

Rapport de suivi du forage d'Ankililoaka



Jean XUEREFF – 21 octobre au 6 novembre 2017

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

Financement : SEDIF

1. Résumé de l'intervention de l'expert

Cette mission d'appui initialement prévue sur 15 jours (voyages compris) à Ankiloaka avait pour but d'apporter une expertise en contrôle de forage, en formant le personnel de la Direction Régionale de l'Eau au suivi de forage, ainsi que la représentante d'Experts-Solidaires à Tuléar.

Du fait du retard pris lors de l'acheminement et des pannes survenues en cours de chantier, la mission de terrain s'est achevée en fin de reconnaissance à 73,60 m de profondeur où a été rencontrée la couche calcaire.

Le forage réalisé par Lanoé Forages a été suivi effectivement sur le terrain lors de 10 journées et à distance sur les 2 derniers jours au moment du voyage de retour de mission.

L'intervention de l'expert a consisté à contrôler le bon déroulement du forage, en accord avec le foreur pour la mise en place de tubages provisoires permettant de tester des débits de venues d'eau au fur et à mesure de l'avancement. La méthode consiste à reconnaître en petit diamètre, à l'air tant que cela est possible, les différents aquifères successifs, puis de les masquer par des tubages provisoires afin de tester chaque aquifère indépendamment de celui qui le précède.

Le forage s'est avéré très productif, au sein de formations argilo-sableuses, avec 2 aquifères distincts, l'un de 30 à 38 m de profondeur et l'autre de 49 à 54 m environ. Les débits ont été testés à 11 m³/h avec 2,4 m de rabattement stabilisé à partir d'un niveau statique à 1,2 m de profondeur pour le premier, et 12,5 m³/h avec 6,2 m de rabattement stabilisé pour le second à partir d'un niveau statique de 0,5 m au-dessus du sol (artésianisme).

Un premier tubage provisoire en acier de diamètre 220 mm a été descendu à 18,5 m de profondeur, et un deuxième de diamètre 160 à 180 mm a été télescopé jusqu'à 54 m de profondeur pour maintenir les terrains en place.

Le forage a été ensuite foré à la boue (polymères biodégradables) jusqu'à rencontrer la couche calcaire. La décision de ne pas continuer plus profond a été prise du fait du débit d'au moins 25 m³/h délivré par les aquifères supérieurs.

Une semaine après la fin de la mission, la décision d'équiper le forage en PVC 125 mm (au lieu de 150 mm) a été prise pour pouvoir descendre correctement le gravier dans l'espace annulaire du tubage provisoire de diamètre 160 à 180 mm. En effet, après avoir retiré ce tubage provisoire et tenté un réalésage à la boue, les pertes étaient telles qu'il a fallu le réinstaller jusqu'à 54 m.

Finalement, le 16 novembre, le tubage PVC 125 mm a été descendu à 56 m de profondeur, dans le tubage provisoire prolongé de 2 m du fait de l'éboulement continu des terrains, avec des crépines de 33,5 à 39,2 m et de 47,8 à 53,5 m.

2. Déroulement du chantier

2.1 Amenée et installation

Le convoi, constitué d'un camion portant la foreuse et d'un autre portant le compresseur de 20 bars ainsi que les divers outils de forage (dont un groupe électrogène tracté), a quitté Antananarive le 16 octobre. A l'arrivée de la mission le 18 octobre, il n'était encore qu'à Fianarantsoa suite à la difficulté de traverser un pont menaçant de s'écrouler vers Ambositra.

Après une panne immobilisant l'un des camions une matinée à Ihosy, le convoi n'est finalement arrivé que le 20 octobre au soir à Tuléar et a pu traverser la ville dans la nuit pour arriver à Ankiloaka le 21 octobre en milieu de journée.

En présence de la mission de suivi, constituée de l'expert hydrogéologue, de l'hydrogéologue de la Direction Régionale de l'Eau, et de la représentante d'Experts-Solidaires à Tuléar, ainsi que du maire d'Ankililoaka, l'installation de la foreuse a eu lieu comme prévu sur un point très proche de celui du sondage électrique F2 réalisé en décembre 2015.

Le propriétaire du terrain a souhaité que le forage soit réalisé à la limite de sa propriété, pour partager l'emprise du futur enclos de 10 m par 10 m avec le propriétaire du terrain voisin.

Le point de forage a donc été choisi selon les coordonnées suivantes : 22°46'15,4" S et 043°37'00,7" E. Pour rappel, le sondage électrique avait été effectué à 22°46'15,56" S et 043°37'00,66" E soit à 5 m environ, voire un peu moins au vu de la précision du GPS.

Après installation de la foreuse sur le point convenu, le mat a été déplié et la foreuse calée sur de gros madriers à l'aide de ses vérins, en vérifiant à l'aide d'un niveau à bulle que la table soit bien horizontale, et le mât parfaitement vertical.

Par sécurité, des tubes métalliques ont été pointés par soudure contre les vérins pour parer à toute fuite hydraulique éventuelle.

Le reste de la journée a été occupé à décharger tous les tubes acier et les tiges de forage, la pompe à boue, les outils et accessoires du camion d'appui.

2.2 Jour 1 (22 octobre)

Après une petite cérémonie traditionnelle pour en appeler au bon vouloir des dieux, le forage débute par un avant-trou au trilame de 6 pouces, à l'air, pour reconnaître les terrains jusqu'à une première nappe superficielle. Celle-ci se trouve dans une formation sablo-argileuse à partir de 13 m de profondeur sous une couche d'argile indurée jusqu'à 9 m, puis humide et de plus en plus sableuse en dessous.

Après être descendu jusqu'à 18,5 m où le terrain s'éboule, le forage est réalsés au trilame de 12 pouces pour pouvoir descendre un tubage provisoire en acier de 220 mm de diamètre jusqu'à 9 m, profondeur où se trouve le fond éboulé.

Un essai de pompage sommaire est alors effectué en installant la pompe immergée à 8 m de profondeur, avec un niveau statique à 3 m, mais le débit s'avère très faible et cette nappe n'est donc pas exploitable.

Après nettoyage à l'air avec un flexible PEHD, le tubage provisoire est descendu jusqu'à 18,5 m afin de maintenir la couche sablo-argileuse en place et essayer de masquer la nappe superficielle avant de continuer le forage.

2.3 Jour 2 (23 octobre)

Au matin, le niveau statique est à 9,4 m de profondeur, ce qui indique que l'aquifère supérieur est déjà plus ou moins masqué par le tubage provisoire.

La reconnaissance au trilame 6 pouces à l'air reprend dans de l'argile à gros nodules qui continue à s'ébouler et pose des problèmes de bouchage de l'outil. Le tubage provisoire est donc descendu d'un mètre supplémentaire jusqu'à 19,5 m de profondeur.

Un nettoyage à l'air est alors effectué car le fond éboulé se trouve à 17 m. Puis le forage reprend, toujours dans l'argile à gros nodules et quelques conglomérats calcaires non roulés.

A 27 m de profondeur, un peu de sable réapparaît dans l'argile, avec un peu d'humidité, puis à 30 m, le terrain devient sablo-argileux avec une franche venue d'eau comme le montre la photo suivante :



A 33 m de profondeur, le débit d'eau augmente encore en provenance de sables fins à très fins, avec des débris grossiers calcaires. Puis à 36 m, le débit d'eau continue d'augmenter et on retrouve des nodules argileux avec quelques éléments graveleux calcaires de plus en plus gros.

A 38 m, ce sont des blocs calcaires silicifiés de 10 à 15 cm qui sortent avec de gros nodules argileux, ce qui laisse penser qu'on se trouve en fond de dépôt alluvionnaire (peut-être une ancienne zone lacustre). La reconnaissance est alors stoppée à 38,5 m car le risque de coincement des tiges par éboulement devient trop important, le débit d'eau étant très important, comme le montre l'inondation dans la photo suivante :



2.4 Jour 3 (24 octobre)

Le niveau statique est mesuré à 1,2 m de profondeur au matin, et le fond éboulé se trouve à 27,3 m. Un pompage d'essai est effectué en descendant la pompe immergée à 18 m de profondeur dans le tubage provisoire. Le pompage est mené pendant 1h30 à 11 m³/h et donne un rabattement stabilisé à 2,4 m. La conductivité de l'eau est de 820 μ S/cm.

Etant donné le fort éboulement au fond du forage, il est décidé de télescoper un deuxième tubage provisoire acier de 160 puis 170 mm de diamètre, pour essayer de masquer cet aquifère pour pouvoir continuer la reconnaissance à l'air.

L'entreprise dispose de 5 tubes filetés en 160 mm de diamètre, totalisant 18 m de tubage qui est facilement descendu en début d'après-midi, puis de tubes à souder les uns aux autres en 170 mm de diamètre, (avec un raccord 160/170 qu'il a fallu réalisé sur place) ce qui prend beaucoup plus de temps à descendre.

Chaque tube présentant d'anciennes soudures est vérifié, certaines soudures devant être reprises pour être certain de la solidité de l'ensemble du tubage.

En fin de journée, le deuxième tubage provisoire se retrouve posé sur les éboulements en fond de trou à 26,5 m. Un dernier tube de 3,3 m est soudé en attente d'être descendu en nettoyant le fond du trou par soufflage avec le flexible PEHD.

2.5 Jour 4 (25 octobre)

Toute la matinée est occupée à descendre le tubage qui rentre difficilement, car le soufflage a du mal à faire remonter une boue sablo-argileuse assez dense. Il faut louvoyer à l'aide de deux clefs à chaîne qui enserrant le tubage, en forçant à deux sur chaque clef pour effectuer des va-et-vient droite - gauche, tandis que le préposé au soufflage monte et descend le flexible PEHD pour chasser la boue, comme le montre la photo suivante :



Finalement, après avoir soudé 3 tubes supplémentaires, le tubage bloque à 37,7 m de profondeur, et pour ne pas trop forcer dessus, il est décidé d'arrêter là en coupant la partie hors sol à 0,8 m du sol pour pouvoir reprendre la foration.

La reconnaissance reprend dans l'après-midi avec un quadri-lame de 140 mm de diamètre (5,5 pouces) qui devrait rentrer plus facilement dans l'argile indurée. La reprise de l'avancement avec les tiges de forage est beaucoup plus efficace pour nettoyer la boue pâteuse en fond de trou (cf photo de couverture du rapport) mais il faut beaucoup ramoner (va-et-vient vertical) pour éviter de boucher l'outil.

Le forage avance péniblement d'un mètre supplémentaire, à 39,5 m de profondeur où le quadri-lames n'avance plus du tout dans de l'argile plastique très compacte. Il faut remonter toutes les tiges pour changer d'outil de foration par le trilame retaillé de 6 à 5,5 pouces environ pour espérer mieux avancer.

Mais après une nouvelle manœuvre de remontée de tiges suite à un bouchage, le forage rencontre un faciès particulièrement dur puisqu'il faut une heure pour avancer d'un mètre et atteindre 40,5 m de profondeur.

D'autre part, les cuttings ne remontent plus car l'air arrive à s'échapper entre les 2 tubages provisoires, donc il faut impérativement descendre le deuxième tubage plus profond.

2.6 Jour 5 (26 octobre)

La journée commence donc par la descente d'un tube supplémentaire pour atteindre une profondeur de tubage acier de 39 m, afin de colmater les fuites d'air entre les 2 colonnes.

Puis le forage reprend, toujours dans de l'argile compacte qui sort en petites boulettes peu humides. A 44,5 m de profondeur, ça n'avance plus et les cuttings ne remontent pas. Il faut injecter 2 bidons d'eau de 20 litres pour que les cuttings arrivent à remonter et avancer péniblement jusqu'à 45,3 m.

Devant la difficulté à pénétrer cette d'argile indurée, une tentative de forage au marteau fond de trou est tentée mais elle est peu concluante puisque l'avancement est de 0,7 m en 30 mn. Le marteau est peu efficace car il se bourre d'argile, il a néanmoins peut-être servi à traverser un passage particulièrement dur. La profondeur atteinte est alors de 46 m.

Après avoir hésité à employer un petit tricône, mais il manque un raccord, le forage reprend finalement avec le trilame sur lequel ont été soudés des morceaux de barre d'acier comme le montre la photo suivante :



Et cet outil permet enfin d'avancer dans ces marnes argileuses compactes, qui deviennent légèrement sableuses, avec une vitesse d'un mètre foré en moins de 10 minutes. Malheureusement, l'effort subi au niveau de la tête de rotation provoque la casse du roulement supérieur (un galet est sorti de la cage) alors que le forage avait atteint la profondeur de 47,25 m.

Le chantier est alors arrêté pendant 3 jours, le temps de démonter le roulement pour en avoir la référence, de le commander à Antananarive, de le faire venir par taxi-brousse à Tuléar, de le ramener et enfin de le remonter.

2.7 Jour 6 (30 octobre)

A la reprise, le niveau statique se trouve à 0,5 m au-dessus du sol dans le tubage provisoire, ce qui indique que le forage a percé un nouvel aquifère artésien.

Le forage avance difficilement à 48 m où réapparaissent des conglomérats calcaires dans l'argile. Les cuttings ont du mal à sortir et créent un problème de bouchon résolu dans un premier temps par l'injection de bidons d'eau.

Profitant de la proximité d'un canal à 75 m de distance environ, une motopompe y est installée pour amener plus d'eau, ce qui permet de lubrifier la foration et d'aider les cuttings à sortir.

Puis ça avance mieux à 49 m où se manifeste une franche arrivée d'eau dans un terrain argileux devenant plus sableux avec toujours des conglomérats calcaires et quelques cailloux noirs provenant sans doute d'un ancien dépôt induré.

Ensuite, de 50 à 53 m, le terrain devient vraiment sablo-argileux avec en plus des nodules argileux et le débit d'eau augmente fortement, à tel point que le risque d'éboulement devient très important. Il est donc décidé de remonter les tiges mais en cours de remontée, un bouchon empêche l'air sous pression de sortir autrement que par les tiges qui doivent être dévissées prudemment. Au même moment, du fait de cette pression, une forte venue d'eau apparaît en surface entre les 2 tubages provisoires.

Au fur et à mesure, la pression diminue et l'eau s'arrête de couler en surface. Une fois les tiges remontées, une vérification en tournant la deuxième colonne sans que la première ne bouge permet de s'assurer que les deux colonnes ne sont pas solidaires.

Une mesure de profondeur du trou indique 14 m d'éboulement, soit jusqu'au sabot du tubage provisoire à 39 m. Il est donc décidé de prolonger encore celui-ci de 7 m jusqu'à la couche dure rencontrée à 46 m de profondeur, ce qui prend toute l'après-midi, car le tubage de 160 mm ne descend pas facilement dans le trou de diamètre 140 mm (réalésage en force).

2.8 Jour 7 (31 octobre)

Après avoir hésité à passer au forage à la boue, la foration reprend finalement à l'air après un long nettoyage d'une quantité importante de sédiments qui font bouchon. Le forage progresse de 53 à 56 m dans un terrain homogène sablo-argileux avec beaucoup d'eau, ce qui le rend très bouillant.

En conséquence, il devient impossible de continuer à forer à l'air car les tiges se bouchent à chaque manœuvre, dès que la circulation d'air s'arrête pour permettre l'ajout de la tige suivante.

Après nettoyage à l'air avec le flexible PEHD de 5 m d'éboulement, la pompe immergée est descendu à 30 m pour un test de pompage de 14 à 17 h. Avec la vanne ouverte à fond, le débit augment progressivement de 9,6 à 12,5 m³/h au fur et à mesure que l'eau s'éclaircit, et le niveau dynamique se stabilise à 6,2 m/sol. La conductivité est de 860 μ S/cm. Après l'arrêt du pompage, le niveau d'eau remonte à 1 m/sol en 10 mn et à 0,6 m/sol en 25 mn.

Pendant le test de pompage, l'équipe s'affaire à préparer le circuit de boue en profitant de la présence d'une fosse ayant servi à la fabrication de briques (photo ci-après).



2.9 Jour 8 (1^{er} novembre)

Au matin, le niveau statique dans le tubage est remonté au niveau du sol (+ 0,04 m) et la profondeur mesuré dans le trou est de 46 m (10 m d'éboulement).

Après avoir versé 6 sacs de bentonite dans le bac à boue pour obtenir une viscosité de 40, la circulation de boue est lancée à partir de 45 m de profondeur malgré des fuites dans le tuyau de refoulement (en arrière-plan sur la photo). Après réparation des fuites, les tiges sont descendues jusqu'à 54,5 m mais à partir de cette profondeur, la circulation s'arrête car la boue ne remonte plus, les pertes de charge étant trop importantes pour cette pompe volumétrique qui a été louée pour l'occasion (il aurait fallu une pompe à pistons).

Pour tenter de remédier au problème, la pompe à boue est rapprochée de la foreuse pour pouvoir y brancher le flexible haute pression car auparavant il était trop court pour pouvoir être branché. La circulation est testée jusqu'à 54,5 m à nouveau, ça circule mais la viscosité

diminue à 29 et les pertes deviennent trop importantes pour continuer ainsi (2500 litres de boue perdus en 30 mn).

Encore une fois, la solution qui s'impose est d'approfondir le tubage provisoire pour masquer la zone où la boue se perd. Il reste quelques tubes disponibles de diamètre 180 mm, qui vont permettre de descendre le tubage provisoire jusqu'à 54 m de profondeur.

2.10 Jour 9 (2 novembre)

Après avoir descendu le dernier tube, le forage à la boue reprend avec des polymères biodégradables qui permettent d'obtenir une viscosité plus importante. La circulation de boue est bonne à 54,5 m et à partir de 56 m, une goulotte est installée en tête de tubage pour envoyer la boue sur un tamis afin de relever les cuttings (photo ci-après).



Après 20 mn de circulation à 56 m où la viscosité de la boue a diminuée à 39, le forage avance bien toujours dans des sables argileux homogènes, en rajoutant des polymères pour remonter la viscosité à 56. Avec cette viscosité, le débit de circulation de boue diminue un peu mais le forage avance doucement de manière à bien stabiliser le terrain sablo-argileux.

Malheureusement, alors que le forage a atteint 63 m de profondeur, un bruit suspect dans la tête d'injection arrête de nouveau le chantier. La mission de suivi sur le terrain s'arrête donc là puisqu'il faudra 3 jours pour réparer cette panne.

Avant de quitter le chantier, il est entendu que l'équipement du forage devra comporter des crépines de 30 à 36 m puis de 49 à 53 m environ pour capter les deux aquifères reconnus. Cela permettra d'installer la future pompe entre 40 et 45 m de profondeur.

Au vu des débits testés, il est décidé que le forage n'aura pas besoin d'être réalisé jusqu'à 100 m comme prévu initialement dans le contrat. Il pourra être arrêté au niveau de la couche calcaire qui doit se trouver aux alentours de 80 m selon le sondage géophysique.

En fonction des terrains rencontrés, une crépine supplémentaire de 3 m pourra être prévue en fond d'équipement au-dessus du tube décanteur.

3. Suite du chantier suivi à distance

Finalement, la panne était plus grave que prévue puisque c'est le roulement inférieur de la tête de foration qui a dû être changé à son tour, après la première panne concernant le roulement supérieur.

Après réparation, la reconnaissance à la boue a repris le 5 novembre dans l'après-midi et s'est achevée le 6 novembre lorsque le calcaire a été rencontré à 73,6 m de profondeur. Après échange téléphonique, il a été confirmé que le forage s'arrêterait à cette profondeur.

Les terrains rencontrés de 63 à 73,6 m sont toujours sablo-argileux excepté un passage un peu plus argileux de 67 à 69 m.

Après avoir retiré le tubage provisoire, le réalésage à la boue en 8 pouces a débuté mais il a fallu réparer la tête d'injection qui fuyait. Puis en arrivant à 54 m, le forage a été contraint de s'arrêter à cause de pertes de boue trop importantes.

Ne disposant pas d'assez de tubes de 220 mm de diamètre pour prolonger le premier tubage provisoire, le deuxième de 160 à 180 mm a donc été réinstallé jusqu'à 54 m, ce qui au final, avec la tentative de réalésage, a pris toute la semaine. Cela oblige à équiper le forage avec du PVC de 125 mm de diamètre au lieu du 6 pouces (152,4 mm) initialement prévu car l'espace annulaire est trop faible pour pouvoir descendre le gravier (2-5 mm).

Le 13 novembre, un essai de pompage a été effectué pour tester les venues d'eau en-dessous de 54 m mais à 1,2 m³/h, le rabattement ne s'est pas stabilisé. Il est donc inutile d'équiper le forage au-delà de 54 m de profondeur.

Enfin, après avoir reçu le tubage PVC 125 mm le 15 novembre, celui-ci a été descendu le 16 novembre à 56 m de profondeur après avoir dû prolonger encore le tubage provisoire de 2 m pour maintenir le terrain qui s'éboule continuellement, de manière à pouvoir placer les crépines de 33,5 à 39,2 m et de 47,8 à 53,5 m de profondeur.

En surface, le tubage PVC a été coupé à 0,85 m au-dessus du sol.

4. Conclusion et recommandations

Ce forage dans des terrains sédimentaires a été difficile à réaliser du fait de la rencontre de deux aquifères captifs très puissants rencontrés respectivement aux environs de 30 m puis de 50 m dans des sables argileux très bouillants. Il n'y avait pas d'autre alternative que de tuber provisoirement le forage pour pouvoir descendre l'équipement en PVC.

L'entreprise Lanoé Forages avait amené assez de tubes en acier pour descendre un tubage provisoire de 160 à 180 mm de diamètre jusqu'à 56 m, ce qui a permis d'équiper le forage en PVC 125 mm avec 2 séries de crépines en face des venues d'eau.

Au final, le chantier aura duré 4 semaines, dont 2 pannes totalisant 6 jours d'arrêt, et une semaine perdue à tenter de réaléser en vain le forage à la boue, ce qui aurait permis de l'équiper en PVC 6 pouces comme prévu initialement.

A ce jour, la mise en place du gravier est en cours, tout en retirant le tubage provisoire, avant de procéder au développement par air-lift du forage. En accord avec le foreur, le développement se fera en deux étapes : un premier développement d'au moins 24 h de l'aquifère inférieur sera effectué en laissant le tubage provisoire vers 45 m, puis un développement de l'ensemble des deux aquifères sera effectué une fois le tubage provisoire complètement extrait.

Il convient de bien soigner ces développements du fait de la présence d'argile fine dont la mise en place de la filtration va demander un certain temps.

Jean XUEREF

17/11/2017