Experts-Solidaires
L'expertise au service de la solidarité internationale

Mise en place de réseaux d'eau dans la région de Tuléar à Madagascar

Mission d'appui et de formation hydrogéologique

Jean XUEREF - 26 novembre au 10 décembre 2015

Rapport préparé pour Experts-Solidaires en mécénat / bénévolat de compétence

Mission et rapport financés par le SEDIF

SYNDICAT DES EAUX D'ILE DE FRANCE

1. Résumé de l'intervention de l'expert

Cette mission d'appui de 13 jours sur Tuléar avait pour but d'apporter une expertise en hydrogéologie sur les projets de 3 réseaux d'eau à partir de forages financés par le Syndicat des Eaux d'Ile-de-France (SEDIF) dans la région de Tuléar au Sud-Ouest de Madagascar, ainsi que 2 réseaux financés par l'ONG Hamap à partir d'un forage et du captage d'une source.

Au final, les projets d'adduction d'eau ont donc été supervisés dans 5 villages :

- le contrôle du forage et des essais de débit dans le village d'Ambohimahavelo
- le suivi de chantier du captage d'une source à Ambiky
- les études géophysiques sur Angaraza (4 sondages électriques) et Ankililoaka (3 sondages et un traîné électrique)
- le suivi de chantier et le choix de la pompe pour le réseau d'eau d'Ambahikily

Après participation au choix du bureau d'études géophysiques, une tournée sur le terrain de 3 jours a permis :

- de préciser l'implantation des sites de sondages électriques en vue des futurs forages d'Angarazy et d'Ankililoaka,
- de suivre 3 des 4 sondages
- de faire un point sur l'avancement des travaux de construction du château d'eau et de pose du réseau d'eau d'Ambahikily.

Au cours de la mission, depuis Tuléar, 4 visites de terrain en journée ont eu lieu dans les villages voisins d'Ambohimahavelo et d'Ambiky pour suivre l'avancement des travaux. Le forage d'Ambohimahavelo a pu être suivi depuis la fin de foration jusqu'à sa réception technique, et le captage de la source à Ambiky depuis le début de la fouille jusqu'à la réalisation de la chambre de captage.

L'expertise hydrogéologique a consisté à contrôler l'équipement et les essais de débit d'un forage, et à suivre les travaux de captage d'une source, à participer au choix des sites à prospecter par géophysique, à aider à l'organisation de travaux de réalisation d'un château d'eau et à la consultation de différents fournisseurs de pompe pour décider du choix d'une pompe.

Par ailleurs, une présentation de la supervision de la réalisation de forages a été effectuée au sein de la Direction Régionale de l'Eau afin de présenter les points clefs de la réalisation de forages pérennes.

2. Contexte

Cette mission d'appui s'inscrit dans le programme d'adduction et de distribution d'eau potable dans la région de Tuléar initié par Experts-Solidaires en partenariat avec la Direction Régionale de l'Eau (Ministère de l'Eau et de l'Assainissement) et :

- d'une part le Syndicat des eaux d'Ile-de-France (SEDIF) qui assure le suivi et le financement du réseau d'eau d'Ambahikily, d'Angaraza et d'Ankiloaka à partir de forages,
- d'autre part l'ONG Hamap qui finance le réseau d'eau d'Ambohimahavelo à partir d'un forage et celui d'Ambiky à partir du captage d'une source.

Les projets sont plus ou moins avancés :

- à Ambahikily le forage et l'abri groupe sont réalisés, la construction du château d'eau est en cours ainsi que la mise en place du réseau et la finition des kiosques.
- à Angaraza et Ankiloaka, les études géophysiques permettant de déterminer l'implantation du futur forage ont eu lieu du 3 au 7 décembre.
- à Ambohimahavelo, le forage a été réalisé entre le 24 novembre et le 2 décembre, sur un site un peu plus éloigné du village qu'initialement prévu, la ré-évaluation du réseau est en cours (200 m de tuyau en plus environ).
- à Ambiky, la réalisation de la chambre de captage de la source et de la chambre de pompage est en cours, les 2 citernes qui servent de château d'eau sont installées, les kiosques en cours de finition et le réseau en cours d'installation.

Les entreprises de travaux et bureaux d'études concernés sont les suivants :

- l'entreprise Vavalinta à Ambahikily, sous la surveillance du bureau d'études Iarilala cumule 35 jours de retard dû à des défauts d'approvisionnement depuis Tuléar situé à 245 km.
- le bureau d'études géophysiques de Tana SGDM (Société de Géosciences De Madagascar) avisé le 27 novembre, s'est mobilisé très rapidement pour être à pied d'œuvre à Tuléar le 2 décembre.
- l'entreprise de forage Bushproof a réalisé le forage d'Ambohimahavelo en bonne et due forme et a fourni les résultats d'analyse de l'eau le 7 décembre.
- l'entreprise Erco à Ambiky sous la direction du bureau d'études Iarilala intervient à Ambiky avec efficacité mais avec retard.

Le représentant d'Experts-Solidaires en poste à Tuléar (Benoit Vandewiele) suit ces différents projets en continu, la mission de l'expert hydrogéologue avait pour but de lui apporter son expertise tout particulièrement sur les études géophysiques, la réalisation du forage et des essais de débit, ainsi qu'au choix de la pompe à installer à Ambahikily.

3. Description de l'intervention

3.1 Forage d'Ambohimahavelo

A l'arrivée de la mission à Tuléar le 28 novembre, le forage était en cours depuis 2 jours. Profitant de la mission de supervision du Secrétaire Général Patrick Pécot de l'ONG Hamap qui finance le projet, l'équipe d'Experts-Solidaires s'est rendue directement sur site où le forage était bloqué à 12,20 m.

Constatant que l'outil de forage de 8" semblait rebondir sur un gros bloc de calcaire au sein des alluvions sableuses jusque-là traversées, et prometteuses d'un bon débit, il a été décidé avec le directeur technique de Bushproof Mathieu Monteleone présent sur place, d'équiper le forage à cette profondeur.

Mais lors de la descente du tubage PVC 4"1/2, celui-ci se coinçait sans doute sur de petits blocs auparavant éclatés, obligeant à un ré-alésage du forage en 10" pour permettre au tubage de disposer de plus d'espace annulaire pour descendre jusqu'au fond du forage.

Le tubage pouvait alors être descendu mais du fait d'éboulements, il n'atteignait que 11,40 m qui constituent la profondeur finale du forage. Equipé d'un bouchon de pied et d'un tube décanteur totalisant 1,50 m, les 2 tubes crépinés se situent de 7,20 à 10 m de profondeur.

Il a été demandé de laisser 1,10 m de tubage hors-sol pour prévenir de tout souillage du forage en cas d'inondation, pouvant atteindre 80 cm d'après les villageois en cas de pluies cycloniques dans ce bas-fond cultivé (le forage se trouve dans un champ de canne à sucre).

Une 2e visite a eu lieu lors de l'essai de débit par paliers le 30 novembre, après que le forage ait été développé le 29 novembre. A la fin du développement, le débit du forage a été testé par paliers rapides (car le rabattement se stabilise très vite) jusqu'à 5,6 m^3/h maximum vanne ouverte en grand, le rabattement était alors de 3,52 m.

L'essai a débuté après décision commune de faire 3 paliers de 30 mn chacun aux environs de 1,5 puis 3 et enfin 4,5 m^3/h. Le réglage du débit se faisant à l'aide d'un vanne ¼ de tour à régler empiriquement, les paliers ont finalement été de :

- Palier 1 : Q = 1,32 m^3/h donnant un rabattement de s = 0,59 m
- Palier 2 : Q = 2,51 m^3/h donnant un rabattement de s = 1,22 m
- Palier 3 : Q = 4,50 m^3/h donnant un rabattement de s = 2,51 m

Ce qui permet de présenter (page suivante) l'interprétation s/Q = f (Q) selon la méthode de la droite de Jacob, qui permet d'évaluer le débit maximum exploitable du forage.

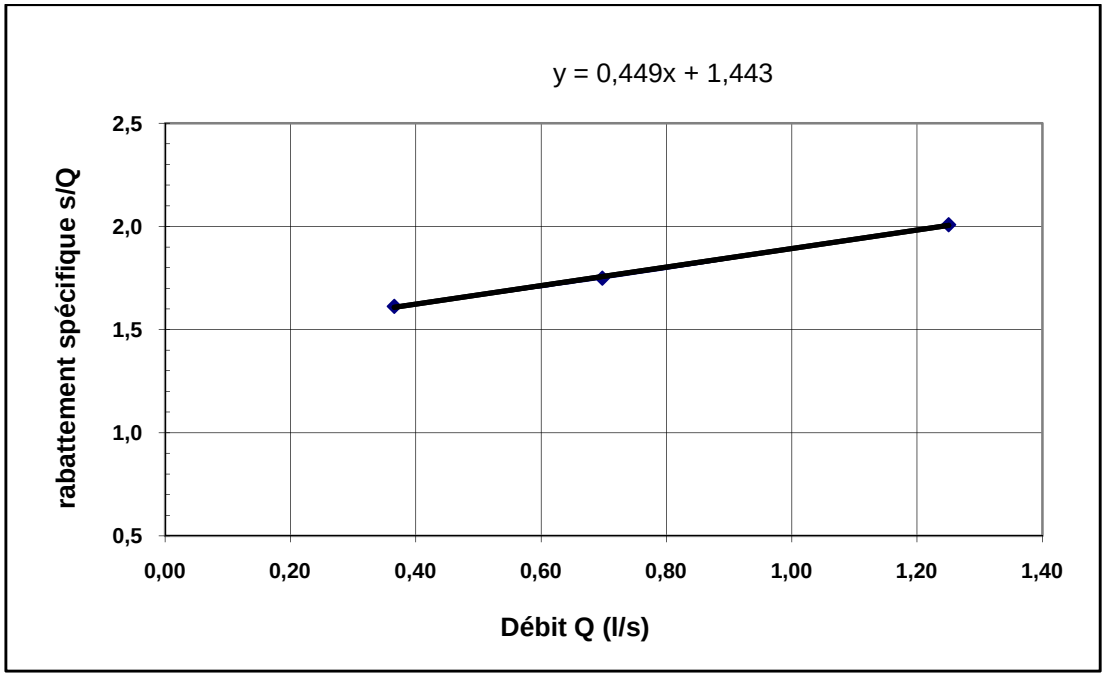
Dans le cas du positionnement de la pompe à 7 m de profondeur, soit 20 cm au-dessus du sommet des crépines, correspondant à un rabattement admissible de 4,15 m, le débit maximum du forage est alors de 6,5 m^3/h (avant dénoyage de la pompe).

Le besoin de 3 m^3/h pour remplir quotidiennement les 30 m^3 du futur château d'eau est donc largement atteint. Comme la solution d'énergie solaire est retenue pour alimenter la pompe, il est conseillé d'installer une pompe de 4,5 m^3/h à 6,50 m de profondeur.

Après cimentation de 5 m en tête de l'ouvrage, un essai de pompage longue durée a débuté le 1er décembre mais s'est arrêté au bout de 13h15 suite à une panne du générateur. Le

rabattement était stable à 2,37 m pour un débit de 4,5 m^3/h. Cet essai a été relancé le 3 décembre sur 24 h avec un autre générateur et a donné le même résultat.

Interprétation de l'essai de débit par paliers



Lors de cet essai de pompage, des prélèvements d'eau ont été effectués pour réaliser une analyse bactériologique à Tuléar qui n'a rien décelé. L'analyse physico-chimique réalisée au laboratoire Bushproof à Tana indique une conductivité de 479 µS/cm, due à une forte teneur en magnésium (95 mg/l) qui ne rend cependant pas l'eau impropre à la consommation puisque l'eau minérale Hépar commercialisée en France est à 110 mg/l par exemple.

Le 7 décembre a eu lieu la réception technique de l'ouvrage en présence de la DRE et d'Experts-Solidaires, entre l'entreprise de forage Bushproof et le Maire de la Commune Rurale d'Ambohimahavelo. Un PV a été signé en bonne et due forme.

Il a été évoqué à cette occasion la sécurisation de l'ouvrage par la pose d'épineux, en attendant la réalisation d'un coffrage en béton ou en maçonnerie au-dessus de la tête de l'ouvrage, dont un devis a été demandé au bureau d'études Iarilala.

3.2 Captage de source à Ambiky

A chaque visite sur le forage d'Ambohimahavelo, un suivi de chantier était effectué sur le village voisin d'Ambiky, ce qui a permis de voir l'avancement des travaux entre le 28 novembre et le 7 décembre.

Le projet de réseau d'eau financé par l'Hamap consiste à capter une source (résurgence karstique) dans une chambre de captage reliée par un tube crépiné à une chambre de pompage, d'où l'eau est pompée pour alimenter 2 cuves faisant office de château d'eau

environ 20 m au-dessus du captage. L'eau est ensuite acheminée par gravité dans 2 kiosques de distribution de part et d'autre du captage.

Le problème qui posait une question d'expertise était le captage en lui-même. C'est le bureau d'études Iarilala (Georges) qui a imaginé une solution qu'il dit avoir vue dans la région de Fianarantsoa, à savoir un mur de pierres sèches non maçonnées, en aval immédiat de la source.

Cependant, les contraintes dues à la présence de la route juste au-dessus et du canal d'irrigation juste en-dessous, font que ce mur ne capte que la partie superficielle de la source. A tel point que lors du coulage de la dalle de fond sur laquelle est posé le mur de pierres, il apparaissait 2 à 3 remous correspondant à une partie de la résurgence arrivant par en-dessous de la dalle.

Etant en période d'étiage car il n'a pas plu depuis plusieurs mois sur le plateau Mahafaly, le niveau de la source ne devrait pas baisser. Il a été décidé de laisser faire ce que le bureau d'études avait prévu. Au final, le 7 décembre lors de la dernière visite alors que le mur était en place, il semble bien **qu'un débit de 1 l/s parvienne** dans la chambre de captage, ce qui était l'objectif.

Il a été demandé de bien protéger la source par du gravier recouvert d'argile jusqu'à la hauteur de la dalle supérieure de la chambre de captage, le bureau d'études s'engageant en supplément à faire réaliser une dalle de propreté au-dessus, dans la continuité de cette dernière, ainsi que des murets pour détourner les écoulements d'eau superficiels.

3.3 Etudes géophysiques sur Angarazy

La SGDM a été avisée le 27 novembre que la DRE lui confiait les études géophysiques sur Angarazy et Ankiloaka. Un Cahier des Prescriptions Techniques a été rédigé par l'équipe d'Experts-Solidaires pour lui être proposé le 30 novembre. Après une mobilisation rapide, la mission de terrain a pu débuter le 3 décembre, accompagnée par l'équipe d'Experts-Solidaires, du chef de service régional de suivi évaluation de la DRE et de 2 stagiaires du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement.

Après avoir rencontré les autorités locales, une tournée de repérage des sites à prospecter a débuté, en commençant par F1 qui comme le laissait présager la disposition des lieux ne pouvait être retenu. En effet, l'expérience de l'étude géophysique menée à Ambahikily 15 km au Nord laissait présager une profondeur d'investigation jusqu'à 150 m, soit jusqu'à 1200 m de câble à tirer, 600 m de part et d'autre du sondage électrique.

Le 1er point d'implantation F1 a donc été implanté sur la rue principale rectiligne Sud, à 600 m du canal d'irrigation bordant l'Est du village. De même, les points F2 et F3 ont été déplacés car la place manquait sur les implantations d'origine. F2 a été implanté sur un chemin rectiligne qui longe le canal d'irrigation s'éloignant au Nord-Ouest du village, et F3 au milieu de la route qui borde le Nord du village.

Un point d'implantation supplémentaire était laissé libre de choix au bureau d'études. Comme il s'avère que le château d'eau est en bon état et pourra être utilisé pour le futur réseau d'eau du village, l'équipe a choisi d'implanter F4 au niveau de ce château d'eau, à environ 100 m à l'Est de F1.

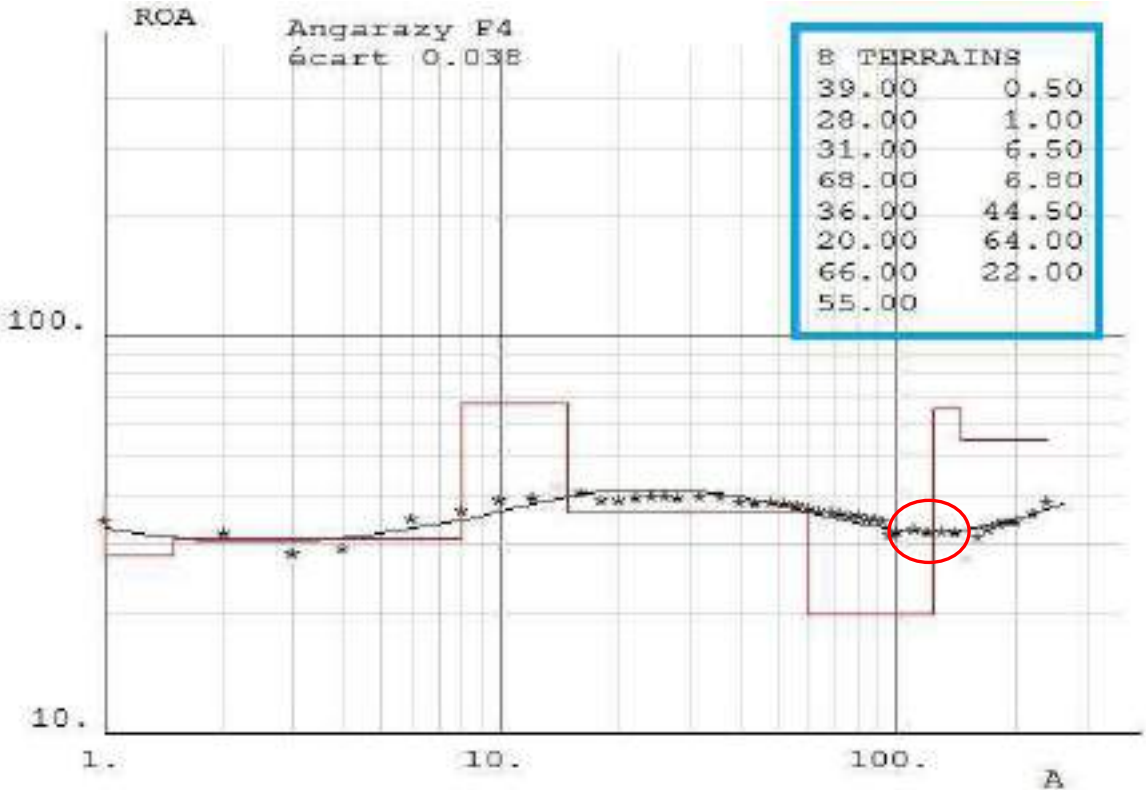
Village	Point d'implantation des sondages électriques	Coordonnées géographiques	Coordonnées des sondages effectués
ANGARAZY	F1	43.750222°	43.74712°
		-21.699755°	-21.70330°
	F2	43.743075°	43.74446°
		-21.709375°	-21.70144°
	F3	43.740114°	43.73910°
		-21.708809°	-21.70808°
	F4	Au choix	43.74789°
			-21.70245°

Au final, les résultats obtenus sur F1 et F4 sont bien meilleurs que ceux de F2 et F3. Ils montrent des courbes de mesure de résistivité apparente semblables, avec une inflexion nette à partir d'une profondeur de 120 à 130 m, ce qui indique la présence d'une nappe profonde.

Les interprétations montrent une profondeur de toit de la nappe à 127 m sur F1 et 123 m sur F4, pour une épaisseur d'aquifère de 22 m dans les 2 sondages.

La nappe est donc un peu moins profonde sur F4, ce qui permet de décider de réaliser le futur forage à proximité du château d'eau existant. Ce forage rencontrera le substratum a environ 145 m, l'aquifère situé au-dessus présentant une puissance d'environ 20 m.

Interprétation des mesures du sondage électrique sur F4 :



3.4 Etudes géophysiques sur Ankiloaka

Lors du déplacement vers Angarazy, un arrêt d'une heure à Ankiloaka a permis de rencontrer les autorités locales et de vérifier les 2 points d'implantation proposés pour effectuer des sondages électriques.

La profondeur d'investigation étant évaluée jusqu'à 100 m environ, la longueur de lignes à tirer était donc de 800 m, ce que permettaient les sites initialement retenus. Les coordonnées des points de sondages électriques n'ont donc que très peu changé :

Village	Point d'implantation des sondages électriques	Coordonnées géographiques	Coordonnées des sondages effectués
ANKILILOAKA	F1	43.614597°	43.61446°
		-22.770765°	-22.77141°
	F2	43.616315°	43..61685°
		-22.770658°	-22.77099°
	F3	Au choix	43.61279°
			-22.76946°

Pour le site F3 laissé au choix, l'équipe de la SGDM a décidé de réaliser un sondage électrique de l'autre coté du canal qui traverse le village, coté Nord dans un endroit dégagé en bordure du village.

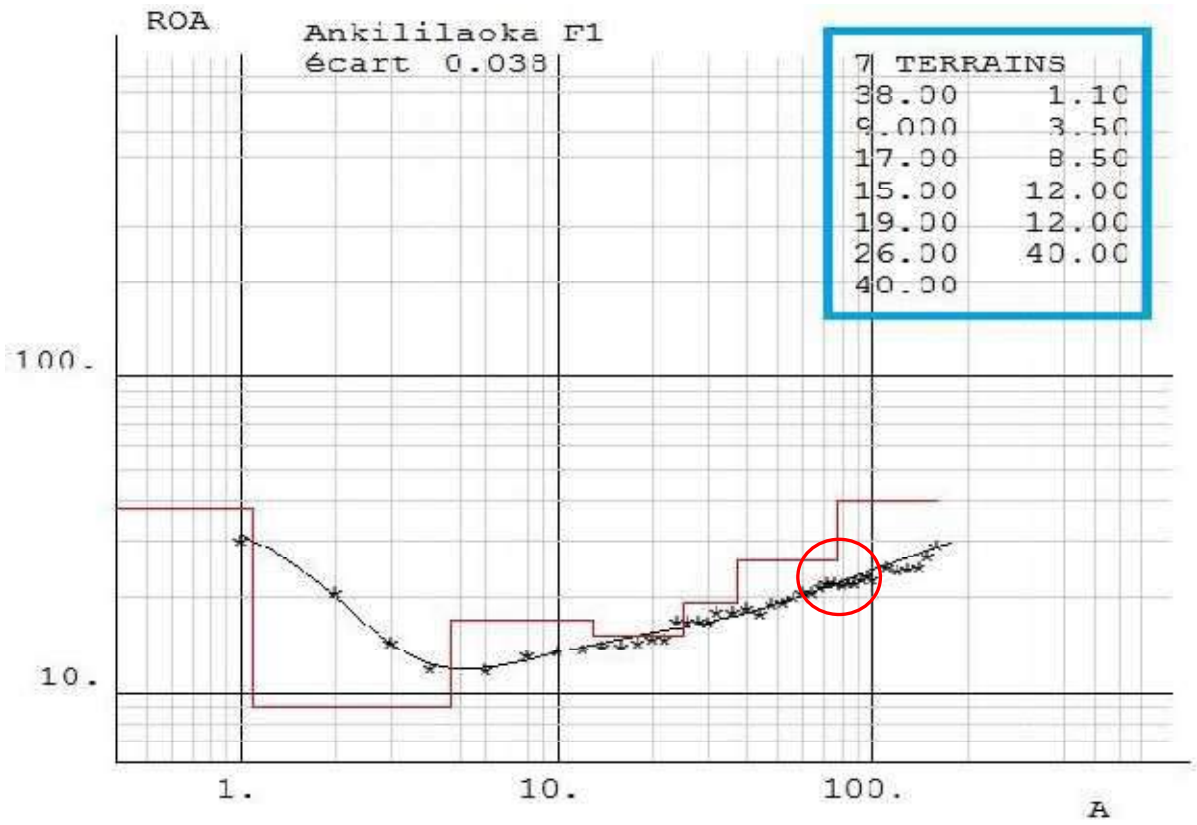
Au final, c'est le site F1 qui a donné le meilleur résultat. L'interprétation des mesures (cf. page suivante) indique la présence d'une nappe **profonde à partir de 77 m**, mais ne permet pas d'en connaître l'épaisseur. Au vu de la profondeur d'investigation (un peu plus de 100 m), la puissance de cet aquifère est de plus de 20 m.

Le forage devra être réalisé à **au moins 100 m** de profondeur pour capter la nappe profonde sur plus de 20 m d'épaisseur.

Par ailleurs, le site retenu pour le futur forage se trouve au centre du village, non loin de 2 groupes électrogènes installés par la Jirama et gérés par un gestionnaire qui demande une participation forfaitaire aux usagers en fonction de leur équipement électrique.

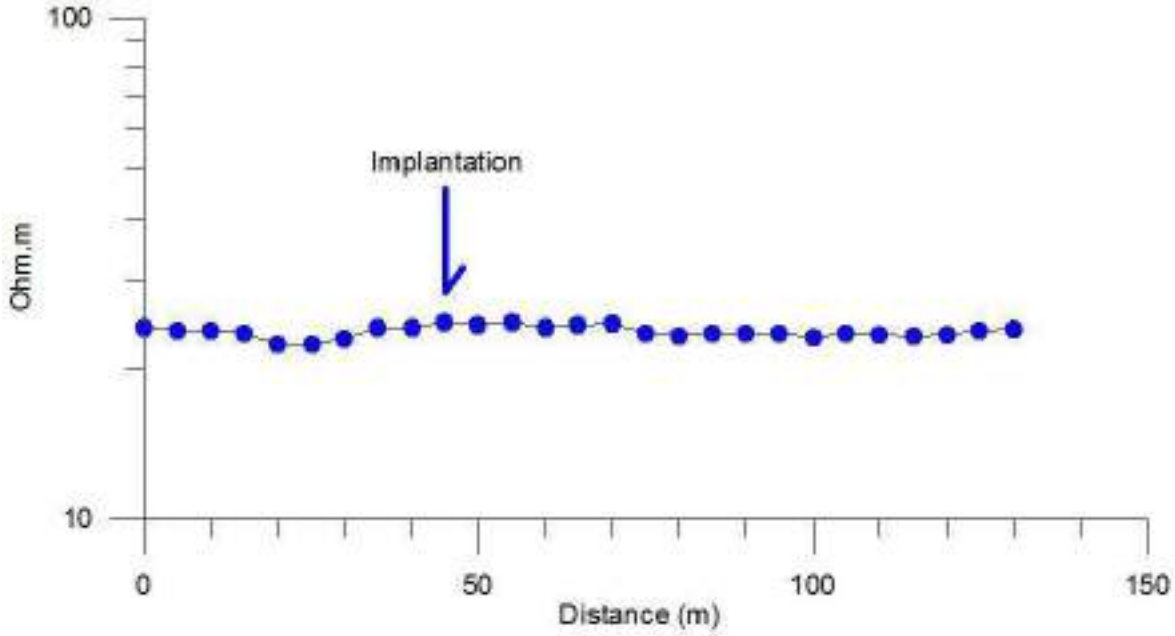
Ce gestionnaire pourrait être approché en vue du futur contrat d'affermage qui sera mis en place pour le réseau d'eau.

Interprétation des mesures du sondage électrique sur F1 :



Comme demandé, un traîné électrique de 130 m a été effectué de part et d'autre du sondage car la profondeur le permettait. Mais le résultat n'a pas indiqué d'endroit vraiment plus favorable qu'un autre, les valeurs de résistivité apparente variant seulement de 22 à 24 Ωm.

Résultat du traîné électrique réalisé de part et d'autre de F1 :



3.5 Suivi de chantier et choix de la pompe pour Ambahikily

Profitant du déplacement pour suivre les études géophysiques à Angaraza, l'équipe d'Experts-Solidaires s'est déplacée sur Ambahikily situé 15 km plus au Nord pour faire le point sur l'avancement des travaux du réseau d'eau. Une réunion de chantier a permis d'établir un PV reprenant en détail les avancements des différents chantiers au 4 décembre :

- Château d'eau : 28 %
- Kiosques : 62 %
- Conduites : 24 %
- Cabine de forage : 76 %
- Abri groupe : 67 %
- Clôture : 92 %

L'avancement général des travaux est de 39 %. Le retard pris sur le planning d'exécution est évalué à 35 jours, dû à des problèmes d'approvisionnement qui ont été rapportés à partir du 22 octobre, un mois après le début des travaux. Il a été demandé à l'agent de surveillance du bureau d'études et au conducteur de travaux de l'entreprise de fournir un planning à jour avec une date prévisionnelle de fin de travaux. Au vu du planning initial, les travaux devraient se terminer fin janvier 2016 si les problèmes d'approvisionnement sont réglés.

Concernant le choix de la pompe pour lequel la mission apportait son expertise, plusieurs devis ont été demandés à différents fournisseurs en leur transmettant les caractéristiques suivantes :

- diamètre : 4"
- débit : 16 m^3/h
- HMT : 30 m
- Distance au réservoir : 3 m

Il s'avère que le modèle le plus adapté serait la Grundfos SP14-13 qu'on peut trouver en stock chez Someca à Tana à 7.500.000 Ariary, mais il s'agit du prix de la pompe seule et une demande du prix du boitier de commande relié à un flotteur dans le réservoir leur a été envoyée pour connaître le prix définitif de l'équipement d'exhaure du forage.

4. Recommandations pour la suite des projets

4.1 Forage d'Ambohimahavelo

Le forage d'Ambohimahavelo exploite une nappe superficielle dans des alluvions alimentées par plusieurs résurgences karstiques du plateau calcaire Mahafaly et il est situé dans un champ de canne à sucre. Il existe donc un risque de pollution depuis la surface éventuellement par l'emploi de pesticides.

Sans piézomètre à proximité qui aurait permis d'avoir une idée de l'étendue du cône de rabattement autour du forage, il est préconisé de réaliser un périmètre de protection d'au moins 5 m autour du forage constitué d'une clôture fermée.

4.2 Captage d'Ambiky

Dès que les travaux de réalisation de la chambre de captage seront terminés, il faudra procéder à un essai de débit de la source captée. Dans la cas où le débit s'avèrerait inférieur à 1 l/s, il est envisageable de percer la dalle de fond en réalisant de petits trous pour capter la résurgence sous-jacente et ainsi augmenter le débit capté.

Le fond de la chambre de captage sera rempli de graviers qui feront office de massif filtrant pour cet apport supplémentaire qui devrait être conséquent.

4.3 Site du forage pour Angarazy

Le rapport de la SGDM sur la prospection géophysique réalisée à Angarazy confirme que le site F4 est le plus favorable pour y réaliser le futur forage.

Situé non loin du château d'eau existant, il est même possible de se rapprocher de celui-ci car il existe une zone inoccupée entre ce point de sondage électrique et le réservoir. Le fait de déplacer quelque peu le site ne pose pas de problème du fait que l'aquifère recherché se trouve en zone sédimentaire et qu'il est donc très étendu.

Cela permettrait de diminuer les pertes de charge dans le tuyau d'exhaure et ainsi d'optimiser le choix de la pompe qui sera installée.

4.4 Choix du site de forage pour Anliloaka

De même, le rapport de la SGDM valide le choix du site F1 au milieu du village. Le château d'eau reste à construire et il serait intéressant de profiter de la présence des 2 groupes électrogènes de la Jirama pour alimenter la pompe si possible.

Cette option est à étudier avec le gestionnaire de distribution d'électricité qui pourrait éventuellement aussi devenir le gestionnaire de distribution d'eau.

4.5 Chantier du réseau d'Ambahikily et choix de la pompe

La gestion des approvisionnements du chantier d'Ambahikily doit être améliorée grâce à la mise à jour régulière du planning d'exécution que se sont engagés à fournir le conducteur de travaux et l'agent de surveillance.

Afin de rattraper une partie du retard accumulé, il serait souhaitable d'embaucher quelques ouvriers spécialisés supplémentaires comme le conducteur de travaux en a fait la demande lors de la réunion de chantier du 4 décembre.

Concernant l'acquisition de la pompe à installer dans le forage, la fourniture par Soméca d'une Grundfos SP14-13 avec boitier de commande relié à un flotteur dans le réservoir semble être la solution la plus adaptée aux caractéristiques du forage.

Il reste à étudier le coût de la pose et du branchement de la pompe, Soméca pouvant fournir également un équipement complet dans une armoire électrique avec démarrage et protections.

Jean XUEREF

22-12-2015