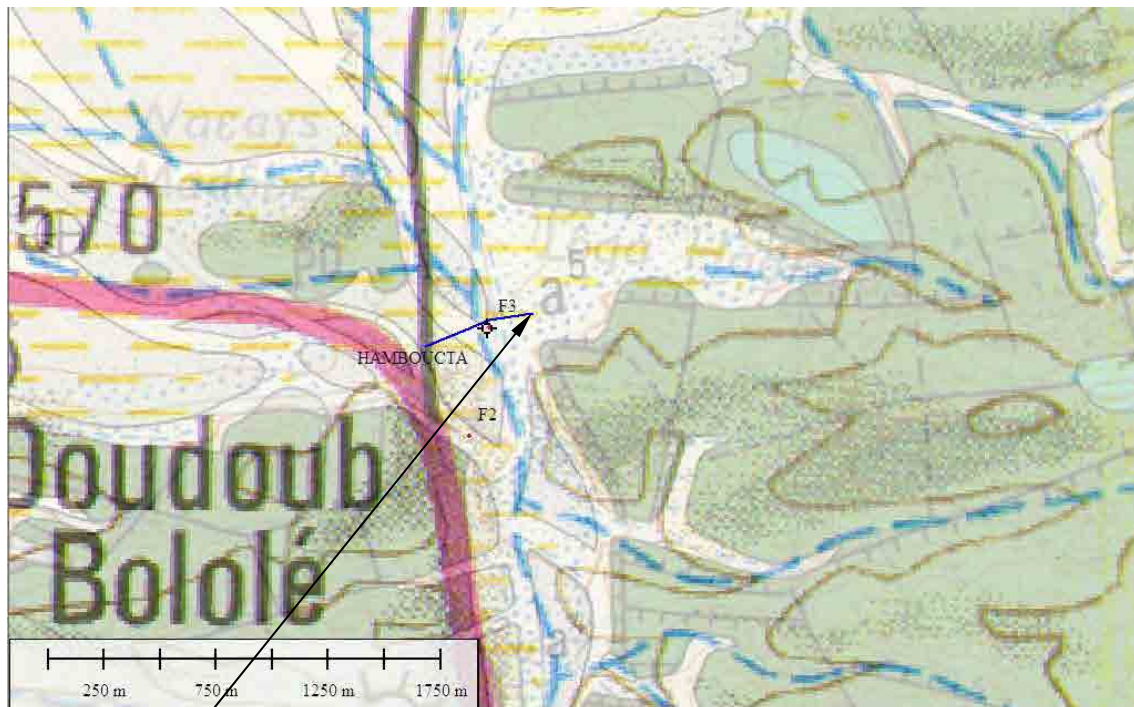
(15) AFKA ARRAB

Le site se situe en aval des bassins versants de Hanle avec des basaltes se distribuant dans ses environs, ce qui permet d'escompter une haute perméabilité du sol. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution verticale d'une faible résistivité au repère de 300 ou 500m du profil en long dont la localisation correspond à un alignement indiqué sur une carte géologique, ce qui permet d'estimer qu'il s'agit d'une faille probablement. La faiblesse de la résistivité permet d'estimer que cette faille est une brèche de faille, ce qui permet d'estimer qu'elle n'est pas dotée d'une perméabilité suffisante ni d'un potentiel suffisant du sol pour l'exploitation de l'eau souterraine. De ce fait, on estime qu'il sera fort probable d'exploiter l'eau souterraine à certains points de la moitié en amont du profil en long (nord-nord-est) présentant la distribution d'une haute résistivité (basalte estimé).



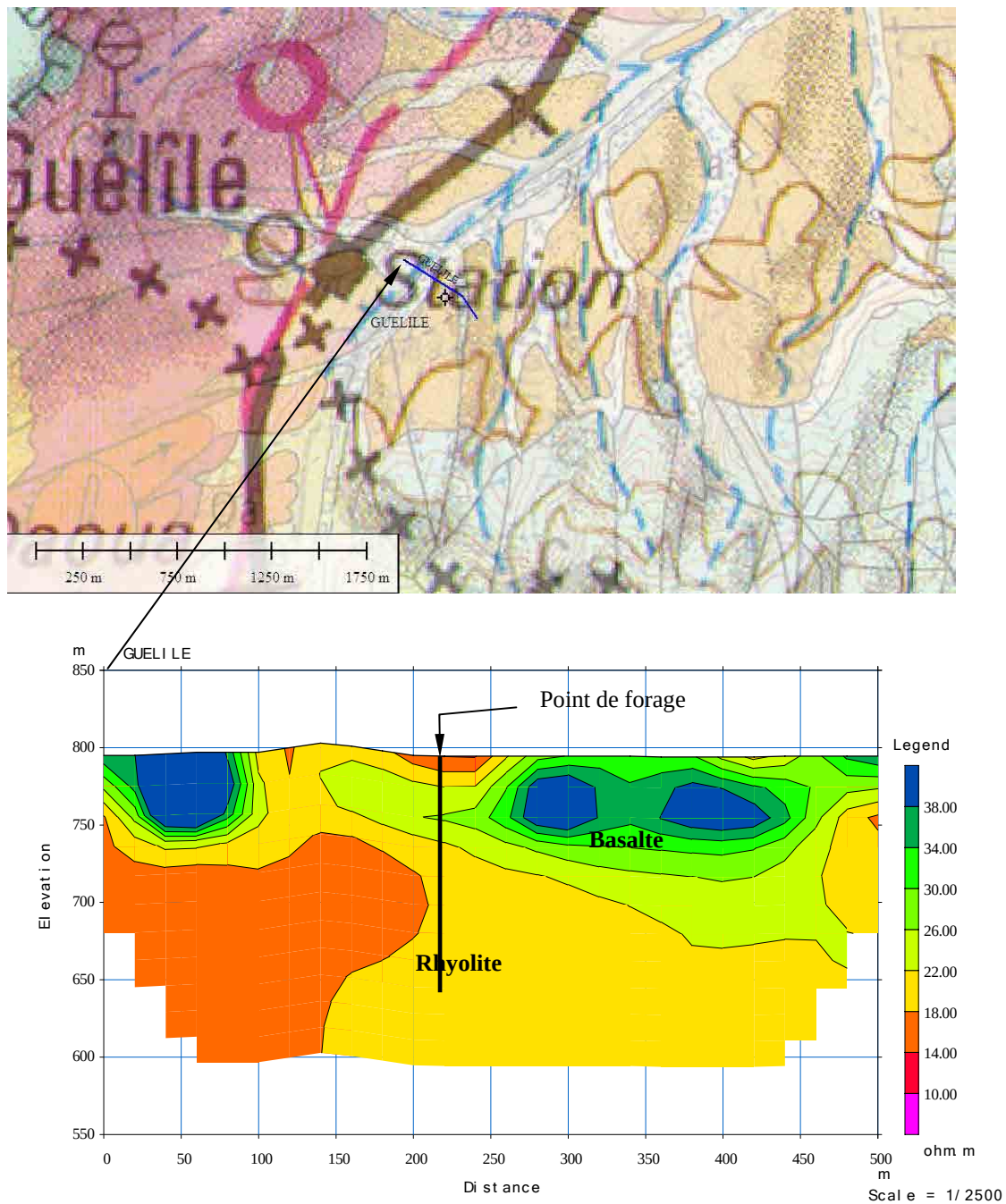
(16) HAMBOUCTA

Le site situé en aval du wadi HAMBOUCTA qui s'écoule à Grand Bara est caractérisé par la distribution de basaltes dans ses environs, ce qui permet d'escompter une nature géologique hautement perméable du sol. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une faible résistivité inférieure à $20\Omega \cdot m$ dans la moitié en amont du profil en long, alors que dans la moitié en aval du profil en long, une haute résistivité supérieure à $20\Omega \cdot m$ se distribue à la rive gauche dans une profondeur de moins de 100m, ce qui permet d'estimer que des basaltes se distribuent à la rive gauche du wadi dans une profondeur moins de 100m.



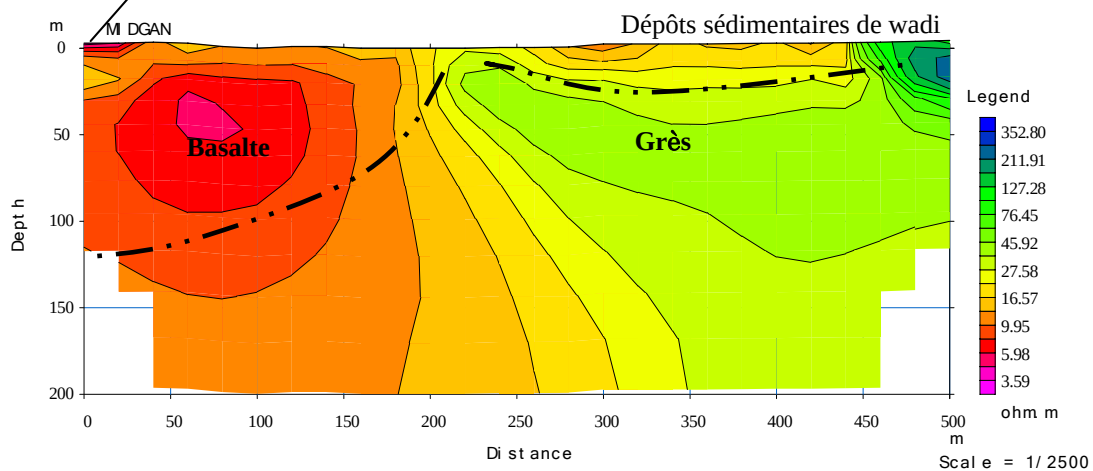
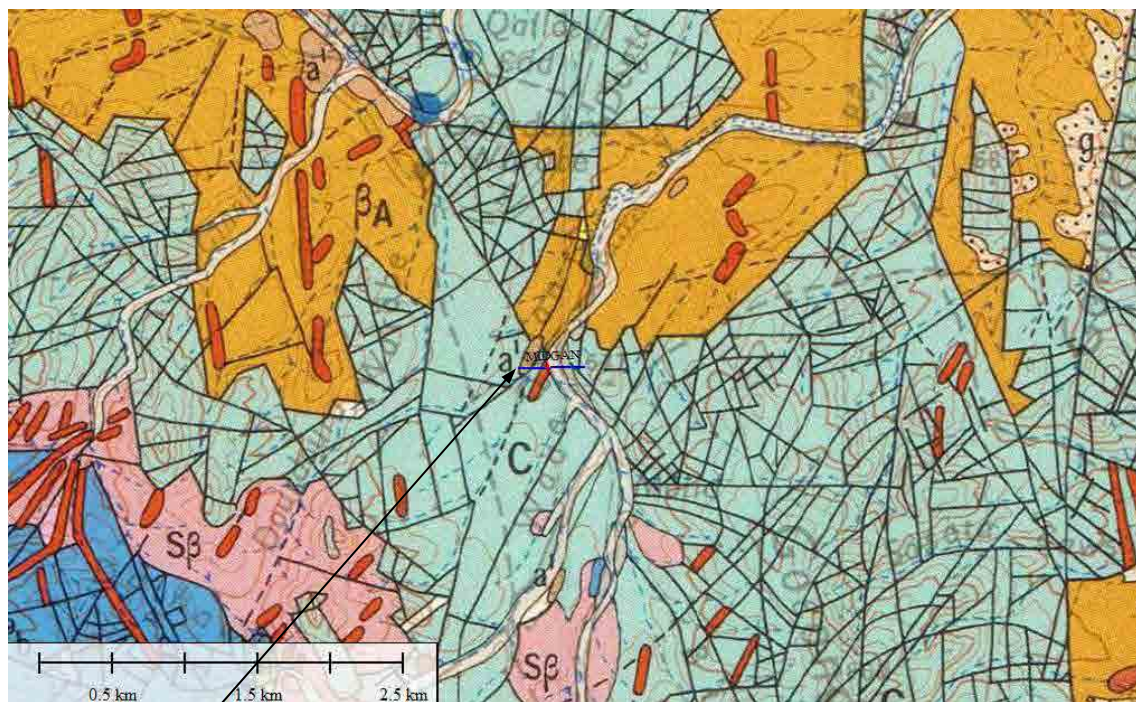
(17) GUELILE

Dans les environs du site se distribuent des basaltes et des rhyolites. Bien que des rhyolites présentent une bonne captivité de l'eau souterraine, la salinité de l'eau captée a tendance à s'élever. Il a été préférable de s'orienter vers la zone basaltique pour tenter l'exploitation de l'eau souterraine. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une faible résistivité inférieure à $22\Omega \cdot m$ dans une profondeur de plus de 100m, ce qui permet d'estimer la présence de rhyolites selon la situation des environs du site, alors qu'une haute résistivité supérieure à $22\Omega \cdot m$ permet d'estimer, selon la situation des environs du site, la distribution de basaltes. Par conséquent, l'eau souterraine peut être exploitable dans une profondeur de moins de 10m, au-delà de laquelle il devient difficile de l'exploiter.



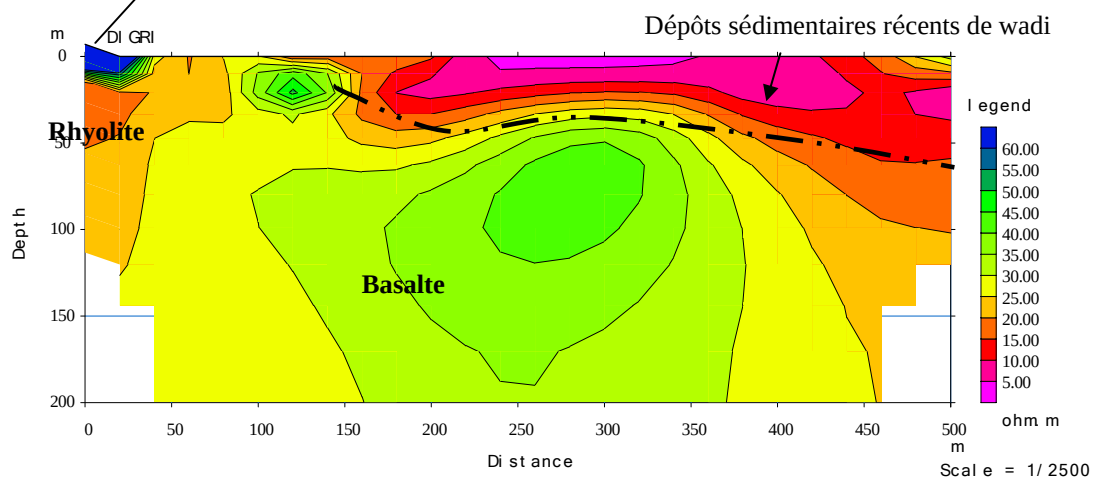
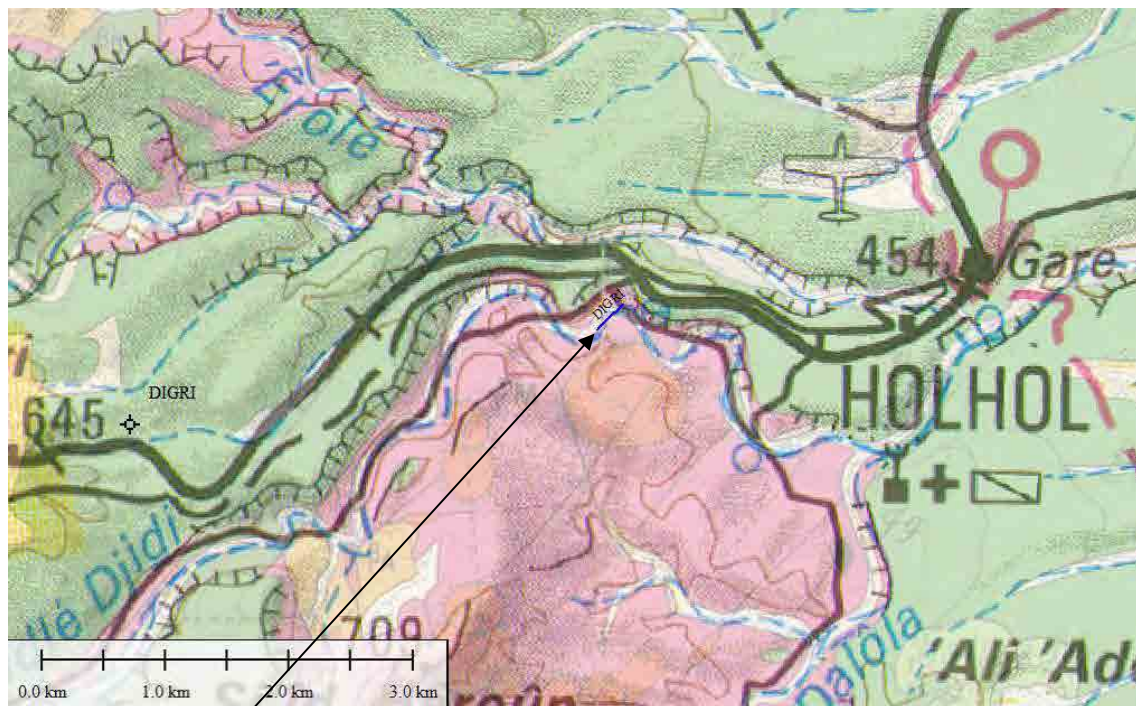
(18) MIDGAN

Le site se situe en amont des bassins versant de Beiyadi largement couvert de rochers sédimentaires. Des grès se distribuant dans les environs se caractérisent par des fissures remplies de calcite, marque de faible perméabilité. Bien qu'il y ait des basaltes, ils se distribuent en aval et, de manière limitative, en amont. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une faible résistivité de $16\Omega \cdot m$ dans la moitié en amont du profil en long (côté ouest), qui correspond à la distribution des basaltes estimée par référence aux conditions géologiques des environs. Mais comme elle présente une résistivité faible, on peut estimer que ces basaltes ont une propriété autre que ceux de Dikhil. Dans la moitié en aval du profil en long se distribue dans une profondeur de plus de 20m une haute résistivité supérieure à $27\Omega \cdot m$, ce qui permet d'estimer une distribution dans une faible profondeur de rochers sédimentaires de faible perméabilité, marque de faible potentiel en exploitation de l'eau souterraine.



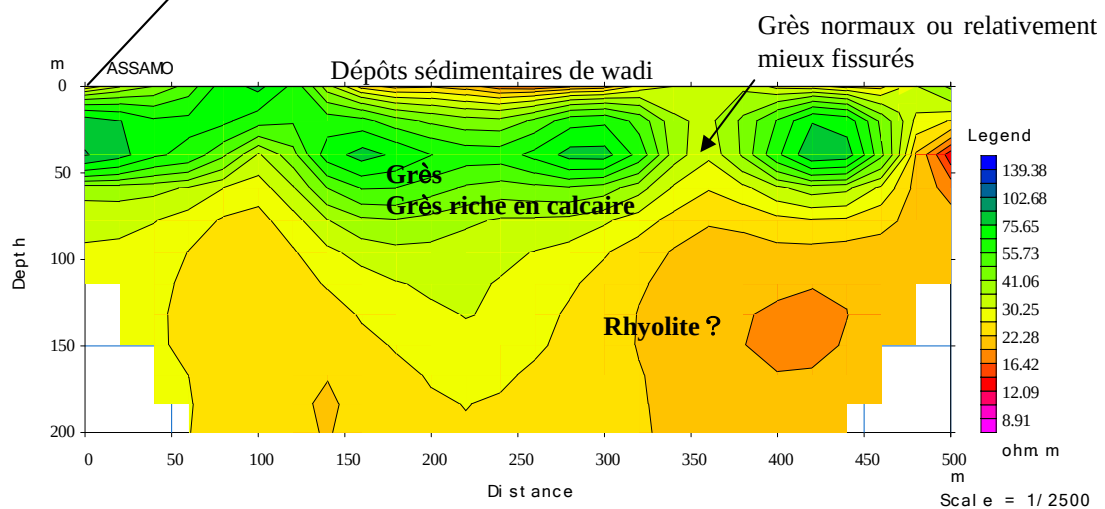
(19) Digri

Digri, site demandé, se situe au sommet du dôme-coulée de basalte dont la configuration topographique est peu appropriée pour retenir l'eau souterraine, qui ne peut être exploitée que dans les wadi se trouvant dans les environs. L'accès aux descentes jusqu'aux wadi est pour le moment impossible à cause de la chute de rochers qui bloque la circulation. C'est la raison pour laquelle le sondage géoélectrique a été effectué dans une zone en aval dont la structure géologique du sol a servi de référence pour estimer la structure géologique du sol en amont du site demandé. Le sondage géoélectrique rapporte que la distribution d'une faible résistivité inférieure à $20\Omega \cdot m$ du côté sud-est du profil en long y compris la distribution géologique des environs permettent d'estimer l'existence de basaltes, ce qui permet d'escompter la distribution significative d'une couche hautement perméable. Tout cela permet d'estimer que le site est doté d'un potentiel élevé en exploitation de l'eau souterraine.



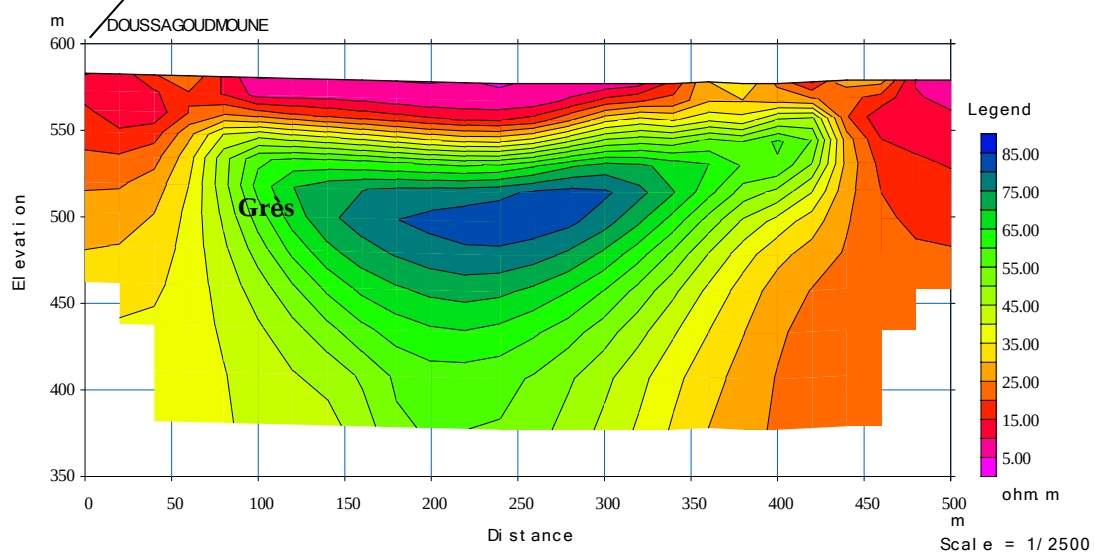
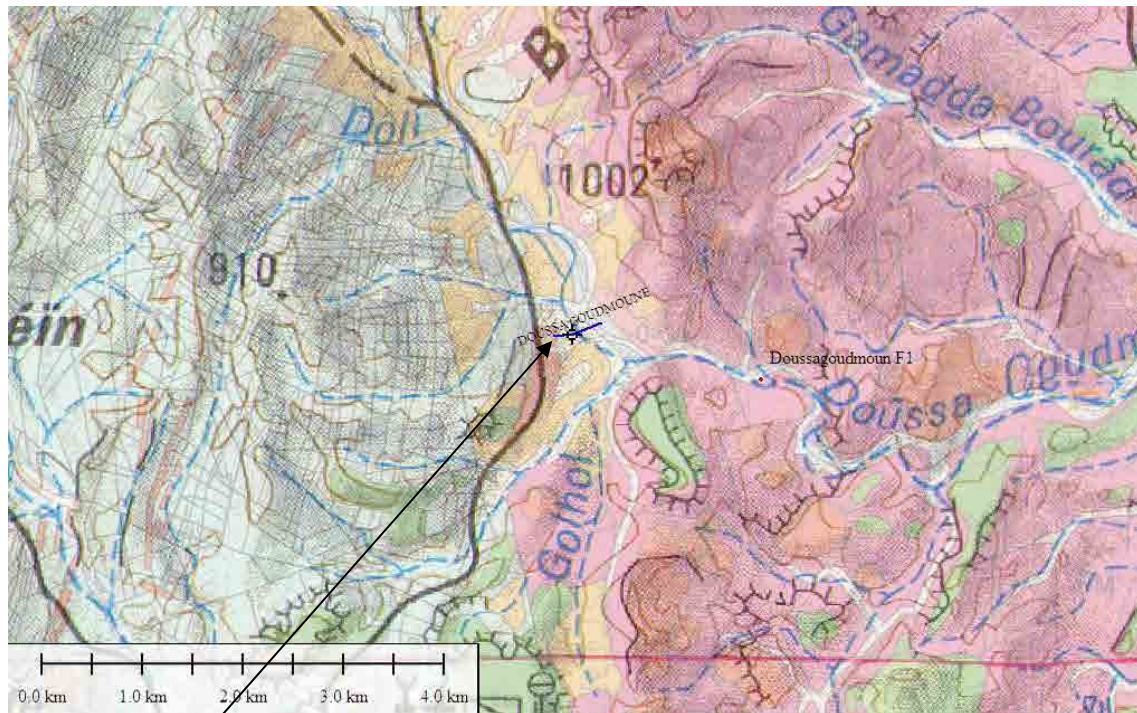
(20) Assamo

Le site se situe dans le fleuve d'Ouanian des bassins versants de Bouya Tadida. Ce fleuve descend jusqu'en Somalie. Dans ses environs se distribuent des rochers sédimentaires fissurés remplis de calcite, marque de faible perméabilité. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une haute résistivité supérieure à $55\Omega \cdot m$ dans une profondeur de plus de 100m. Au-delà de 100m de profond, une faible résistivité inférieure à $55\Omega \cdot m$ se distribue, ce qui permet d'estimer la distribution de rhyolite selon la situation géologique des environs. Près du site, il y a un forage exploité par l'armée américaine dont la salinité est élevée. On ne peut pas s'empêcher de trouver une eau de haute salinité en cas d'exploitation de l'eau souterraine retenue dans une couche rhyolitique. Il en découle qu'il est difficile d'y exploiter l'eau souterraine.



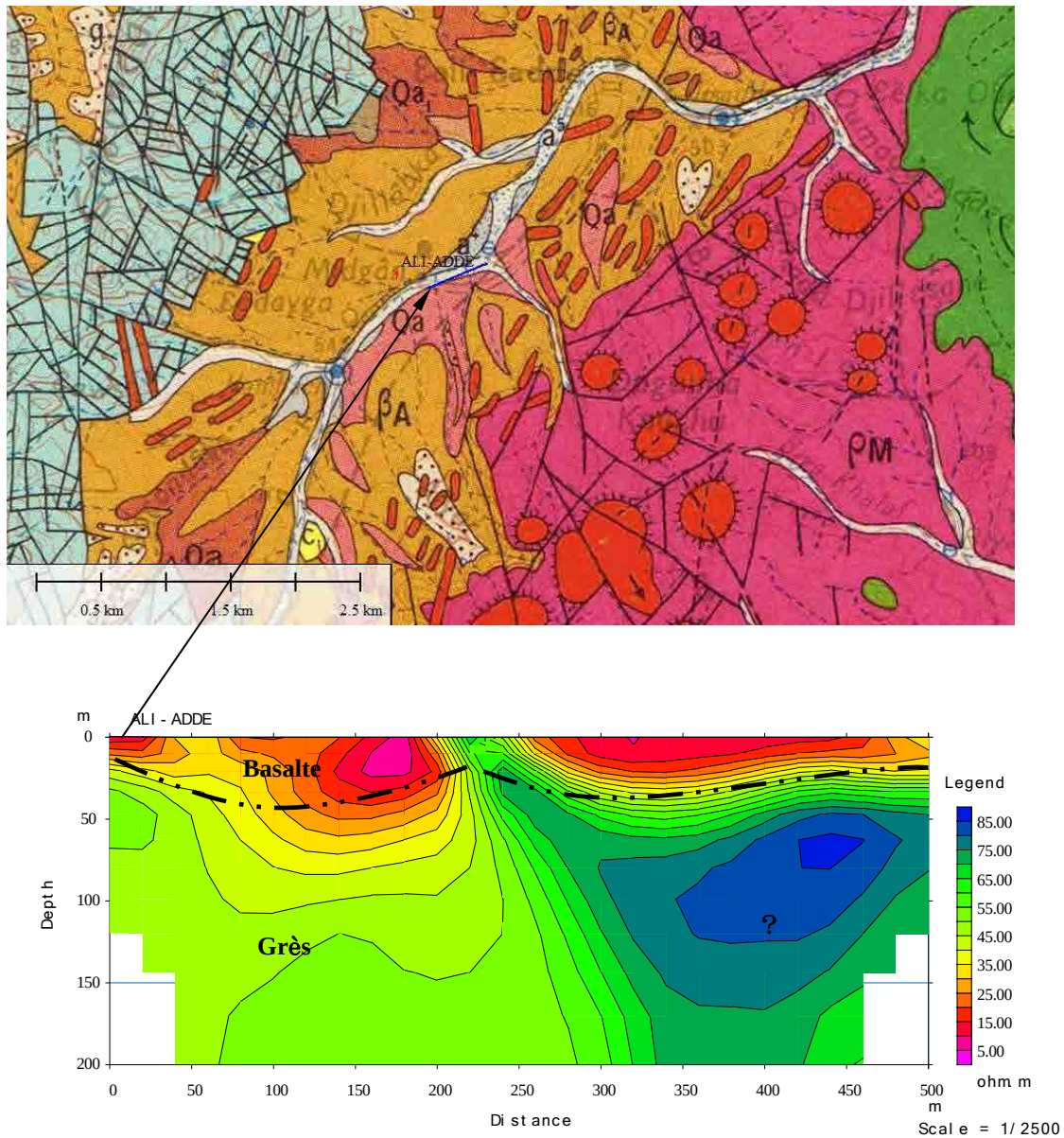
(21) DOUSSAGOUDMOUNE

Le site se situe en amont du fleuve de Doussa Goussa dans les bassins versants de Bouya Tadida, marqué par la distribution étendue de rochers sédimentaires et rhyolite. Bien qu'il y ait des basaltes, leur distribution est limitée. Comme le cas des rochers sédimentaires des environs, les fissures sont remplies de calcite, marque de faible perméabilité. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une haute résistivité supérieure à $35\Omega \cdot m$. La situation des environs et le résultat du sondage des sols géologiquement similaires permettent d'estimer une distribution significative de rochers sédimentaires de faible perméabilité. Il en découle que le site ne présente qu'un faible potentiel en exploitation de l'eau souterraine.



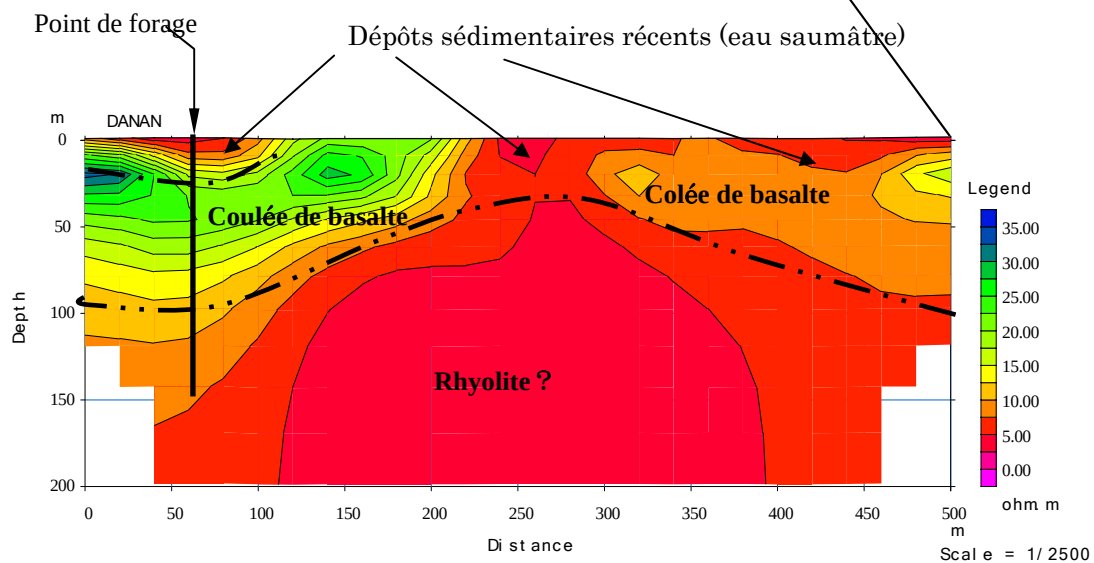
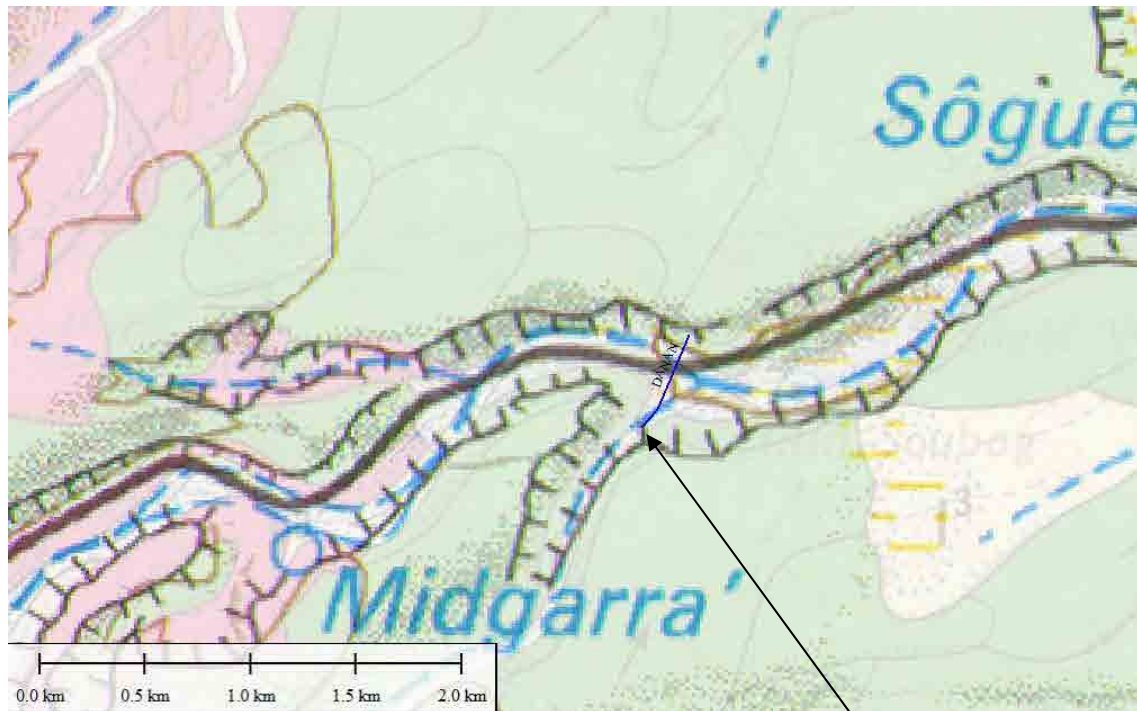
(22) ALI-ADDE

Abritant des camps de réfugiés, le site est exposé à de gros besoins en eau potable. Les différents donateurs y compris des projets nationaux viennent en aide pour l'exploitation de l'eau souterraine. Malheureusement, le taux de réussite des projets réalisés n'atteint que moins de 30%. Il y a parfois des forages abandonnés à cause de rabattement, bien qu'ils alimentent de l'eau pendant la première période de fonctionnement après la construction. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une résistivité supérieure à $45\Omega \cdot m$ dans une profondeur de plus de 50m, bien qu'il y ait une certaine différence de résistivité entre la moitié en amont et la moitié en aval du profil en long (côté ouest et côté est). La distribution géologique des environs et le résultat du sondage géoélectrique des autres sites permettent d'estimer que, comme des rochers sédimentaires se distribuent largement dans une profondeur supérieure à 50m, ladite différence provient de la variation des états remplis de calcite des fissures de rochers sédimentaires. Il en résulte que le site n'est doté que d'un faible potentiel en exploitation de l'eau souterraine.



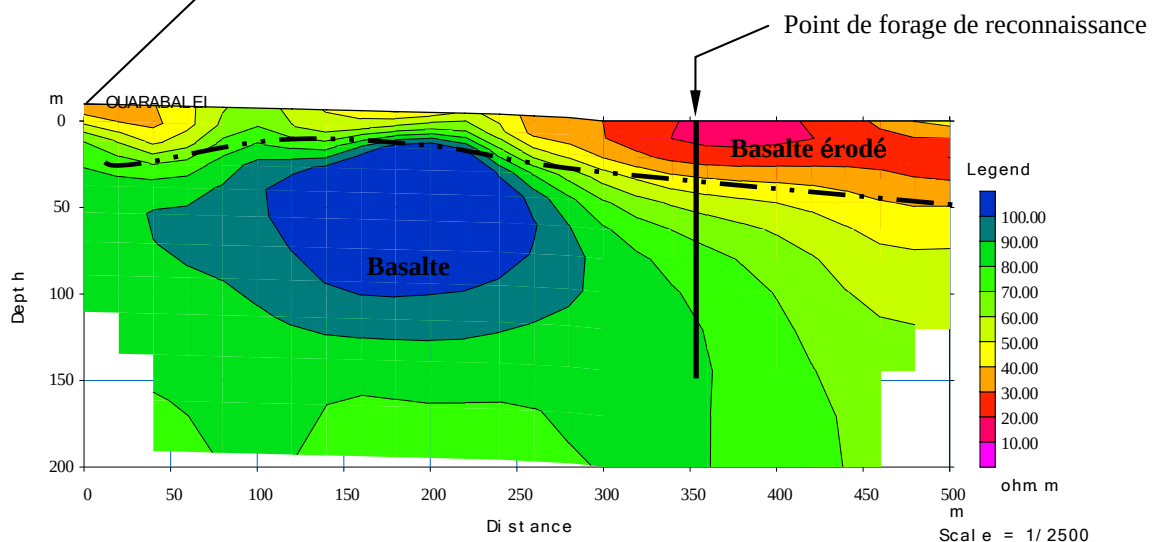
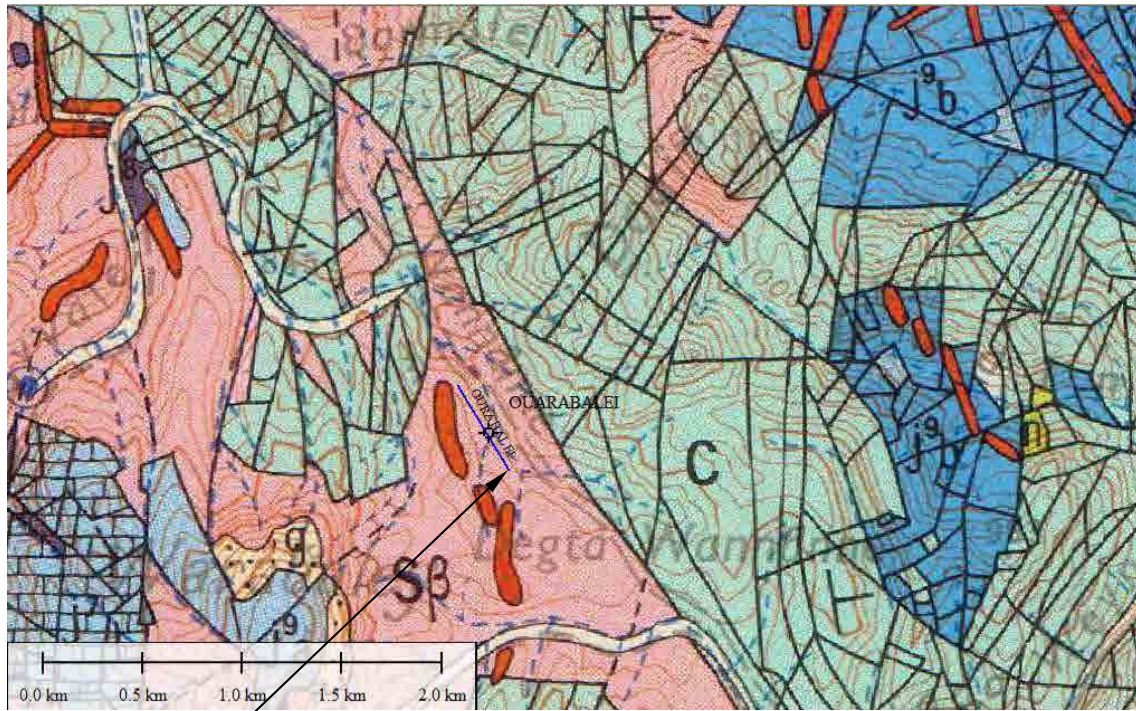
(23) MIDGARRA

Dans les environs du site se distribuent des dômes-coulées de basalte. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une résistivité supérieure à $10\Omega \cdot m$ dans une profondeur de 50m ou 100m et d'une faible résistivité inférieure à $10\Omega \cdot m$ dans le profond du sol. Selon la considération géologique des environs et sur l'estimation telle que la faible résistivité dans le profond du sol correspond à la présence de rhyolite et que la haute résistivité de $25\Omega \cdot m$ se distribuant dans la moitié en amont du profil en long (côté nord) est considérée en tant que présence de basalte, l'exploitation de l'eau souterraine a été pris en considération.



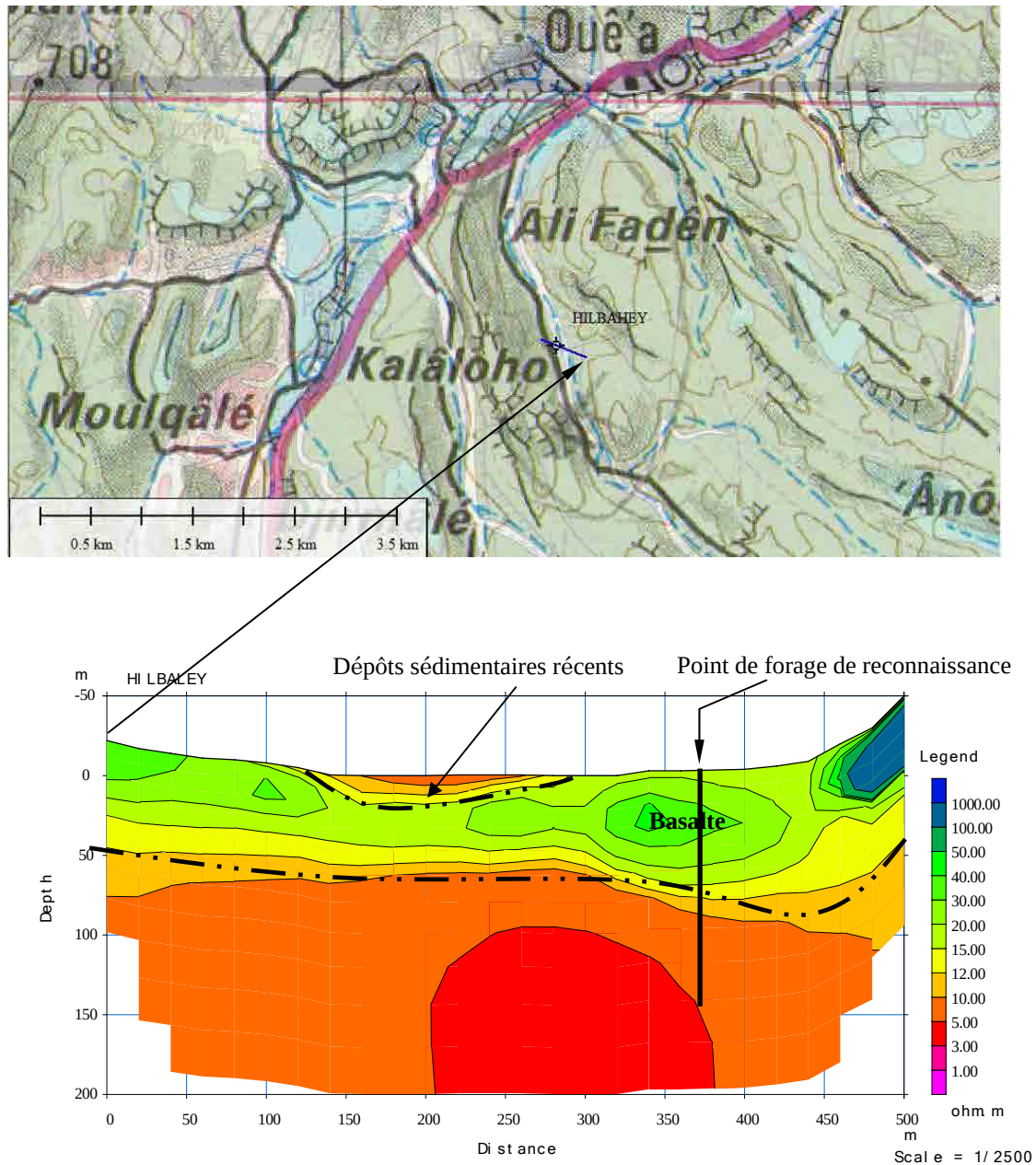
(24) OUARABALE

Le site se trouve au milieu des rochers sédimentaires se distribuant dans ses environs et des basaltes en amont. Presque toute la zone de recharge se trouve en Éthiopie et ses détails sont incertains. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution significative d'une haute résistivité supérieure à $60\Omega \cdot m$, ce qui constate une distribution étendue de grès de faible perméabilité. Cela permet d'estimer que le potentiel en exploitation de l'eau souterraine est médiocre.



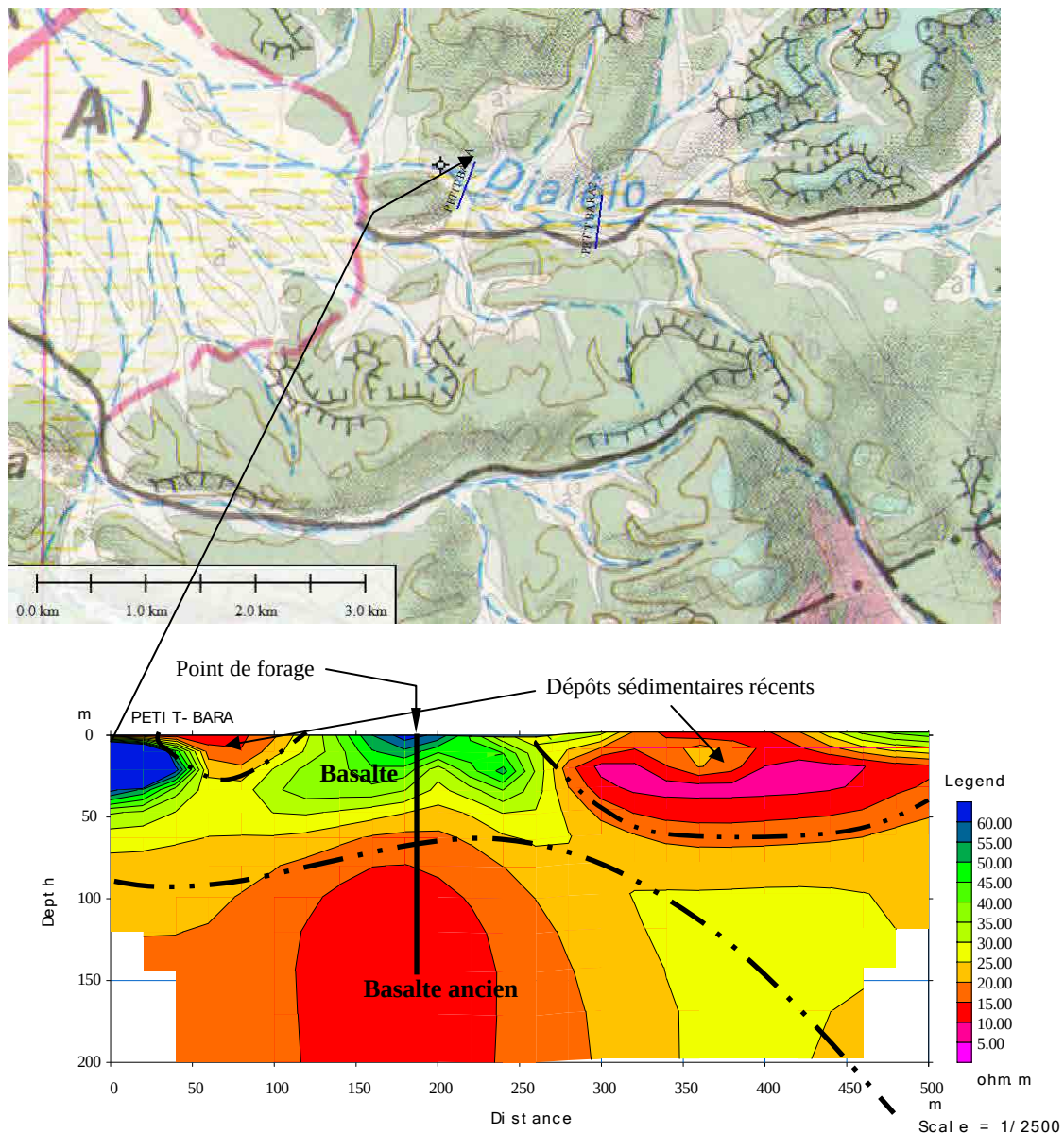
(25) HILBALEY

Le site se situe dans le cours moyen des bassins versants d'Ambli. Assiégé par des dômes-coulées de basaltes, sa configuration topographique est relativement adaptée au captage d'eau. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une haute résistivité supérieure à $20\Omega \cdot m$ dans une profondeur inférieure à 50m, ce qui permet d'estimer une distribution significative de basaltes hautement perméables. D'autre part, dans une profondeur au-delà de 50m, une faible résistivité inférieure à $10\Omega \cdot m$ se distribue, ce qui permet d'escompter un haut potentiel en exploitation de l'eau souterraine. Malgré tout, en cas d'exploitation d'un forage au-delà de 50m de profond, il y a lieu de supposer que la salinité de l'eau sera élevée.



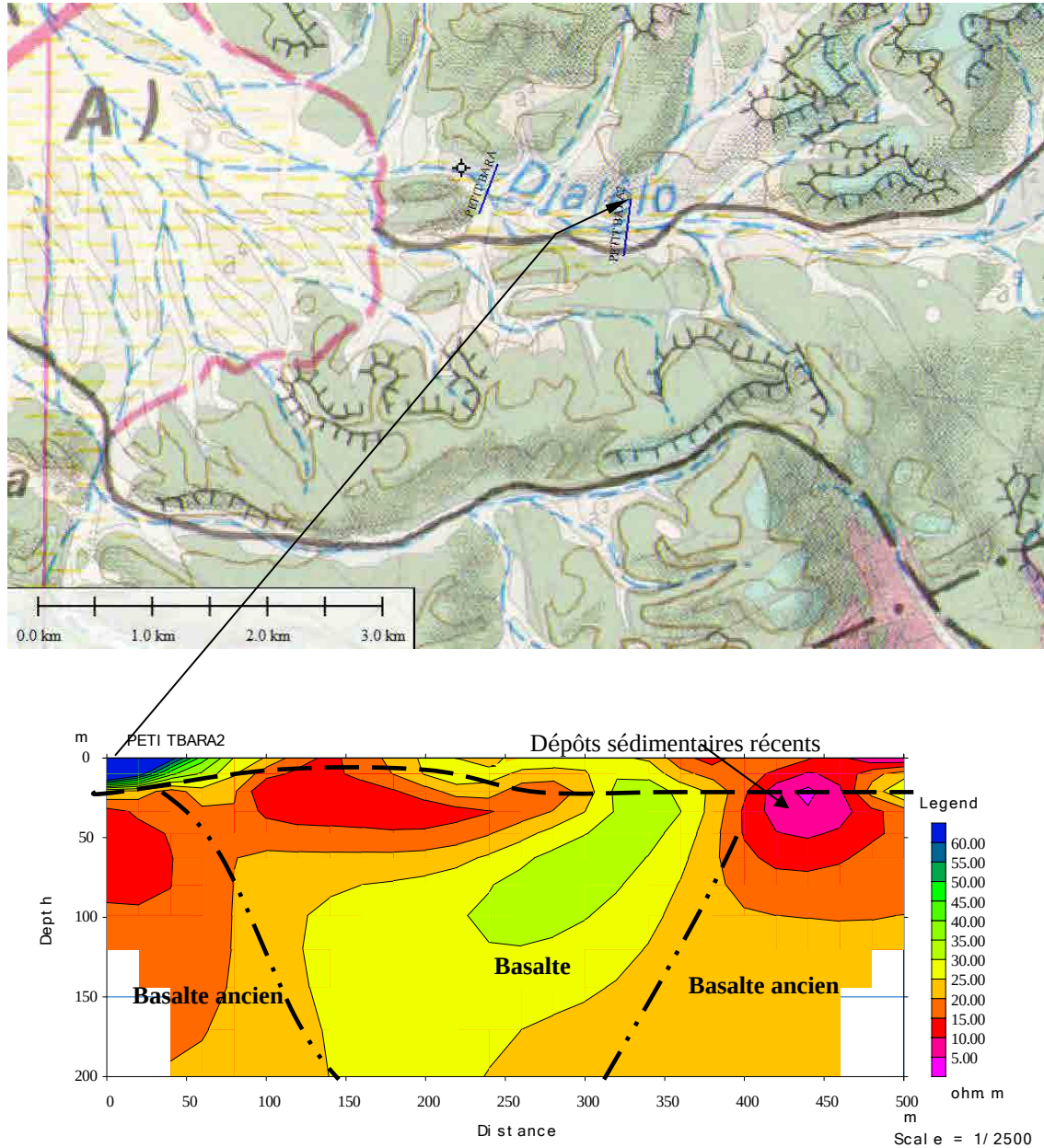
(26) PETIT BARA(1)

Le site se situe en amont des bassins versants d'Ambli. Assiégé par des dômes-coulées de basaltes, sa configuration topographique est relativement adaptée au captage d'eau. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution d'une haute résistivité supérieure à $25\Omega \cdot m$. D'autre part, dans la moitié en aval (côté sud), une faible résistivité inférieure à $25\Omega \cdot m$ jusqu'à 100m de profond et une haute résistivité de $25\Omega \cdot m$ se distribue au-delà de 100m. Bien qu'ayant une structure difficile à interpréter géologiquement, le site est doté d'une configuration favorable au captage d'eau grâce à la largeur du wadi moins importante que l'amont. C'est ainsi que le point de forage a été déterminé sur ce site. Il a été ainsi exploité un forage de grande capacité, malgré la haute salinité de l'eau souterrain, dans une profondeur au-delà de 100m à faible résistivité du site où se distribuent des basaltes anciens.



(27) PETIT BARA(2)

Le site se situe en amont des bassins versant d'Ambli. Dans ses environs se distribuent des dômes-coulées de basaltes. Le sondage géoélectrique rapporte la distribution générale d'une haute résistivité supérieure à $20\Omega \cdot m$. Du côté nord de la moitié en amont du profil en long se distribue une résistivité de $20\Omega \cdot m$. Le forage a permis d'estimer que cette faible résistivité provient des basaltes anciens.



(28) PK30

Le site se situe dans le cours moyen des bassins versants d'Ambli. Assiégée par des dômes-coulées de basaltes dans les environs, la configuration topographique est adaptée au captage d'eau. Les basaltes se distribuant dans les environs ont des fissures développées qui sont pourtant remplies de calcite. Le site présente une appréhension de perméabilité plus faible que les basaltes environnants. Le sondage géoélectrique rapport la distribution d'une faible résistivité inférieure à $20\Omega \cdot m$ entre le début (côté sud) et le repère de 300m du profil en long, qui correspond probablement à la présence de hyalobasaltes ou de rhyolite se distribuant du côté sud du profil en long. Entre le repère de 300m et la fin (côté nord), une haute résistivité supérieure à $20\Omega \cdot m$ qu'on estime des basalte se distribue.

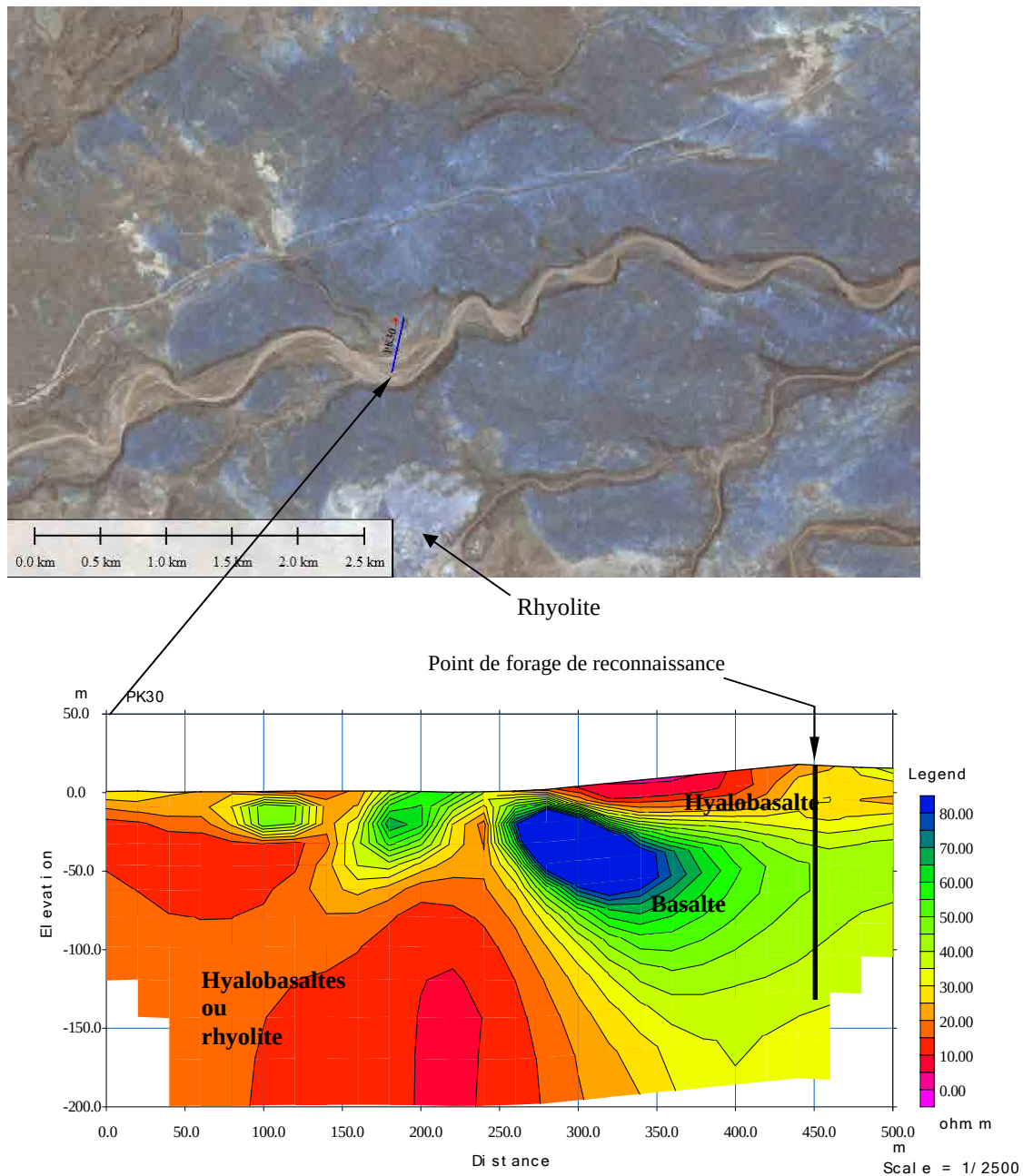


Tableau A7-1 Coordonnées de la ligne électrique de l'enquête

N.	Nom du site	Debut		Milieu 1		Milieu 2		Fin	
		Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude
1	UNDA YAGGOURI	175330	1278375					175413	1277928
2	UNDA YAGOURI-2	179707	1281789	179510	1281821			179225	1281744
5	GALLIHATAYATA	176048	1263844					175628	1264108
6	BALAMBALEY	219958	1231251	219879	1231069			219759	1230795
7	SANKAL	194366	1214605	194554	1214534			194847	1214527
8	ZINAMALE	191929	1228926					192041	1228542
9	KOUTABOUYA	170485	1219932					170572	1220424
11	DAGUIRO2	169321	1283062					169567	1283447
12	GALAFI	154438	1297123					154640	1297599
13	HOMBOLA	162302	1277775	162163	1277642			161993	1277411
15	SEK SABIR	197626	1247128	197468	1247005			197208	1246860
16	ASSA KOMA	179909	1224423					180132	1224022
17	MINDIL	219726	1240198	219576	1240065			219358	1239861
18	AFKA ARRABA	216847	1227042	216778	1226867			216665	1226593
21	HAMBOUCTA	246034	1240508	245841	1240480			245557	1240362
22	GUELILE	243772	1227159	243695	1227274			243385	1227466
23	MIDGAN	261086	1230364					261540	1230382
24	DIGRI	270745	1250472	270846	1250655	270902	1250698	271059	1250844
25	ASSAMO	263382	1215242					263765	1214921
26	DOUSSAGOUD MOUNE	265937	1219962	266135	1219987			266410	1220099
27	ALI ADDE	268001	1230131					267539	1229938
29	MIDGARRA	277646	1234687	277500	1234337			277423	1234252
30	OURABALEI	255563	1226539					255309	1226967
31	HILBALEY	265635	1269701					266084	1269516
32	PETIT BARA	258355	1256616					258197	1256189
32	PETIT BARA2	259522	1256308					259458	1255819
33	PK30	272189	1274262					272282	1274669

Source: Mission d'étude

Appendice 8.
Résultat de l'analyse de la qualité de l'eau

A8-1. La répartition qualitative de l'eau souterraine dans les zones concernées par le Projet

L'analyse ionique des composants (sodium, calcium, magnésium, potassium, bicarbonate, chlore et sulfate) faisant l'objet de l'analyse de la qualité d'eau a engendré une répartition qualitative de l'eau souterraine dans les zones concernées par le Projet à l'aide du diagramme de Piper. Celui-ci consiste à répartir des caractéristiques qualitatives de l'eau souterraine en fonction des rapports de composition et non des concentrations de ses compositions. Il en résulte que, tout indépendamment de la profondeur, soit profonde soit peu profonde, la qualité de l'eau souterraine des zones concernées peut être classée dans la plupart des cas en Type IV, type qualitative d'eau qui regroupe des eaux saumâtres ou fossiles. S'il y a des sources naturelles, elles ont notamment une tendance significative à présenter une haute teneur en sodium ion et chlore ion.

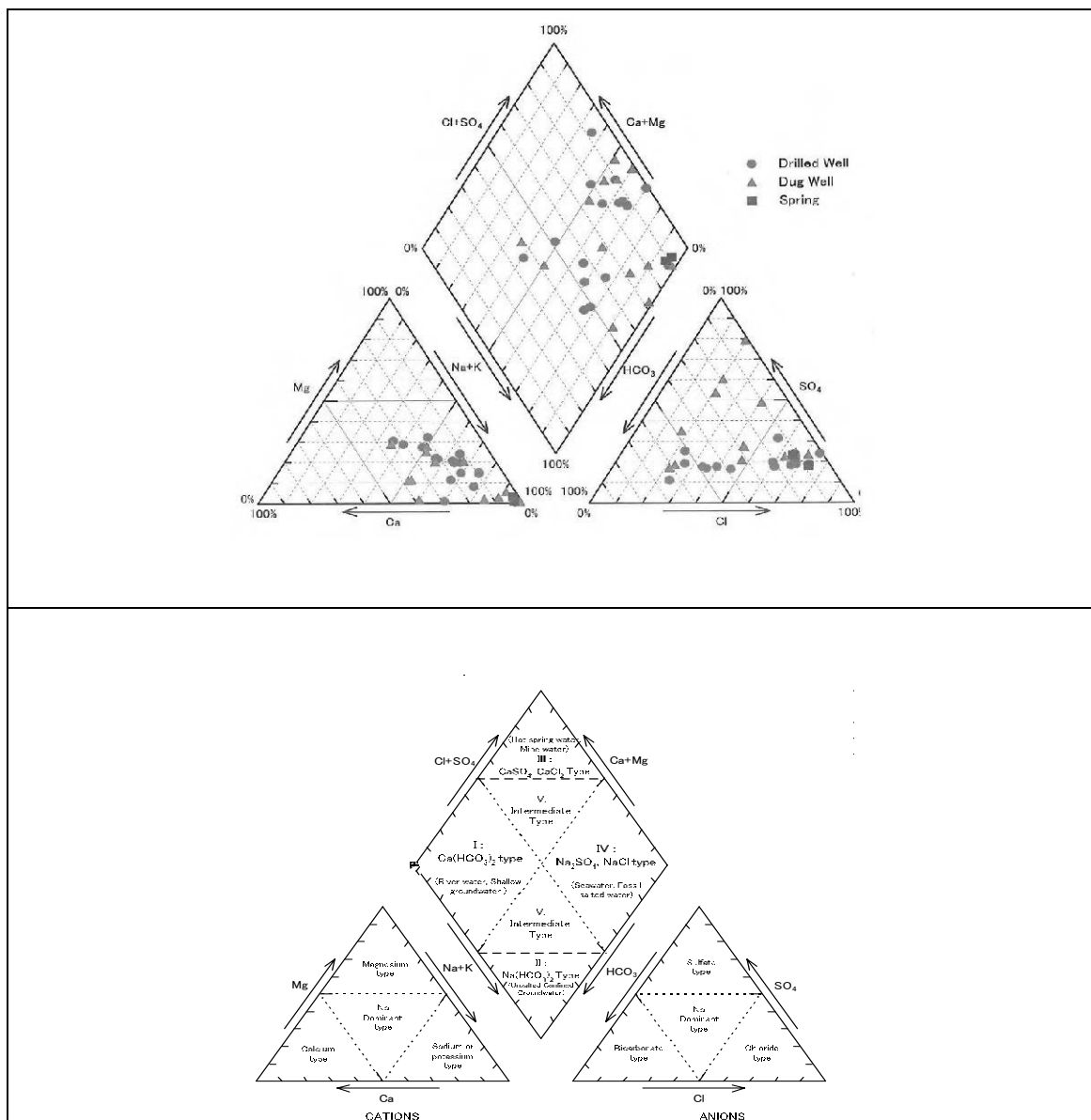


Figure A8-1 La répartition qualitative de l'eau souterraine dans les zones concernées interprétée par la diagramme de Piper

A8-2. Le dessalement

1) Les conditions de dessalement

- La qualité de l'eau d'origine
Comme le montre le résultat de l'étude préparatoire, la conductivité électrique de l'eau souterraine, si elle fait l'objet d'un éventuel dessalement, tourne autour de 1500 à 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Quant à la salinité, les éléments principaux de référence sont chlore ion et sodium ion.
- La quantité cible de traitement
Elle sera de 50 à 100 m³/jour.

2) La technique de dessalement et la facilité d'application

Parmi les principaux procédés couramment adoptés au dessalement de l'eau saumâtre, il y a la distillation par détente à étages multiples, la distillation à multiples effets et la séparation par membranes. Les membranes utilisées à la séparation par membranes sont indiquées au tableau suivant. Quant aux membranes destinées au présent Projet, comme les principaux composants à éliminer de l'eau souterraine sont du chlore ion et du sodium ion, ce sont des membranes de l'osmose inverse qui sont applicables.

Tableau A8-1 Les fonction de la membrane

Nom de membrane	Fonctions de membrane
Membrane de microfiltration (MF)	Séparation à la granulométrie de 100 nm à 10 μm ;
Membrane d'ultrafiltration (UF)	Séparation à la granulométrie de quelques nm à quelques dizaine de nm;
Membrane de nanofiltration (NF)	Séparation à la granulométrie supérieure à 1 nm approximative par effet électrostatique;
Membrane d'osmose inverse (RO)	Séparation d'ions sous une pression supérieure à la pression osmotique ;

En plus de ces procédés de dessalement, on peut citer un autre procédé assuré par l'électrodialyse inverse. Celui-ci n'est pourtant pas significativement efficace pour le dessalement tel que montré dans la figure suivante et, par conséquent, peu appropriée à la nappe phréatique djiboutienne marquée par la salinité élevée, d'autant plus qu'elle n'a pas été plus expérimenté que lesdits 3 autres procédés à Djibouti. Il a été donc jugé pertinent de l'exclure du Projet et de considérer la distillation par détente à étages multiples, la distillation à multiples effets et la séparation par membrane d'osmose inverse. Les caractéristiques et la pertinence au Projet de chacune de ces techniques sont résumées à la figure suivante.

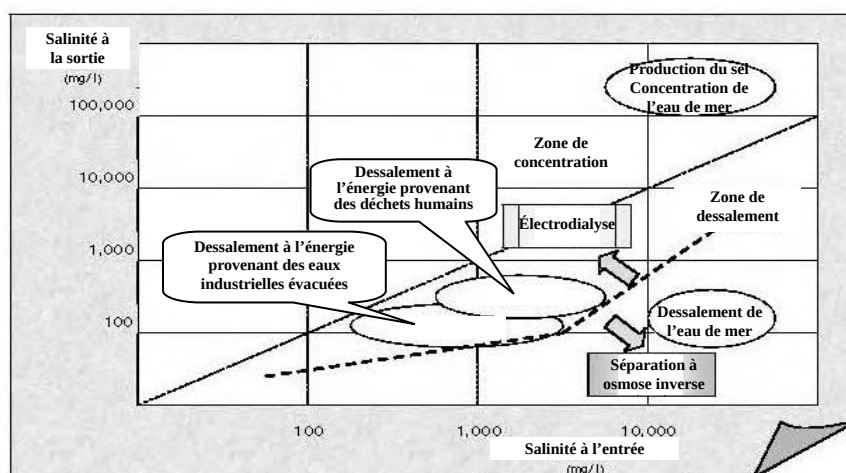


Figure A8-2 Électrodialyses applicables aux différentes qualités d'eau (Source : AGC Engineering SA)

Tableau A8-2 Comparaison des différents procédés de dessalement

Techniques de dessalement	Distillation par détente à étages multiples	Distillation à multiples effets	Séparation à osmose inverse
Principes	Séparation par distillation	Séparation par distillation	Filtration par membrane
	Réduction immédiate de la pression de la source chaude jusqu'au-dessous de la pression de saturation pour produire la vapeur;	Différentes ballons de distillation disposés de manière à profiter de la chaleur de la vapeur du ballon précédant pour distiller l'eau du ballon succédant ; Au-delà du deuxième ballon, la pression intérieure du ballon baisse graduellement d'un ballon à l'autre de manière à rendre moins élevé le point d'ébullition du ballon succédant que celui du ballon précédant ;	Pression plus élevée que la pression osmotique donnée de manière à séparer des ions à travers des membranes ;
Coût de fonctionnement	Plus coûteux que l'osmose inverse quand il s'agit seulement de la consommation de vapeur ;	Plus coûteux que l'osmose inverse quand il s'agit seulement de la consommation de vapeur ;	Moins coûteux que la distillation ;
Caractéristiques	Mauvaise efficacité thermique ; Gourmand en énergie ;	Mauvaise efficacité thermique ; Gourmand en énergie ;	Traitement préparatoire de l'eau de source nécessaire pour enlever des précipités étant l'origine du colmatage des membranes ;
Qualité d'eau concernée	< 5 mg/l	< 10 mg/l	< 500 mg/l
Potabilité à la consommation	Additifs minéraux nécessaires ;	Additifs minéraux nécessaires ;	Aucun traitement nécessaire ;
Fonctionnement électrique indépendant	Autres énergies à assurer à part pour la production de vapeur ;	Autres énergies à assurer à part pour la production de vapeur ;	Électricité seulement ;
Consommation électrique: (kWh/t-produit)	3 - 5	1,5 – 2,5	2,5 - 5
Produits chimiques utilisés	• Antitartre ; • Produit moussant ; • Détergent ;	Antitartre ;	• Antitartre ; • Détergent ; • Floculant ;
Lavage à produits chimiques	Quelquefois	Rare	Périodique
Entretien	• Lavage périodique ; • Machine tournante ;	• Machine tournante ;	• Lavage périodique ; • Machine tournante ; • Changement périodique de membranes osmose inverse ; • Changement périodique de filtres ;
Traitement de résidus filtrés	Nécessaire	Nécessaire	Nécessaire
Personnel d'entretien	Technicien habile à l'entretien de l'équipement nécessaire ;	Technicien habile à l'entretien de l'équipement nécessaire	Technicien habile à l'entretien de l'équipement nécessaire ;
Disponibilité de l'équipement	Disponible	Disponible	Disponible

Approvisionnement en pièces	Aucune agence n'existe à Djibouti où l'approvisionnement en pièces nécessaires à l'entretien serait extrêmement difficile ;	Aucune agence n'existe à Djibouti où l'approvisionnement en pièces nécessaires à l'entretien serait extrêmement difficile	Aucune agence n'existe à Djibouti où l'approvisionnement en pièces nécessaires à l'entretien serait extrêmement difficile ;
Exemple de réalisation	Vu que l'énergie thermique pour l'équipement provient de la condensation de la vapeur d'une centrale, des gaz associés de gisement pétrolier ou du résiduaire émanant du procédé de raffinage, la réalisation est fréquente dans les pays producteurs de pétrole du Moyen-Orient ;	Il s'agit au Japon de la technique exploitée pour la production du sel ; La réalisation est fréquente dans des salines ou dans la production de l'eau pure pour l'usage pharmaceutique ;	La tendance à l'économie d'énergie contribue à la multiplication de la réalisation de cette technique en tant que principale technique dans le domaine de dessalement ;
adaptabilité au Projet	Peu adaptable pour la raison que : • La disponibilité d'électricité est difficile ; • Il manque une énergie thermique pour la distillation ; • L'entretien par les villages est difficile ; la disponibilité du personnel habile à l'entretien de l'équipement qui n'existe même pas à Djibouti est difficile ; • L'approvisionnement en pièces constitutantes est difficile.	Peu pertinent pour la raison que : • La disponibilité d'électricité est difficile ; • Il manque une énergie thermique pour la distillation ; • L'entretien par les villages est difficile ; la disponibilité du personnel habile à l'entretien de l'équipement qui n'existe même pas à Djibouti est difficile ; • L'approvisionnement en pièces constitutantes est difficile.	Peu pertinent pour la raison que : • La disponibilité d'électricité est difficile ; • L'entretien par les villages est difficile ; la disponibilité du personnel habile à l'entretien de l'équipement qui n'existe même pas à Djibouti est difficile ; • L'approvisionnement en pièces constitutantes est difficile.

3) Les informations collectées à Djibouti

- i) L'UNICEF, qui joue à Djibouti un rôle d'interlocuteur vis-à-vis des donateurs impliqués dans des projets d'AEP en zone rurale, s'est exprimé dans une interview organisée être de l'avis qu' « il n'y a aucun équipement de dessalement adaptable aux zones concernées. »
- ii) Aucun souhait de la part du gouvernement de Djibouti d'introduire un équipement de dessalement sur le plan d'amélioration des conditions de l'AEP en zone rurale n'a été prononcée.

4) Avis de l'équipe d'étude JICA

L'équipement de dessalement est une installation complexe, a fortiori, il n'a aucune agence de représentation à Djibouti. Par conséquent,

- i) Il est extrêmement difficile de s'approvisionner à Djibouti en matériaux nécessaires à l'entretien tels que des pièces de rechange, pièces de réserve, détergent pour le nettoyage des membranes, etc. ;
- ii) Il n'y a à Djibouti presque aucune personne technique habile à l'entretien de

l'équipement de dessalement.

Il en résulte qu'il est extrêmement difficile d'effectuer la gestion et l'entretien de l'équipement de dessalement. Il en est le même pour le personnel du MAEM-RH en ce qui concerne les deux points susmentionnés. Par conséquent, il convient de juger non pertinent d'introduire à Djibouti un équipement de dessalement.

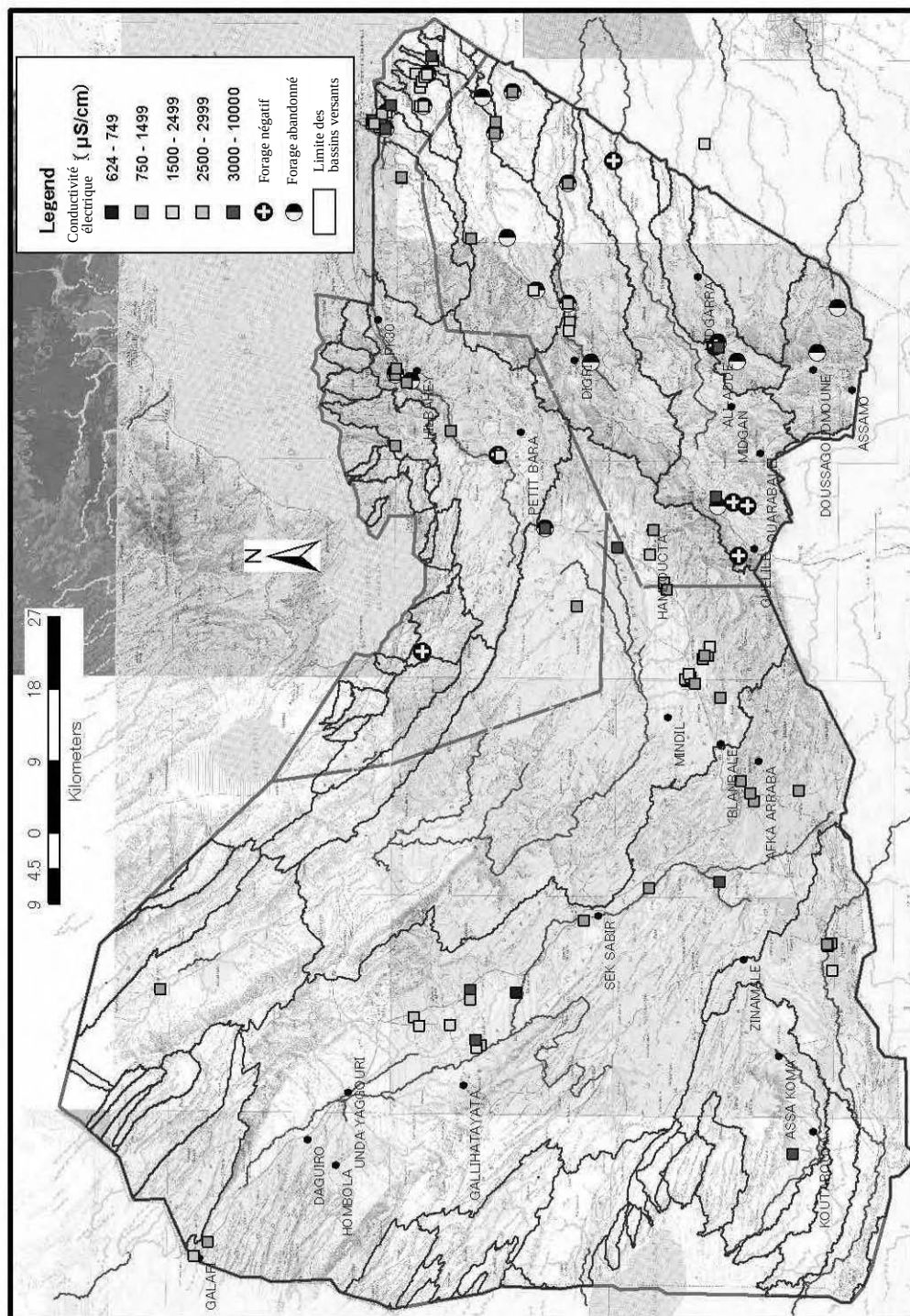


Figure A8-3 Qualité de l'eau des forages existants – Conductivité électrique

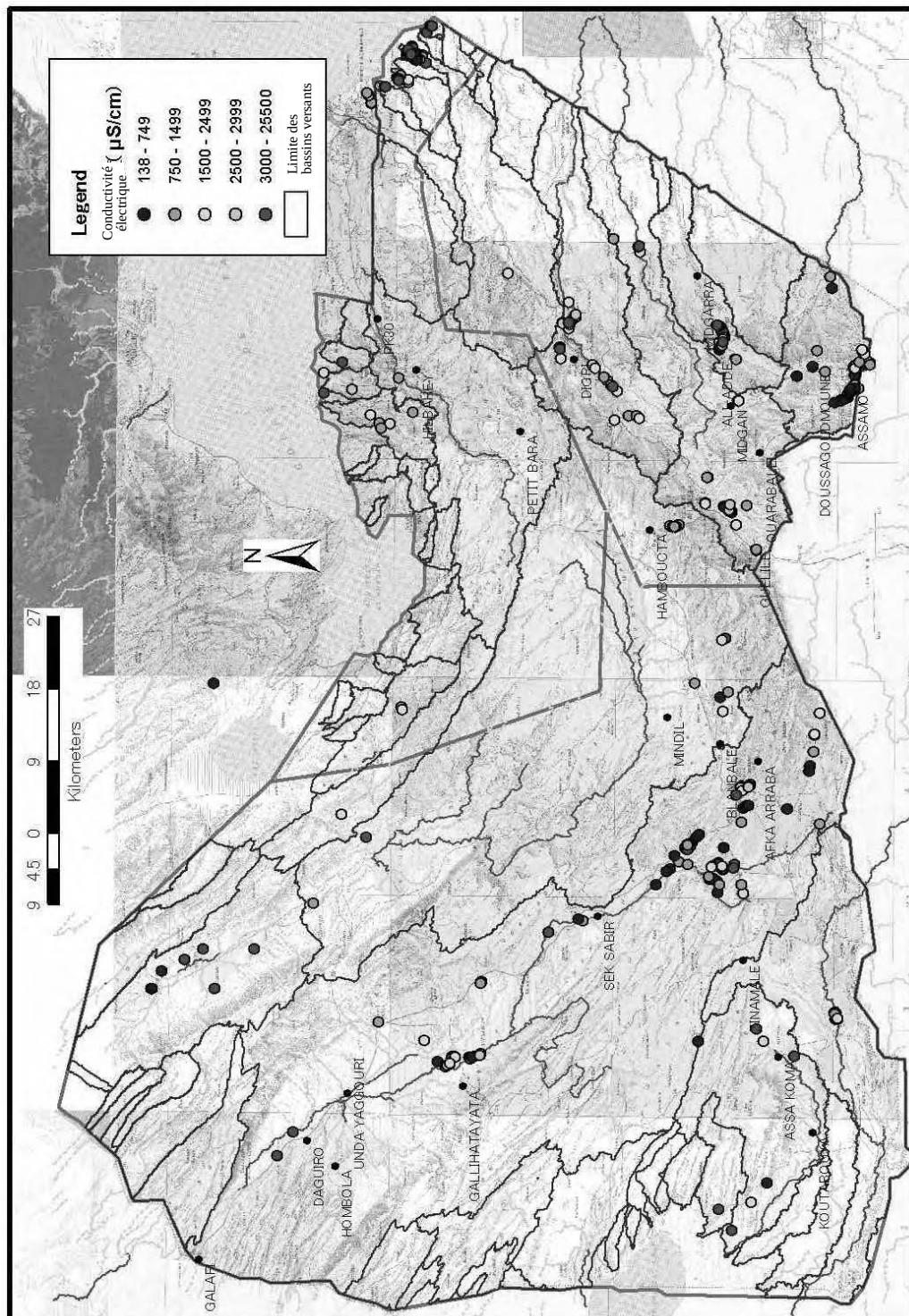


Figure A8-4 Qualité de l'eau des puits existants – Conductivité électrique

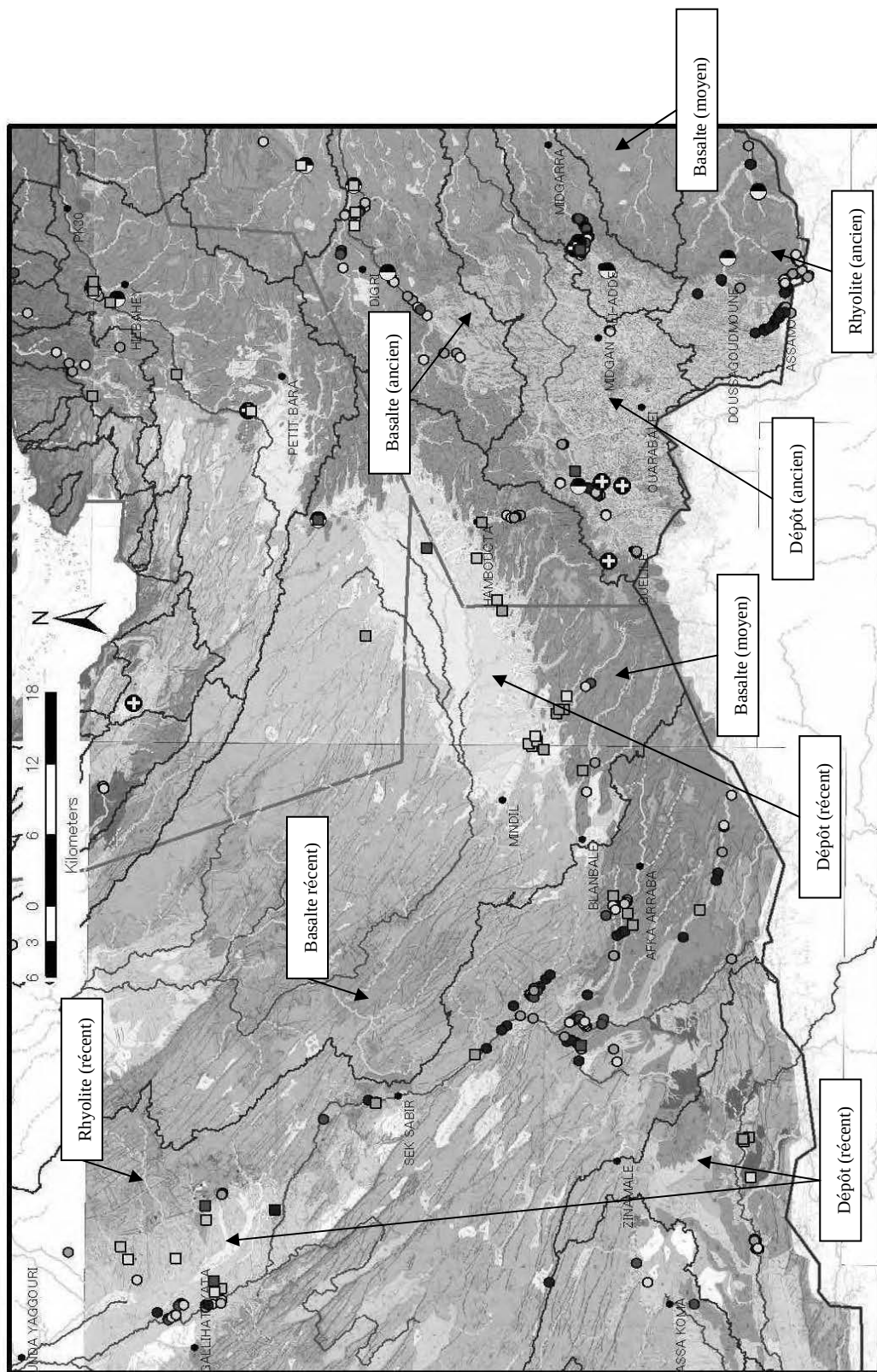


Figure A8-5 Qualité d'eau et géologie (Conductivité électrique)

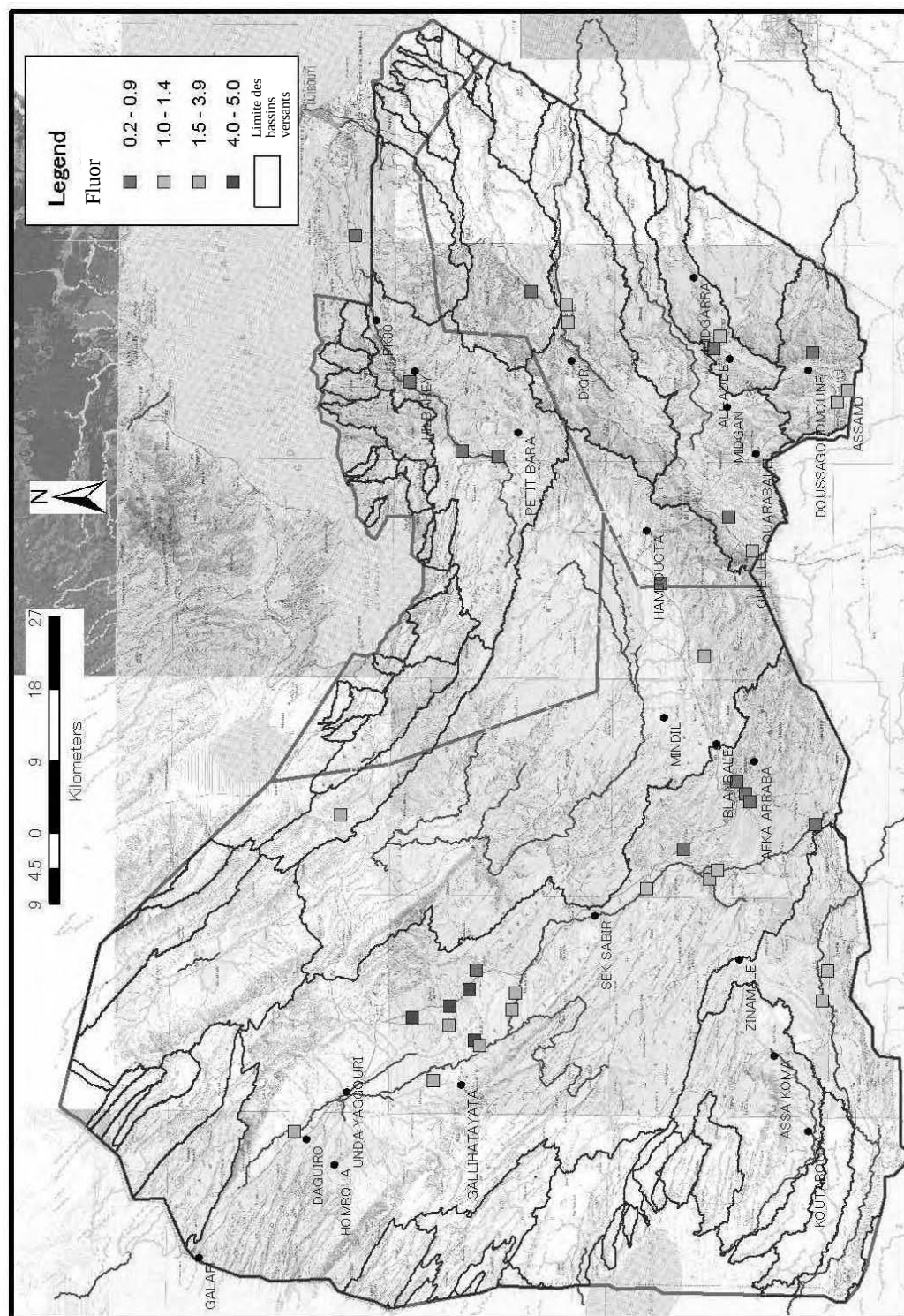


Figure A8-6 Résultat de l'analyse au laboratoire pour le fluor des forage/puits existants
(partiellement référés aux documents)

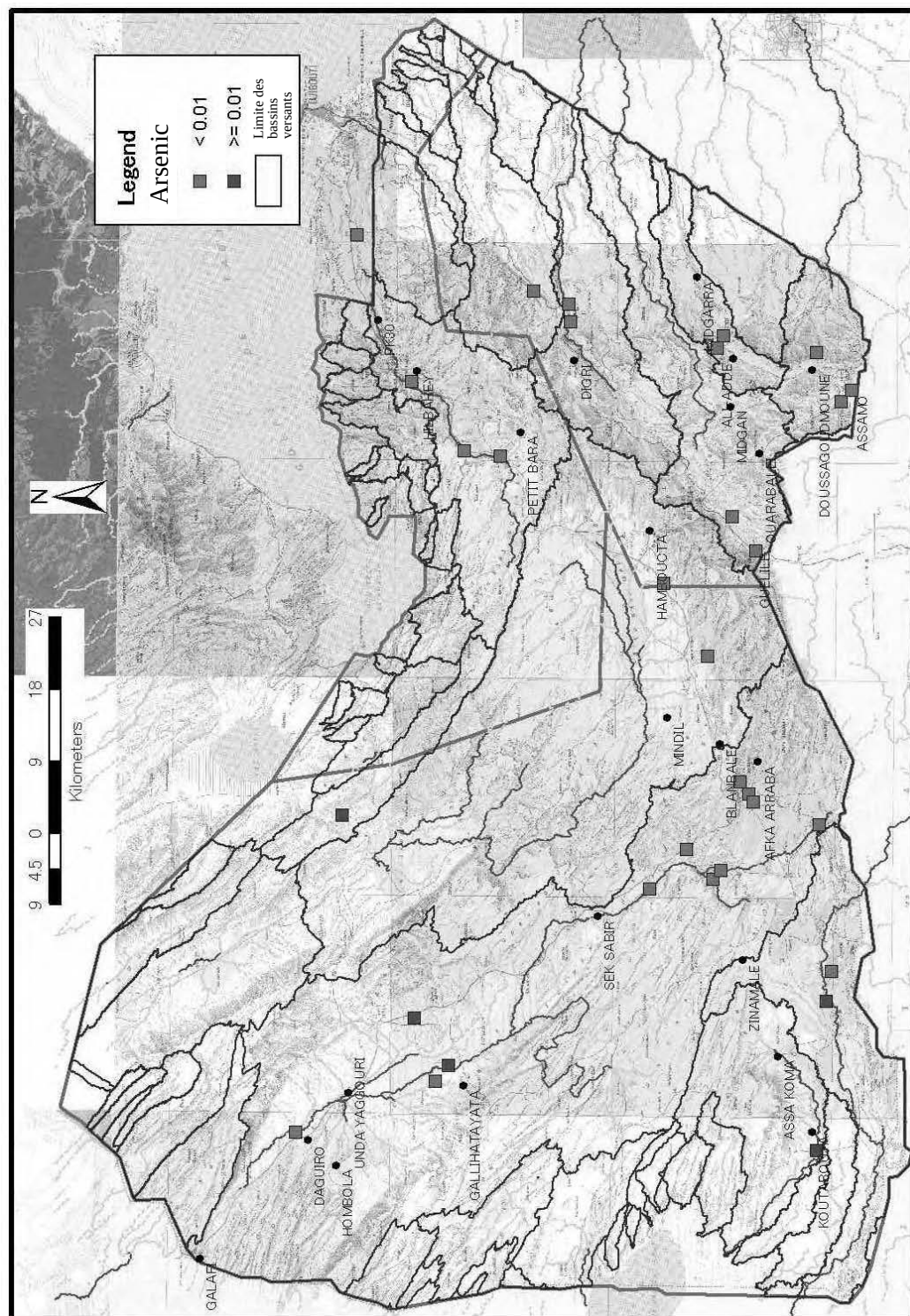
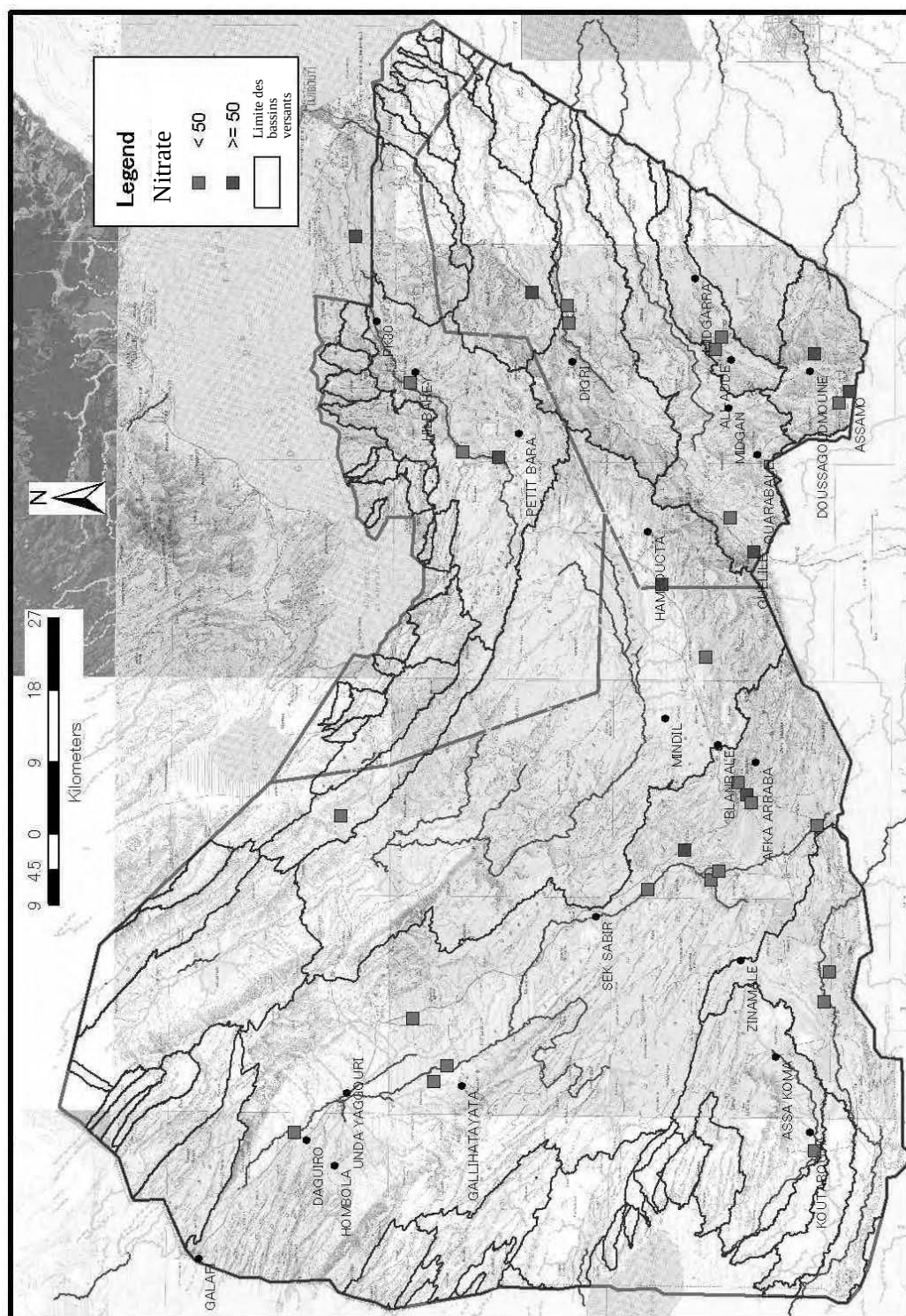


Figure A8-7 Résultat de l'analyse au laboratoire pour l'arsenic (Forages/puits existants)



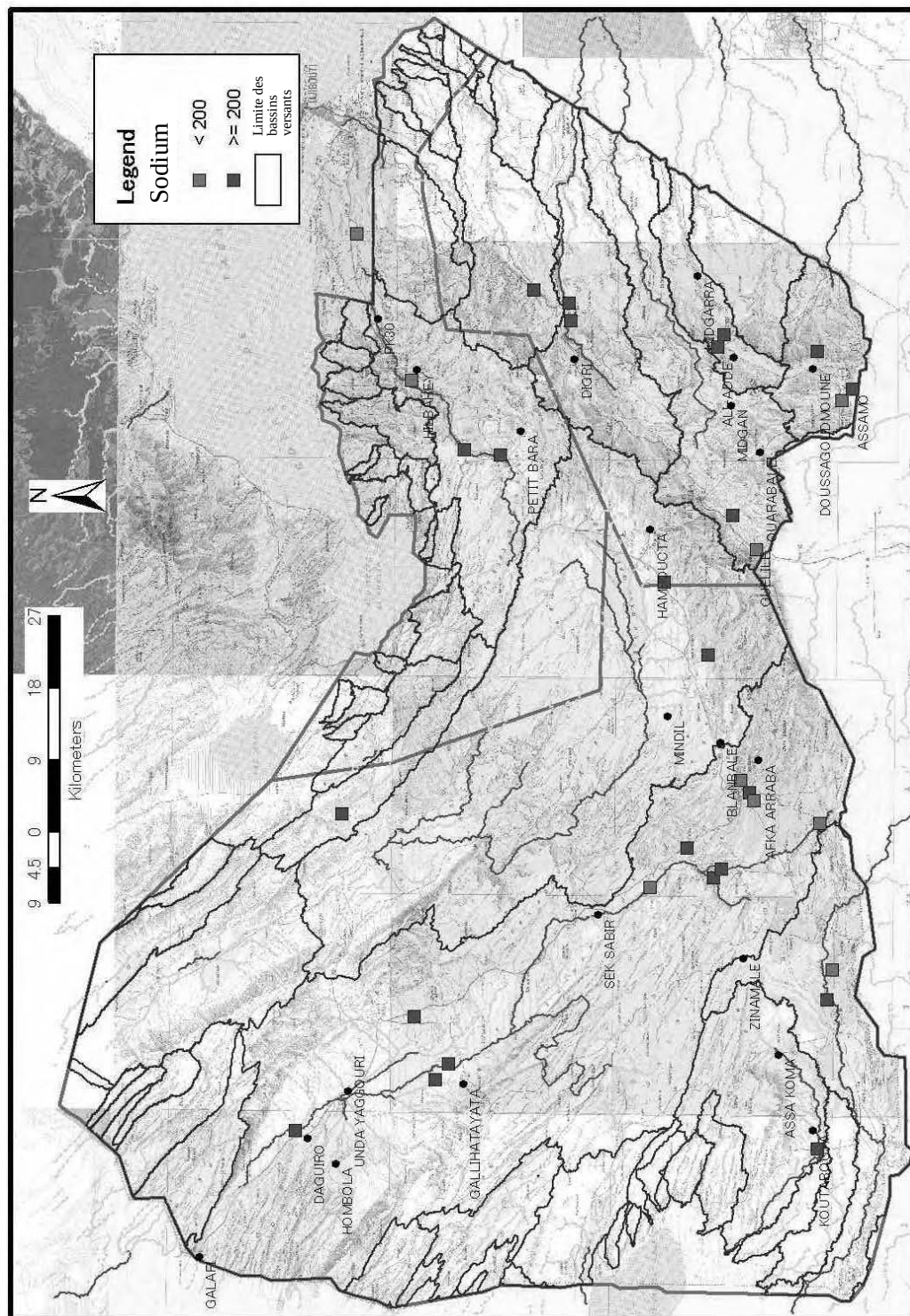


Figure A8-9 Résultat de l'analyse au laboratoire pour le sodium (Forages/puits existants)

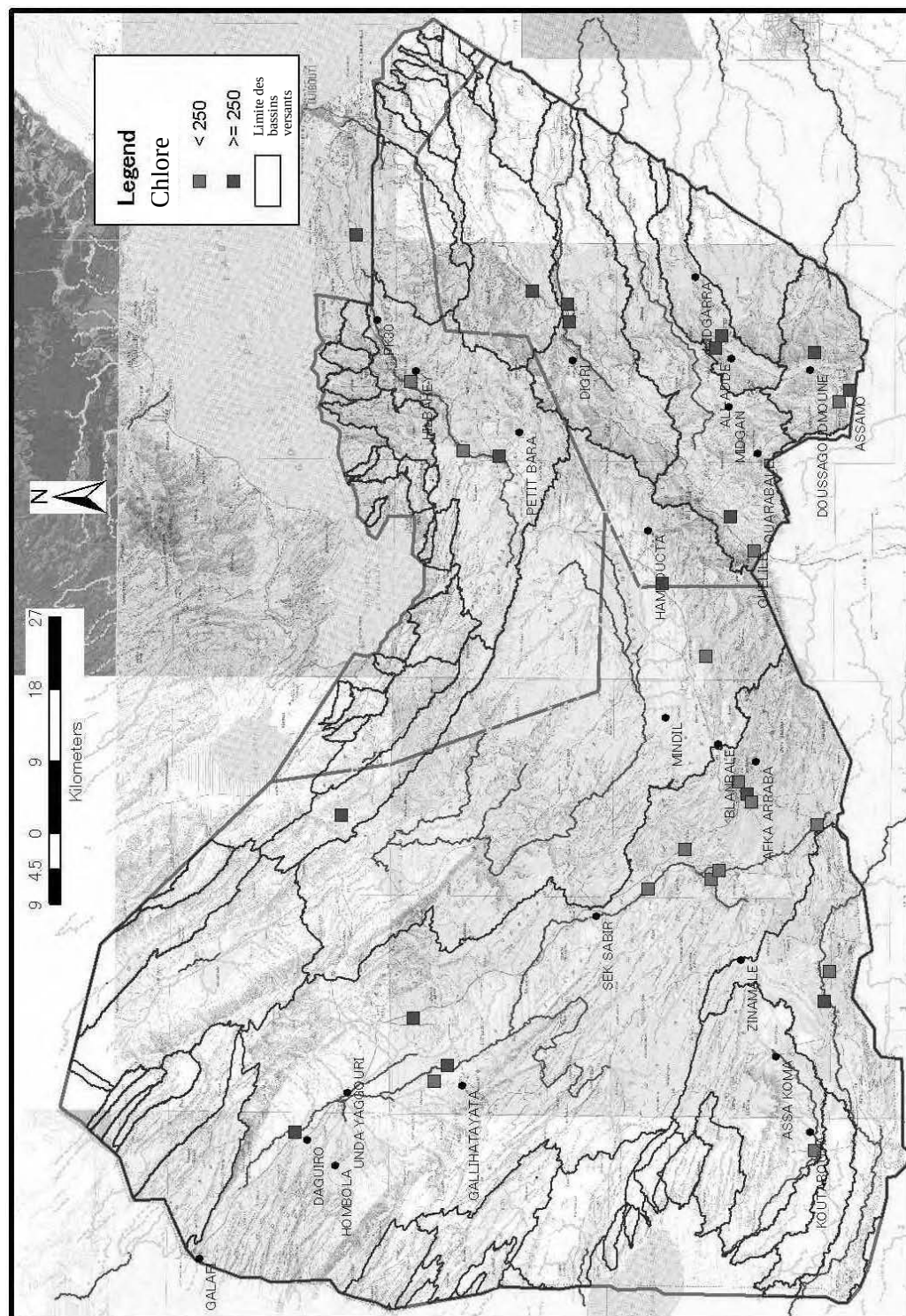


Figure A8-10 Résultat de l'analyse au laboratoire pour le chlore (Forages/puits existants)

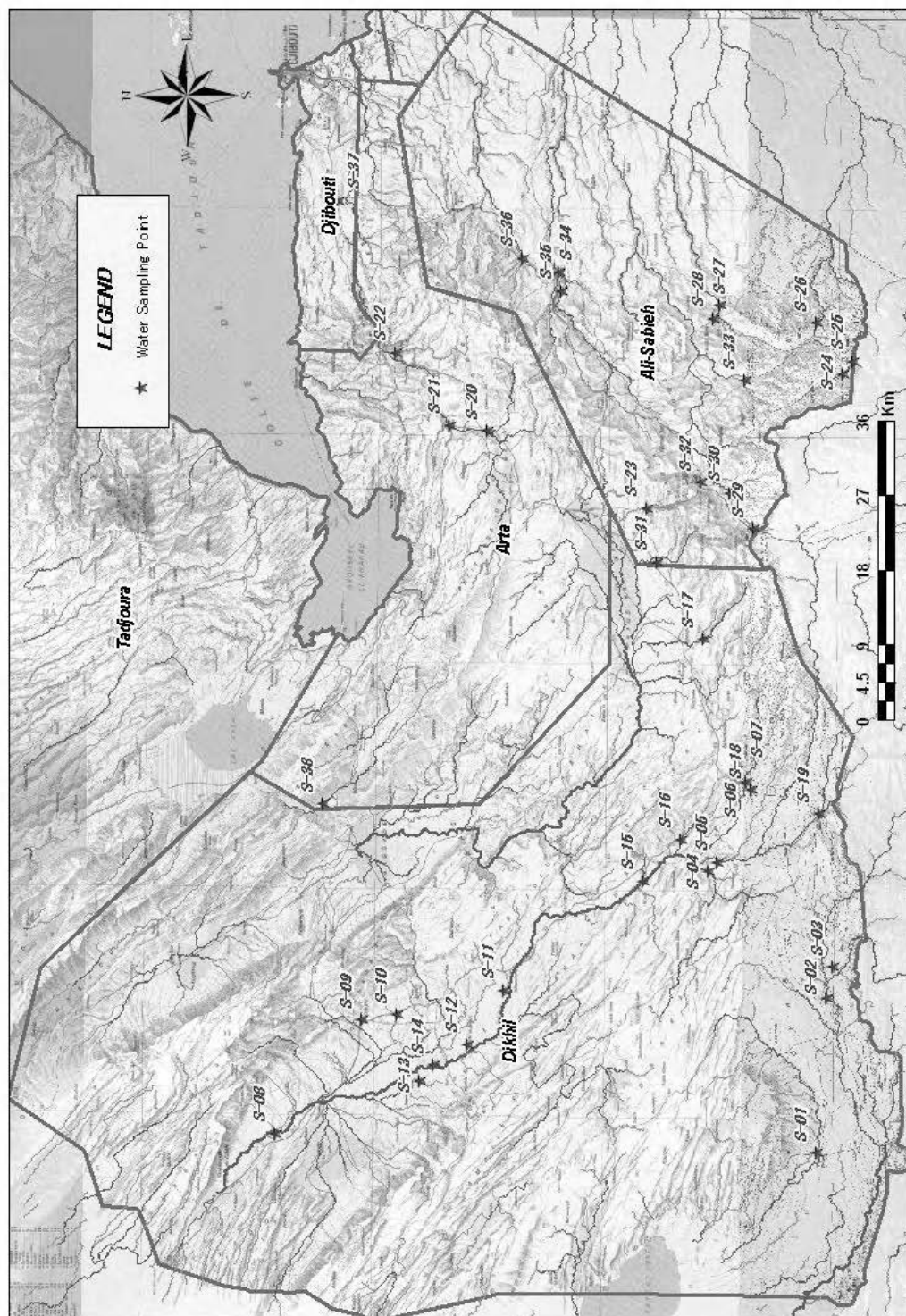


Figure A8-11 Carte de localisation des puits existants pour l'Enquête sur la qualité des eaux

Tableau A8-3 Résultats du test de qualité de l'eau

Sample No.	Date	Region	Village	Well Name	Latitude	Longitude	Well Type	pH	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)	Bicarbonates HCO3- (mg/l)	Chlorides Cl- (mg/l)	Residu Sec (mg/l)	Fe (mg/l)	Arsenic As (mg/l)	Sodium Na+ (mg/l)	Calcium Ca2+ (mg/l)	Potassium K+ (mg/l)	Magnesium Mg2+ (mg/l)	Carbonates (mg/l)	Nitrates NO3 (mg/l)	Fluoride (mg/l)	Sulphate SO42- (mg/l)
S-01	2010/2/7	Diklat	Kouta Bouya	Kouta Bouya	11.01710	41.95336	Dug	8.55	1731	1108	183	114	1157 < 0.01	0.0192	327	25	3	5	530	28	5.4	450	
S-02	2010/2/7	Diklat	Sissabou	Abdoulkader Hassan Med	11.00733	42.13378	Dug	8.90	8041	5146	431	986	9682 < 0.01	0.0127	1906	10	15	10	2140	9	1.2	1600	
S-03	2010/2/7	Diklat	Unkown	JICA	11.02006	42.16806	Drilled	8.40	563	552	284	76	554 < 0.01	< 0.01	153	25	4	8	324	7	1.1	110	
S-04	2010/2/7	Diklat	Kontali	Kontali	11.13753	42.27261	Dug	8.45	1593	1020	467	99	1016 < 0.01	< 0.01	341	12	1	11	540	13	3.3	270	
S-05	2010/2/7	Diklat	Cheikhedi	Cheikhedi	11.12815	42.28245	Dug	9.25	3270	2093 < 60	202	2495 < 0.01	< 0.01	484	275	16	7	584	40	1.0	1100		
S-06	2010/2/7	Diklat	Diklat 11 (Haleu)	ONED	11.09772	42.37088	Drilled	7.75	2060	1318	308	512	161.3 < 0.01	< 0.01	288	103	3	102	120	0.5	230		
S-07	2010/2/7	Diklat	Cheick Mandayrou	ONED	11.07133	42.38459	Drilled	8.10	993	636	288	118	633 < 0.01	< 0.01	115	51	2	34	115	33 < 0.50	82		
S-08	2010/2/8	Diklat	Daguirou	Daguirou	11.06635	41.97812	Spring	8.25	3090	1978	179	919	2227 < 0.01	< 0.01	758	20	29	3		3	3.8	300	
S-09	2010/2/8	Diklat	Yobohé	Yobohé	11.51313	42.10492	Dug	8.25	2061	1319	164	552	1519 < 0.01	0.0128	487	12	24	1		2	4.5	240	
S-10	2010/2/8	Diklat	Kouhou Lyeta	Kouhou Lyeta (JICA)	11.47419	42.11063	Drilled	8.25															
S-11	2010/2/8	Diklat	Koudi Kouda	Koudi Kouda Hante 1	11.35838	42.13913	Drilled																
S-12	2010/2/8	Diklat	Lilya Bouri	Lilya Bouri Hanle 1	11.38620	42.07867	Drilled																
S-13	2010/2/8	Diklat	Agou Hanle	Bako Bouyi	11.44916	42.05980	Dug	8.00	1191	762	183	173	720	0.013 < 0.01	< 0.01	209	30	5	3		22	3.9	140
S-14	2010/2/8	Diklat	Tewoo	Tewoo (Unicef)	11.43400	42.05598	Dug	8.60	5430	3475	876	808	3714	0.015 < 0.01	0.0163	1219	9	9	3	1560	46	6.8	680
S-15	2010/2/9	Diklat	Galarno	Galarno	11.20900	42.26100	Drilled	8.05	863	552	299	85	536	0.016 < 0.01	< 0.01	149	16	3	16		29	1.0	83
S-16	2010/2/9	Diklat	Ab alrou	Ab alrou	11.16733	42.36678	Dug	7.95	1496	957	272	234	906 < 0.01	< 0.01	223	35	4	36		50	0.8	140	
S-17	2010/2/9	Diklat	Lobbeh Guedi	Dhathene	11.45133	42.52780	Drilled	7.75	1366	874	393	174	871 < 0.01	< 0.01	217	44	5	25		31	1.7	110	
S-18	2010/2/9	Diklat	Diklat	ONED-F8	11.09235	42.36211	Drilled	8.05	1021	653	253	135	627 < 0.01	< 0.01	147	32	3	24		44	< 0.50	81	
S-19	2010/2/9	Diklat	Bondara	Bondara	11.01798	42.35630	Dug	7.45	852	545	132	64	587 < 0.01	< 0.01	96	63	5	11		21	0.8	220	
S-20	2010/2/11	Aru	Petit Bara	Petit Bara	11.38167	42.75554	Drilled	8.15	2869	1839	238	629	1708 < 0.01	< 0.01	382	86	8	66		63	< 0.50	230	
S-21	2010/2/11	Aru	PK-51	PK-51	11.42247	42.76125	Drilled	8.40	1204	771	276	190	713 < 0.01	< 0.01	202	22	4	20	299	17	0.8	93	
S-22	2010/2/11	Aru	Hibahvey	Hibahvey	11.48273	42.84139	Drilled	7.70	587	376	366	82	606 < 0.01	< 0.01	90	60	2	34		42	0.7	49	
S-23	2010/2/13	Al-Sabeh	Hain Boacta	Chiss Well	11.20779	42.67173	Drilled																
S-24	2010/2/14	Al-Sabeh	Assamo	Dawane Bah	10.95649	42.83122	Dug	7.90	587	376	228	47	372 < 0.01	< 0.01	49	43	3	22		39	1.1	50	
S-25	2010/2/14	Al-Sabeh	Assamo	Hospital	10.96505	42.83503	Drilled	8.05	5310	3398	398	995	3536 < 0.01	< 0.01	796	127	2	157		140	2.5	760	
S-26	2010/2/14	Al-Sabeh	Doussagoudmoune	Doussagoudmoune	11.02524	42.87725	Dug	7.70	5400	3456	183	1310	3471 < 0.01	< 0.01	641	260	7	167		52	0.8	580	
S-27	2010/2/14	Al-Sabeh	Alti Adle	Puit zone 5	11.13065	42.89574	Dug	7.65	3737	2392	215	839	2355 < 0.01	< 0.01	465	166	8	87		31	1.2	420	
S-28	2010/2/14	Al-Sabeh	Alti Adle	UNHCR	11.13690	42.89162	Drilled	7.65	9520	3725	272	1510	3654 < 0.01	< 0.01	482	392	2	215		27	0.7	520	
S-29	2010/2/15	Al-Sabeh	Gallich	Puit Gallich	11.09194	42.64881	Dug	8.00	890	570	342	79	527 < 0.01	< 0.01	110	43	1	32		53	1.0	85	
S-30	2010/2/15	Al-Sabeh	ONED	ONED	11.18844	42.68870	Drilled	7.90	5700	3648 < 60	1420	3450	0.039 < 0.01	< 0.01	870	316	3	6		2	< 0.50	610	
S-31	2010/2/15	Al-Sabeh	Aour Aoussa	Aour Aoussa	11.19595	42.61181	Drilled	8.05	2540	1626	152	549	1609	0.015 < 0.01	< 0.01	304	105	11	64		100	0.6	270
S-32	2010/2/15	Al-Sabeh	Faahrer Ijano	Faahrer Ijano	11.48894	42.70655	Dug																
S-33	2010/2/15	Al-Sabeh	Mold	Mold 2	11.10390	42.81300	Dug																
S-34	2010/2/17	Al-Sabeh	Holl-Holl	P Communaute	11.30595	42.93093	Dug	7.95	2690	1715	235	576	1706 < 0.01	< 0.01	301	184	5	35		32	1.2	280	
S-35	2010/2/17	Al-Sabeh	Holl-Holl	Osdan Doubleh	11.30318	42.91067	Drilled	8.20	2310	1478	105	506	1340 < 0.01	< 0.01	326	93	8	29		18	1.1	230	
S-36	2010/2/17	Al-Sabeh	Hindi	Hrd F1 (New)	11.34536	42.94577	Drilled	8.50	3260	2096	228	730	1959 < 0.01	< 0.01	468	86	9	74	466	74	0.8	270	
S-37	2010/2/18	Djibouti	PK-20 RIICA	PK-20 RIICA	11.54634	43.00843	Drilled	7.75	1564	1001	186	311	959 < 0.01	< 0.01	188	63	10	38		59	0.6	120	
S-38	2010/2/18	Diklat	Yobohé	Alnili	11.55695	42.34269	Spring	8.80	4590	2810	284	939	2551 < 0.01	0.0104	870	18	15	14	1230	2	3.3	450	
JW-1		Diklat	Unda Yaggaout (2)	Unda Yaggaout (2)			Drilled																
JW-2	2010/1/3	Diklat	Subabou	Subabou	11.00350	42.28873	Drilled	8.10	920	620	260	71	< 0.1	0.001	160	29	5.0	12.0		11	0.88	150	
JW-3	2010/9/29	Diklat	Zina Male	Zina Male	11.10118	42.18667	Drilled	7.90	1000	700	300	97	0.36 < 0.001	< 0.001	150	27	9.6	40.0		78	0.80	97	
JW-4	2010/9/12	Diklat	Daguto (2)	Daguto (2)	11.59117	41.96897	Drilled	7.85	4550	3852	255	1000	2630	0.07 < 0.001	< 0.001	884	21	59.4	4.4		3	4.00	350
JW-5	2010/10/27	Diklat	Sek Sabir	Sek Sabir	11.69918	42.22931	Drilled	8.00	1000	650	280	97	< 0.1	< 0.001	170	22	7.5	22.0		25	0.92	110	
JW-6	2010/1/5	Diklat	Assa Koma	Assa Koma	11.06161	42.07052	Drilled	8.20	2100	1400	290	320	< 0.1	0.005	920	14	21.0	3.8		17	3.90	410	
JW-7	2010/1/1	Diklat	Mindil	Mindil	11.00660	42.40719	Drilled	7.80	2600	1700	230	510	< 0.1	< 0.001	370	56	11.0	95.0		51	0.66	340	
JW-8	2010/10/23	Diklat	Alfa Araha	Alfa Araha	11.08629	42.43719	Drilled	7.90	790	540	300	68		0.86 < 0.001	< 0.001	100	52	2.2	18.0		27	0.40	40
JW-9	2010/10/4	Al-Sabeh	Hambocia	Hambocia	11.21184	42.67193	Drilled	7.90	730	520	210	68	< 0.1	0.001	120	21	3.8	12.0		42	1.10	47	
JW-10	2010/7/7	Al-Sabeh	Geahle	Geahle	7.90	3400	2200	63	780				0.23 < 0.001	< 0.001	630	110	3.4	17.0		19	0.58	550	
JW-11	2010/6/20	Al-Sabeh	Migara	Migara	7.40	4310	2648	306	910	2628			0.28 < 0.01	< 0.01	633	180	10.4	84.5	0	37	2.00	450	
JW-12	2010/8/17	Al-Sabeh	Ouarabalei	Ouarabalei	7.10	8370	7085	360	2100	6620			0.47 < 0.01	< 0.01	923	494	7.5	384.0		0	12	0 < 0.5	680
JW-13		Aru	Hibahvey	Hibahvey			Drilled																
JW-14	2010/8/4	Aru	Petit Para	Petit Para			Drilled																
JW-15	2010/8/3	Aru	PK30	PK30			Drilled	7.80	621	341	116	42	398	0.06 < 0.01	< 0.01	494	214	9.2	193.0		0	240.0 < 0.50	330
																63	23	6.1	9.1	682	8.6	0.73	70

Exemple n ° S: source d'eau existante, JW: étude JICA