UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Alimentaion en eau potable à l'aide d'une manuelle Afridev sur colline Maramvya 12, Commune Mutimbuzi : Cas du projet PAD :O.P.D.E Burundi

Nsabimana, François; Nibogora, Eloge; Sous la direction de : Ir M. SC NIYONZIMA William

2015-07
UB, ITS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2453

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

INSTITUT TECHNIQUE SUPERIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

« ALIMENTATION EN EAU POTABLE A L'AIDE D'UNE POMPE MANUELLE Afridev sur la Colline Maramvya 12 ; Commune Mutimbuzi : Cas pratique du Projet PAD/O.P.D.E Burundi ».



Par

NSABIMANA François

et

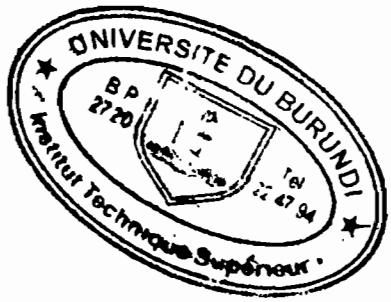
NIBOGORA Eloge

Sous la direction de :

Ir M. SC NIYONZIMA William

Projet de fin d'études présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du grade d'Ingénieur Industriel en Génie Civil

Bujumbura, Juillet 2015



DEDICACES

A mon Dieu, Miséricordieux Omnipotent et assureur de mon avenir ;

A ma grand – mère ;

A mes parents ;

A mes tantes ;

A la famille NTAHOMVUKIYE Gérard ;

A la famille Athanase RWAMO ;

Aux personnels de l'O.P.D.E ;

A mes frères et sœurs ;

A mes cousins et cousines ;

A tous ceux qui me sont chers ;

A toutes mes connaissances.

Je dédie ce travail !

François NSABIMANA

A mes regrettés parents ;

A mes chères sœurs ;

A mes tantes et oncles ;

A mes cousins et cousines ;

A mes neveux et nièces ;

A toute ma famille ;

A mes amis et camarades de classe ;

A tous ceux qui me poussent à être meilleur.

Je dédie ce travail!

Eloge NIBOGORA

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous tenons à rendre gloire à Dieu, le tout puissant, qui nous a guidés tout au long de notre vie estudiantine, et nous a permis d'arriver aussi loin dans nos études.

Nos vifs et sincères remerciements s'adressent à Ir M.SC William NIYONZIMA, Directeur de ce travail. Malgré ses multiples occupations, il a su guider nos premiers pas vers la recherche scientifique, ses suggestions, ses remarques et ses conseils judicieux ont grandement facilité la réalisation de ce travail.

Une note de reconnaissance va aussi à tous nos éducateurs depuis l'école primaire jusqu'à l'Université du Burundi et plus particulièrement tous les professeurs de l'I.T.S, et surtout ceux du département de Génie-Civil. Nous sommes fiers de la formation tant scientifique que morale qu'ils nous ont dotée et qui nous permettra d'affronter l'avenir avec sérénité.

Nous n'oublions pas tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Naturellement, nos remerciements les plus chaleureux s'adressent en premier lieu à nos parents qui nous ont appris à faire nos premiers pas sur la voie du progrès, à la famille NTAHOMVUKIYE, aux éducateurs de l'O.P.D.E, à mes tantes,... pour leurs multiples encouragements durant les moments exceptionnels, et à tous ceux qui nous ont soutenus de près ou de loin pour aboutir à ce fruit intellectuel. Qu'ils trouvent ici le couronnement de leurs efforts et sacrifices. Enfin, nous exprimons notre gratitude à tous nos camarades de classe pour avoir agrémenté notre séjour à l'Université du Burundi.

Soyez tous assurés de notre profonde reconnaissance.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé.

O.M.D : Objectifs du millénaire pour le développement.

O.N.U : Organisation des Nations Unies.

PARESI : Programme d'appui à la réinsertion des sinistrés.

O.P.D.E : Œuvre humanitaire pour la protection et le développement de l'enfant en difficulté.

P.A.D : Pro-action développement.

ISTEEBU : Institut des statistiques et études économiques du Burundi.

P.M.H : Pompe ou pompage à motricité humaine.

C.G.P.E : Comité de gestion du point d'eau.

A.H..R : Agence de l'hydraulique rurale.

P. E : Point d'eau.

R.C.E : Régie communale de l'eau.

A.A.K.T : Amazi, Amagara Kuri Twese.

C.P.E- S.A : Comité point d'eau des sources aménagées.

C.H.A : Comité hygiène et assainissement.

LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Cycle général de l'eau 2
Fig.2: Carte de Mutimbuzi localisant la zone de travail Maramvya 12..... 4
Fig.3 : Réaction de différents types de sol dans l'eau. 15
Fig.4 : Les formations rnixtes. 17
Fig.5 : Bouteilles d'eau de turbidité faible à élevée. 18
Fig.6 : l'infiltration de l'eau dans le sol. 19
Fig .7: Nappe libre. 25
Fig. 8: Nappe captive. 26
Fig.9: Les différents éléments d'un puits. 28
Fig.10: Les différents éléments d'un forage. 30
Fig.11: Implantation d'un forage. 34
Fig.12: photos d'outils ; matériels et matériaux employés pour le forage manuel. 36
Fig.13 : photos d'échantillons d'un sol. 40
Fig.14 : Coupe de forage montrant différentes couches de sol à de profondeurs différentes. 41
Fig.15 : Coupe de forage montrant différentes couches de sol à de profondeurs différentes avec tuyaux en pvc et remblai 42
Fig.16 : Photo montrant l'exécution du forage, au dessus de la nappe, à la tarière conique. 48
Fig.17: photo montrant l'exécution du forage, en dessous de la nappe, à la tarière de mise en eau. .. 50
Fig.18 : Types de plateformes 58
Fig. 19 : Coupe transversale de la pompe manuelle Afridev 62
Fig.20 : Coupe transversale et vue de dessus de la plate-forme, du puits perdu, du forage et de la pompe 69
Fig.21: Ouvrage circulaire parfait en nappe libre. 74
Fig.22: Ouvrage circulaire parfait en nappe captive. 75
Fig.23 :Le triangle d'or pour la gestion des pompes à main. 85

LISTE DES TABLEAUX

Tabl. 1 : Effectifs des habitants de la colline Maramvya 12. 5
Tabl.2 : Effectifs projetés de la population à desservir.....9
Tabl.3 : Besoins journaliers de la colline Maramvya 12 10
Tabl.4: Récapitulatif des besoins projetés en eau. 13
Tabl.5 : classification de différentes particules dans un échantillon de sol. 15
Tabl.6 : Méthodes d'exécution du forage manuel. 46
Tabl.7: Paramètres à analyser pour l'eau potable.....53
Tabl.8: Problèmes et Solutions à envisager pour la maintenance de la pompe manuelle Afridev. 67
Tabl.9: Le devis quantitatif et estimatif des travaux. 78
Tabl.10: Planning d'exécution des travaux. 84

RESUME DU PROJET DE FIN D'ETUDES

De prime à bord, ce travail de fin d'études est inspiré par le fait que les habitants de la région de la plaine de la Rusizi, suite à l'insuffisance des pluies, souffre de la carence d'eau potable, ce qui engendre des conséquences néfastes sur la santé de cette population ainsi qu'à leur développement économique alors que cette région possède une nappe souterraine engorgeant une grande quantité d'eau presqu'inexploitable.

En effet, il s'agit d'un travail un peu original qui s'est focalisé sur l'approvisionnement en eau potable des habitants de la colline Maramvya 12 à l'aide d'un forage équipé d'une pompe à motricité humaine.

Lors de notre travail, les différents points traités sont les suivants:

- La détermination de la consommation en eau des habitants de cette localité;
- le sol de la zone de travail Maramvya 12 surtout composé du sable , est plus perméable;
- comme ouvrage de captage des eaux souterraines, on a employé le forage à la tarière manuelle (qui est une solution pratique et plus abordable) muni d'une pompe manuelle Afridev, facile à installer, à utiliser et à entretenir;
- les principes de l'hydraulique souterraine liés au calcul du forage;
- l'estimation du coût du projet ainsi que le planning prévisionnel d'exécution des travaux;
- et enfin, pour maintenir longtemps en bon état de marche un point d'eau, on a parlé de la gestion et de l'entretien de ce dernier.

En conclusion, les résultats escomptés qui sont de pouvoir alimenter en eau potable les habitants de la colline Maramvya 12 par forage équipé d'une pompe manuelle Afridev ont été obtenus.

Mais, le sujet est plus vaste et peut avoir des imperfections, nous souhaitons la bienvenue à quiconque pourrait faire une contribution tant technique que financière y relative.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES i
REMERCIEMENTS iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS iv
LISTE DES FIGURES v
LISTE DES TABLEAUX vi
RESUME DU PROJET DE FIN D'ETUDES vii

CHAPITRE 0 : INTRODUCTION 1
0.1. Contexte 1
0.2. Justification du choix du sujet 1
0.3. Objectif principal 2
0.4. Cycle général de l'eau 2
0.5. Présentation de la zone d'étude 3
0.5.1. Localisation 3
0.5.2. Description administrative de la colline Maramvya 12 4
0.5.3. La population 5
0.6. Ressource en eau 6
0.6.1. Eaux de surface 6
0.6.2. Eaux souterraines 6
CHAP I : EVALUATION DES BESOINS EN EAU POTABLE 8
I.1. Généralités 8
I.2. Estimation de la population à desservir 8
I.2.1. La population actuelle 8
I.2.2. La population future 8
I.3. Estimation des besoins en eau 9
I.4. Production de pointe, pertes d'eau et marge 10
I.4.1. La production de pointe 11
I.4.2. Les pertes d'eau 11

I.4.3. Marge de sécurité 12
I.5. Récapitulatif des besoins en eau 12
CHAP II CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET CONCEPTS DE BASE 14
II.1. Notions de Géologie 14
II.1.1. La Géologie 14
II.1.2. Classification et reconnaissance des sols 15
II.1.3. La perméabilité 15
II.1.3.1. Le sable et le gravier 16
II.1.3.2. L'argile et le limon 16
II.1.3.3. Les formations mixtes 16
II.1.4. La porosité 17
II.1.5. La turbidité 18
II.2. Eaux dans le sol 18
II.2.1. Les nappes aquifères 19
II.2.2. La circulation des eaux souterraines 20
II.2.3. Le bassin versant 21
II.2.4. Les aquifères 21
II.2.4.1. L'aquifère superficiel ou nappe phréatique 22
II.2.4.2. Le second aquifère 22
II.3. Définition de concepts de base 22
II.4. Nappes libres 25
II.5. Nappes captives 25
II.6. Fluctuation des nappes 26
CHAPIII. LES OUVRAGES DE CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES 27
III.1. Choix du type de captage 27
III.1.1. Le puits 27
III.1.2. Le forage 29
III.2.CARACTERISTIQUES DU CAPTAGE 31
III.2.1. Le niveau statique 31
III.2.2. Le rabattement et le niveau dynamique 31
III.2.3. Le débit de réception et le débit d'exploitation 32

III.2.4. La profondeur de calage 32
CHAP IV : TECHNICITE ET DEVELOPPEMENT DU FORAGE MANUEL 33
IV.1. Le choix du site d'implantation 33
IV.2. Outils, matériels et matériaux employés 35
IV.3. Faire un forage 37
IV.4. Les techniques de forage manuel 37
IV.4.1. La tarière manuelle 37
IV.4.1.1. Choix du forage à la tarière 38
IV.5. Les coupes de forage 38
IV.5.1. Pourquoi fait-on des coupes de forage ? 38
IV.5.2. Echantillonnage sur terrain 39
IV.5.3. Comment remplir les fiches de coupe de forage 40
IV.5.4. Les profondeurs de forage 43
IV.6. Exécution du forage à la tarière manuelle 45
IV.6.1. Les grandes étapes de la réalisation du forage manuel 47
IV.7. Le développement du forage et les essais du débit 49
IV.7.1. Le développement du forage 49
IV.7.2. Les essais de débit – la productivité du forage 51
IV.7.3. Analyser la qualité de l'eau 53
IV.8. La finalisation du forage 54
IV.8.1. La dalle sanitaire en béton 54
IV.8.2. Le puits perdu 54
IV.8. 3. Aménagement de la surface du point d'eau 56
IV.8.3.1. Dimensionnement de la plate-forme 56
IV.8.3.2. Types de plate-forme 57
IV.8.3.3. Construction de la plate-forme 58
CHAP V : LA POMPE MANUELLE AFRIDEV 60
V.1. Le type de pompage approprié 60
V.2. A propos de cette pompe 61
V.2.1.Définition 61
V.2.2. Données techniques et Caractéristiques principales de la pompe Afridev 63

V.3. Installation de la pompe 64
V.4. Fonctionnement de la pompe Afridev 65
V.5. Entretien de la pompe 65
CHAP VI : PRINCIPES DE L'HYDRAULIQUE SOUTERRAINE ; CALCUL DES FORAGES 70
VI.1. Ecoulement des eaux souterraines 70
VI.1.1. Porosité 70
VI.1.2. Coefficient de perméabilité " k " 71
VI.1.3. Le gradient hydraulique " i " 71
VI.1.4. Vitesse d'écoulement 72
VI.1.5. Loi de Darcy 72
VI.2. Alimentation des forages 73
VI.2.1. Ouvrage circulaire parfait en nappe libre 73
VI.2.2. Ouvrage circulaire parfait en nappe captive 75
VI.3. Les pertes de charges 77
CHAP VII : ESTIMATION DU COUT DU PROJET ET PLANNING DES TRAVAUX 78
VII.1.Introduction 78
VII.2. Le devis quantitatif et estimatif (D.Q.E) des travaux 78
VII.3. Planning d'exécution des travaux 84
CHAP VIII GESTION, ENTRETIEN ET MAINTENANCE DU POINT D'EAU 85
VIII.1. Les principes fondamentaux 85
VIII.1.1. Le triangle d'or 85
VIII.1.1.1. Mobiliser les usagers 86
VIII.1.1.2. Agréer un artisan-réparateur 86
VIII.1.1.3. Mobiliser un fournisseur 86
VIII.1.2. Quatre règles pour la bonne gestion des pompes à motricité humaine 87
VIII.1.2.1. Election du CPE 87
VIII.1.2.2. Gestion du point d'eau 88
VIII.1.2.2.1. Quelques principes à suivre pour une bonne gestion 88
VIII.1.2.2.2. Le règlement d'usage 88

VIII.2. Entretien et maintenance du point d'eau 88
Conclusion et recommandations 90
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 92
ANNEXES 93

CHAPITRE 0 : INTRODUCTION

0.1. Contexte

L'eau est une source essentielle de la vie sur terre. Avoir accès à cette eau est donc d'une importance primordiale.

Il n'y a pas de vie sans eau. C'est un bien précieux, indispensable à toute activité humaine.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, 20l d'eau par personne et par jour est la norme pour répondre aux besoins personnels de base et aux exigences minimales d'hygiène. Le minimum d'eau potable nécessaire à la survie d'un homme varie entre 1,8l et 3l par jour ; dépendant de la température, du genre de travail,...D'après cette organisation onusienne encore, entre 3 et 5 millions de personnes meurent chaque année dans le monde suite à des maladies dues à l'eau (Diarrhée, dysenterie, choléra,...). Ces maladies sont directement la conséquence d'une gestion défaillante de l'eau, du fonctionnement des points d'eau.

Dans les "objectifs du millénaire au développement " fixés par l'O.N.U pour 2015, il était prévu non seulement de diminuer de moitié le nombre de personnes souffrant de sous alimentation sur la planète ;mais également de diviser par deux le nombre de personnes n'ayant pas accès à l'eau potable.

Pour la réalisation des objectifs du millénaire, en ce qui concerne l'eau et l'assainissement, il faudrait doubler les efforts actuels. La région d'Afrique subsaharienne est la plus menacée. Au Burundi la part de la population consommant de l'eau potable est en dessous de 50%.

0.2. Justification du choix du sujet

L'alimentation en eau joue un rôle très important dans le développement des zones rurales ; il diminue considérablement le nombre de maladies transmises par l'eau polluée et de plus ; il est souvent la base d'autres projets de développement humain.

La colline Maramvya 12 a suscité notre intérêt car c'est la partie qui connaît toujours des problèmes de manque d'eau potable alors qu'elle est située dans la plaine de la Rusizi où la nappe souterraine engorge une grande quantité d'eau.

Face à ce problème de manque d'eau potable, on pourrait :

- ❖ soit exploiter l'eau de source mais il n'y a pas de sources proches de la colline Maramvya 12 ;
- ❖ soit exploiter l'eau du lac mais sa pollution augmente du jour au jour à cause des industries se trouvant tout autour du lac.

Donc pour éradiquer ce problème, le seul moyen auquel on pourrait recourir est d'utiliser les eaux de la nappe présentes suffisamment et à un prix abordable.

0.3. Objectif principal

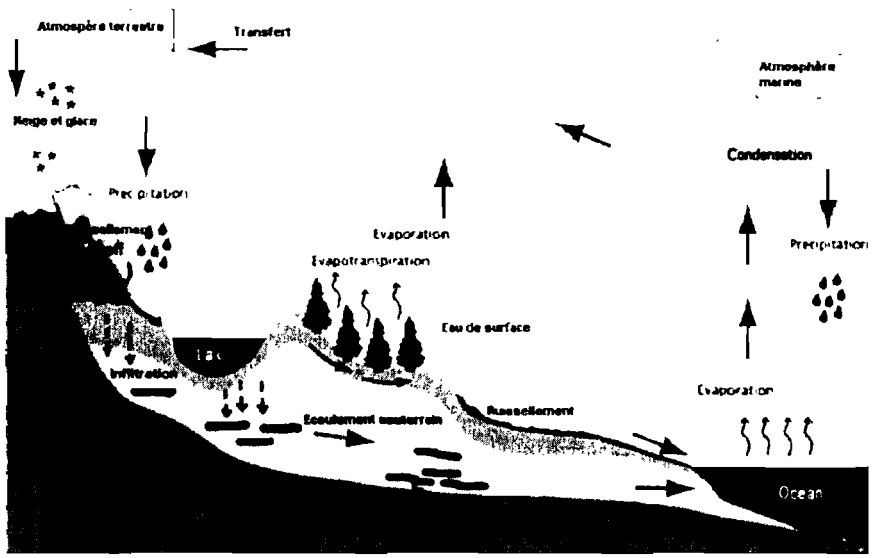
Afin de pouvoir suppléer à la carence d'eau due à l'insuffisance des pluies de la région, de nombreux forages hydrologiques furent, autrefois, implantés le long des transversales par le service géologique du Ruanda-Urundi.

Beaucoup de ces forages se sont bouchés faute d'entretien.

Dans cette partie, il y a manque d'eau potable, la population de cette colline est obligée de parcourir de longues distances à pied ou à vélo pour s'approvisionner en eau de rivière, qui n'est pas potable.

Notre projet s'est focalisé sur la distribution de l'eau potable au moyen des forages sur la colline Maramvya 12 où il y a un manque d'eau car il y a une nappe aquifère importante à exploiter.

0.4. Cycle général de l'eau[1]



[1]*Source: PRACTICA FOUNDATION Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines appliquées aux forages manuels*

Fig.1 : Cycle général de l'eau

Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau des océans, des mers, des lacs,... s'évapore. Cette vapeur d'eau ainsi produite est entraînée par le vent vers les continents où elle rencontre des conditions favorables à sa condensation, ainsi naissent les nuages.

Dans ces derniers ; des gouttelettes se forment autour des grains de poussières et ceux de sel provenant de l'évaporation des eaux de mer. Ces gouttelettes prennent des proportions qui ne leur permettent plus de rester en suspension et le phénomène de précipitations est déclenché, il pleut.

Une partie de ces eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et retourne dans les lacs, les rivières, ... où elle augmente leur quantité. Et une autre partie qui a échappé à la rétention par végétation, s'infiltre à travers le sol et va s'accumuler dans le sous-sol pour ainsi former les nappes souterraines qui, par après, s'échappent du sous-sol naturellement et donne naissance aux sources qui émergent à la surface du sol. Et le cycle recommence ...

0.5. Présentation de la zone d'étude

0.5.1. Localisation

Notre zone de travail, au point de vue altitude, se trouve dans un ensemble morphologique appelé "plaine de l'imbo".

La plaine de l'imbo est comprise entre 774m (Niveau du Lac Tanganyika) et 1.000m d'altitude (à la limite des contreforts). Elle englobe la plaine de la Rusizi et les plaines riveraines du lac Tanganyika.

La plaine de la Rusizi se développe au Nord du lac Tanganyika. D'extension variable, sa partie septentrionale, sa largeur oscille entre 4 et 10 km et peut atteindre 25 km dans sa partie méridionale.

La plaine de la Rusizi est habituellement en 2 parties :

- la plaine de la moyenne Rusizi (de Ruhwa à la Nyamitanga);
- la plaine de la basse Rusizi (de la Nyamitanga au Nord et la Ntahangwa au Sud).

Maramvya 12 fait partie de la commune Mutimbuzi dans la province de Bujumbura .

La commune Mutimbuzi est située au Nord de cette Province.

Elle est délimitée:

- ❖ à l'Est par les communes Rugazi (Bubanza), Mubimbi et Isare (Bujumbura rurale) ;
- ❖ au Nord par les communes de Mpanda et Gihanga (Bubanza) ;
- ❖ au Sud par la capitale de Bujumbura et le lac Tanganyika ;
- ❖ à l'Ouest par la R.D.C (République Démocratique du Congo).

La commune Mutimbuzi comprend plusieurs zones administratives à savoir :

- la zone Maramvya ;
- la zone Gatumba ;
- la zone Rukaramu;
- et la zone Rubirizi.

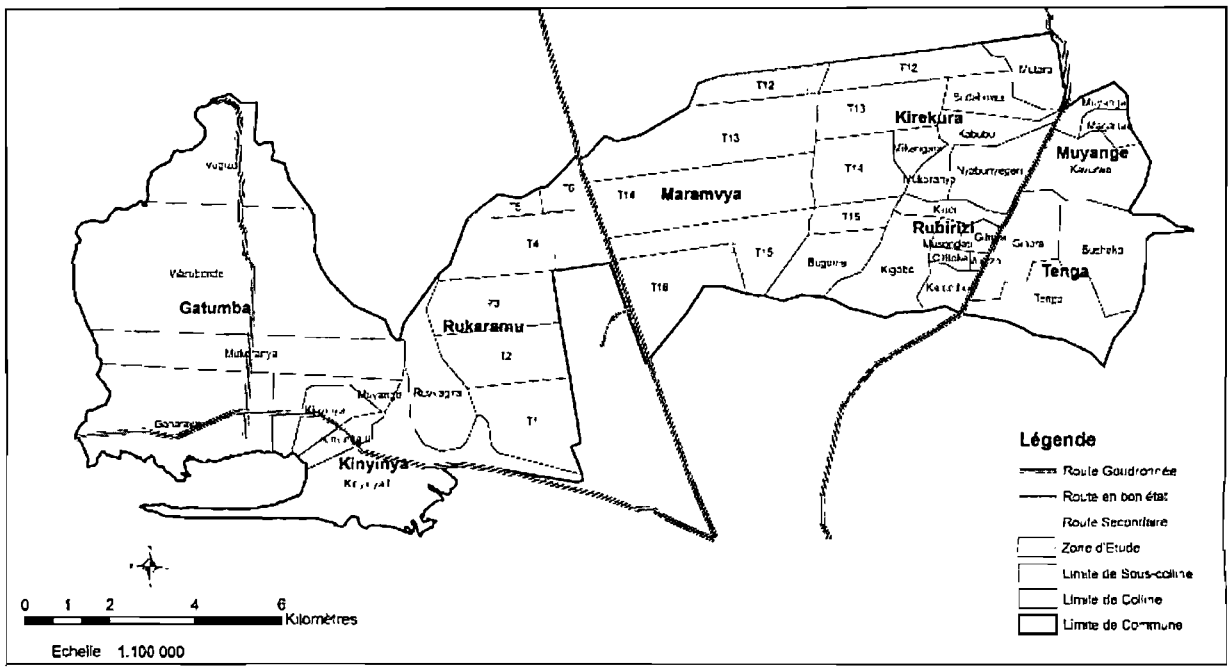


Fig.2: Carte de Mutimbuzi localisant la zone de travail Maramvya 12.

Source[2]: Consultant en Cartographie Philippe SINDAYIGWANYA.

0.5.2. Description administrative de la zone maramvya

La zone maramvya possède un caractère semi urbain. Elle est subdivisée en plusieurs secteurs ou collines de recensement à savoir :

- ❖ Maramvya 12 ; 13 ; 14 et 15 (Buhomba et Site PARESI);
- ❖ Kirekura 12 ; 13;14 et 15;
- ❖ Mutara.

Les principales activités économiques sont :

- ➢ L'agriculture (surtout la riziculture, les légumes) ;
- ➢ l'élevage des bovins et volailles;
- ➢ le petit commerce.

0.5.3. La population

D'après une enquête réalisée dans le cadre de l'élaboration d'un état des lieux et de la situation sanitaire et sociale par les animateurs de PAD ; la colline Maramvya 12 compte 96 ménages hébergeant 518 habitants comme suit :

colline	Nombre de ménages	Nombre d'habitants
Maramvya 12	96	518

Tabl. 1 : Effectif des habitants de la colline Maramvya 12.

0.6. Ressource en eau

0.6.1. Eaux de surface

Les eaux de surface occupent 75% de la surface terrestre avec un volume égal à $10^{17}m^3$.

Mais, elles sont souvent_polluées par les déchets de la nature (érosion et ruissellement), par les hommes et les animaux.

Elles ne sont généralement pas potables.

Avant de les distribuer à la population, on doit leur faire subir un traitement complet et qui est souvent couteux (décantation, filtration, chloration).

0.6.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines, quant à elles, occupent un volume de 2,4. $10^{15}m^3$ et couvrent 3% de la surface terrestre.

La prépondérance dans la formation des eaux souterraines revient :

- à l'infiltration des précipitations ;
- à l'absorption des eaux de ruissellement ;
- au processus de condensation des vapeurs d'eau.

Les réserves mondiales d'eau souterraine sont 10 fois plus importantes que les réserves d'eau de surface. En raison de son abondance, de sa qualité et sa proximité avec le lieu de consommation, l'eau souterraine constitue la source d'approvisionnement en eau de consommation la plus abordable.

Les eaux souterraines ont généralement une composition stable, une individualité bien marquée.

Elles sont naturellement pures lorsque la nappe est bien protégée contre l'introduction plus ou moins directe des eaux usées et polluées.

Les eaux souterraines sont beaucoup moins polluées, parce qu'elles ont été filtrées par le sol et peuvent donc être distribuées sans filtration, avec une simple chloration.

En général, au Burundi, l'eau souterraine présente un potentiel naturel très important mais peu exploité. Reposant dans la nappe aquifère et étant par conséquent protégée contre les combinaisons extérieures directes, elle est de très bonne qualité.

La sortie des eaux souterraines sous forme d'un déversement est conditionnée par 3 principaux facteurs :

- ❖ la forme du relief;
- ❖ la structure géologique du site;
- ❖ la présence dans la région des intrusifs.

Les régions de la plaine de l'Imbo, celles de Bugesera renferment de grandes réserves d'eau ne trouvant pas de sorties, restent accumulées dans le sol, alors qu'un simple puits ou forage de quelques mètres peut leur donner une sortie.

Cette méthode si fréquemment utilisée avant l'indépendance, est tombée dans l'oubli surtout par manque d'équipements appropriés, mais reste la solution la plus abordable pour approvisionner en eau potable les habitants de ces localités.

CHAP I : EVALUATION DES BESOINS EN EAU POTABLE

I.1. Généralités

Pour bien évaluer les besoins en eau potable des habitants de Maramvya12, on doit d'abord estimer les effectifs à desservir c.à.d. la population du site qui fait objet de notre travail et, puis déterminer les besoins en eau de ces habitants.

- .La durée de vie d'un point d'eau : est une période pendant laquelle la consommation de la population en eau potable augmente suite à une réduction de la distance d'approvisionnement mais aussi à la croissance de la population;
- L'horizon de planification pour notre projet est fixé à l'année 2033, donc une durée de vie du réseau égale à 20 ans (depuis 2013).

I.2. Estimation de la population à desservir

Elle est basée sur les résultats des recensements officiels, des études du plan d'aménagement rural, mais aussi des enquêtes réalisées in situ.

I.2.1. La population actuelle

D'après les enquêtes réalisées par PAD à Maramvya 12, notre zone de travail compte 518 personnes réparties sur 96 ménages,

donc on a une moyenne = $\frac{518 \text{ personnes}}{96 \text{ ménages}}$ = 5 personnes/ménage.

I.2.2. La population future

Les données recueillies au ministère de l'intérieur via l'ISTEEBU (Enquête réalisée en 2008) ; de la projection de la population en province Bujumbura nous ont montré que le taux d'accroissement interannuel moyen de la population est t =3,6 %.

La formule générale applicable à toute forme de calcul de la population future est la suivante :

$P_n=P_o(1+t)^n$ **(1)** où P_n = la population au bout de 20 ans après;

P_o = la population initiale (actuelle);

n =nombre d'années du projet;

A.N: $P_{20}= 518(1 + 3,6\%)^{20}= 518(1,036)^{20}= 1051$ personnes

Colline	Effectif de la population à desservir. Taux de croissance démographique : t=3,6%	
	2013	2033
MARAMVYA 12	518	1051

Tabl.2 : Effectif projeté de la population à desservir

I.3. Estimation des besoins en eau

En milieu rural, les besoins en eau s'estiment de la manière suivante :

- 20l par jour et par habitant s'approvisionnant sur une borne fontaine ;
- 5l par jour et par écolier ou élève pour une école primaire ou secondaire ;
- 150l par jour et par lit pour un centre de sante ou hôpital ;
- 3l par jour et par personne pour le marché ;
- 3l par jour et par fidèle pour une église.

N.B: Lors de notre visite sur terrain, nous n'avons pas trouvé d'infrastructures socio-économiques dans notre zone de travail (Maramvya 12).

Notre estimation sera seulement sur les habitants de Maramvya 12 qui consomment une moyenne de 20 l/jr/hab. Pour le total de la population actuelle de notre site évaluée à 518 habitants, les besoins en eau sera égale à : 20l/jr/hab. x 518 hab.= 10360 l/jr.

La quantité d'eau que la population de Maramvya 12 a besoin pour s'approvisionner en eau potable est de 10360l/jr.

En 2033 (l'horizon de planification de notre projet), on a vu que durant ces 20 ans la population de Maramvya 12 sera augmentée. Donc elle passera de 518 personnes à 1051 c'est à dire que la consommation aussi va augmenter.

La quantité d'eau qui leur sera nécessaire ; sera égale à : 20l/jr/hab. x 1051hab.= 21020l/jr.

Colline	Année	Population (hab)	Besoins moyens journaliers $Q_{j\,moy}$ en (l/j)
Maramvya 12	2013	518	10360
	2033	1051	21020

Tabl.3 : Besoins journaliers de la colline Maramvya 12

I.4. Production de pointe, pertes d'eau et marge

Pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques, il nous faut une détermination de la production de pointe, des pertes d'eau dans les réseaux, mais aussi une fixation de la marge suffisante et nécessaire car une augmentation de la production pendant une période donnée entraîne automatiquement une augmentation de la consommation d'eau.

I.4.1. La production de pointe

La production de pointe dans les milieux ruraux est calculée en comparaison avec celle de grandes villes du BURUNDI sur base des activités quotidiennes.

c'est notamment les jours de marché, de meeting,..

La formule pour déterminer la production de pointe est la suivante :

$Q_{jP} = Q_{j\,moy}\,(1+c)$ **(2)**

Pour ce projet, comme il n'y a pas d'activités entrainant de nombreuses variations au niveau de la consommation, nous estimons ce facteur à la valeur 10%.

Q_{jP} = 10360 l/jr x (1+0,1) = 11396 l/jr

I.4.2. Les pertes d'eau

Des pertes d'eau sont inévitables le long du réseau c.à.d. depuis le captage jusqu'aux puits de puisage. La plupart de ces pertes sont dues au lavage des filtres dans les stations d'épurations aux robinets mal fermés ou même non fermés et surtout aux fuites des canalisations (fuites des raccordements des tuyaux), ainsi qu'aux bornes fontaines mal entretenues.

Tout cela dépend de la manière dont le réseau est entretenu selon le degré d'entretien du réseau, le volume des fuites d'eau peut varier entre 25 à 50% de la quantité d'eau consommée. En comparaison avec ceux des centres urbains, notre réseau sera moyennement entretenu. C'est pourquoi nous prendrons comme volume des fuites d'eau 35% pour nos calculs.

Pertes d'eau = $Q_{j\,moy}$ x $(\frac{p}{1-p})$ **(3)**

avec p= 0,35 (car on est en milieu semi-urbain; le réseau sera moyennement entretenu).

Pertes d'eau = 10360 l/jr x $(\frac{0,35}{1-0,35})$= 5600l/jr

I.4.3. Marge de sécurité

Durant la période de vie de notre réseau (horizon de planification), la population du site auquel nous travaillons sera augmentée compte tenu du taux de croissance. Plus la population augmente, plus aussi la consommation en eau augmente et plus encore la distribution prévue sera surchargée.

C'est pour cette raison qu'une marge de sécurité s'avère importante pour éviter les réhabilitations de tout le temps. L'évolution de la population est l'objet principal pour la fixation de cette marge de sécurité.

Avec le taux de croissance de 3,6% ; la population passe de 518 en 2013 à 1051 habitants en 2033.

Marge = $\frac{Pn-Po}{Po}$ **(4)**

Soit une augmentation Δ de $\frac{1051-518}{518}$ = 1,03

I.5. Récapitulatif des besoins en eau

Les besoins maximum en 2033 en tenant compte des pertes d'eau, de la production de pointe et de la marge de sécurité sont déterminés de la façon suivante :

$Q_{j\,max}$ = (Q_{jP} + Pertes) x (1+ Δ) où Δ : facteur de sécurité. **(5)**

A.N: Q_{jmax}= (23122+11318,5) (1+1,03)= 34440,5 x 2.03= 69914,215 l/jr = 0,81 l/s.

Q_d : 20 l/j/hab

Coëfficient de perte : 1,35

Taux d'accroissement : 3,6 %

Colline	Année	Population (hab)	$Q_{j\ moy}$	Q_{JP}	Pertes	$Q_{j\ max}$
			(l/j)			
Maramvya 12	2013	518	10360	11396	5578,5	34458,235
	2033	1051	21020	23122	11318,5	69914,215
						0,81 l/s

Tabl.4: Récapitulatif des besoins projetés en eau.

CHAP II CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE ET CONCEPTS DE BASE

II.1. Notions de Géologie

II.1.1. La Géologie

La géologie est l'étude de la terre. Elle décrit les origines et la formation des types de roches sous la surface du sol. Les matériaux originels de la terre sont les roches dures comme les granites et les formations volcaniques, qui se sont formées quand de la matière en fusion s'est refroidie à sa surface. On les appelle roches magmatiques. C'est à partir de ces roches qu'ont été formées les couches sédimentaires.

Les couches sédimentaires sont formées par l'érosion, le transport par le vent ou les rivières et le dépôt de particules des roches originelles. La taille de ces particules peut être très fine (particules d'argile), moyenne (limon), ou grande (sable et graviers). Les couches sédimentaires peuvent être non consolidées (meubles comme l'argile ou le sable) ou cimentées pour former des roches plus dures comme le grès ou le calcaire.

Quelques exemples :

Les particules d'argile rencontrées pendant un forage peuvent venir d'ailleurs. Ces particules ont été formées par l'effritement de roches. Elles peuvent ensuite avoir été érodées et transportées jusqu'à votre site de forage par une rivière ou par la mer. Enfin, ces particules d'argile se sont déposées dans de l'eau stagnante, par exemple dans un lac.

De la même manière, une couche de sable ou de gravier peut s'être déposée. Les particules de sable et de gravier peuvent avoir été transportées par une rivière et s'être déposées le long de son lit.

Le dépôt de ces particules peut s'être passé des milliers ou même des millions d'années auparavant.

Un autre mode de transport des particules est le transport éolien. Des particules peuvent être transportées d'un endroit à un autre par le vent.

Quand un mélange de sable et de particules fines a été compacté par la pression résultant du poids des couches situées au-dessus, et cimenté par les minéraux présents dans ce mélange, cela forme du grès. Le grès est dur et peut ressembler à une roche solide, mais il est en fait formé à partir de sédiments consolidés, et peut être foré manuellement.

Il ne s'agit que de quelques exemples de base. Les couches sédimentaires de la surface de la terre sont les plus importantes pour les foreurs manuels. Les couches dures comme le grès, l'argile compactée, les fragments de roche non érodés et la latérite posent plus de problèmes pour le forage manuel, en raison de leur dureté.

II.1.2. Classification et reconnaissance des sols

L'une des qualités essentielles d'un foreur professionnel est sa capacité à reconnaître et décrire les différents types de sols rencontrés au cours du fonçage.

Nom des particules	Taille des particules
Argile	< 0,004 mm
Limon	0,004 – 0,06 mm
Sable (fin, moyen, grossier)	0,06 – 2,0 mm
Gravier	2,0 – 64 mm
Cailloux et pierres	> 64 mm

Tabl.5 : classification de différentes particules dans un échantillon de sol.

Pour la construction d'un forage de bonne qualité, il est essentiel de connaître les caractéristiques des différents sols et leur influence sur le rendement (débit du forage), la qualité de l'eau et la performance du forage. En fait, connaître les caractéristiques des sols est bien plus important que connaître leur nom.

Avant toute chose, il est très important de savoir si les types de sols forés sont perméables ou imperméables.

II.1.3. La perméabilité

La perméabilité est la propriété d'un terrain aquifère à se laisser traverser par l'eau ; c'est la conductivité à l'eau des roches ou de terrains.

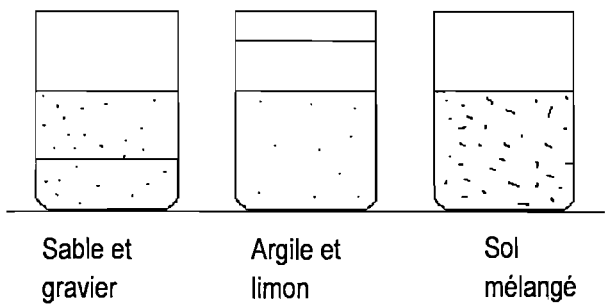


Fig.3 : Réaction de différents types de sol dans l'eau.

II.1.3.1. Le sable et le gravier

Si l'on met du sable grossier ou du gravier dans un seau dont le fond est percé, et que l'on verse de l'eau par-dessus, l'eau circule facilement à travers le sable jusqu'au fond du seau, l'eau coule facilement dans les pores entre les grains.

Conclusion : l'eau coule facilement à travers le sable et le gravier. Le sable et le gravier sont donc très perméables. Quand une crépine est installée dans une couche de sable ou de gravier, l'eau coule facilement à travers le sable jusqu'à la crépine du forage et le débit d'eau sera important.

II.1.3.2. L'argile et le limon

L'argile et le limon se comportent de manière inverse. Si l'on met de l'argile humide dans un seau et que l'on verse de l'eau par-dessus, l'eau restera au-dessus. Les particules d'argile sont très petites, de même que les pores entre les particules.

Conclusion : l'eau ne circule pas facilement à travers l'argile. L'argile est donc décrite comme non perméable ou imperméable.
Si l'on installe une crépine dans une couche d'argile, le débit d'eau dans le forage sera faible.

II.1.3.3. Les formations mixtes

Dans la plupart des cas, les formations sont un mélange de particules d'argile, de limon, de sable et de gravier. Par exemple, l'argile et le sable peuvent se trouver ensemble (argile sableuse) sous forme d'une couche homogène ou d'une alternance de fines couches de sable et d'argile. Quand ces sols sont mis dans un seau et que l'on verse de l'eau par-dessus, l'eau coule lentement à travers le sol.

Conclusion : L'eau coule lentement à travers les sols mélangés qui sont donc décrits comme peu perméables. Si l'on place une crépine dans une couche mélangée ou alternée, le débit du forage sera faible.





Sable et gravier — argile et limon — mélange de sols

Très perméable — imperméable — peu perméable

Fig.4 : Les formations mixtes.

Remarque : il est parfois difficile de faire la différence entre les couches perméables ou imperméables.

Voici une petite astuce pour vous aider :

Prenez un échantillon représentatif du sol et faites en une boule en le roulant entre vos mains.

Faites ensuite tomber la boule sur le sol en la lâchant d'une hauteur d'environ 1 mètre.

- Si la boule est faite de particules non-collantes, elle se brise complètement. Dans ce cas, le sol est perméable, les particules de sable ou de gravier seront nettement visibles;
- Si la boule se brise seulement en partie, le sol contient des morceaux de limon ou d'argile et du sable, cette formation aura une faible perméabilité;
- Si la boule ne fait que se déformer ou reste plus ou moins de la même forme, elle est composée d'argile, et peut être décrite comme imperméable.

II.1.4. La porosité

Les couches sédimentaires sont composées de nombreuses particules comme le sable, le limon et l'argile. Entre ces particules, il y a beaucoup d'espace libre, que l'on appelle pores.

La porosité est une mesure du pourcentage d'espace libre dans une formation; donc c'est le rapport entre le volume des vides et le volume total de l'échantillon.

Elle varie avec la taille des grains, leur uniformité et leur mode d'arrangement.

La porosité varie de 0,476 à 0,26 suivant la disposition.

Dans certains cas, une granulométrie continue réduit la porosité jusqu'à zéro.

II.1.5. La turbidité

La turbidité est un mot compliqué pour désigner le caractère trouble de l'eau, causé par de très petites particules en suspensions, un peu comme de la fumée dans l'air. Les particules d'argile et de limon sont très petites. Quand ces particules sont dans l'eau, elles la rendent turbide, ou trouble. Si l'eau d'un forage est extraite d'une couche d'argile ou de limon, certaines particules fines de sol peuvent être transportées par l'eau et se mélanger dans l'eau. L'eau peut alors paraître trouble.

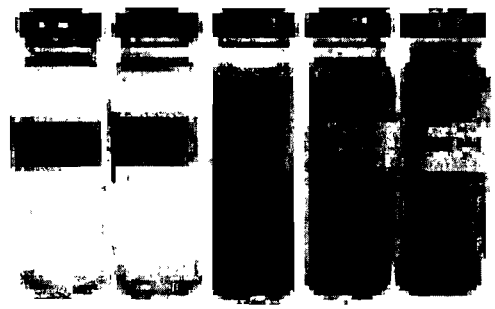


Fig.5 : Bouteilles d'eau de turbidité faible à élevée.

Conclusion

Notre zone de travail (Maramvya12), située dans la plaine, est composée de sable argileux, même en profondeur où on va installer toute la crépine. La couche de sable ou gravier est perméable, le débit du forage sera important (le forage sera très productif). De plus, comme la couche est faite de sable ne contenant pas de très petites particules, l'eau sera très claire (non turbide).

II.2. Eaux dans le sol

Pour les foreurs, il est particulièrement important de connaître l'emplacement de l'eau souterraine, ses mouvements dans les couches perméables contenant de l'eau, ainsi que les facteurs affectant sa qualité.

II.2.1. Les nappes aquifères

L'eau contenue dans une nappe souterraine provient surtout de l'infiltration des eaux de surface. L'eau des rivières, des lacs ou des pluies s'infiltre vers le bas dans le sol tant que celui- ci la laisse passer. Mais lorsqu'il y a une couche imperméable, comme de l'argile ou de la roche continue, l'eau s'accumule et forme une nappe, qui s'étale sur les côtés.
Certaines nappes se sont infiltrées très loin et ont longtemps circulé dans le sol avant de s'accumuler. À cause de tels détours (Figure 6), la nappe peut se retrouver coincée entre une couche imperméable en bas, le plancher de la nappe et une autre au-dessus d'elle à l'endroit où elle a fini par s'accumuler, qui constitue le plafond de la nappe. C'est alors une nappe captive.

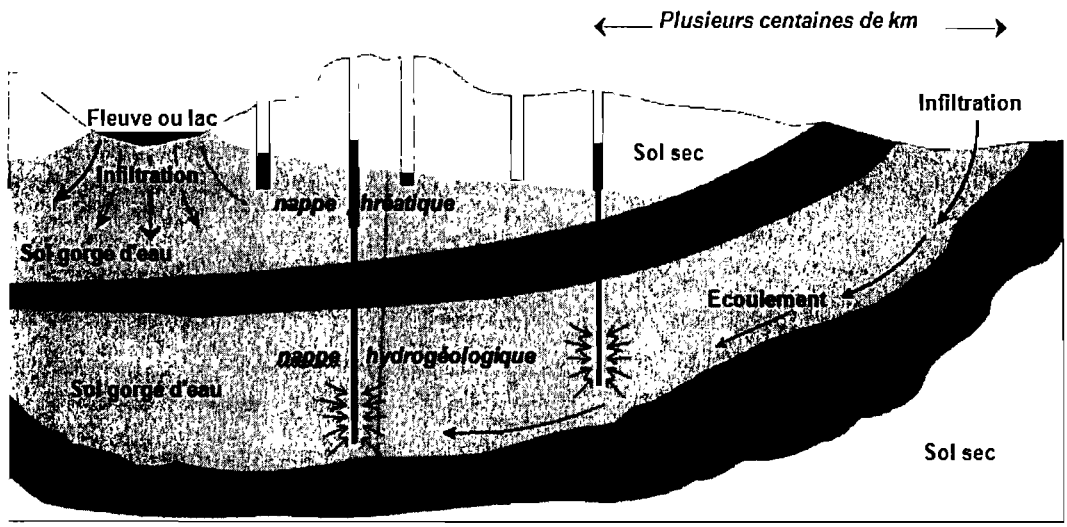


Fig.6 : l'infiltration de l'eau dans le sol.

La figure ci- dessus rassemble plusieurs exemples de nappes. La plus proche de la surface est appelée nappe phréatique, elle est alimentée assez directement par les eaux de surface, son niveau varie donc en relation étroite avec les pluies ou l'éloignement par rapport au fleuve ou au lac.

Cette nappe est assez proche du sol pour qu'une partie de la végétation y plonge ses racines et pour qu'on puisse l'exploiter en creusant des puits.

Du fait de sa proximité avec la surface, cette eau est souvent d'une qualité médiocre ou en tout cas irrégulière, puisqu'elle s'infiltre en traversant un sol souillé (déchets, excréments d'animaux) et que des puits creusés dans cette nappe sont des portes ouvertes à d'autres pollutions (cordes de puisage qui ont traîné par terre avant de tremper dans l'eau, chute d'animaux, de végétation...).

Sur la même figure, on remarquera que le puits , proche du lac, a une bonne mise en eau toute l'année et un niveau d'eau assez proche de la surface. Le puits a dû être creusé plus profond pour atteindre la nappe, à cause de l'élévation du terrain.

Son niveau statique (profondeur à laquelle on trouve l'eau par rapport au sol) est donc plus bas, bien qu'il rencontre la nappe pratiquement à la même profondeur. Le puits n'a pas été aussi profond à creuser mais sa mise en eau est insuffisante et il tarit en saison sèche. En effet, il est creusé à un endroit où l'eau se trouve plus profonde.

Il existe souvent d'autres nappes que l'on rencontre plus en profondeur, ce sont les nappes profondes. Au contraire des nappes phréatiques, elles ne sont pas atteintes par les racines de la végétation et elles ne sont que très peu ou très lentement influencées par les pluies. L'infiltration de l'eau se fait souvent assez loin de l'endroit où elle est exploitée et l'eau que l'on en tire a souvent parcouru des dizaines ou des centaines de mètres pendant des mois, des années ou plus. Ce parcours dans les roches perméables, des sables le plus souvent, constitue une véritable filtration lente et cette eau est ainsi très pure, loin de toute pollution venant de la surface.

En utilisant les forages, il est nécessaire de vérifier que l'on n'épuise pas les nappes (c'est- à-dire que l'on ne pompe pas plus vite qu'elles ne se remplissent). Cela se traduirait par une baisse générale du niveau de l'eau dans les forages et le tarissement des puits les moins profonds.

II.2.2. La circulation des eaux souterraines

De même que l'eau de surface coule dans une rivière, l'eau souterraine coule beaucoup plus lentement à travers les pores et les fissures d'un sol. Il n'est pas toujours facile de déterminer le sens d'écoulement de l'eau souterraine. Pourtant, cela peut être très important pour la qualité de l'eau du forage de savoir d'où cette eau est venue et dans quelle direction elle coule.

Bien qu'il soit difficile de prédire le sens d'écoulement des eaux souterraines sans avoir recours à des recherches pointues ; pour les eaux peu profondes, l'observation du relief peut apporter de précieuses informations.

Lorsque le relief est peu vallonné, la présence d'un oued, d'un cours d'eau ou d'une rivière est souvent un bon indicateur pour déterminer le sens de circulation des eaux souterraines. Les rivières coulent toujours en direction des points bas de la topographie. Et l'eau souterraine, elle, coule généralement vers les rivières.

Remarque : ceci n'est vrai que pour les cours d'eau naturels, pas pour les canaux construits par les activités humaines.

II.2.3. Le bassin versant

L'eau souterraine est rechargée par l'infiltration de la pluie à travers le sol et, finalement, coule vers des zones basses et vers les rivières. Bien qu'il soit impossible de voir cela à la surface sans études approfondies, essayons toujours d'imaginer dans quelle direction coule l'eau souterraine, en particulier pendant la saison sèche. En haut d'une montagne par exemple, le niveau de l'eau souterraine peut baisser considérablement pendant la saison sèche, parce qu'à ce moment- là, l'eau souterraine qui coule à travers les pores du sol vers les zones les plus basses n'est pas remplacée par de l'eau de pluie qui s'infiltre. Le niveau de l'eau souterraine ne remontera que quand les nouvelles pluies commenceront.

II.2.4. Les aquifères

Le mot "aquifère" désigne simplement une couche de sol contenant de l'eau. Un bon aquifère pour l'installation d'une crépine est une couche perméable sous le niveau de la nappe d'eau souterraine.
Au cours du fonçage, vous pouvez rencontrer plusieurs aquifères à différentes profondeurs, séparés par des couches imperméables.

II.2.4.1. L'aquifère superficiel ou nappe phréatique

L'aquifère le plus haut est appelé "phréatique". Une partie de l'eau de pluie s'infiltre dans le sol. Cette eau s'écoule vers le bas et quand elle atteint le niveau de l'eau, elle rejoint cet aquifère. L'eau peut emmener avec elle de la pollution (comme des bactéries ou des pesticides) dans l'eau souterraine. Un aquifère phréatique est donc sujet à des pollutions issues des activités menées à la surface du sol. L'eau souterraine phréatique est située dans une couche perméable au-dessus d'une couche imperméable. Si cette couche d'eau souterraine est épaisse de quelques mètres seulement, elle peut s'assécher pendant la saison sèche, laissant ainsi votre forage vide d'eau.

II.2.4.2. Le second aquifère

L'aquifère suivant, recouvert par une couche imperméable (par exemple, une couche d'argile) est appelée le 'second' aquifère. La couche imperméable, située au-dessus de cette couche contenant de l'eau, forme une barrière pour les bactéries et pollutions et les empêche de voyager dans le second aquifère.
S'il existe deux aquifères, il est généralement préférable d'installer la crépine dans le second.
En dessous du second aquifère, il peut y avoir une seconde couche imperméable et un troisième aquifère.

II.3. Définition de concepts de base

Aquifère	: Couche perméable contenant de l'eau (sous le niveau de la nappe).
Argile	: Particules extrêmement fines, plus petites que 0,004 mm.
Bassin d'alimentation	: pour une nappe, est la surface du terrain perméable dont les eaux d' infiltration atteignent la nappe.
Bentonite	: Argile naturelle traitée (argile gonflante).
Cohésif	: Une caractéristique des particules qui sont collées ensemble.
Couche non consolidée	: Couche faite de particules meubles comme l'argile, le limon, le sable et le gravier.
Couches sédimentaires	: Couches formées par l'érosion, le transport (par le vent ou les rivières) et le dépôt (sédiment) de particules.

Coupe de forage : Archive écrite des formations (couches de sols et leurs Caractéristiques) forées, selon la profondeur.

Crépine : Tuyau en PVC fendu par lequel l'eau d'un aquifère pénètre dans le forage.

Décanteur : 1 à 2 mètres de tubage, fermé en bas, et fixé au bas de la crépine.

Dépôt : Sédiments.

Développement de forage : Retrait des particules fines et des additifs de fluide du forage et de l'aquifère l'entourant, et compaction du massif filtrant.

Eau de travail : Eau, avec ou sans fluide ajouté, utilisée pendant l'opération de fonçage.

Erosion : Décomposition des roches en petits morceaux au contact des conditions atmosphériques comme la chaleur, l'eau, le vent, la glace et la pression.

Forage : Puits foré pour accéder à l'eau souterraine.

Forage manuel : Forage réalisé avec des outils utilisant la force humaine.

Forage mécanisé : Forage réalisé avec des machines et outils mécanisés.

Formation géologique : Types de roches / couches sédimentaires sous la surface de la terre.

Géologie : L'étude de la terre (formation des roches et couches sédimentaires).

Graviers : Particules entre 2 et 64 mm de diamètre. Les particules entre 4 mm et 64 mm sont aussi appelées cailloux.

Hydrogéologie : L'étude de l'eau souterraine.

Imperméable : se dit d'un matériau qui ne laisse pas passer l'eau.

Joint d'étanchéité sanitaire : Joint en bentonite ou ciment, placé dans l'espace annulaire entre le tubage et la formation (parois du forage) pour empêcher l'eau de mauvaise qualité de contaminer le forage.

Latérite : Formation dure des régions tropicales, contenant beaucoup de fer.

Limon : Particules fines entre 0,004 mm et 0,063 mm de diamètre. Le limon est plus gros que l'argile et plus fin que le sable.

Massif filtrant : Sable grossier calibré placé autour de la crépine.

Nappe d'eau : La surface supérieure de l'eau souterraine (nappe d'eau souterraine).

Nappe phréatique : est celle qui repose sur la première couche imperméable rencontrée à

partir de la surface . Elle est généralement à une profondeur limitée.

Nappes profondes : reposent sur une couche imperméable plus basse et sont surmontées d'autres couches imperméables .

Niveau statique de l'eau : Niveau de la nappe d'eau souterraine, mesuré avant de commencer à pomper.

Pathogènes : Agent infectieux pouvant provoquer des maladies (bactéries, virus, parasites).

Perméabilité : Une mesure de la capacité d'un matériau à se laisser traverser par l'eau.

Productivité du forage : Le volume d'eau produit par le forage (généralement mesuré en m^3/jour ou litre/seconde).

Puissance d'une nappe : est le volume total de l'eau qu'elle contient .

Qualité de l'eau : Terme distinguant l'eau pouvant être bue ou pas (polluée ou pas).

Remblai annulaire : Les matériaux (gravier, joint d'étanchéité sanitaire et remblai) placés dans l'espace entre la crépine (et le tubage) et les parois du sol.

Roche consolidée : Particules (comme le sable, l'argile ou le gravier) 'cimentées entre elles pour former une roche.

Roche éruptive : Roche formée lors du refroidissement de matériaux en fusion.

Sable : Particules entre 0,063 mm et 2 mm de diamètre.

Sable très grossier : 1 – 2 mm

Sable grossier : 0,5 – 1 mm.

Sable moyen : 0,25 – 0,5 mm.

Sable fin : 0,125 – 0,25 mm.

Sable très fin : 0,063 – 0,125 mm.

Surface piézométrique : d'une nappe, est la surface lieu des points les plus élevés atteints par la réserve d'eau sur chaque verticale traversant la nappe. En raison des conditions particulières d'écoulement de l'eau dans le sol, cette surface n'est pas plane et horizontale.

Tuyaux d'équipement : Tuyau en PVC, à parois pleines, pour construire les forages.

Viscosité : Mesure de "l'épaisseur" d'un fluide.

II.4. Nappes libres

On appelle ainsi toute nappe dont les eaux ne sont pas maintenues sous pression par un toit moins perméable que l'assise qui la contient.

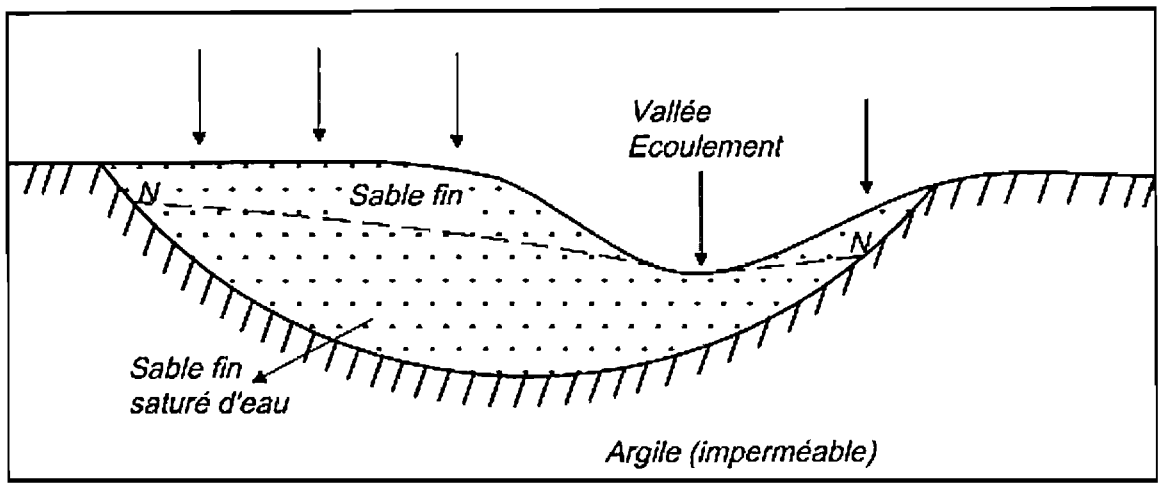


Fig .7: Nappe libre.

Dans ce cas, la surface piézométrique est très irrégulière mais généralement convexe avec des dépressions au voisinage des points par où la nappe s'écoule.
Sa forme est fonction du relief du sol, de la composition de l'assise aquifère et du relief de la couche-plancher imperméable.

II.5. Nappes captives

Est dite " captive" une nappe dont les eaux sont maintenues sous pression par un toit-perméable que la couche réservoir.
Dans ce cas particulier, la surface piézométrique est fictive: c'est le lieu des points les plus hauts qu'atteindrait l'eau si elle était libérée du contrôle du toit (hauteurs auxquelles l'eau s'élèverait dans des tubes non capillaires perforant le toit).

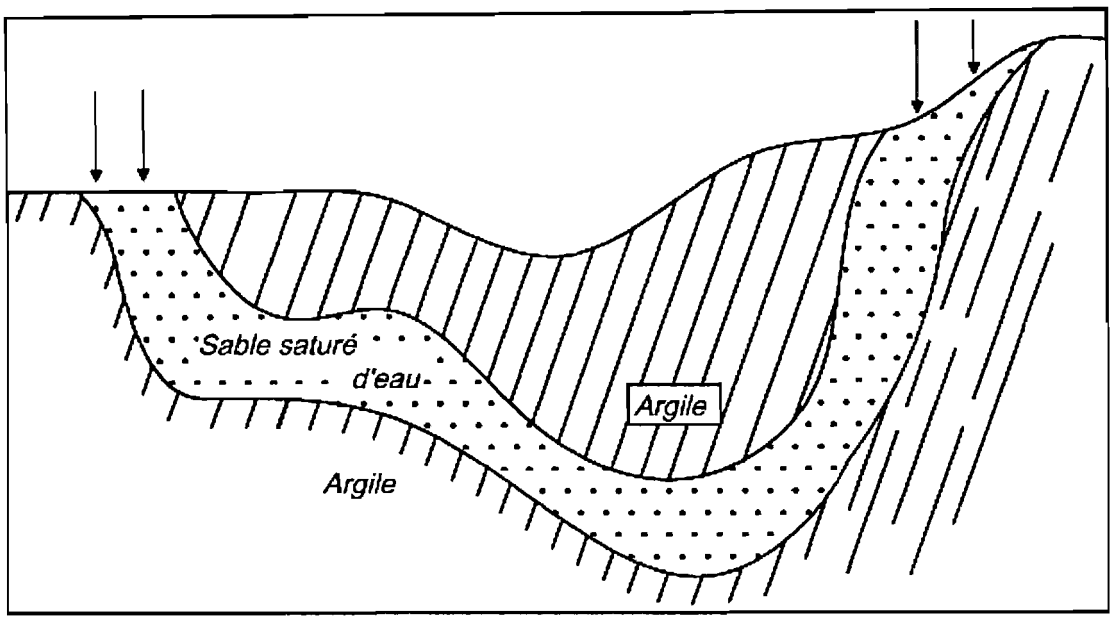


Fig. 8: Nappe captive.

Si la surface du sol s'abaisse localement au dessus de la surface piézométrique et que l'on fore à cet endroit, l'eau jaillira d'elle-même à la surface : le forage est dit " artésien" et de même la nappe est dite " artésienne".

Les eaux des nappes captives, contraintes à un long cheminement souterrain sont fréquemment à une température constante, parfois élevée, en raison du degré géothermique.

II.6. Fluctuation des nappes

L'équilibre d'une nappe est fonction du rapport entre les apports et les pertes.

Les apports dépendent de son bassin d'alimentation et du régime pluviométrique.

Les pertes, quant à elles, dépendent du débit des exutoires naturels (sources) ou artificiels (forage).

Si la côte des exutoires est relevée naturellement (crues) ou artificiellement (barrage),

la puissance de la nappe augmente.

Si au contraire, elle est abaissée (érosion ou forage), elle diminue.

CHAPIII. LES OUVRAGES DE CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES

Le captage, c'est l'ouvrage qui va servir à recueillir l'eau.

Dans le cas des eaux souterraines, il faut un ouvrage qui capte l'eau des nappes aquifères dans le sous-sol.

Les ouvrages de captage peuvent être classés en 2 grandes catégories :

- ❖ Les ouvrages linéaires : tranchée, fossés,...
- ❖ Les ouvrages circulaires : puits et forages.

III.1. Choix du type de captage

Une fois la ressource en eau localisée, le maître d'ouvrage doit décider de l'ouvrage de captage qui lui permettra d'atteindre cette ressource.

Pour les eaux de surface, il s'agirait d'un barrage ou d'une prise d'eau dans une rivière.

Pour les eaux souterraines, 2 types de captage sont souvent employés :

- ❖ le puits ;
- ❖ le forage .

A ce stade, le choix de l'ouvrage de captage peut se faire en considérant quatre objectifs :

- ➢ la nature de l'ouvrage final envisagé;
- ➢ l'usage de l'eau captée;
- ➢ le niveau de service souhaité;
- ➢ la qualité de l'eau.

III.1.1. Le puits

Un puits est un simple trou creusé dans le sol, communiquant directement avec la nappe la moins profonde (la nappe phréatique) afin de puiser directement dedans avec des moyens simples (cordes et puisettes ou seaux, plus rarement une pompe à motricité humaine ou même une pompe motorisée).

On distingue le puits traditionnel et le puits moderne.

Le puits traditionnel est un simple trou creusé dans le sol avec parfois des parois protégées par des pierres maçonnées ou du béton simplement projeté à la truelle. Ils sont moins chers, mais leur durée de vie dépasse rarement 20 ans et leur mise en eau est faible.

Le puits moderne est un ouvrage de grand diamètre (1 à 2 m), dont les parois sont consolidées avec du béton armé, coulé derrière des coffrages métalliques. Du sol jusqu'à l'eau, on l'appelle le cuvelage en béton armé. Il coûte cher, mais il est très solide et peut durer plus d'un siècle. Ensuite, on poursuit le creusement avec des moyens permettant d'obtenir une hauteur de mise en eau satisfaisante, de l'ordre de 5 à 6 mètres. Cette partie du puits s'appelle le captage et les parois sont aménagées avec des buses filtrantes, laissant rentrer l'eau mais empêchant que les parois ne s'effondrent.

Les différents éléments d'un puits

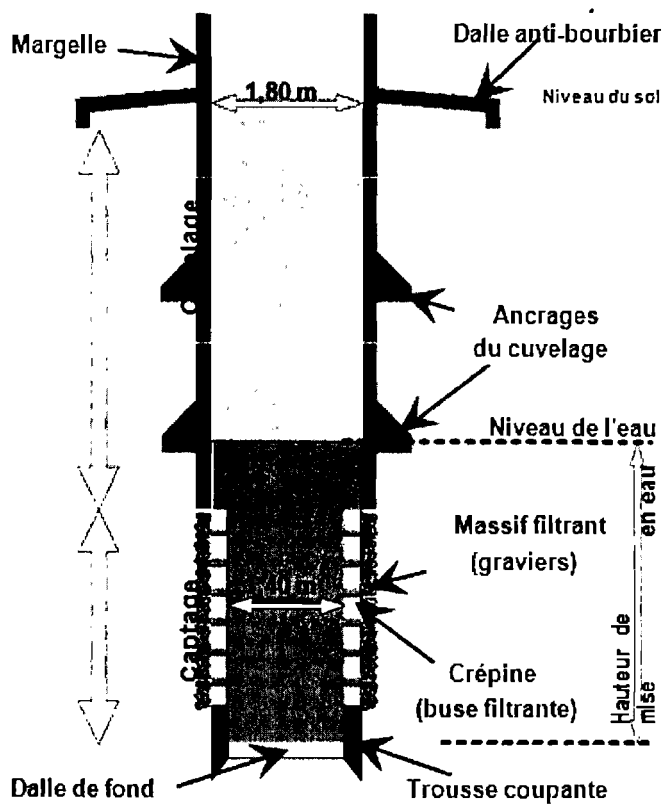


Fig.9: Les différents éléments d'un puits.

Le puits moderne est le plus fiable et plus pérenne que le puits traditionnel.

III.1.2. Le forage

❖ **Pour aller plus profond**

Lorsqu'on recherche une eau de meilleure qualité, il faut atteindre les nappes plus profondes.

La construction d'un puits de grand diamètre serait alors très coûteuse. On réalise plutôt un trou de petit diamètre, qui ne permettra pas de puiser dedans mais qui permettra d'atteindre une nappe profonde.

Il s'agit d'un forage, il peut être réalisé avec une machine spéciale, la sondeuse ou foreuse

Pour notre cas, le forage a été exécuté grâce aux tarières manuelles extensibles.

Certains forages peuvent aussi atteindre des profondeurs de plusieurs dizaines de mètres.

Le trou a un petit diamètre (18 à 50 cm) et on le consolide avec un tubage en acier ou en PVC.

Lorsqu'on atteint la nappe, on place un tube dont les parois sont pleines de trous ou de fentes : les crépines qui ont le même rôle que les buses filtrantes du puits soit de laisser rentrer l'eau sans que les parois ne s'effondrent. Pour éviter que le sable ne rentre dans le forage, le foreur met en place autour des crépines du gravier : le massif filtrant.

❖ **Pour avoir plus d'eau**

En traversant la nappe sur une assez grande longueur, le forage permet d'avoir une plus grande longueur de captage, ce qui permet d'avoir un plus grand débit, puisqu'on prend de l'eau à tous les étages.

❖ **Les nappes sont profondes mais l'eau remonte plus près du sol**

L'eau des nappes profondes est sous pression et, une fois que le plafond de la nappe (la couche imperméable) est percé, l'eau remonte plus haut dans le tubage. Elle se stabilise alors à un certain niveau dans le forage: le niveau statique.

❖ **il ne reste plus qu'à pomper l'eau**

Le diamètre du tubage de forage ne permet pas de puiser comme dans un puits.

On doit donc y installer une pompe pour remonter l'eau à la surface. Lorsque la pompe se met en route, elle commence à vider le forage (cela fait baisser le niveau d'eau dans le forage).

Mais en même temps, l'eau arrive par le bas, à travers la crépine et le forage ne se vide pas complètement. Le niveau où l'eau se stabilise lorsque la pompe fonctionne est le niveau dynamique.

Lorsque la pompe s'arrête, le remplissage du forage se poursuit doucement, jusqu'à ce que l'eau revienne au niveau statique.

Les éléments d'un forage

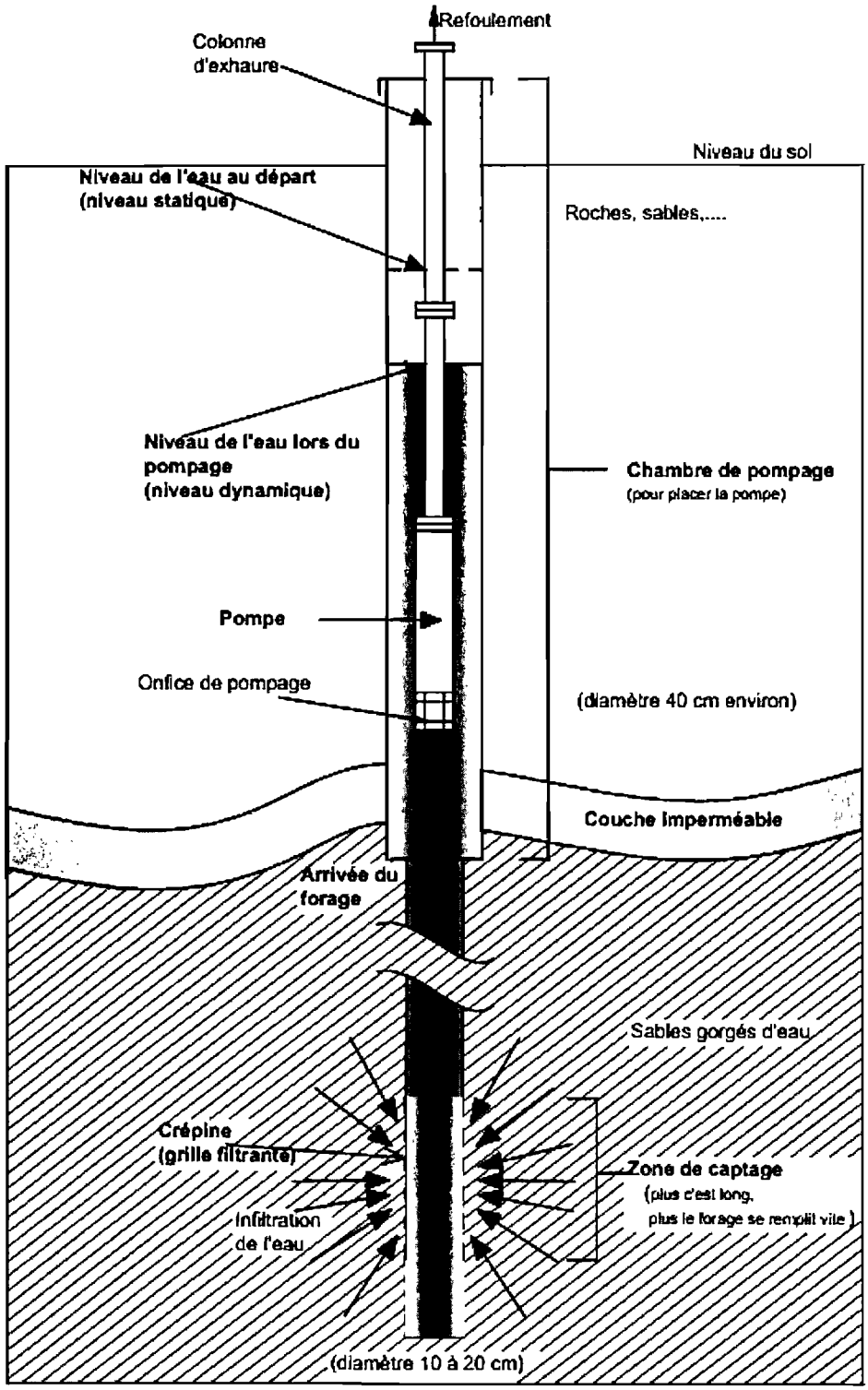


Fig.10: Les différents éléments d'un forage.

III.2.CARACTERISTIQUES DU CAPTAGE

III.2.1. Le niveau statique

Comme on l'a vu précédemment, l'eau remonte à un certain niveau dans les ouvrages de captage. Ce niveau dépend de la pression qui règne dans la nappe captée, qui elle, est déterminée par l'altitude à laquelle se trouve l'eau la plus haute de la nappe, c'est-à-dire le plus souvent à l'entrée de la nappe, là où l'eau s'infiltre. Mais comme l'eau ne circule pas tout à fait librement dans le sol, la pression baisse au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'entrée de la nappe, et on ne retrouve pas exactement le même niveau d'un bout à l'autre de la nappe.

On appelle niveau statique la différence de hauteur entre le sol et le niveau où se trouve l'eau dans l'ouvrage de captage lorsqu'on ne pompe pas. Cette mesure dépend de l'altitude du lieu où se trouve le puits (niveau du sol), mais en plus, elle évolue avec le temps. Par exemple, en saison sèche, le niveau général des nappes a tendance à descendre et avec lui le niveau statique.

III.2.2. Le rabattement et le niveau dynamique

L'eau venant de la nappe met un certain temps pour remplir l'ouvrage de captage en passant par les crépines, puis remonter jusqu'au niveau statique. Si on pompe dans l'ouvrage de captage, on commence à le vider, le niveau de l'eau va baisser. Mais en même temps, il se remplit par le bas, grâce à l'eau venant de la nappe et passant par la crépine. Le niveau va alors se stabiliser (il y a autant d'eau rentrant par la crépine que d'eau pompée). C'est le niveau dynamique correspondant au débit de pompage. La baisse constatée entre le niveau statique de départ et le niveau dynamique lors du pompage s'appelle rabattement. Plus le débit de pompage est important, plus le rabattement augmente, et plus le niveau dynamique baisse.

Le cylindre (orifice du tuyau d'aspiration) devra se trouver à 6m en dessous du niveau d'eau dynamique (NED) supposé en saison sèche. La formule suivante peut être utilisée pour déterminer ce niveau.

$$NED = NES + (D_{mp} \times R) / D_f \qquad (6)$$

où : NES: Niveau d'eau statique (en saison sèche)

D_f: Débit de test du puits de forage (en l/s)

D_{mp}: Débit maximal de la pompe par sec

R: Rabattement en m (sera noté durant le test de débit lors du forage).

III.2.3. Le débit de réception et le débit d'exploitation

Lors de la réalisation d'un ouvrage de captage, on procède à des essais par pompage pour voir de quelle manière l'eau baisse dans l'ouvrage lorsqu'on pompe. Plus on pompe vite (débit grand), plus le niveau dynamique baisse. Si on pompe trop vite, l'eau continue de baisser sans se stabiliser à un niveau dynamique : on est en train de vider l'ouvrage de captage plus vite qu'il ne se remplit par le bas.
Le débit de réception ou débit d'essai est le débit qu'il ne faut pas dépasser sous peine de voir l'ouvrage de captage se vider. On mesure le débit en m^3 par heure.
La pompe qui sera installée dans l'ouvrage de captage doit donc avoir un débit inférieur au débit de réception. Le débit de la pompe sera choisi en fonction de la population à alimenter et du temps de pompage possible, ce sera le débit d'exploitation. Il se peut aussi qu'il soit limité par l' A.H.R, pour ne pas surexploiter la nappe.
Pour ce débit, il y aura un certain rabattement et un certain niveau dynamique. Lorsqu'on parle de niveau dynamique, c'est toujours par rapport à un certain débit.

III.2.4. La profondeur de calage

Sachant que l'eau baisse lorsque l'on pompe, il faut installer la pompe dans l'ouvrage de captage de façon à ce qu'elle soit toujours dans l'eau (si elle aspire de l'air, elle va se mettre à tourner trop vite et le moteur va surchauffer). Il faut donc la placer en dessous du niveau dynamique, avec une marge de sécurité.
Par exemple, si on a un niveau dynamique de 25,6 m pour le débit prévu de la pompe, on la descend en utilisant 10 éléments (tuyaux de 3 m) de colonne d'exhaure. L'orifice de pompage se trouvant dans notre cas à 1,5 m du haut de la pompe, la profondeur de calage est de 10 x 3 m + 1,5 m = 31,5 m.

CHAP IV : TECHNICITE ET DEVELOPPEMENT DU FORAGE MANUEL

Le forage à la tarière est l'une de simples méthodes de forage manuel. Elle est utilisée un peu partout dans le monde pour la réalisation de forages pour l'eau de boisson, d'irrigation et l'échantillonnage des sols. Cette technique est plus développée dans les pays d'Afrique occidentale (Tchad, Niger, Sénégal, Nigéria,...) et est récemment utilisée dans ceux de la Communauté Est Africaine (Ouganda, Tanzanie, le Burundi,...), mais aussi en Amérique centrale et dans les pays occidentaux.

IV.1. Le choix du site d'implantation

Avant de commencer un nouveau chantier de forage, un bon site d'implantation doit être trouvé. Dans la plupart des cas, la population ou propriétaires du futur forage vont vous indiquer un site qui leur convient, en tant qu'usagers. Mais ce site n'est pas nécessairement le meilleur choix pour avoir l'eau de la meilleure qualité. En tant que foreur professionnel, on aura la responsabilité d'informer vos clients sur l'hygiène et sur le site le plus hygiénique pour leur forage.

Il faut retenir quelques aspects importants :

- La présence de sources de pollution comme les latrines, zones de décharges (déchets), de feux et les stations services ;
- L'application excessive de produits chimiques agricoles et d'engrais;
- Les pollutions provenant d'activités industrielles (l'huile usée de moteur, les tanneries,...);
- L'implantation du forage au soleil ou à l'ombre.

Avant de commencer le forage, il faut:

- la sélection du site du forage qui dépend:
  - des besoins et préférences des bénéficiaires;
  - de la profondeur espérée de la nappe;
  - du type de sol;
  - de toutes les sources de pollution au moins 30m de latrines qui peuvent être nuisibles.
- avoir des connaissances sur les matériaux de construction: tuyaux pvc, technique d'échantillonnage des sols et sur la sécurité au cours du chantier.
- avant d' implanter un nouveau forage, il faudra faire un terrassement qui s'effectuera sur une surface de 10x10 m.

Les quantités des déblais, lors du forage, sont évaluées par la relation:

$V=(\frac{D}{2})^2 X\ 3.14\ X\ P\ X\ f$ avec V: Volume des déblais **(7)**

D: Diamètre de la fouille

P: Profondeur de la fouille

f: coefficient de foisonnement.

- pour le chantier, faire la clôture de protection avec :
  - soit des fils barbelés, la partie enterrée est de 40 cm;
  - les fils barbelés doivent être ligaturés sur les perches;
  - soit avec bambous ou haies vives;
  - les bambous sont plantés sur tout le pourtour de la clôture et soit solidifiés par des perches clouées;
  - la perche doit être solidifiée et damée.

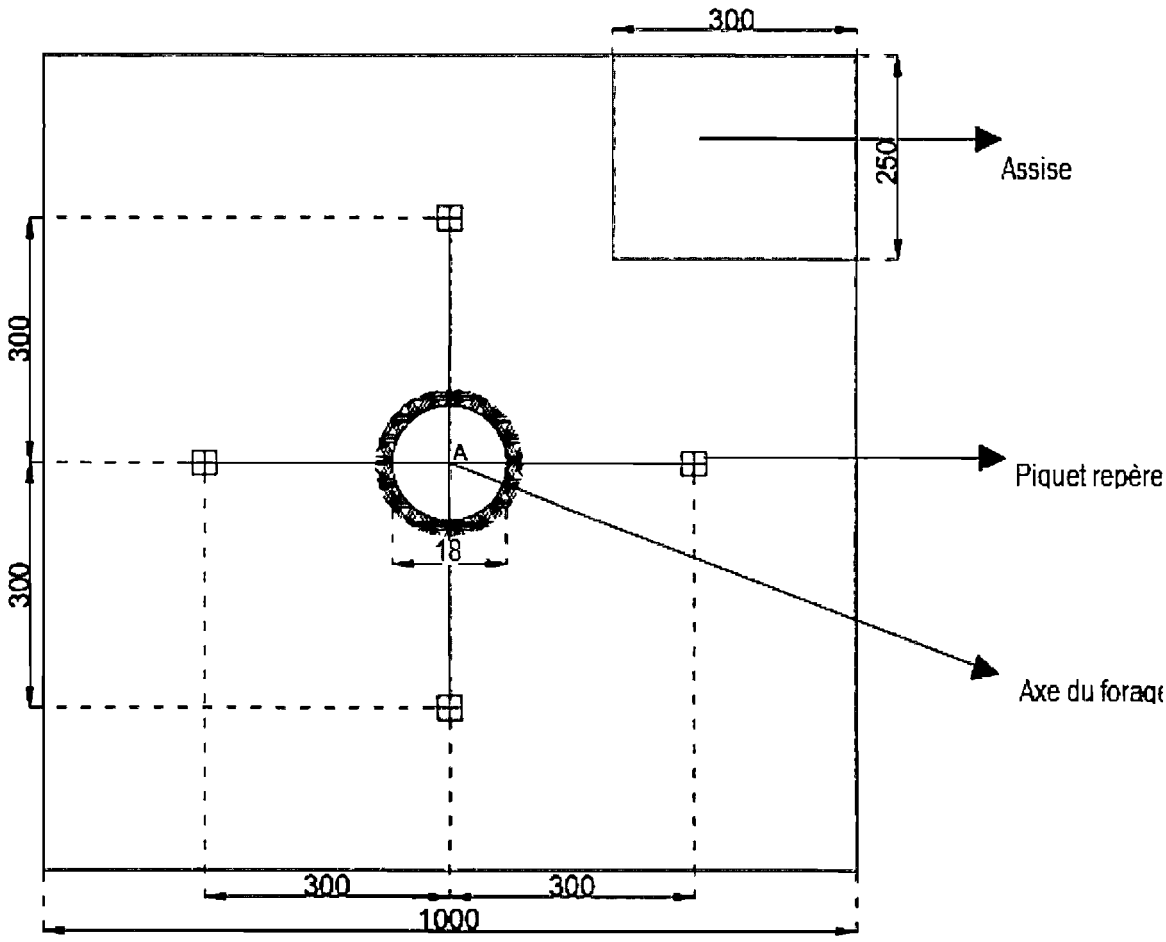


Fig.11: Implantation d'un forage.

IV.2. Outils, matériels et matériaux employés

Sur chantier, pour bien démarrer les activités du forage, il faut apporter :



Une tarière de mise en eau (1 pièce)



Une tarière conique (1 pièce)



Une tarière Riverside (2 pièces)



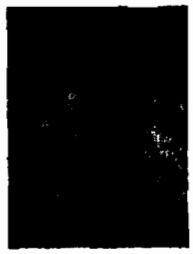
Un collier (2 pièces)



Une colle (1 pièce)



Une allonge de 1,5m (1 pièce)



Des allonges 3m (5 pièces)



Une dame (1 pièce)



La poignée (1 pièce)



La scie à métaux (2 pièces)



La pelle (1 pièce)



Les goupilles (allonges)
[10 pièces]



Le tissu filtrant



Une brousse métallique



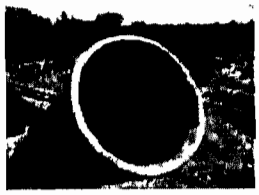
Un capuchon de
protection en PVC
[1 pièce]



De la chambre à air
[3 mètres]



Des tuyaux PVC

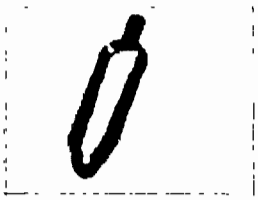


Un pré-tubage 3m
(3 pièces)

Un pré-tubage 1,5m
(6 pièces)



Le massif filtrant
(un sac de 50 kg)



Tarière à argile



Un mètre (1 pièce)



Un seau de 12 litres
(2 pièces)



Un tamis 1,5 & 3 mm
(2 types)



Une boite à outils
(complète)

Des écrous et boulons de
secours (5 pièces)

Fig.12: photos d'outils ; matériels et matériaux employés pour le forage manuel.

IV.3. Faire un forage

La construction d'un forage utilisant les techniques de forage manuel est un procédé complexe. Avant de commencer le fonçage, un bon site d'implantation doit être sélectionné, où l'expérience laisse à penser qu'il y aura une quantité d'eau souterraine suffisante et de bonne qualité. Au cours de l'opération de fonçage, il est nécessaire d'être attentif à de nombreux aspects afin d'éviter tout problème. En plus des compétences pratiques de forage mises en œuvre à la surface du sol, il est important de comprendre ce qui se passe dans le sous-sol pendant le fonçage. L'eau utilisée pour forer pourrait s'échapper dans le sol ou pire, le trou pourrait s'effondrer, enfouissant ainsi une partie des outils de forage. Enfin, une fois que le trou a été foré, le tubage, la crépine et les joints d'étanchéité sanitaires doivent être installés à la bonne profondeur, pour assurer un rendement suffisant et empêcher de l'eau contaminée de rentrer.

Dans de nombreux pays, les équipes de forage manuel rencontrent divers problèmes de sélection du site de forage, de perte de fluide de forage, de détermination des types de sols, de profil stratigraphique de forage, d'équipement et développement du forage, de qualité de l'eau et de rendement (débit).

Ces problèmes arrivent couramment lorsque le forage n'est pas compris dans sa totalité et que des étapes importantes sont omises.

IV.4. Les techniques de forage manuel

Le forage manuel est une solution pratique et plus abordable pour les points d'eau de moins 40 m de profondeur dans des sols alluviaux (sable, argile,..) et les formations tendres de roche altérée (grès et calcaires tendres)

Pour forer à travers tous ces différents types de sols, de nombreuses techniques de forage manuel ont été développées et sont utilisées de par le monde. Dans tous les cas, la technique de forage doit casser ou couper la formation, dégager les matériaux coupés (le sol) du trou, et si nécessaire, fournir un support aux parois du trou, pour éviter qu'il ne s'effondre pendant le forage. Voici une brève présentation des principales techniques :

IV.4.1. La tarière manuelle

La tarière manuelle est constituée de tiges métalliques extensibles, pouvant être tournées par une poignée. A l'extrémité de la dernière tige peuvent être fixés différents types de tarières métalliques (outil de fonçage). La tarière sélectionnée est tournée dans le sol jusqu'à ce qu'elle soit remplie de

matériaux, puis elle est remontée à la surface pour y être vidée. A chaque type de sol correspond un type de tarière avec une forme spécifique. Au-dessus du niveau de la nappe d'eau (niveau statique), le trou de forage reste en général ouvert sans être soutenu.

En dessous du niveau statique, un pré-tubage temporaire en pvc peut être nécessaire pour éviter que le trou ne s'effondre. En forant à l'intérieur d'un pré-tubage temporaire, les débris de sol peuvent être enlevés soit avec une tarière classique, soit avec une tarière à clapet. Le pré-tubage temporaire est descendu dans le trou au fur et à mesure du fonçage. Une fois la profondeur finale atteinte, on peut installer le tubage permanent, puis enlever le tubage temporaire. Les tarières peuvent être utilisées jusqu'à une profondeur d'environ 25 mètres.

IV.4.1.1. Choix du forage à la tarière

Il existe 4 principales techniques du forage manuel à savoir:

- ❖ le forage à la tarière
- ❖ le forage à la percussion
- ❖ le forage à la boue
- ❖ le forage à l`eau

Quelle que soit la technique utilisée, il faut:

- ➢ casser ou couper la formation géologique ou couches du sol
- ➢ faire remonter les débris du sol à la surface
- ➢ et si nécessaire soutenir les parois du trou afin d`éviter qu`elles ne s`effondrent pendant le fonçage.

IV.5. Les coupes de forage

IV.5.1. Pourquoi fait-on des coupes de forage ?

Nous avons appris à installer la crépine dans une couche perméable. On a vu qu'il pouvait exister plusieurs aquifères et aussi la nécessité d'installer un joint d'étanchéité sanitaire au-dessus du massif filtrant (qui entoure la crépine) et/ou de sceller la couche imperméable au-dessus du second aquifère. Tous ces aspects sont importants pour l'équipement d'un forage avec un bon débit, de l'eau propre et claire sans présence de bactéries.

Il est donc très important de déterminer la profondeur exacte des couches perméables (aquifères), et la localisation de toute couche imperméable dans notre forage.

Pour y arriver, nous pouvons remplir une coupe de forage, simplement mais avec précision.

Une coupe de forage est une archive écrite des couches de sol forées, et de leur profondeur. Des échantillons de sol doivent être prélevés et décrits à des intervalles de profondeur réguliers tout au long du fonçage. La description des sols est ensuite archivée sous la forme d'une coupe de forage.

La coupe de forage nous aidera à déterminer :

- Le meilleur aquifère pour l'installation de la crépine
- La profondeur et la longueur de la crépine
- La profondeur et l'épaisseur du massif filtrant
- La localisation du joint d'étanchéité sanitaire

❖ **Base de données**

En plus de leur utilité directe sur le terrain, les coupes de forage sont également très importantes pour archiver les informations hydrogéologiques du site de forage. Par exemple, si plus tard d'autres forages doivent être réalisés dans la même zone, il sera très utile pour l'équipe de forage de connaître à l'avance la géologie, la profondeur de la nappe d'eau et la profondeur totale probable du forage.

Les coupes de forage précédentes, s'il y en a, sont une source essentielle d'informations pour connaître ces éléments, avant même de commencer à forer. Ce type d'information pourrait être important pour le choix du matériel de fonçage. Les coupes de forage peuvent être conservées ensemble dans un dossier, que l'on appelle "base de données". En prenant soin de remplir, classer et conserver de bonnes coupes de forage, l'équipe de forage apparaîtra comme une équipe professionnelle et compétente auprès de ses clients.

IV.5.2. Echantillonnage sur terrain

La première étape pour faire une coupe de forage est de prendre des échantillons représentatifs des sols traversés pendant le fonçage du trou. L'échantillon doit être un morceau de sol provenant entièrement de la couche forée au moment de la prise d'échantillons. Les échantillons doivent être prélevés tous les mètres et/ou chaque fois que le type de sol change. Les échantillons doivent être conservés dans des sachets plastiques (écrire la profondeur sur les sachets si les échantillons ne sont pas décrits immédiatement), et rangés correctement à l'écart du chantier. Ils doivent ensuite être renseignés et décrits sur la coupe de forage avec la profondeur à laquelle l'échantillon de sol a été pris.



Fig.13 : photos d'échantillons d'un sol.

IV.5.3. Comment remplir les fiches de coupe de forage

Etape 1

Décrivez les échantillons à chaque pause pendant le chantier de forage et écrivez leur profondeur, leur nom et leurs caractéristiques sur la fiche de coupe de forage.

Etape 2

Ensuite, surtout pour ceux qui ne savent pas écrire, hachurez la colonne type de sol avec des hachures différentes pour les couches perméables, peu perméables et imperméables.

Etape 3

Grâce aux hachures, on distingue les différentes couches citées en haut (Types de sols).

Nous pouvons voir un second aquifère entre 14 et 21,5 m.

Le niveau de la nappe est à 5m en dessous du niveau du sol.

Donc on peut déterminer la longueur de la crépine et sa profondeur, en suivant les explications de la page suivante (voir sur coupe de forage, dessin: Tuyau en pvc et crépine).

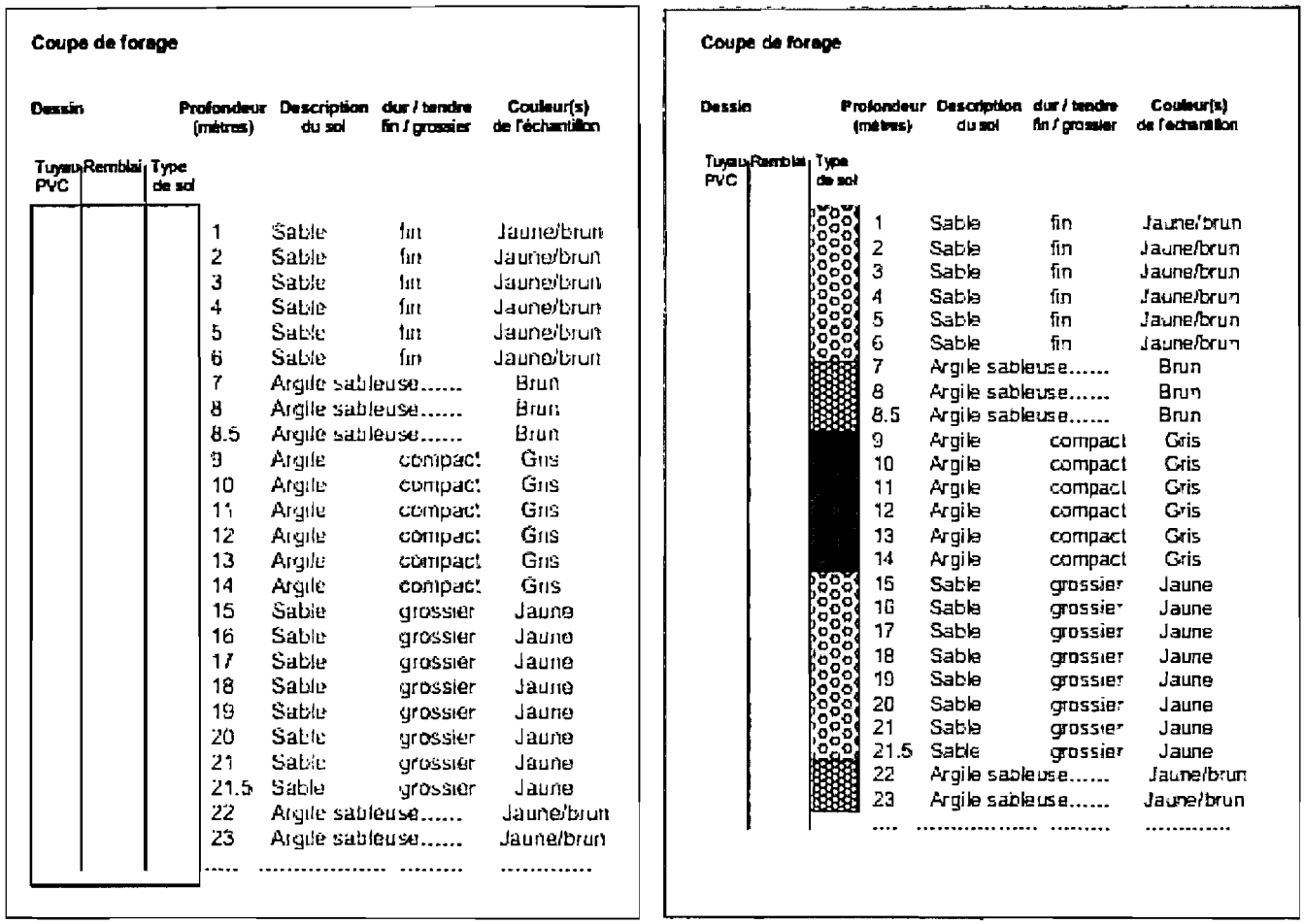


Fig.14 : Coupe de forage montrant différentes couches de sol à de profondeurs différentes.

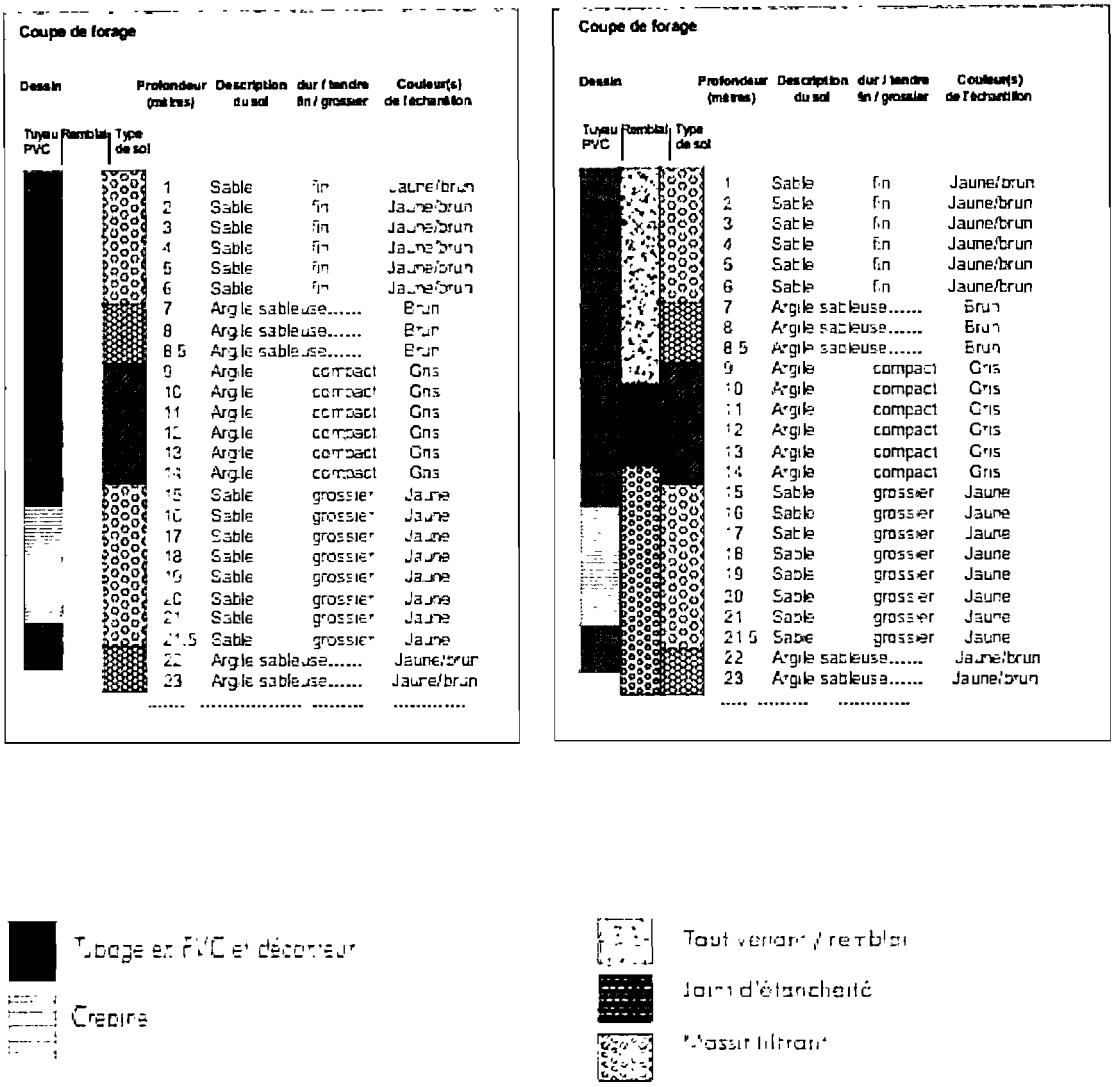
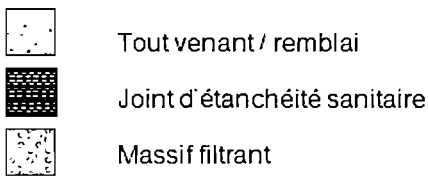


Fig.15 : Coupe de forage montrant différentes couches de sol à de profondeurs différentes avec tuyaux en pvc et remblai

Dans notre exemple, une crépine de 6 mètres a été installée entre 15 et 21 mètres en-dessous du niveau du sol. Un décanteur de 1,5 mètre de long a été ajouté au bout de la crépine.

Etape 4

Une fois la crépine et le tubage en PVC dessinés dans la première colonne, les profondeurs exactes du remblai annulaire (c'est-à-dire le massif filtrant, le joint d'étanchéité sanitaire et le tout-venant) peuvent également être dessinées sur le profil de forage.



N.B : Ce profil de forage (Figures 14et15) a pour but de faciliter la visualisation des couches géologiques et les détails d'installation du forage.
En utilisant le profil de forage et les dessins de différents types de sols (c'est-à-dire perméables, peu perméables et imperméables), il devient plus facile de déterminer l'emplacement exact de la crépine et du remblai annulaire.

Pour résumer : la coupe de forage se remplit en 4 étapes :

- Décrire les échantillons de sol et leur profondeur ;
- Indiquer les couches perméables et imperméables ;
- Dessiner le tubage, la crépine et le décanteur dans la colonne "Tuyau PVC " ;
- Dessiner les remblais et le(s) joint(s) d'étanchéité sanitaire dans la colonne "Remblai".

❖ **Niveau de la nappe**

Pour notre cas, le forage est percé "à sec", c'est-à-dire sans utiliser le fluide du forage, la profondeur de la nappe d'eau peut facilement être déterminée pendant le fonçage. Quand la nappe d'eau est atteinte ; le sol qui sort du trou de fonçage est humide.
Quand on utilise un fluide de forage, le trou de forage est en permanence rempli d'eau pour maintenir la pression sur les parois du trou. Dans ce cas, il ne sera pas facile de connaître le niveau de la nappe dans le trou de forage. Il peut être utile de se faire indiquer par les gens des environs à quel niveau il est probable de trouver la nappe, ou de l'estimer en se servant du niveau statique d'un puits creusé à la main, d'un forage ou d'une rivière à proximité du chantier.
Dans une zone nouvelle pour l'équipe de forage, il est conseillé de foncer le premier forage aussi profond que possible, de mesurer et enregistrer le niveau de l'eau après la construction du forage.

IV.5.4. Les profondeurs de forage

On a appris à installer la crépine dans une couche perméable, si possible dans un aquifère situé sous une couche imperméable.
La profondeur finale du forage est atteinte quand on a foré au moins 4 à 6 mètres dans une couche perméable de sable ou de gravier contenant de l'eau. Il est ensuite recommandé de forer deux mètres supplémentaires pour pouvoir installer un décanteur qui servira de réservoir aux particules qui se décantent dans le forage pendant la mise en place des tuyaux d'équipement

❖ Déterminer la profondeur de la crépine et des remblais

Une fois la description des sols hachurée sur la coupe de forage, cette information peut être utilisée pour déterminer la profondeur exacte de la crépine et du remblai annulaire. L'explication qui suit est basée sur notre coupe de forage montrée précédemment.

❖ La profondeur et la longueur de la crépine

Pour les forages manuels, la longueur de la crépine n'excède en général pas 4 à 6 mètres. Les extrémités supérieures et inférieures d'un aquifère contiennent souvent des matériaux fins. Un aquifère peut également contenir de fines couches d'argile. Pour empêcher ces particules fines d'entrer dans la crépine, il est important de ne pas installer celle-ci au même niveau que cette dernière. En d'autres termes, assurez-vous que la crépine est entièrement installée dans une couche perméable de sable ou de gravier. Pour ce faire, il est parfois nécessaire d'installer une crépine de moins de 6 mètres de long. Même si elles sont mesurées avec soin, les profondeurs des échantillons de sols peuvent ne pas toujours être exactes. Pour éviter que des particules fines ne rentrent dans le forage, il est recommandé d'installer la crépine et le remblai avec une marge de sécurité d'au moins 1 mètre. Dans la coupe de forage précédente, la crépine a été placée au milieu de l'aquifère, laissant ainsi une marge d'1 mètre de sable à chaque extrêmité.

❖ Le décanteur (ou tube de décantation)

Après l'installation et pendant l'utilisation du forage, des particules de sol peuvent entrer accidentellement dans la crépine. Les particules les plus grosses, qui peuvent endommager la pompe, se décantent au fond du forage par gravité. Pour empêcher une diminution de la surface crépitée, un décanteur de 0,5 à 1 mètre de longueur, avec un bouchon de fond, est attaché à la crépine.

❖ L'épaisseur du massif filtrant

Une fois la position de la crépine enregistrée ou hachurée sur la coupe de forage, on peut déterminer la position et l'épaisseur du massif filtrant. L'espace annulaire autour de la crépine est rempli avec du sable grossier ou du gravier fin calibré (massif filtrant), jusqu'à environ 1 à 2 mètres au-dessus de la

crépine. Ces mètres supplémentaires sont nécessaires car pendant le développement du forage, le massif filtrant se compacte ou se tasse.
Il est donc recommandé d'ajouter une marge de sécurité d'au moins 1 à 2 mètres au-dessus de la crépine lors de l'installation du massif filtrant.

- **L'épaisseur du joint d'étanchéité sanitaire**

Quand on fore à travers une couche imperméable, il est recommandé de la refermer avec de l'argile (bentonite) ou du ciment. Pour être sûr que cette couche est scellée correctement, l'épaisseur de ce joint d'étanchéité doit être d'au moins 3 à 5 mètres.
Si aucune couche imperméable n'a été traversée, et que le forage est par conséquent installé dans le premier aquifère, le joint d'étanchéité sanitaire devrait être installé directement au-dessus du massif filtrant (1 à 2 mètres au-dessus de la crépine) et devrait être épais d'au moins 5 mètres.

- **Les déblais (ou éléments d'excavation)**

Au-dessus du joint d'étanchéité sanitaire, on peut remblayer le trou de fonçage avec les déblais (le sol qui a été remonté à la surface au cours du forage).

- **Le joint d'étanchéité sanitaire de surface (ou cimentation de tête de forage)**

Un autre joint d'étanchéité sanitaire doit être installé à partir de 3-5m en dessous du niveau du sol jusqu'à la surface.

IV.6. Exécution du forage à la tarière manuelle

Pour exécuter le forage manuel, on peut recourir à 2 manières:

- l'installation directe ;
- le pré-tubage temporaire que nous avons utilisé conformément aux précisions décrites dans le tableau ci-après :

	Mise en œuvre	Avantages	Inconvénients
Installation directe	On utilise une tarière pour faire un trou de diamètre 130à160mm jusqu'à atteindre la nappe. Ensuite, on prépare le tuyau d'équipement d'un diamètre 125-140mm (épaisseur des parois 5-7,5 mm). Dans le sable fin, on enveloppe la crépine d'un tissu en polyester. Puis le fonçage continue normalement et est fini lorsqu'on atteint la profondeur finale désirée	L'exécution des travaux est rapide grâce au plus petit diamètre du forage -pas besoin d'installer le massif filtrant	-Le coût élevé : un tuyau d'équipement permanent couteux doit être utilisé -utilisation limitée uniquement aux sables
Pré-tubage temporaire	Une tarière permet de foncer un trou de 140-180mm de diamètre. Le fonçage continue à l'aide d'un pré-tubage temporaire de diamètre extérieur de 120-160mm et dont les parois sont épaisses de 5-7.5mm et est retiré après le tuyau d'équipement définitif, jusqu'à atteindre la nappe.	Coût faible : tuyau d'équipement PVC bon marché. Le pré-tubage en PVC de bonne qualité, cher mais réutilisable. Le massif filtrant peut être mis en place, possible de traverser les fines couches d'argile.	Le temps d'exécution est un peu plus long : On fore un trou de diamètre grand et le pré-tubage doit être retiré

Tabl.6 : Méthodes d'exécution du forage manuel.

N.B : Les équipements et la méthode de forage sont identiques que l'on utilise l'installation directe ou un pré-tubage, à part ces quelques petites différences :

- on n'utilise pas de pré-tubage, on fore directement avec le tuyau d'équipement définitif;
- il est impossible de placer le massif filtrant autour de la crépine (enveloppe d'un tissu en polyester en présence de sable fin).

IV.6.1. Les grandes étapes de la réalisation du forage manuel

1. Préparation de la tarière conique;
2. Bien raccorder la tarière à la poignée par une goupille;
3. forer au dessus de la nappe:
   - faire un avant trou plus ou moins 30 cm de profondeur en tournant dans le sens des aiguilles d`une montre, la tarière pleine, soulevez-la et videz ces débris du sol à bonne distance du trou, répéter l`opération;
   - raccorder la 1ère allonge de 1,5m, replacez la poignée sur l`extrémité de cette allonge et continuez à forer jusqu`à ce que la poignée soit au niveau du sol;
   - raccorder l`allonge suivante;
   - Remplacez celle de 1,5 par une allonge de 3m, forez, une fois que celle de 3m est dans le sol, assemblez de nouveau une autre de 3m, continuez à forer en rajoutant des allonges jusqu`à atteindre la nappe.
4. forer dans la nappe:
   - préparer le pré-tubage temporaire;
   - installer ce pré-tubage;
   - fixer le capuchon en pvc de protection sur le haut du pré-tubage;
   - bien fixer le collier sur le pré-tubage;
   - on fonce et lorsque le bas du collier est au niveau du sol, on ajoute d`autres tuyaux et on continue...
5. forer avec la tarière de mise en eau à l`intérieur du pré-tubage,
   désassembler les allonges à l`aide d`une calle sur le tubage en enlevant la goupille ;
6. enlever les débris ou cuttings
   - enlever la tarière de mise en eau et videz-la ;
7. augmenter le poids sur le pré-tubage Installer un second collier ;
8. s`assurer que la tarière est à la bonne profondeur, mesurez-la ;

9. forer jusqu`à la profondeur finale du forage, après avoir pénétré une couche de sable/gravier grossier sur plus ou moins 5m ;
10. nettoyer le tubage;
11. les dernières étapes :
    - préparation du tuyau d`équipement ;
    - enveloppez fermement le tissu filtrant autour de la crépine, serrez et fixez-le à la rainure à l`aide du fil de fer galvanisé ;
    - Fixez le décanteur 0,5 à 1m à l`extrémité de la crépine et enfin fixez la crépine au bout du tuyau d`équipement;
    - installation du tuyau d`équipement en pvc ;
    - mise en place du massif filtrant suffisant, le pré-tubage et le tuyau d`équipement ;
    - retirer le pré-tubage temporaire ;
    - installer le joint d`étanchéité sanitaire argile ou coulis du ciment au dessus du massif filtrant ;
    - une fois le forage terminé:

Mesurez la profondeur du forage; préparer le bouchon de fond (1dose de ciment, 1dose de gravier, 2doses de sable dans un sac bien fermé) et le faire descendre au fond du tubage à l`aide d`une dame fixée aux allonges

Avant de quitter le chantier, n'oubliez pas de couvrir la tête du tubage pvc soit avec un bouchon en pvc ou bien emballer l`extrémité du tubage avec de la chambre à air.



Fig.16 : Photo montrant l'exécution du forage, au dessus de la nappe, à la tarière conique.

IV.7. Le développement du forage et les essais du débit

IV.7.1. Le développement du forage

Le développement du forage est une opération permettant d'enlever les boues de forage, les particules fines des pores en vue d'obtenir l'eau claire. Il permet aussi de compacter, stabiliser le massif filtrant et d'améliorer la perméabilité de l'aquifère autour de la crépine, maximisant ainsi la productivité du forage.

Le développement peut être fait soit :

a)avec un compresseur : le compresseur devra avoir une capacité d'au moins 4 bars et le flux d'air devra être réglé avec une valve. Le développement sera fait en plaçant à la sortie d'air juste au dessus de la crépine, pendant au moins 2h pour une crépine de 6m.

b) par une pompe immergée : avant de développer avec cette pompe, il est possible de nettoyer le fond du forage en injectant de l'eau propre avec une motopompe. Il est également possible de créer de petites ondes de choc avec un piston en caoutchouc.

Ces techniques peuvent être utilisées en complément du développement par une pompe immergée mais ne peut en aucun cas remplacer le développement.

La succion est appliquée au bas de la crépine la plus profonde, le débit est de 5 m^3/h pour la première heure, suivie par un débit supérieur de 10 m^3/h pour une heure supplémentaire.

Après le développement, le forage devrait être nettoyé par pompage avec une pompe immergée d'un débit entre 1 et 2 m^3/h, le pompage doit être poursuivi jusqu'à ce que l'eau sortant du forage soit propre et sans particules.

N.B : Il faut pomper à partir de la base du forage pour nettoyer le décanteur.

Bref, un forage réalisé à la tarière manuelle est généralement de petit diamètre. Le fonçage s`effectue grâce à des tarières et des tiges métalliques extensibles (allonges), tournées par une poignée dans le sol. Différents types de tarières métalliques (outil de fonçage) peuvent être fixés a l`extrémité de la dernière tige. La tarière sélectionnée est tournée dans le sol jusqu`à ce qu`elle soit remplie de matériau puis elle est remontée à la surface pour y être vidée. A chaque type de sol correspond une tarière avec une forme spécifique. Au fur et à mesure de la progression du fonçage, des allonges sont ajoutées pour atteindre la profondeur désirée. Au dessus du niveau de la nappe (niveau statique), le trou du forage reste en général ouvert sans être soutenu. En dessous du niveau statique, un pré-tubage temporaire en pvc est installé pour éviter que le trou ne s`effondre. Le fonçage continue à l`intérieur du pré-tubage avec une tarière de mise en eau. Deux foreurs se tiennent debout sur les colliers fixés aux tuyaux pvc.

Les matériaux au fond du trou sont enlevés à l'aide d'une tarière de mise en eau actionnées de bas en haut tout en lui donnant un mouvement de rotation. Au cours de cette étape, le tuyau pvc s'enfonce dans le sol sous le poids de foreurs.

Ce poids est augmenté en faisant monter d'autres foreurs sur les colliers. Le fonçage continue jusqu'à la profondeur désirée. Le tuyau d'équipement et la crépine sont ensuite installés. Le pré-tubage est finalement retiré et l'opération continue...



Fig.17: photo montrant l'exécution du forage, en dessous de la nappe, à la tarière de mise en eau.

Remarque :

- Choix du site à au moins 30m d'une latrine ou autres sources de pollution;
- Ne pas trop remplir les tarières avec les matériaux sable, argile ou gravier;

- Quand on fore à l'intérieur du tubage pvc, ne jamais désaccoupler les allonges de 6m sans utiliser la calle;
- Si vous faites une pause, retirez la tarière et les allonges du trou pour éviter qu'elles ne s'y coincent pas ou y tombent;
- Maintenez vertical le tubage par les colliers quand les foreurs sont debout sur la plate-forme du travail;
- Placez toujours la crépine de longueur supérieure à 3m dans la couche la plus épaisse du sable grossier ou de gravier;
- Utiliser un décanteur tuyau pvc plein en dessous de la crépine pour recueillir toutes les particules fines qui pénètrent dans le forage;
- Lorsque le forage est terminé et que vous quittez le site, n'oubliez jamais de couvrir l'extrémité du forage.

IV.7.2. Les essais de débit – la productivité du forage

Une fois qu'un forage a été développé et ne contient plus de particules fines, le débit du forage doit être testé. Les essais de débit donnent des informations utiles à la fois sur le forage et sur l'aquifère. Ils permettent notamment de savoir si la productivité du forage sera suffisante pour son usage.

Remarque : Des essais de débit fiables ne peuvent être faits que quand le niveau de l'eau est retourné à la normale après le développement du forage. Le forage doit être laissé au repos au moins 24 heures après son développement avant de commencer les essais de débit.

❖ **La corde de mesure**

Dans les deux cas, le niveau de l'eau doit être mesuré. Pour les essais de débit mécanisés, on peut utiliser une sonde piézométrique électrique, qui produit un signal électrique quand le niveau de l'eau est atteint.

Pour le forage à faible coût avec des pompes manuelles, on peut utiliser un simple décamètre ou une corde de mesure faite soi-même.

❖ **Procédures de base pour les essais de débit**

Après l'opération de nettoyage, et au moins 24h après le développement, pour tester la productivité (ou débit) du forage, ce dernier doit être pompé continuellement pendant 3h en 3 périodes d'1h chacune, à des débits respectifs de 0,5 ; 1 et 2 m^3/h.

Avant et pendant le pompage, les niveaux statiques et dynamiques sont mesurés à des moments spécifiques (annexe 2).

Après l'arrêt du pompage, la recharge et de l'aquifère sont mesurées pendant une période de1h.

IV.7.3. Analyser la qualité de l'eau

L'eau de bonne qualité ou potable ne doit contenir ni pathogènes (bactéries provoquant des maladies, etc.) ni de quantités excessives d'éléments chimiques dangereux. Le goût et l'odeur doivent être acceptables, et l'eau doit être claire et incolore. Pour s'assurer que la qualité de l'eau est suffisante pour pouvoir la boire, l'eau doit être analysée.

Pour l'eau de boisson, de nombreux paramètres doivent être analysés.

Voici quelques exemples des paramètres :

Les paramètres chimiques	Les paramètres biologiques	Les paramètres physiques
- la dureté (ca, mg), - pH (acidité), - conductivité électrique, - fer, métaux lourds (cadmium, plomb, etc.), - les nutriments (N, P), - les produits chimiques artificiels (pesticides pour l'agriculture, hydrocarbures des carburants, etc.) - et les produits chimiques naturels (Cl, Na, F, etc.).	-les germes pathogènes (bactéries (E-coli), -virus (hépatites), - parasites (vers, amibes) Souvent, les bactéries E-coli sont analysées pour desceller les pollutions d'origines fécales venant des latrines.	-la turbidité, - la température, - couleur, -odeur, - saveur, etc.

Tabl.7: Paramètres à analyser pour l'eau potable.

La plupart des analyses de qualité de l'eau doivent être réalisées en laboratoire, mais certaines peuvent être faites directement sur le terrain.

- **La désinfection du forage – la chloration**

Après avoir terminé le forage, on peut le désinfecter afin de tuer les organismes pathogènes dangereux (algues, vers,...) qui pourraient être entrés dans le forage avec l'eau de travail, le remblayage de

l'espace annulaire ou la pompe, au cours des opérations d'installation. Un forage peut être désinfecté par chloration.

La quantité d'eau, dans le forage, est calculée par la formule suivante:

$V = 3,14 \times r_i^2 \times H$ **(8)**

Où V: volume de l'eau

r_i: rayon intérieur du forage

H: hauteur de la colonne d'eau.

❖ **Prélever des échantillons représentatifs**

Avant de prélever des échantillons, attendez au moins d'avoir complètement terminé le développement et les essais de débit. Il est même préférable d'attendre quelques semaines, pour permettre à certains produits issus du fluide de forage, de l'eau de travail ou du ciment de se disperser ou se diluer. Ne prenez pas un échantillon directement après la désinfection du forage car le résultat est prévisible et ne sera pas utile.

IV.8. La finalisation du forage

IV.8.1. La dalle sanitaire en béton

Enfin (après les essais de débit), on doit installer l'infrastructure de surface et la dalle sanitaire. Cette dalle empêchera l'eau de la surface et les pollutions de s'infiltrer directement dans le forage. La dalle fournit également une base solide et propre pour la pompe manuelle et le pompage de l'eau. La dalle est en général de 2 à 3 mètres de diamètre avec un petit mur autour.

Il existe de nombreux modèles différents pour la dalle sanitaire, et le choix dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels : les normes nationales, le type de pompe à installer, le prix et le besoin de protection contre les inondations dans certaines zones, etc.

Enfin, il est important que les usagers soient satisfaits du type de dalle choisi. Une barrière peut être construite autour du forage pour garder les animaux éloignés et, dans certains endroits, pour contrôler l'accès au forage.

IV.8.2. Le puits perdu

Il est important, pour des raisons d'hygiène, que la dalle sanitaire sèche régulièrement. En la séchant, la lumière du soleil va désinfecter les alentours du forage et tuer la plupart des pathogènes.
Pour faciliter le séchage de la dalle, il est recommandé de la construire avec une légère pente. Un canal de drainage est également construit au point le plus bas de la dalle, pour éloigner l'eau du forage. L'eau ainsi drainée peut alors s'infiltrer dans ce que l'on appelle un puits perdu. Le puits perdu est en général construit à 4 à 6 mètres de distance du forage. La construction d'un puits perdu est simple. Il s'agit d'un trou de drainage de 1 × 1 × 1 mètre rempli de cailloux (gros graviers) et de pierres.

IV.8. 3. Aménagement de la surface du point d'eau

En général, la construction d'une plate-forme est une contribution à l'hygiène dans une communauté. En plus d'empêcher l'accumulation d'eau stagnante aux alentours du point d'eau, l'aménagement de surface aidera à empêcher l'infiltration d'eau polluée et ainsi à empêcher la contamination de l'aquifère.

On doit veiller à ce que :

- La plate-forme en béton armé de bonne qualité entourant le point d'eau soit aussi large que possible. La sortie d'eau doit être placée au centre de la dalle afin d'éliminer l'eau correctement. Une pierre plate sera toujours placée en dessous du jet d'eau et scellée dans la plate-forme pour éviter son usure due à la chute de l'eau.

- Toutes les surfaces doivent être inclinées (pente de 5%) vers le canal d'évacuation (ou de drainage) et une bordure est postée tout autour de l'ouvrage (dalle et canal de drainage).

- La dalle sanitaire en béton armé pour empêcher le forcement et les fentes.

IV.8.3.1. Dimensionnement de la plate-forme

$l_x=3$; $l_y=3 \rightarrow \frac{l_y}{l_x}= 1$

Epaisseur : $h=\frac{\alpha * l_x}{35} \rightarrow h=\frac{0,8*3}{35} = 0,0686$ m

Retenons h = 10 cm

La charge permanente : G = 25 kN /m^3 * 0,10 m = 2,5 Kn/m^2

La charge d'exploitation : P = 2,5 Kn /m^2 $\rightarrow$ Q = G+P = 5 Kn/m^2

$M_{tx} = M_{ty} = q l_x^2 / f_x$ or dans (Annexe 3) ; on a : $f_x = f_y = 36,8$

$M_{tx} = M_{ty} = \frac{5*9}{36,8} = 1,2228$ kNm

$M_{sx} = M_{sy} = \frac{M_{tx}}{bh^2 f_{cu}} = \frac{1,2228}{1*17500*(0,08)^2} = 0,0109$

ω_2 = ? Par interpolation: $\frac{0,037-0,018}{0,02-0,01} = \frac{0,037-\omega_2}{0,02-0,0109}$

$$\leftrightarrow \frac{0,019}{0,01} = \frac{0,037-\omega_2}{0,0091}$$

(Annexe 4) $\rightarrow \omega_2 = 0,037 - \frac{0,019*0,0091}{0,01} = 0,01971$

$A_{sx} = A_{sy} = \omega_2 \frac{bh}{f_{cu}} \rightarrow A_{sx} = A_{sy} = \frac{0,01971*0,08*1}{24} = 0,657\ cm^2/m$

De (l'annexe5), on a : A_{st} retenue = 1,71 cm^2/m et $st \leq 15 + \frac{d}{10}$ $\rightarrow \emptyset_6$; s_t = 16,5 cm

(Voir annexe 6: Plan de ferraillage de la plate-forme)

Après le forage, on aménagera tout autour du point d'eau en construisant avec mortier de ciment et une brique d'épaisseur 10cm doit être érigée du point d'eau et en prolongement de l'exutoire jusqu'au puisard.

Un béton dosé à 350kg/m^3 pour stabiliser le tuyau du forage. Ce béton devra avoir une épaisseur de 25cm et sera disposé à 25cm tout autour du tuyau.

IV.8.3.2. Types de plate-forme

Le point d'eau doit être placé à une altitude un peu élevée pour permettre l'écoulement facile de l'eau. Le choix de l'emplacement et de l'orientation du point d'eau doit se faire en pensant à l'évacuation des eaux usées.

Dans tous les cas, il est important que les eaux évacuées ne créent pas de plans d'eau stagnante en aval de l'ouvrage (risque de prolifération de moustiques, concentration de saleté, ...).

Par exemple, l'évacuation de l'eau peut mener à une zone de végétation (jardin potager ou bananier) ou terminer son chemin dans un puits perdu.

La forme de l'aménagement n'est pas aussi importante que sa capacité à faire couler l'eau rapidement et à assurer la dispersion des eaux usées d'une façon hygiénique (c.à.d. le plus loin possible du captage).

Pour la forme de l'aménagement de surface, on peut utiliser 3 modèles différents à savoir :

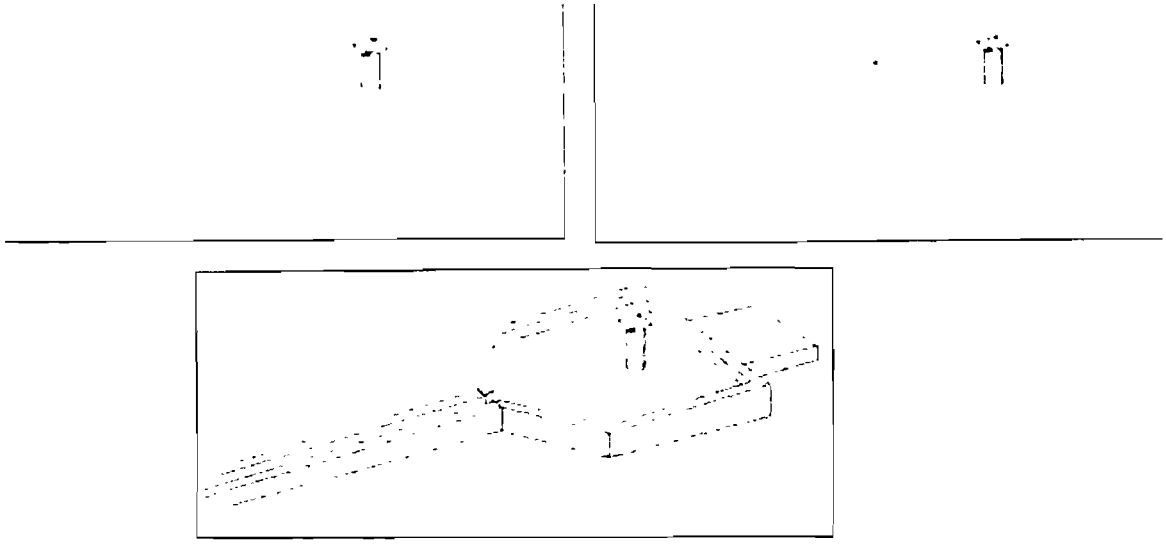


Fig.18 : Types de plateformes

Au chantier, pour des raisons de simplicité et de réduction du coût, nous avons choisi la forme rectangulaire car :

- la mise en place des panneaux de coffrage est plus simple, il n'ya pas de pertes de bois.
- les armatures seront coupées de façon identique peu importe le sens.

IV.8.3.3. Construction de la plate-forme

Elle se fait suivant ces étapes :

- ❖ creuser un trou sur mesure
- ❖ préparer le béton de ciment dans une proportion d' 1 volume+2 volume sable et 4 volume de gravier.
- ❖ adapter le moule au type de plate-forme choisi par la communauté.
    - les outils de maçonnerie

Un niveau à bulle d'air, 3 truelles en métal, 4 cuvettes en métal et 1 mètre-ruban de 3m, 1 coffrage de la plate-forme, 2 seaux de 20l et gobelets de 0,5l.

- Les matériaux :

  Ciments, sable et gravier ; briques (9x6x18); fil d'attache (2m) et huile de moteur usée.

Un radier en béton armé (FABΦ6) doit être posé sur un empierrement d'épaisseur au moins 8cm. Ce radier sera disposé depuis le tuyau sur une distance, il aura une pente minimum de 2% dirigée vers l'exutoire. Le dosage du radier doit être à 350kg/m^3.

Tout autour du point d'eau, on construira un muret anti-bourbier d'une brique de largeur 10cm et de hauteur 20cm. Ensuite, ce mur continuera sur le canal d'évacuation (exutoire) jusqu'au puisard. On termine ce canal d'évacuation par une fosse appelée " puisard " ou puits perdu qui sera construite sur un niveau de trois briques maçonnées et rempli de cailloux.

- La clôture de protection, quant à elle, est construite autour du point pour éviter l'envahissement des bêtes dans la zone du point d'eau. Elle doit avoir au moins une dimension de 3m et est construite en matériaux locaux :
  - les fils barbelés
  - de bambous (ou haies vives) solidifiés par des perches clouées.
- L'exutoire est un caniveau qui permet d'évacuer l'eau pour éviter qu'il y ait stagnation autour de la construction.
- Le puisard (ou puits perdu) est une fosse qui se trouve en aval de l'exutoire dans lequel se déverse l'eau afin d'alléger le courant d'eau pour éviter l'érosion qui pourrait endommager la nature. Dans le puisard, on y mettra des cailloux pour permettre l'infiltration de l'eau.

CHAP V : LA POMPE MANUELLE AFRIDEV

En général, une pompe est une machine hydraulique qui transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique. Son rôle est d'injecter l'énergie hydraulique si on doit remonter d'un niveau inférieur à un niveau supérieur.

V.1. Le type de pompage approprié

On distingue trois types de pompage :

- Puisage manuel : recours à la corde et la puisette pour extraire l'eau du puits ;
- Pompage à motricité humaine : recours à un système mécanique actionné manuellement ou à pied pour extraire l'eau d'un forage ;
- Pompage motorisé : recours à une pompe électrique immergée dans un forage, aucun effort physique.

Si c'est un puits ou forage qui a été choisi comme ouvrage de captage, le pompage sera réalisé à la main (puisage manuel) ou, pour les grandes profondeurs, à l'aide d'animaux (âne, chameau...).
Pour notre cas, l'ouvrage de captage est un forage, le choix doit être fait entre pompage manuel et pompage motorisé.
Pour choisir entre ces types de pompage, plusieurs éléments doivent être pris en compte :

- population desservie ;
- capacité de maintenance ;
- niveau de service désiré.

❖ Critères du choix de la pompe

Il existe de nombreux types et modèles différents de bonnes pompes (Afridev, India Mark, Duba, et les pompes immergées électriques avec une source d'énergie qui peut être fossile, solaire ou éolienne) mais le choix de celle qu'on va installer sur le forage est très important.
Le choix de la pompe manuelle dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels : les normes nationales, le prix, la qualité de l'eau, robustesse d'une pompe, disponibilité des pièces de rechanges, et le savoir local.

❖ **Pourquoi notre choix de la pompe manuelle Afridev ?**

Nous avons choisi cette pompe car :

- Elle nécessite peu d`outillages, un minimum d`aptitudes ;
- Elle possède plusieurs caractéristiques conceptuelles inédites tels que les raccords de tiges de pompe à crochet et œillet, piston extractible et clapet de pied, bras réglable, éléments souterrains résistants à la corrosion et paliers en plastique.

Donc, c`est une pompe facile à installer, à utiliser et à entretenir.

V.2. A propos de cette pompe

V.2.1.Définition

Afridev est une pompe manuelle à piston pour puits profond, appropriée pour l`installation sur des forages tubés et des puits avec un niveau d`eau statique jusqu`à 45m, considérée comme un modèle VLOM (Village Level Operation and Maintenance).

Elle a été conçue de sorte que le piston puisse être extrait sans le corps principal de la pompe, ceci permet un entretien plus simple et moins coûteux de la pompe.

Cette pompe est largement utilisée dans presque toutes les régions d'Afrique.

La spécification actuelle de cette pompe SKAT/HTN AFRIDEV spécification-révision2-1994 est disponible au centre de coopération Suisse pour la technologie et le management SKAT .

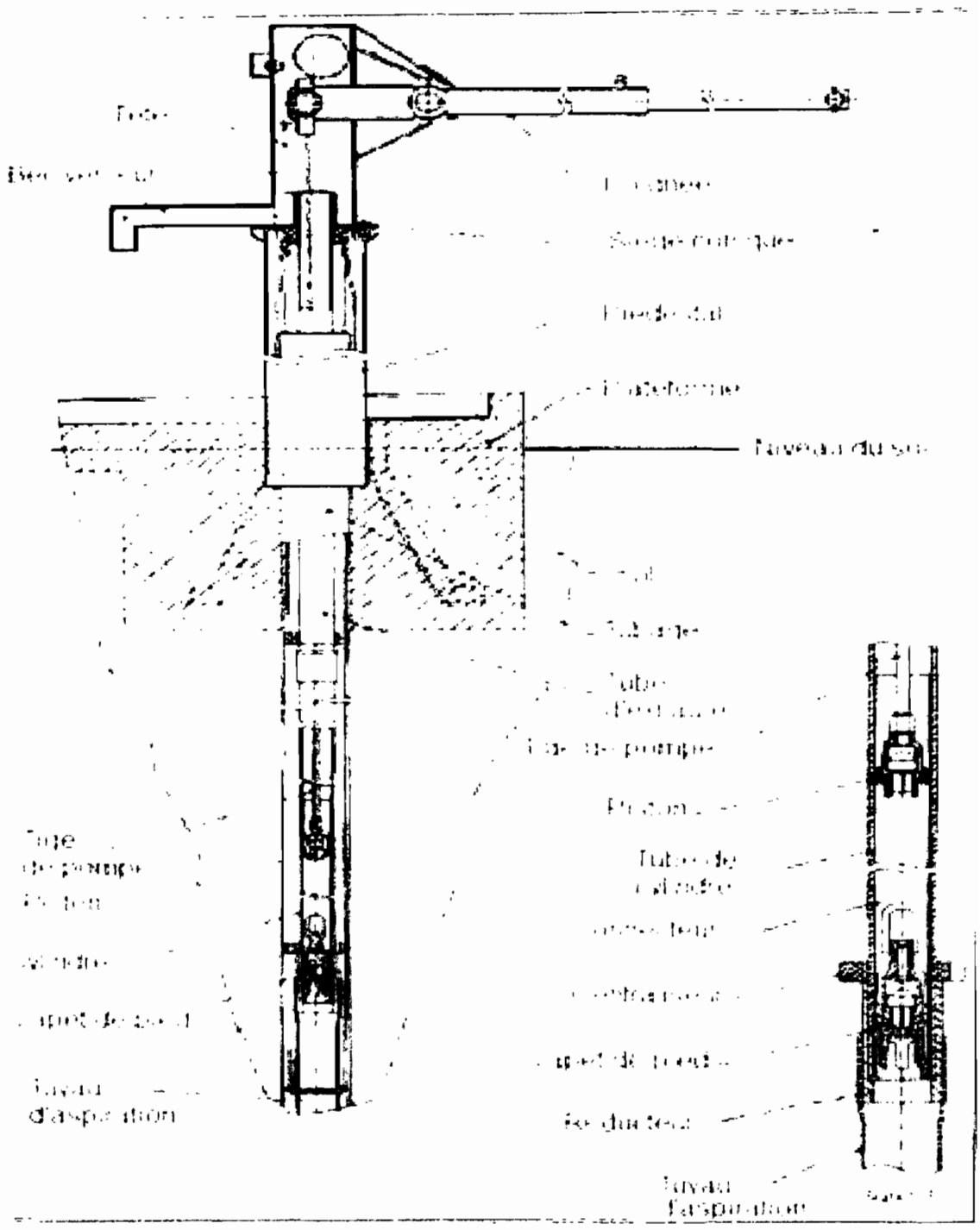


Fig. 19 : Coupe transversale de la pompe manuelle Afridev

V.2.2. Données techniques et Caractéristiques principales de la pompe Afridev

Du point de vue technique, la pompe manuelle Afridev se distingue des autres :

- Type de puits: Forage ou puits creusé de Ø100-180mm ;
- Espace requis: 2-3 m^2 ;
- Construction Modulaire: 6 assemblages ;
- Carrousel (Ø): Acier doux (MS) galvanisé et résistant à la corrosion, cuivre et pvc ;
- Tube à piston à action directe (50mm) ;
- Hauteur de pompage ou d'aspiration: 10-45 m ;
- Vitesse idéale: 40 coups/min ;
- Débit: 1250l/h = 0,35l/s ;
- Mécanisme de fonctionnement: Bras manuel ;
- Tiges de connexion: Tiges à crochet soudées de Ø10mm et centraliseurs en caoutchouc nitrile ;
- Poids: 50 kg ;
- Colonnes: 50mm (Ø) avec les centraliseurs de tiges (tiges en acier inoxydable en pvc) ;
- Application potentielle: Approvisionnement en eau pour les communautés rurales et les écoles.

De plus, ses principales caractéristiques sont les suivantes:

- Nécessite peu d'outils pour le fonctionnement et l'entretien ;
- Tube pouvant être réparé sans enlever les colonnes montantes ;
- Configuration comprenant un tube "ouvert dans le haut" le piston peut être retiré du tube sans démonter la colonne principale ;
- Tringles fixées par crochets faciles à installer et à entretenir ;
- Le clapet de pied est rétractable avec un outil de repêchage ;
- Roulements à billes en plastique faciles à remplacer ;
- Assemblage souterrain résistant à la corrosion ;

V.3. Installation de la pompe

Avant l'installation de la pompe Afridev, le travail suivant de préparation doit être effectué:

- ❖ Préparatifs de l'installation

Pour la conception et l'estimation du matériel requis pour l'installation, les informations suivantes sont à considérer :

- localisation, profondeur et débit du forage;
- matériel, longueur et diamètre du tubage;
- niveau d'eau statique;
- compte-rendu du test de qualité de l'eau, analyse chimique et bactériologique;
- rabattement lors des essais de pompage.

- ❖ consulter la communauté pour la sélection du type de la plate-forme
- ❖ Matériels requis pour l'installation :
  - clé pour boulons M16;
  - clé plate pour attaches M12;
  - Scie à métaux, marteau 200g et 500g;
  - tenailles, brosse à fils d'acier;
  - seau jaugée, lime plate et ronde, couteau.
- ❖ Les matériels d'usage sont :
  - chaux chlorurée 300g;
  - colle à pvc 200 ml et un pinceau;
  - décapant 100 ml;
  - un papier de verre.
- ❖ Préparer une liste du matériel et vérifier que le tout est disponible ;
- ❖ établir la longueur du tuyau d'exhaure en fonction de la profondeur du cylindre ;
- ❖ déterminer le nombre de stabilisateurs de tubes qui est égal au nombre de tubes composant le tuyau d'exhaure plus un ;
- ❖ déterminer le nombre de tiges de pompe, étant égal au nombre de leurs stabilisateurs moins un ;
- ❖ calculer la longueur de corde nécessaire qui est égale à 2 x longueur du tuyau d'exhaure plus 10m.

V.4. Fonctionnement de la pompe Afridev

Lors du pompage(en tournant la poignée ou bras de haut en bas), dans le cylindre se trouve le mécanisme permettant, en profondeur, d'aspirer l'eau, qui entre dans la tuyauterie à travers les crépines qui sont recouvertes d'un tissu (géotextile) empêchant les petites particules de sable ou de bouts de terre non retenus par le massif filtrant (gravier) d'entrer dans les tuyaux, puis l'eau monte et se déverse par le bac verseur.
Et ainsi de suite, le cycle se reproduit...

V.5. Entretien de la pompe

La pompe, comme tout dispositif mécanique, nécessite un entretien régulier pour la maintenir en bon état de marche. Le plus souvent, c'est « le principe de la panne » qui conditionne l'entretien.

- Etapes de l'entretien:
  - comprendre la cause d'un problème et déterminer le remède;
  - démonter la pompe si nécessaire;
  - remonter la pompe après le remplacement des pièces défectueuses;
  - noter le détail des réparations.

- Diagnostic du problème

Pour identifier la cause d'un problème, et le remède nécessaire, il faut se référer au tableau de dépannage suivant :

Problème	Fonctionnement	Cause	Remarques
Pas d'eau	a)Bras facile à manier	Tiges déconnectées	Pêcher toutes les tiges et remplacer les tiges rompues
	b) Difficulté de maniement	Tubes désengagés	Raccorder les tubes
	c)Fonctionnement du bras normal	a. Joint du piston défectueux	Remplacer le joint
		b. Niveau d'eau	Ajouter tubes et tiges

		au- dessous du cylindre	(si possible)
Ecoulement retardé	Fonctionnement normal	Valves non étanches Déplacement insuffisant du piston Fuite au niveau des raccords de tubes Joint torique du clapet de pied non-étanche	Remplacer les corps de soupape des valves Corriger le déplacement en utilisant la bonne longueur de tiges Retirer le tuyau d'exhaure et remplacer éventuellement les tubes défectueux (s'assurer d'un bon raccord des tubes) Remplacer le joint torique
Débit réduit	Difficulté de fonctionnement Fonctionnement normal	Joint en U étroit a . Déplacement insuffisant du piston b. Joint en U usé c. Corps de soupape détériorés d. cylindre usé.	Remplacer le joint U par un joint en U approprié Corriger le déplacement en utilisant la bonne longueur des tiges Remplacer le joint en U usé Remplacer les corps de soupape Remplacer le cylindre.

Bruit anormal durant le fonctionnement	Fonctionnement normal	Frottement des tiges ; centraliseurs de tiges usées	Remplacer les centraliseurs
	Fonctionnement gêné	Tiges tordues et frottement	Redresser les tiges tordues ou remplacer les tiges
		Paliers usés ; La fourchette du bras touche la tête de pompe	Remplacer les paliers
Bras branlant	Socle branlant	Plate-forme usée Brides lâches	Réparer la plate-forme Resserrer les systèmes de fixation de la bride
		Paliers usés Arbres de transmission lâche	Remplacer les paliers Bien serrer les écrous
		Arbres de pivot lâche.	Bien serrer les écrous.

Tabl.8: Problèmes et solutions à envisager pour la maintenance de la pompe manuelle Afridev.

On distingue:

- l'entretien préventif (le plus employé)

Les outils nécessaires sont : un kit spécial comprenant :

- clé pliable ou un scanner;
- un pécheur .

- l'entretien curatif : les pièces détachées sont fournies ;

❖ **Les contrôles trimestriels**

➢ Faire un test d'étanchéité

- Actionner le bras de la pompe jusqu'à ce que l'eau sorte du tube de sortie;
- Arrêter d'actionner le bras de la pompe pendant environ 30 minutes;
- Alors actionner le bras et comptez exactement combien de mouvements sont nécessaires avant que l'eau ne jaillisse de la pompe.

Si plus de 5 mouvements sont nécessaires avant que l'eau ne jaillisse de la pompe, il doit y avoir une fuite au niveau du tube d'exhaure ou du clapet de pied.

Il faut entreprendre les réparations appropriées

➢ Faire un test de débit :

Ce test de débit peut être effectué comme suit :

- Activer le bras de la pompe jusqu' à ce qu'un débit constant d'eau soit atteint ;
- Placer un seau sous le tube de sortie pendant exactement 1 minute;
- Soustraire le seau de l'écoulement et contrôler la quantité d'eau recueillie.

Si le débit est inférieur à 15l par 40 mouvements en 1 minute, il faut éventuellement changer le joint en U /le corps de soupape /le joint torique ou se référer à l'artisan réparateur de la pompe.

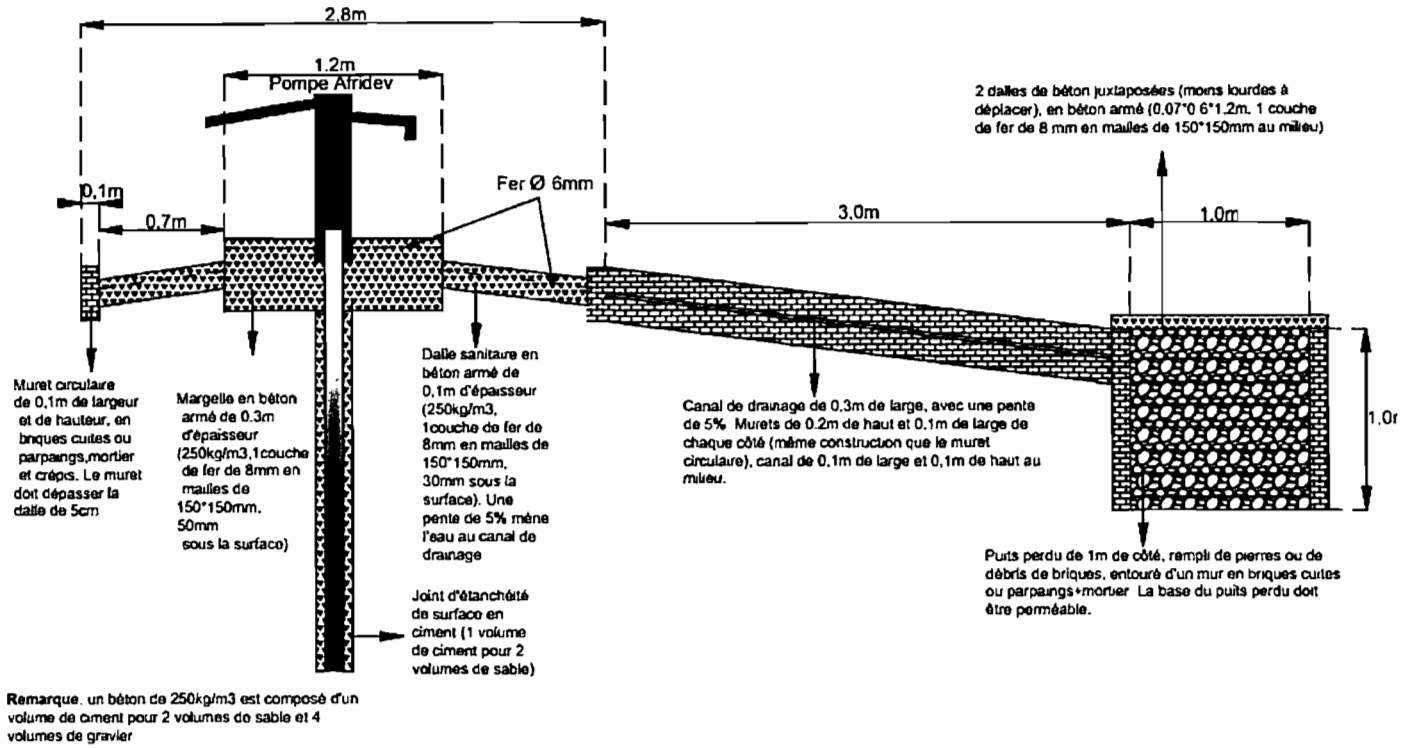
❖ **contrôles annuels**

Procédures de démontage du piston et du clapet de pied.

N.B : Le risque de panne peut être minimisé grâce à l'entretien préventif. L'entretien préventif permet d'éviter les pannes et assure l'approvisionnement en eau.

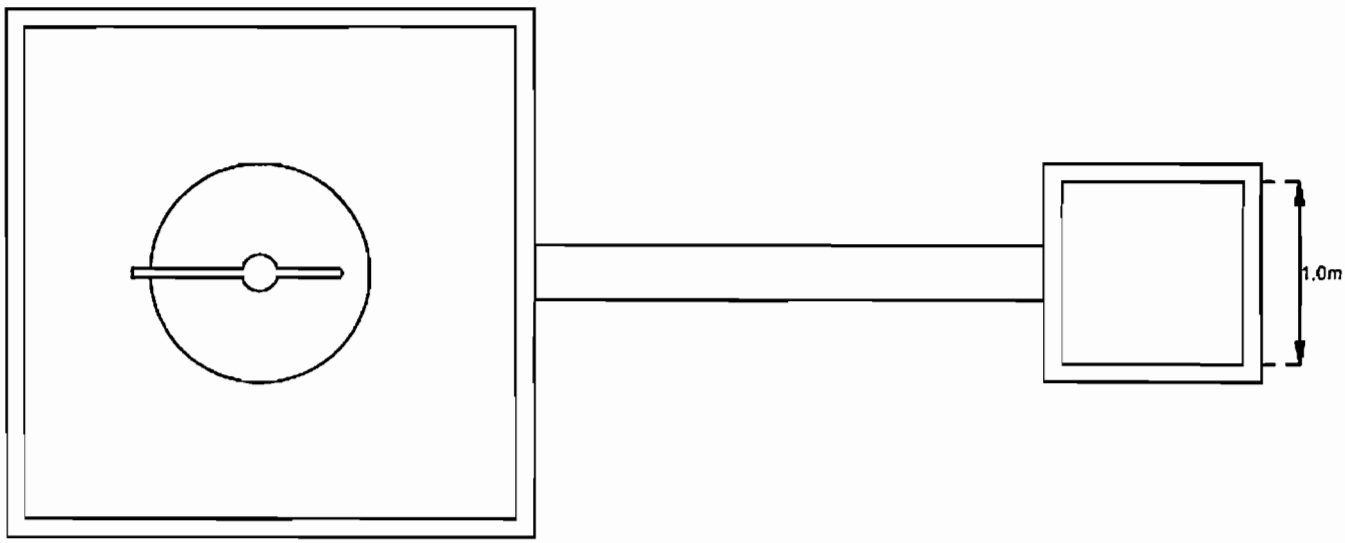
Fig.20: **Coupe transversale et vue de dessus de la dalle, du puits perdu, du forage et de la pompe**

VUE DE COTE



Remarque. un béton de 250kg/m3 est composé d'un volume de ciment pour 2 volumes de sable et 4 volumes de gravier

VUE DE DESSUS

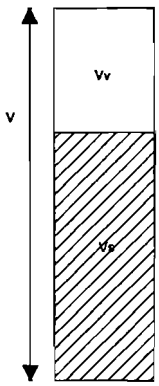


CHAP VI : PRINCIPES DE L'HYDRAULIQUE SOUTERRAINE ; CALCUL DES FORAGES

VI.1. Ecoulement des eaux souterraines

VI.1.1. Porosité

La " porosité totale" p d'un terrain exprime la propriété des réservoirs à stocker ou libérer de l'eau, est aussi le rapport exprimé en pourcentage, du volume des vides V_v au volume total de la roche v.



$$p = \frac{V_v}{V} \times 100 \qquad (9)$$

Nature du sol	p
Tourbe	0,84
Sol sableux	0,454
Gravier et sable uniforme	0,3 à 0,4
Argile	0,45 à 0,5

Mais dans une roche aquifère saturée d'eau (donc contenant un pourcentage en volume d'eau égal à la porosité totale), si l'on extrait cette eau par un écoulement gravifique, on constate que le pourcentage recueilli ne correspond pas au chiffre attendu. Une partie de l'eau est retenue par capillarité ou par absorption.

Celle qui s'écoule dite" eau gravifique" permet, en pourcentage, de définir une porosité efficace "p_e " qui ne représente qu'une portion souvent faible par rapport à la porosité totale " p ".

L'écart entre la porosité totale et la porosité efficace est appelée " capacité de rétention spécifique " p_s".

On a : $p = p_e + p_s \rightarrow p_s = p - p_e$

VI.1.2. Coefficient de perméabilité " k "

Appelé aussi " conductivité des roches à l'eau" ou " coefficient de Darcy" exprime l'aptitude du milieu aquifère à transmettre l'eau sous pression ou à conduire l'écoulement de l'eau.

Pour les eaux souterraines, ce paramètre, qui a la grandeur d'une vitesse ($L.T^{-1}$) est fonction de la porosité, du diamètre et de la surface spécifique des grains constituant le terrain.

En général, pour les sables ;

$$k = c.d^2{}_{10} \; ; \qquad (10)$$

dans laquelle k est exprimé en m/s si d_{10} est en cm

c varie de 0,46 pour les sables argileux à 1,42 pour les sables purs

d_{10} est " le diamètre efficace " des grains du terrain, c.à.d. qu'il y a 10% en poids des grains de diamètre inférieur à d_{10}, donc ce sont les grains les plus fins qui déterminent " k ".

Habituellement , on distingue :

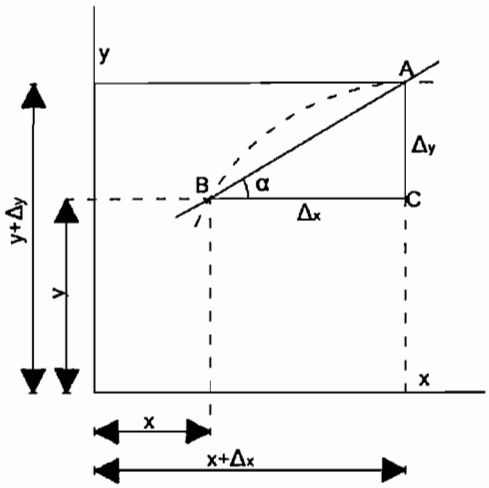
- Les roches très perméables : $k > 10^{-2}$ m/s
- Les roches perméables : $10^{-2} > k > 10^{-6}$ m/s
- Les roches peu perméables : $10^{-6} > k > 10^{-9}$ m/s
- Les roches imperméables : $k < 10^{-9}$ m/s.

N.B: Dans un terrain où il y a de l'eau exploitable, on a : $10^{-3} < k < 10^{-6}$

VI.1.3. Le gradient hydraulique " i "

C'est la pente de l'écoulement de l'eau dans le sol, exprimé par le sinus de l'angle α formé par la ligne d'écoulement avec l'horizontale. $i = \sin \alpha = \frac{AC}{AB}$ **(11)**

Comme l'angle α est toujours très petit, on peut écrire : $i = tg\ \alpha = \frac{AC}{AB}$



Et, en tout point de la ligne d'écoulement, si celle-ci n'est pas rectiligne : $i=\frac{dy}{dx}$ **(12)**

Le gradient hydraulique n'est autre que la perte de charge par unité de longueur, sous laquelle se fait l'écoulement. C'est un chiffre sans dimension, i varie entre 5.10^{-2} et 3.10^{-5}.

VI.1.4. Vitesse d'écoulement

Si on considère l'écoulement d'un débit d'eau Q à travers un espace cylindrique de section S.

La vitesse d'écoulement : $V=\frac{Q}{S}$ (m/s) **(13)**

VI.1.5. Loi de Darcy

D'après Darcy, la vitesse d'écoulement apparente de l'eau à travers un terrain peu perméable, est proportionnelle au coefficient de perméabilité et au gradient hydraulique

$V= k. i$ (m/s) **(14)**

Il en résulte que le débit à travers une section S est $Q =V.S = k.i.S$ (m^3/s) **(15)**

A travers une formation poreuse essentiellement sableuse, $i=\frac{\Delta h}{L}$, le débit sera $Q= k.S.\frac{\Delta h}{L}$ (m^3/s)

VI.2. Alimentation des forages

L'ouvrage est dit «parfait » lorsqu'il atteint le substratum imperméable et capte la nappe sur toute sa hauteur ; si son fond est situé plus haut, il est «imparfait ».

VI.2.1. Ouvrage circulaire parfait en nappe libre

On appelle :

- H: hauteur d'eau stabilisée en pompage dans le forage (m) ;
- h: épaisseur de la nappe captée (m) ;
- H-h : rabattement de la nappe en pompage (m) ;
- r: rayon du forage (m) ;
- R:rayon d'action lors du pompage (m) ;
- k: coefficient de perméabilité de Darcy (m/s);
- Q: débit du forage (m^3/s).

Dans un massif perméable reposant sur un substratum horizontal, imperméable, renfermant une nappe libre d'épaisseur H ; creusons un forage cylindrique vertical parfait de rayon r.

Si nous établissons un débit Q, la surface piézométrique prend la forme d'une surface conique de révolution, créant un cône de dépression.

Supposons la zone d'alimentation limitée par un fossé circulaire concentrique au forage et atteignant le fond imperméable.

Considérons l'écoulement à travers une surface cylindrique dont AB est une génératrice de rayon x et de hauteur y.

Comme précédemment, on a :$V=\frac{Q}{S}$ avec ici $S= 2\pi x y$ d'où $V=\frac{Q}{2\pi xy}$

$Q \ln x= \pi k y^2+$constante

Pour x=r et y=h on a :

n= $\frac{0.81}{0.35} = 2,31 \cong 3$ → il faudra ajouter deux autres forages, dans l'avenir (au bout de 20 ans), pour assurer l'approvisionnement en eau qui satisfera les besoins de la population croissante de cette localité.

VI.3. Les pertes de charges

Elles sont des pertes d'énergie de l'eau sur son parcours ou résistances au mouvement de l'eau, dues essentiellement à la viscosité de l'eau et à son frottement contre les parois de la conduite (rugosité,...) et peuvent causer des problèmes pour les forages profonds.

La formule de PRONY : ¼ D.j=0,00001733V+0,0003483V^2 . **(19)**

D : diamètre intérieur du tuyau (en m);
où j : perte de charges (en m/m de long.);
V : vitesse de circulation de l'eau (en m/s)

Le diagramme (annexe 7) donne les pertes de charge, pour différents diamètres en fonction des débits et des vitesses.

CHAP VII : ESTIMATION DU COUT DU PROJET ET PLANNING DES TRAVAUX

VII.1. Introduction

L'évaluation financière pour la construction d'un forage résulte soit d'un choix direct (prix forfaitaire), soit d'un calcul sur base des données établies sur les plans d'exécution.

Pour bien mener cette évaluation, il faut connaître les coûts unitaires, qu'il s'agisse d'investissements physiques (prix du mètre linéaire de canalisation posée) ou de prestations intellectuelles (animation, formation,...).

Ces coûts unitaires peuvent être obtenus en analysant le coût des projets similaires.

Signalons que le prix unitaire dépend beaucoup de l'enclavement de la localité (difficulté de transport et d'approvisionnement en matériaux et matériels), des quantités (économie d'échelle) et de l'efficacité de la procédure de mise en concurrence (on estime qu'un appel d'offres bien conduit peut faire baisser les prix de 20 à 30%).

VII.2. Le devis quantitatif et estimatif (D.Q.E) des travaux

Ordre	Désignation des travaux	Unité	Quantité	P.U	P.T
1. Les travaux généraux					
1.1.	Mobilisation des villageois, du personnel, du matériel	ff			3500000
1.2.	Installation du chantier	ff			1000000
1.3.	Remise en état des lieux : plate-forme et accès	ff			750000
1.4.	Assurance du personnel et du matériel	ff			8500000
sous-total (1)					13750000
2. Les travaux de construction					

2. Les travaux de construction					
2.1.	**Main d'œuvre forage et construction**				
2.1.1.	Main d'œuvre pour le forage (8 manœuvres pour 10 jours)	hoe/jr	80	5000	400000
2.1.2.	Main d'œuvre pour la construction :				
	1technicien pour 10 jours	hoe/jr	10	10000	100000
	2 manœuvres pour 10 jours)	hoe/jr	20	5000	100000
sous-total (2.1)					600000
2.2.	**Matériaux locaux :**				
	gravier	benne	1	100000	100000
	sable	benne	1	50000	50000
	briques cuites de 5 x 9 x 19	pièces	500	50	25000
sous-total (2.2)					175000
2.3.	**Les fournitures:**				
	Ciment	sac	1	30000	30000
	Fers à béton FABΦ8	longueur	1	12500	12500
	Fils à ligaturer	kg	5	3000	15000
	Clous de 8cm	kg	5	3000	15000
	Planches +coffrage de la plate-forme	pièces	6	4500	27000
	Perches	pièces	5	2000	10000
	Bâche	unité	1	30000	30000
	Scie à métaux +lames	pièces	2	5000	10000
	Pelle	pièce	1	5000	5000
	Brosse métallique	unité	1	3000	3000
	1mètre-ruban de 5m	unité	1	3000	3000
	Seau de 20l	pièces	2	5000	10000

	tamis de 1,5 et 3mm	pièces	2	3000	6000
	Le tissu filtrant 100% synthétique	unité	1	3000	3000
	Le massif filtrant	sac	1	30000	30000
	Des écrous et boulons de secours	pièces	8	2000	16000
	Les goupilles (allonges)	pièces	10	25000	250000
	spanner 18-19	pièces	2	20000	40000
	La chambre à air déchirée (3m)	unité	1	10000	10000
	Les tuyaux PVC 40 et ceux filetés	pièces	5	35000	175000
	capuchon de protection en PVC	pièces	4	5000	20000
	colle Tangit	litres	5	5000	25000
	décapant	litres	3	7000	21000
	crépine	pièces	2	5000	10000
	Boite à outils	pièce	1	25000	25000
sous-total (2.3)					801500
2.4.	**Matériels importés**				
	Les 4 tarières :				
	tarière conique Ø160	pièce	1	1350000	1350000
	tarières riverside Ø160 et Ø 100	pièce	2	650000	1300000
	tarière à argile Ø160	pièce	1	200000	200000
	tarière de mise en eau Ø 100	pièce	1	950000	950000
	Le collier ou plate-forme	pièces	2	850000	1700000
	Allonge :				
	1 pièce de 1,5m	pièce	1	150000	150000
	4 pièces de 3m	pièces	4	250000	1000000
	Poignée ou manivelle	pièces	2	75000	150000

	Dame	pièce	1	50000	50000
	Calle	pièce	1	30000	30000
	Pré-tubage Φ 160mm et épais >5mm :				
	4pièces de 3m de	pièces	4	120000	480000
	6 pièces de 1,5m	pièces	6	70000	420000
sous-total (2.4)					7780000
					15560000
2.5.	**Essais de pompage**				
2.5.1.	Développement du forage	heures	8	250000	2000000
2.5.2	Echantillonnage et analyse géotechnique	ff			960000
2.5.3	Analyse physico-chimique de l'eau	ff			740000
sous-total (2.5)					3700000
2.6.	**La pompe manuelle**				3000000
2.6.1.	**Installation et usage**				
	Clé pour boulons M16	pièces	2	20000	40000
	Clé plate pour attaches M12	pièces	2	15000	30000
	Marteau 200g et 500g	pièces	2	5000	10000
	Tenaille	pièce	1	4000	4000
	Lime plate et ronde	pièces	2	2000	4000
	Couteau	pièce	1	1500	1500
	Chaux chlorure	kg	0,5	1000	500
	Pinceau	pièce	1	1000	1000
	Papier de verre	unité	1	1000	1000
sous-total (2.6&1)					3092000
2.7.	**Construction de la plate-forme et puits perdu**				
2.7.1.	**Matériaux locaux +main d'œuvre**				

2.7.	**Construction de la plate-forme et puits perdu**				
2.7.1.	**Matériaux locaux +main d'œuvre**				
	Gravier lavé	bennes	2	100000	200000
	Sable ordinaire	bennes	3	50000	150000
	Briques cuites	pièces	1000	50	50000
	Moellons de rivières	bennes	2	120000	240000
	Main d'œuvre :				
	1technicien	hoe/jr	5	10000	50000
	2 maçons	hoe/jr	5	16000	60000
	2 aides-maçons	hoe/jr	5	10000	50000
2.7.2.	**Les fournitures**				
	Ciment	sacs	10	30000	300000
	Fers à béton Φ 8	longueurs	4	12500	50000
	Fils à ligaturer	kg	5	3000	15000
	Fils barbelés	m.l	200	100	20000
	Cornières 50x50	m.l	4	5000	20000
	Huile de moteur	litres	5	2000	10000
	Truelle en métal	unité	1	4000	4000
	Niveau à bulle d'air	unité	1	5000	5000
	Pince coupante	unité	1	4000	4000
sous-total (2.7)					1248000
Total					31146500
Imprévus et Supervision (25%)					7786625
Total HTVA					38933125

TVA (18%)		7007962,5
Total TVAC		45941087,5

Nous disons : Quarante cinq millions neuf cents quarante et un milles quatre-vingt huit francs burundais.

Tabl.9: Le devis quantitatif et estimatif des travaux.

VII.3. Planning d'exécution des travaux

Phases	Travaux	Semaine 1					Semaine 2					Semaine 3					Semaine 4					Semaine 5					Semaine 6				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
I																															
II	Fonçage à sec																														
	Fonçage sous eau																														
	Essai débit et désinfection du forage																														
III	Construction de la plate-forme et du Puits perdu																														
IV	Installation de la pompe manuelle Afridev																														

Tabl.10: Planning d'exécution des travaux.

CHAP VIII GESTION, ENTRETIEN ET MAINTENANCE DU POINT D'EAU

VIII.1. Les principes fondamentaux

VIII.1.1. Le triangle d'or

Si une commune, en tant que maître d'ouvrage du service d'alimentation en eau potable, décide de renforcer le dispositif pour la gestion des pompes à motricité humaine, elle doit nécessairement s'appuyer sur la stratégie nationale, articulée autour du " triangle d'or " :

- Un comité de gestion de point d'eau représente les usagers et mobilise l'argent pour payer les travaux de réparation et d'entretien ;
- Un artisan-réparateur prend en charge la réparation des pompes ;
- Un fournisseur de pièces de rechange assure la gestion d'un stock minimum pour fournir les pièces nécessaires à l'artisan-réparateur.

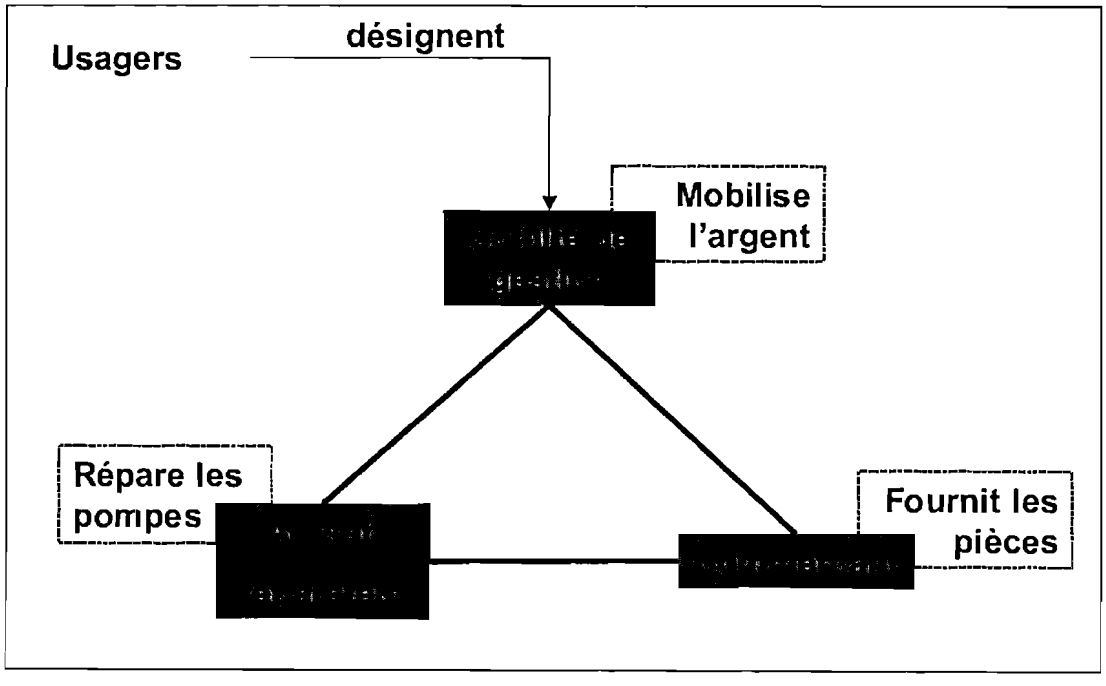


Fig.23 : Le triangle d'or pour la gestion des pompes à main.

Pour mettre en place le triangle d'or, la commune doit agir auprès des trois acteurs suivants:

VIII.1.1.1. Mobiliser les usagers

La commune doit avant tout informer et sensibiliser les usagers sur :

- la nécessité de s'organiser en comité de gestion, capable de collecter l'argent afin de payer les charges d'exploitation (fonctionnement, entretien et réparations) ;
- l'importance du paiement de l'eau (pour le recouvrement des charges citées plus haut).

VIII.1.1.2. Agréer un artisan-réparateur

La commune doit d'abord identifier un artisan-réparateur compétent et doté d'une solide expérience. La qualité de ses prestations pour la maintenance des pompes à motricité humaine pourra être évaluée sur la base du nombre de pompes dont il a la charge et sur le taux de fonctionnement de ces équipements.

Un tel artisan-réparateur doit avoir un certain nombre de clients, un parc de pompes suffisant, pour que son activité soit rentable. C'est pourquoi il est préférable de vérifier que le parc de pompes à installer et celles qui existent déjà dans la zone seront suffisantes.

Cette prestation ne pourra débuter que lorsque la commune, l'artisan-réparateur et le comité de gestion seront d'accord sur les montants des prestations. Ils définiront ensemble les différentes tâches de maintenance qui peuvent être effectuées sur le parc de pompes et ils arrêteront pour chacune de ces tâches un tarif fixe applicable à l'ensemble du parc de pompes de la commune, plus le montant des frais de déplacements qui dépendra de la distance à parcourir.

VIII.1.1.3. Mobiliser un fournisseur

La commune vérifiera au niveau de l'étude de faisabilité qu'il existe un commerçant qui assure l'approvisionnement en pièces détachées de pompes pour l'artisan- réparateur. Cela veut dire qu'il doit être capable de fournir, pour chaque panne possible sur les pompes, les pièces nécessaires à la réparation, soit immédiatement pour les pannes les plus courantes, soit dans un délai de 2 ou 3 jours maximum pour les pannes les plus rares. Ce commerçant doit être en mesure d'assurer des relations durables avec le fournisseur ou l'importateur de pièces qui opère au niveau national ou régional.

S'il n'existe pas un tel commerçant dans la commune ou à une distance raisonnable, la commune cherchera avec la D.G.H.E.R s'il est possible d'intéresser un commerçant à réaliser cette activité.

VIII.1.2. Quatre règles pour la bonne gestion des pompes à motricité humaine

Le maître d'ouvrage devra s'assurer que les quatre recommandations qui suivent sont appliquées. Elles garantissent une bonne gestion des pompes à motricité humaine.

- ❖ Le comité de gestion d'une pompe à motricité humaine doit solliciter l'artisan-réparateur au moindre signe de défaillance. Il ne doit pas attendre le dernier moment, lorsque la pompe est définitivement hors d'usage;
- ❖ Le comité de gestion doit toujours avoir de l'argent en caisse pour payer les réparations;
- ❖ Le fournisseur doit avoir à sa disposition un stock de pièces en permanence;
- ❖ Le comité de gestion doit constituer des provisions pour le renouvellement de la PMH.

Les animateurs assistés par le coordonnateur du projet A.A.K.T; ou la responsable de PAD préparent correctement les modules de formation.

En milieu rural, la plupart des participants n'ont pas de niveau intellectuel élevé, l'apprentissage doit être pratique à l'aide des images, les jeux de rôles, ...

Les formations des CPE-SA auront une durée d'au moins 3 jours ; donc une formation par semaine.

Dans le cadre du projet ; pour chaque point d'eau réhabilité ou nouvellement construit, il y aura à former un nouveau comité point d'eau.

VIII.1.2.1. Election du CPE

A base du comité hygiène et assainissement (CHA), l'animateur organise l'élection du CPE.

Ce comité est composé de 5 personnes à savoir :

- le président
- son vice (peut-être une femme)
- le (la) secrétaire-trésorier (ère)
- 2 conseillers.

Le CPE a pour mission d'assurer la gestion et la maintenance du point d'eau pour question de finances et de bon fonctionnement.

Pour que les membres du CPE adhérent bien à leurs tâches, après la formation, les animateurs continuent suivi-appui.

Le suivi comportera les points suivants :

- organisation, assurance de l'entretien du point d'eau et de la salubrité aux alentours;
- informer toute dégradation ou panne survenue aux techniciens,...

VIII.1.2.2. Gestion du point d'eau

On élabore d'abord le module de gestion du point d'eau (qui est un règlement d'ordre intérieur de l'ouvrage réalisé qui donne des éclaircissements sur le rôle de chaque membre du comité, en plus des cotisations, de l'entretien et de la maintenance.

VIII.1.2.2.1. Quelques principes à suivre pour une bonne gestion

- Respecter la tenue des réunions et mettre en pratique les différentes recommandations;
- Paiement équitable du service de l'eau :
    - Tout usager doit être rattaché à un comite point d'eau,
    - Tout comité doit tenir un registre des ménages actualisé annuellement avant l'assemblée générale, ...

VIII.1.2.2.2. Le règlement d'usage

Les usagers sont aussi responsables du bon état de leur point d'eau. Il est conseillé de fixer des règles d'usage pour le point d'eau compte tenu des réalités.

Quelques points que les règles d'usage doivent traiter :

- les heures d'ouverture ;
- nettoyage du point d'eau ;
- mode et périodes de collecte de la cotisation forfaitaire;
- sanctions en cas de non payement de la cotisation.

VIII.2. Entretien et maintenance du point d'eau

Les outils (ou kit complet) sont mis en place à savoir :

- une clé n°24;
- 5 images d'entretien du point d'eau;
- fiche de suivi d'entretien;
- tableau de maintenance;
- fiche de maintenance.

Les équipements, comme tout dispositif mécanique, nécessitent un entretien régulier pour les maintenir en bon état de marche. Mais le plus souvent, c'est « le principe de la panne » qui conditionne l'entretien. Le risque de panne peut être minimisé grâce à l'entretien préventif. En l'absence d'entretien préventif, une panne soudaine et une interruption de l'approvisionnement en eau surviennent. Des que l'ouvrage est endommagé, le responsable à l'entretien (membre du comité point d'eau) informe le fontainier et l'assiste durant son intervention sur le point d'eau.

Le travail du fontainier repose sur ces grands axes :

- La surveillance
    - circuler sur l'ensemble des équipements, pour contrôler leur bon état;
    - surveiller le débit des sources en faisant des mesures trimestrielles.

- La maintenance : se fait indépendamment de l'état apparent de l'équipement à entretenir ou du degré d'usure sinon c'est de la réparation.

- La réparation : doit être faite par un technicien compétent avec les bons outils et les bonnes pièces.

Conclusion et recommandations

L'eau est un " un don du ciel ", mais pour l'eau potable c'est un peu compliquée.

Ainsi, avant d'arriver au robinet, ce bien naturel doit être capté, transporté, peut être traité et contrôlé. L'eau doit être potable, pas seulement au point d'eau, surtout lors de son utilisation dans les ménages. Sinon, une fois contaminée, elle peut être agent causal de pas mal de maladies.

L'eau potable est souvent définie comme " un bien public à valeur sociale et économique ".

En milieu urbain, sa valeur économique est facilement reconnue ; tandis qu'en milieu rural, c'est sa valeur sociale qui reste dominante dans les esprits des habitants. L'eau potable est un produit rare, qui a un coût et qu'il ne faut pas gaspiller.

Notre projet de fin d'études, portant sur l'alimentation en eau potable sur la colline Maramvya 12 à l'aide d'une pompe manuelle Afridev, comprend essentiellement 4 volets à savoir :

- Etude du sol et son comportement face à l'eau;
- l'exécution du forage manuel;
- l'aménagement de la surface du point d'eau;
- l'installation et l'entretien de la pompe manuelle Afridev .

Nous avons remarqué que l'eau parvienne aux nécessiteux sans aucun problème particulier. Et nous ne mettons pas le point final sur notre sujet sans pour autant adresser des recommandations ci-après :

- Aux bénéficiaires :
  - d'assurer une bonne gestion et entretien du point d'eau dont le coût n'est pas à négliger;
  - d'appliquer les conseils donnés par les responsables de ce point d'eau.

- L'Etat, pour éviter l'épuisement des nappes, doit élaborer une carte nationale montrant différents sites dont leur nappe souterraine engorge de l'eau en qualité et en quantité suffisante à être exploité pour alimenter la population; se réserver le droit d'autoriser ou non la réalisation d'un nouveau forage dans un site, en fonction des réserves naturelles d'eau souterraine; via son département de la D.G.H.E.R, ainsi qu'à la régie communale de l'eau (R.C.E)
  - de développer l'exploitation de l'eau souterraine surtout dans la plaine de la Rusizi;
  - de bien définir un système de contrôle et de gestion tenant compte des tarifs de contribution pour l'entretien de ce point d'eau.

- Au projet PAD :
    - de faire un contrôle technique régulièrement afin de remplacer les pièces hors usage pour que tout le système ne soit pas affecté.

Mais comme le sujet n'a pas été développé en tous ces détails, nous interpellons à d'autres chercheurs d'approfondir ce domaine ou de contribuer dans d'autres domaines comme :

- Etude hydrogéologique de la plaine de l'Imbo;
- La sensibilisation et la promotion du forage manuel, etc.

Enfin comme tout travail technique peut avoir des imperfections, nous demandons à quiconque pourrait faire une contribution tant technique que financière qui engendrait une évolution efficace de ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

I. Ouvrages généraux

1. **Julien Labas, Robert Vuik**: Manuel de formation technique: Forage manuel à faible coût.
2. Guide des projets d'alimentation en eau potable.
3. Pompe manuelle Afridev.

II. Projets de fin d'études

1. **G. MANIRAMBONA, U.B, I.T.S, 2011:** Amélioration de la conception des puits modernes au Burundi: cas pratique en province KIRUNDO.
2. **B. NIYONGABO, U.B, F.S.A, 2011:** Problematique d'Alimentation en eau potable en zone Gatumba: origines et solutions.

III. Notes de cours

1. Dr-Ir H. NIYONGABO, F.S.A : Alimentation en eau potable.

2. Ir-M.sc. W. NIYONZIMA, I.T.S : Métré et étude de prix.

ANNEXES

Fig.1: IMPLANTATION DU FORAGE

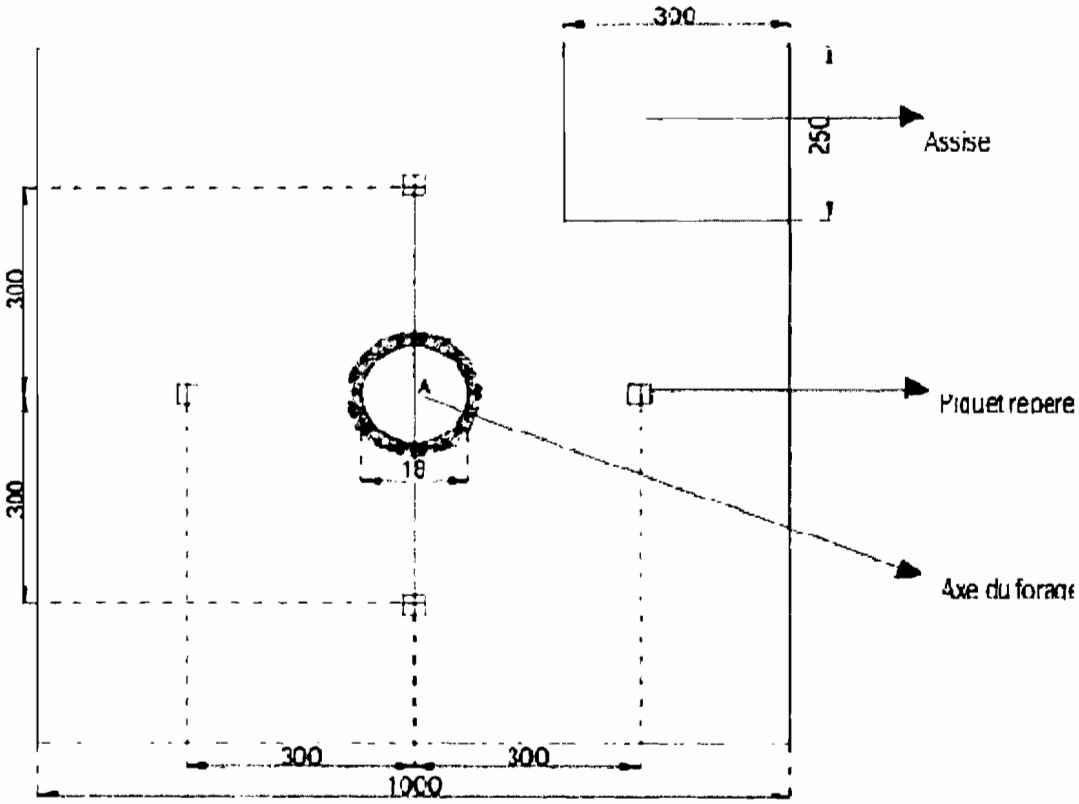


Fig.2: SCHEMA DE TIR POUR LE FONCAGE D'UN FORAGE

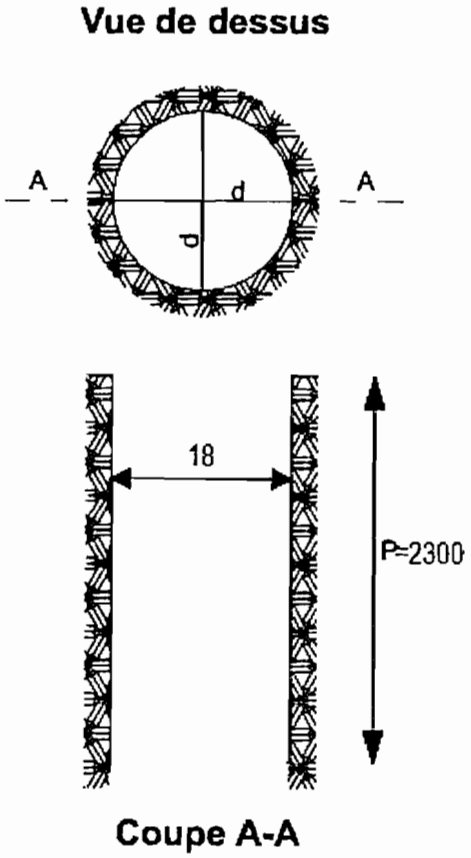


Fig.3: LES ELEMENTS DU FORAGE

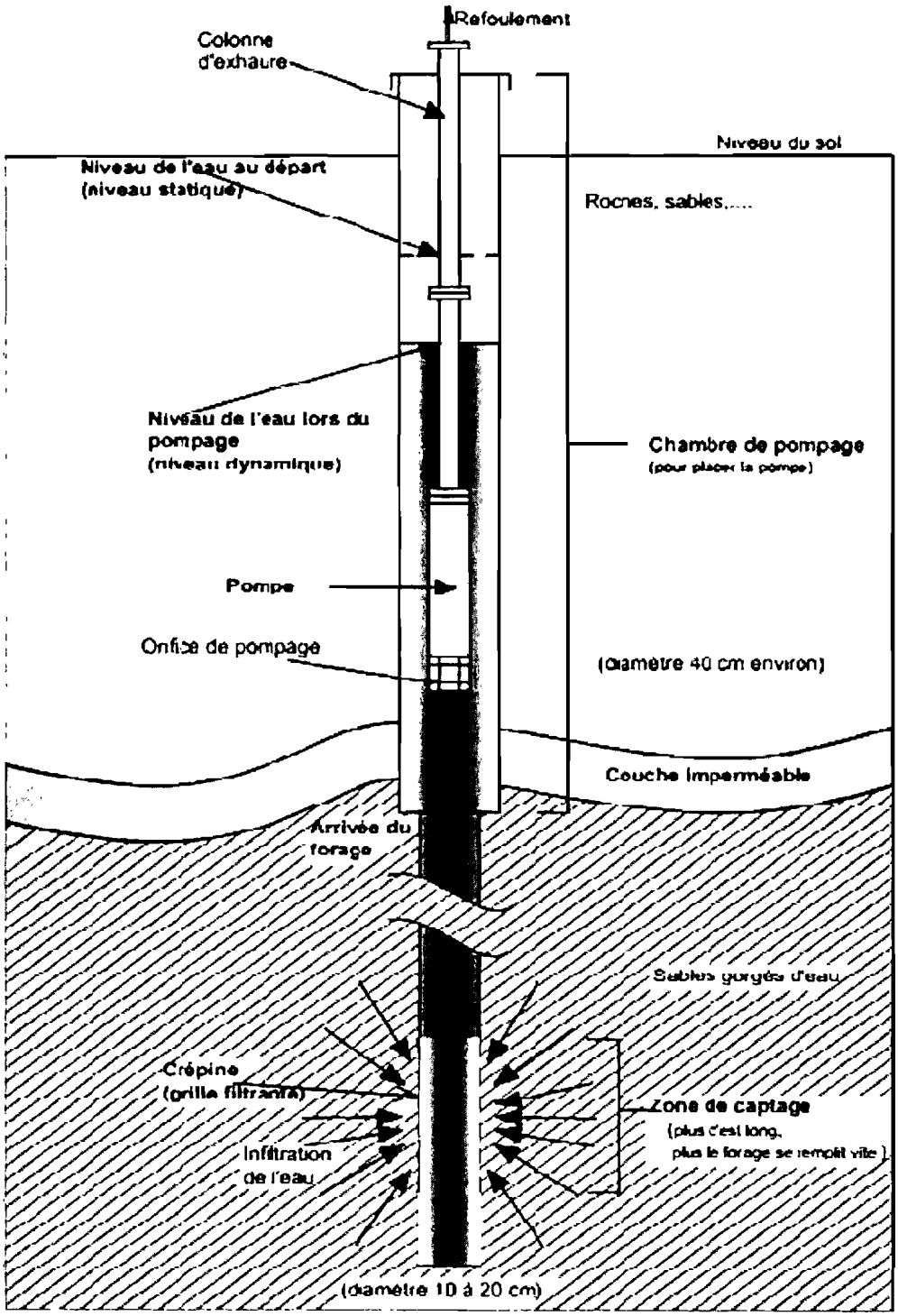
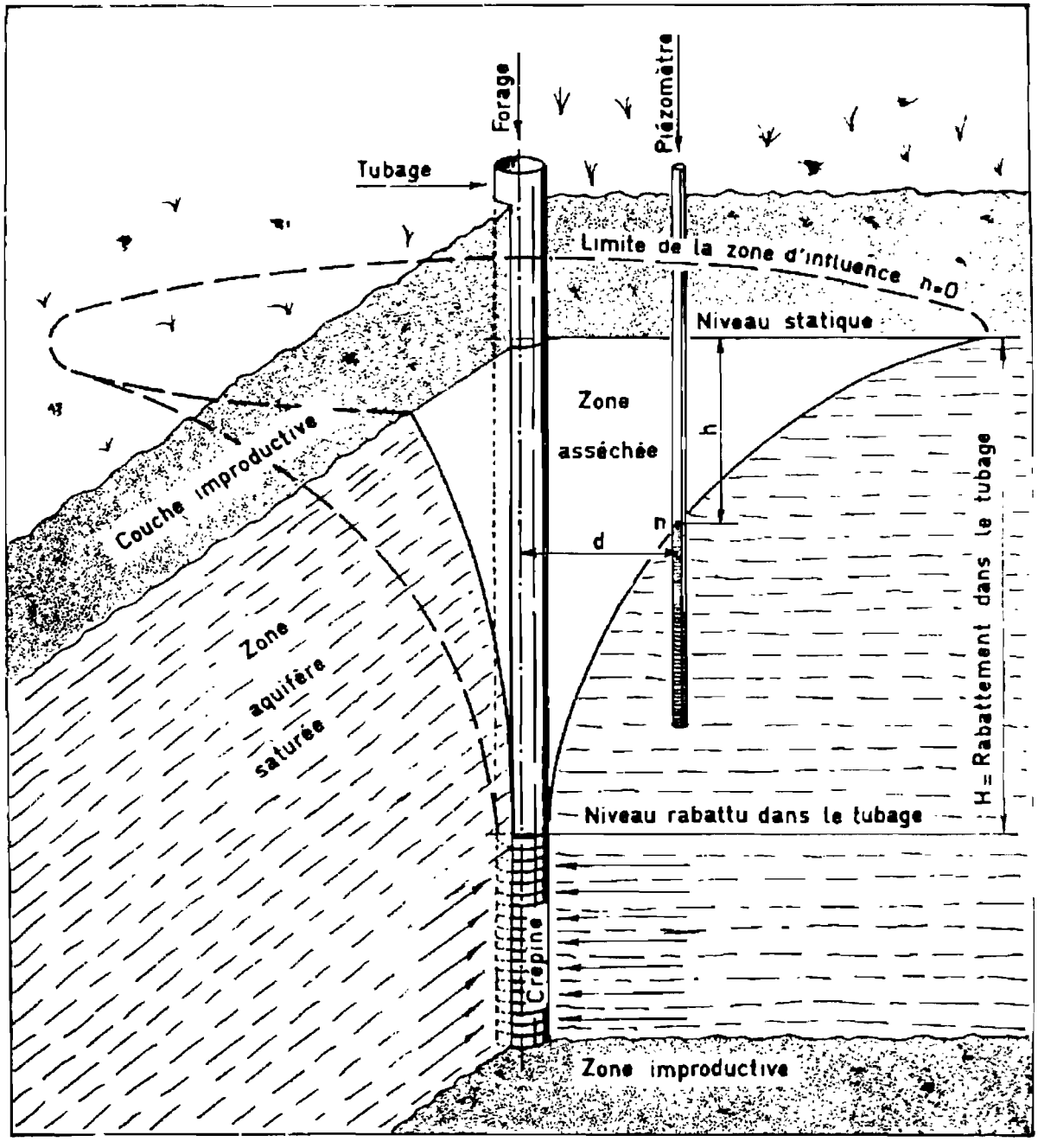


Fig.4 : SCHEMA D'UN FORAGE, TUBAGE ET CONE DE RABATTEMENT



ANNEXE 2 : FORMULAIRE ESSAI DEBIT

Identification du forage		
Nom de la colline	Coordonnées	x = ...
Code du forage		y = ...

Date de l'essai :
Nom des opérateurs :
Type et modèle de pompe :
Le point de référence est le haut du tubage où :
Le niveau statique (NS) de l'eau est à . . . . .m
Le niveau de la pompe immergée est à . . . . .m
Heure du démarrage de l'essai du débit :

Heure théorique hh:mm:ss	Heure réelle de mesure hh:mm:ss	Niveau dynamique de l'eau (ND) [m]	Rabattement (=ND-NS) [m]		Débit mesuré [m³/h]
1) Pompez pendant 1 heure avec un débit de 0,5 m³/h(=8,3 l/mn)					
00:00:00					
00:00:30					Q=
00:01:00					
00:02:00					
00:05:00					Q=
00:10:00					
00:20:00					Q=
01:00:00					Q=

2) Pompez pendant 1 heure avec un débit de 1 m³/h (=16,6 l/mn)				
01:00:00				
01:00:30				Q=
01:01:00				
01:02:00				
01:05:00				Q=
01:10:00				
01:20:00				Q=
02:00:00				Q=
3) Pompez ensuite pendant 1 heure avec un débit de 2 m³/h (= 33,3 l/mn)				
02:00:00				
02:00:30				Q=
02:01:00				
02:02:00				
02:05:00				Q=
02:10:00				
02:20:00				Q=
03:00:00				Q=
4) Arrêtez de pomper, mais observer la recharge du forage				
03:00:00				
03:00:30				
03:01:00				
03:02:00				
03:05:00				
03:10:00				
03:20:00				
04:00:00				Fin de l'essai

ANNEXE 3:

Moments aux appuis :

cas 1 : $l_1/l_2 \leq 5/1$

$$|m_a| = \left|\frac{m_{a\,o1} + m_{a\,o2}}{2}\right| \geq 0{,}75 \cdot \max(|m_{a\,o1}|, |m_{a\,o2}|)$$

cas 2 : $l_1/l_2 > 5/1$

$$|m_a| = \max(|m_{a\,o1}|, |m_{a\,o2}|)$$

avec : $m_{a\,o} = -q \frac{l_x^2}{s}$

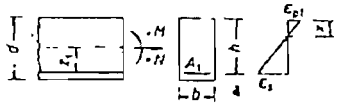
conditions aux appuis	coefficient	ratio l_y/l_x du panneau										
		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
1	f_x	27,2	22,4	19,1	16,8	15,0	13,7	12,7	11,9	11,3	10,8	10,4
	f_y	27,2	27,9	29,1	30,9	32,8	34,7	36,1	37,3	38,5	39,4	40,3
	f_x^0	20,0	16,6	14,5	13,0	11,9	11,1	10,6	10,2	9,8	9,5	9,3
	f_y^0	20,0	20,7	22,1	24,0	26,2	28,3	30,2	31,9	33,4	34,7	35,9
2	f_x	32,8	26,3	22,0	18,9	16,7	15,0	,7	12,8	12,0	11,4	10,9
	f_y	29,1	29,2	29,8	30,6	31,8	33,5	,8	36,1	37,3	38,4	39,5
	s_y	11,9	10,9	10,1	9,6	9,2	8,9	8,7	8,5	8,4	8,3	8,2
	f_x^0	26,4	21,4	18,2	15,9	14,3	13,0	12,1	11,5	10,9	10,4	10,1
	f_y^0	22,4	22,8	23,9	25,1	26,7	28,6	30,4	32,0	33,4	34,8	36,2
2'	f_x	29,1	24,6	21,5	19,2	17,5	16,2	15,2	14,4	13,8	13,3	12,9
	f_y	32,8	34,5	36,8	38,8	40,9	42,7	44,1	45,3	46,5	47,2	47,9
	s_x	11,9	10,9	10,2	9,7	9,3	9,0	8,8	8,6	8,4	8,3	8,3
	f_x^0	22,4	19,2	17,2	15,7	14,7	13,9	13,2	12,7	12,3	12,0	11,8
	f_y^0	26,4	28,1	30,3	32,7	35,1	37,3	39,1	40,7	42,2	43,3	44,8
3	f_x	38,0	30,2	24,8	21,1	18,4	16,4	14,8	13,6	12,7	12,0	11,4
	f_y	30,6	30,2	30,3	31,0	32,2	33,8	35,9	38,3	41,1	44,9	46,3
	s_x	14,3	12,7	11,5	10,7	10,0	9,5	9,2	8,9	8,7	8,5	8,4
3'	f_x	30,6	26,8	23,2	20,9	19,2	17,9	16,9	16,1	15,4	14,9	14,5
	f_y	38,0	39,5	41,4	43,5	45,6	47,6	49,1	50,3	51,3	52,1	52,9
	s_x	14,3	13,5	12,0	12,6	12,3	12,2	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
4	f_x	33,2	27,3	23,3	20,6	18,5	16,9	15,8	14,9	14,2	13,6	13,1
	f_y	33,2	34,1	35,5	37,7	39,9	41,9	43,5	44,9	46,2	47,2	48,3
	s_x	14,3	12,7	11,5	10,7	10,0	9,6	9,2	8,9	8,7	8,5	8,4
	s_y	14,3	13,6	13,1	12,8	12,6	12,4	12,3	12,2	12,2	12,2	12,2
	f_x^0	26,7	22,1	19,2	17,2	15,7	14,6	13,8	13,2	12,7	12,3	12,0
	f_y^0	26,7	27,6	29,2	31,4	33,8	36,2	38,1	39,8	41,4	42,8	44,2
5	f_x	33,6	28,2	24,4	21,8	19,8	18,3	17,2	16,3	15,6	15,0	14,6
	f_y	37,3	38,7	40,4	42,7	45,1	47,5	49,5	51,4	53,3	55,1	56,9
	s_x	16,2	14,8	13,9	13,2	12,7	12,5	12,3	12,2	12,1	12,0	12,0
	s_y	18,3	17,7	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
5'	f_x	37,3	30,3	25,3	22,0	19,5	17,7	16,4	15,4	14,6	13,9	13,4
	f_y	33,6	34,1	35,1	37,3	39,8	43,1	46,6	52,3	55,5	60 5	66,1
	s_x	18,3	15,4	13,5	12,2	11,2	10,6	10,1	9,7	9,4	9,0	8,9
	s_y	16,2	14,8	13,9	13,3	13,0	12,7	12,6	12,5	12,4	12,3	12,3
6	f_x	36,8	30,2	25,7	22,7	20,4	18,7	17,5	16,5	15,7	15,1	14,7
	f_y	36,8	38,1	40,4	43,5	47,1	50,6	52,8	54,5	56,1	57,3	58 3
	s_x	19,4	17,1	15,5	14,5	13,7	13,2	12,8	12,5	12,3	12,1	12 0
	s_y	19,4	18,4	17,9	17,6	17 5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5

ANNEXE 4:

Tableaux pour le dimensionnement à la flexion simple ou composée des section rectangulaires en état limite ultime

(le dimensionnement se fait en utilisant les sollicitations de service, car le coefficient de majoration est déjà compris dans ces tableaux.)

a) *sans armatures comprimées:*



N : negatif comme force de compression

armature "simple" si $m_s \leq m_s^*$

$M_s = M - N\, z_s$

$m_s = \dfrac{M_s}{b h^2 f_{cu}}$

$x = k_x\, h \quad z = k_z\, h$

$A_s = \omega_s \dfrac{b\,h}{f_e/f_{cu}} + \dfrac{N}{f_e/\gamma_s}$

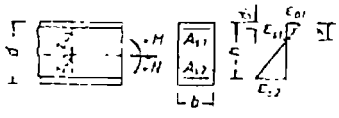
f_{cu}		B 35	B 25	B 35	B 45	B 55
	MN/m²	10,5	17,5	23,0	31,0	38,5

f_e/γ_s	BSt	220/340	420/500	500/550
	[kN/cm²]	12,6	24,0	28,6

f_e/f_{cu}		B 15	B 25	B 35	B 45	B 55
	BSt 220/340	21,0	12,6	9,6	8,1	7,3
	BSt 420/500	40,0	24,0	18,3	15,6	14,0
	BSt 500/550	47,6	28,6	21,7	18,5	16,7

m_s	ω_1	k_x	k_z	$-\varepsilon_b$ [‰]	ε_s [‰]	γ
0,01	0,018	0,09	0,97	0,46	5,00	1,75
0,02	0,037	0,12	0,96	0,68	5,00	
0,03	0,055	0,15	0,95	0,87	5,00	
0,04	0,075	0,17	0,94	1,04	5,00	
0,05	0,094	0,20	0,93	1,21	5,00	
0,06	0,114	0,22	0,92	1,37	5,00	
0,07	0,134	0,24	0,92	1,53	5,00	
0,08	0,154	0,25	0,91	1,70	5,00	
0,09	0,175	0,27	0,90	1,87	5	
0,10	0,197	0,29	0,89	2,05		
0,11	0,218	0,31	0,88	2,25		
0,12	0,241	0,33	0,87	2,47	5,00	
0,13	0,264	0,35	0,86	2,70	5,00	
0,14	0,288	0,37	0,85	2,96	5,00	
0,15	0,313	0,39	0,84	3,25	5,00	
0,16	0,339	0,42	0,83	3,50	4,86	
0,17	0,367	0,45	0,81	3,50	4,23	
0,18	0,395	0,49	0,80	3,50	3,67	
m_s^* 0,193	0,436	0,54	0,78	3,50	3,00	1,75

b) *avec armatures comprimées:*



armature "double" si $m_s > m_s^*$

$M_s = M - N\, z_{s2} \quad , \quad A_{s2}(A_s') = \omega_1' \dfrac{b\,h}{f_e/f_{cu}} + \dfrac{N}{f_e/\gamma_s}$

$m_s = \dfrac{M_s}{b h^2 f_{cu}} \quad , \quad A_{s1} = \omega_1 \dfrac{b\,h}{f_e/f_{cu}}$

m_s	$d_1/h = 0,05$ pour tous les aciers		$d_1/h = 0,10$ pour tous les aciers		$d_1/h = 0,15$ pour tous les aciers		$d_1/h = 0,20$ pour tous les aciers				$d_1/h = 0,25$			
								BSt 220/340, 420/500	BSt 500/550		BSt 220/340	BSt 420/500	BSt 500/550	
	ω	ω_1	ω	ω_1	ω	ω_1	ω_1	ω_1	ω_1	ω_1	ω_1	ω_1	ω_1	
m_s^* 0,193	0,436	0,000	0,436	0,000	0,436	0,000	0,436	0,000	0,000	0,436	0,000	0,000	0,000	
0,20	0,448	0,012	0,449	0,013	0,450	0,014	0,451	0,015	0,015	0,452	0,016	0,017	0,020	
0,21	0,467	0,031	0,468	0,032	0,470	0,034	0,472	0,037	0,040	0,475	0,039	0,042	0,049	
0,22	0,485	0,049	0,488	0,052	0,491	0,055	0,494	0,058	0,063	0,498	0,062	0,066	0,079	
0,23	0,504	0,068	0,507	0,071	0,511	0,076	0,516	0,080	0,087	0,522	0,086	0,091	0,109	
0,24	0,522	0,086	0,527	0,091	0,532	0,096	0,538	0,102	0,111	0,545	0,109	0,116	0,138	
0,25	0,540	0,104	0,546	0,110	0,553	0,117	0,560	0,124	0,134	0,568	0,132	0,141	0,168	
0,26	0,559	0,123	0,566	0,130	0,573	0,137	0,582	0,146	0,158	0,592	0,156	0,166	0,198	
0,27	0,577	0,141	0,585	0,149	0,594	0,158	0,604	0,168	0,182	0,615	0,179	0,191	0,227	
0,28	0,596	0,160	0,604	0,169	0,614	0,179	0,626	0,190	0,205	0,638	0,202	0,216	0,257	
0,29	0,614	0,178	0,624	0,188	0,635	0,199	0,647	0,212	0,229	0,662	0,226	0,241	0,287	
0,30	0,632	0,197	0,643	0,207	0,656	0,220	0,669	0,233	0,253	0,685	0,249	0,266	0,316	
0,31	0,651	0,215	0,663	0,227	0,676	0,240	0,691	0,255	0,278	0,708	0,272	0,290	0,346	
0,32	0,669	0,233	0,682	0,246	0,697	0,261	0,713	0,277	0,300	0,732	0,296	0,315	0,375	
0,33	0,688	0,252	0,702	0,266	0,717	0,281	0,735	0,299	0,324	0,755	0,319	0,340	0,405	
0,34	0,706	0,270	0,721	0,285	0,738	0,302	0,757	0,321	0,347	0,778	0,342	0,365	0,435	
0,35	0,725	0,289	0,741	0,305	0,759	0,323	0,779	0,343	0,371	0,802	0,366	0,390	0,464	
0,36	0,743	0,307	0,760	0,324	0,779	0,343	0,801	0,365	0,395	0,825	0,389	0,415	0,494	
0,37	0,761	0,326	0,779	0,344	0,800	0,364	0,822	0,387	0,418	0,848	0,412	0,440	0,524	
0,38	0,780	0,344	0,799	0,363	0,820	0,384	0,844	0,408	0,442	0,872	0,436	0,465	0,553	
0,39	0,798	0,362	0,818	0,382	0,841	0,405	0,866	0,430	0,466	0,895	0,459	0,490	0,583	
0,40	0,817	0,381	0,838	0,402	0,861	0,426	0,888	0,452	0,489	0,918	0,482	0,514	0,612	

ANNEXE 5:

1 Dimensions nominales des aciers

diamètre nominal mm	périmètre cm	section cm²	masse linéique kg/m
6	1,88	0,283	0,222
8	2,51	0,503	0,395
10	3,14	0,785	0,617
12	3,77	1,13	0,888
14	4,40	1,54	1,21
16	5,03	2,01	1,58
18	5,65	2,54	2,00
20	6,28	3,14	2,47
22	6,91	3,80	2,98
25	7,85	4,91	3,85
28	8,80	6,16	4,83

2 Sections de plusieurs barres en fonction de leur diamètre

diamètre ϕ_s (mm)	nombre de barres									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,5	2,8
8	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
10	0,8	1,6	2,4	3,1	3,9	4,7	5,5	6,3	7,1	7,9
12	1,1	2,3	3,4	4,5	5,7	6,8	7,9	9,1	10,2	11,3
14	1,5	3,1	4,6	6,2	7,7	9,2	10,8	12,3	13,9	15,4
16	2,0	4,0	6,0	8,0	10,1	12,1	14,1	16,1	18,1	20,1
18	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8	20,4	22,9	25,5
20	3,1	6,3	9,4	12,6	15,7	18,8	22,0	25,1	28,3	31,4
22	3,8	7,6	11,4	15,2	19,0	22,8	26,6	30,4	34,2	38,0
25	4,9	9,8	14,7	19,6	24,6	29,5	34,4	39,3	44,2	49,1
28	6,2	12,3	18,5	24,7	30,8	36,9	43,1	49,3	55,4	61,6

3 Largeur minimale de nappe pour un espacement des cadres de 2 cm

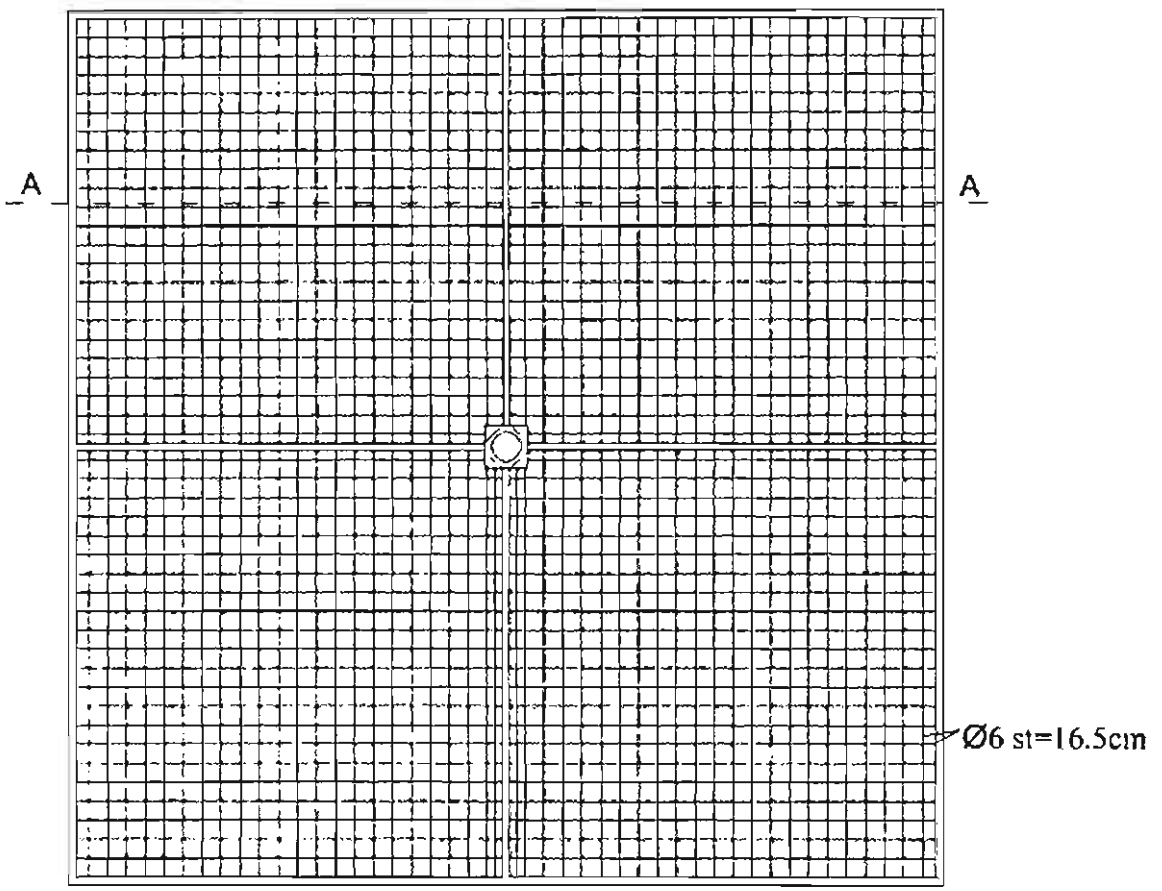
largeur de nappe b_0 en cm	diamètre ϕ_s (mm)								
	10	12	14	16	18	20	22	25	28
10	2	2	1	1	1	1	1	1	1
15	3	3	3	3	2	2	2	2	2
20	5	5	(5)	4	4	4	3	3	3
25	7	6	6	(5)	5	5	(5)	4	(4)
30	(9)	8	7	7	(7)	6	6)	5	4
35	10	(10)	9	8	8	(8)	7	6	5
40	12	11	10	10	9	9	8	7	6
45	(14)	(13)	12	11	(11)	10	9	8	7
50	15	14	13	(13)	12	11	10	9	8
60	(19)	17	16	15	14	1	12	11	10
diamètre maximal des cadres, ϕ_{sc} :	ϕ_{sc} 8 mm						ϕ_{sc} 10 mm		

4 Sections des barres (en cm²/m) en fonction de l'écartement, pour 1 m de largeur de dalle

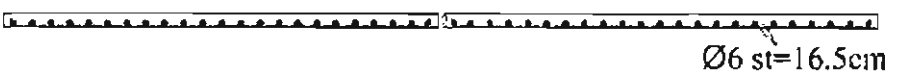
écartement s (cm)	diamètre (mm)											nombre de barres par m
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	
6,0	4,71	8,38	13,09	18,85	25,66	33,52	42,41	52,36	63,36	81,83	102,67	16,7
6,5	4,35	7,73	12,08	17,40	23,68	30,95	39,15	48,33	58,48	75,54	94,77	15,4
7,0	4,04	7,18	11,22	16,16	21,99	28,73	36,36	44,87	54,30	70,14	88,00	14,3
7,5	3,77	6,70	10,47	15,08	20,52	26,81	33,93	41,88	50,81	65,47	82,13	13,4
8,0	3,53	6,28	9,82	14,14	19,24	25,14	31,81	39,26	47,51	61,38	77,00	12,5
8,5	3,33	5,91	9,24	13,31	18,11	23,66	29,94	36,95	44,72	57,76	72,47	11,8
9,0	3,14	5,59	8,73	12,57	17,10	22,34	28,28	34,90	42,23	54,56	68,44	11,1
9,5	2,98	5,29	8,27	11,90	16,20	21,17	26,79	33,06	40,01	51,68	64,84	10,5
10,0	2,83	5,00	7,85	11,31	15,39	20,11	25,45	31,41	38,01	49,10	61,60	10,0
10,5	2,69	4,79	7,48	10,77	14,66	19,15	24,24	29,91	36,20	46,76	58,67	9,5
11,0	2,57	4,57	7,14	10,29	13,99	18,28	23,14	28,55	34,55	44,64	56,00	9,1
11,5	2,46	4,37	6,83	9,84	13,39	17,49	22,13	27,31	33,05	42,70	53,57	8,7
12,0	2,36	4,19	6,54	9,42	12,83	16,76	21,21	26,17	31,67	40,92	51,33	8,3
12,5	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,09	20,36	25,13	30,41	39,28	49,28	8,0
13,0	2,17	3,87	6,04	8,70	11,84	15,47	19,58	24,16	29,24	37,77	47,38	7,7
13,5	2,09	3,72	5,82	8,38	11,40	14,90	18,85	23,27	28,16	36,37	45,61	7,4
14,0	2,02	3,59	5,61	8,08	11,00	14,36	18,18	22,44	27,15	35,07	44,00	7,1
14,5	1,95	3,47	5,42	7,80	10,62	13,87	17,55	21,66	26,21	33,86	42,48	6,9
15,0	1,89	3,35	5,24	7,54	10,26	13,41	16,97	20,94	25,34	32,73	41,07	6,7
15,5	1,82	3,24	5,07	7,30	9,93	12,97	16,42	20,27	24,52	31,68	39,74	6,5
16,0	1,77	3,14	4,91	7,07	9,62	12,57	15,90	19,64	23,76	30,69	38,50	6,3
16,5	1,71	3,05	4,76	6,85	9,33	12,19	15,42	19,04	23,04	29,76	37,33	6,1
17,0	1,66	2,96	4,62	6,65	9,05	11,83	14,97	18,48	22,36	28,88	36,24	5,9
17,5	1,62	2,87	4,49	6,46	8,79	11,49	14,54	17,95	21,72	28,06	35,20	5,7
18,0	1,57	2,79	4,36	6,28	8,55	11,17	14,14	17,46	21,12	27,28	34,22	5,6
18,5	1,53	2,72	4,25	6,11	8,32	10,87	13,76	16,94	20,55	26,54	33,30	5,4
19,0	1,49	2,65	4,13	5,95	8,10	10,58	13,39	16,54	20,01	25,84	32,42	5,3
19,5	1,45	2,58	4,03	5,80	7,89	10,31	13,05	16,11	19,49	25,18	31,59	5,1
20,0	1,41	2,51	3,93	5,65	7,69	10,05	12,72	15,71	19,01	24,55	30,80	5,0

ANNEXE 6: FERRAILLAGE DE LA PLATE FORME

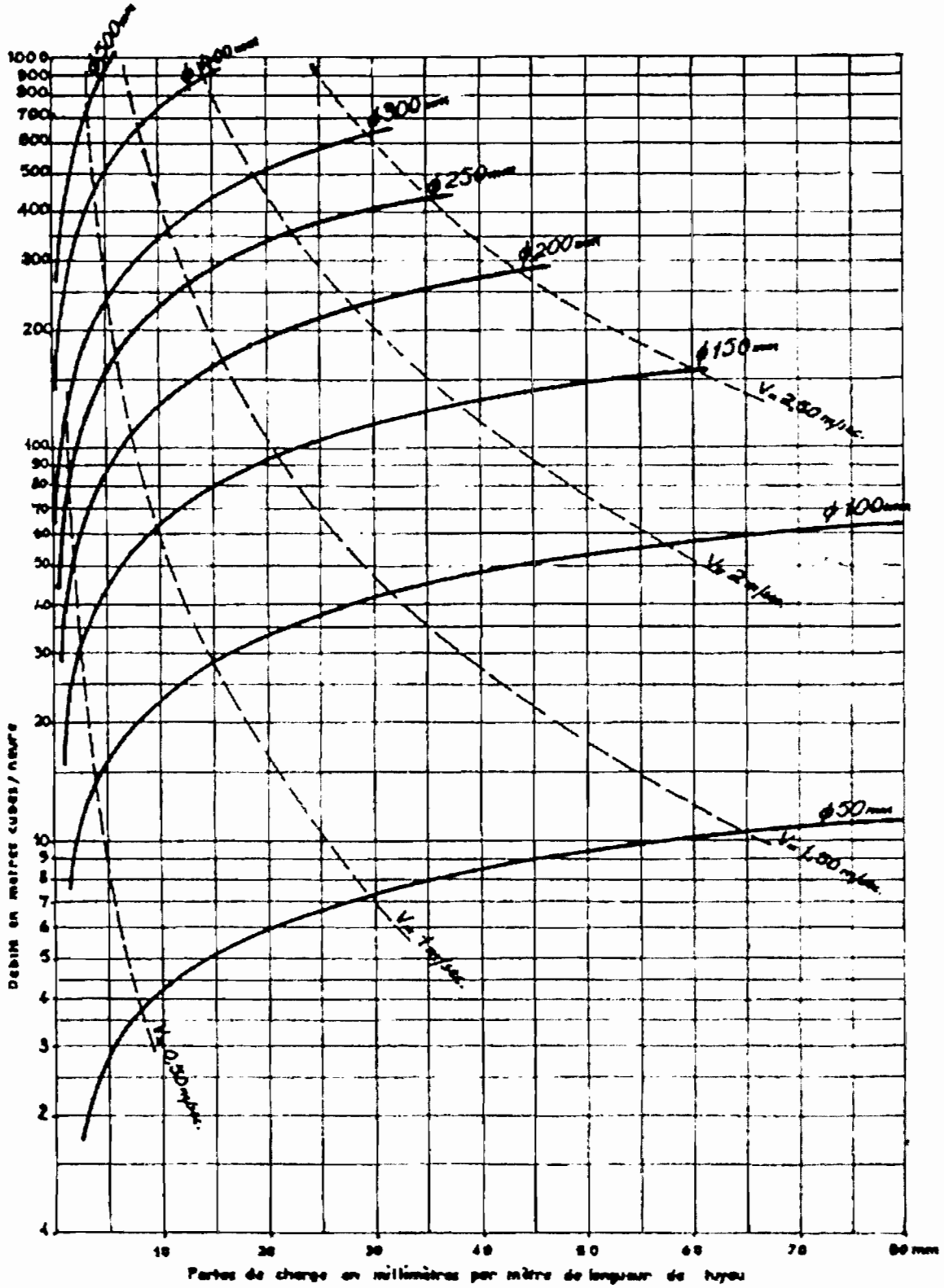
Vue de dessus



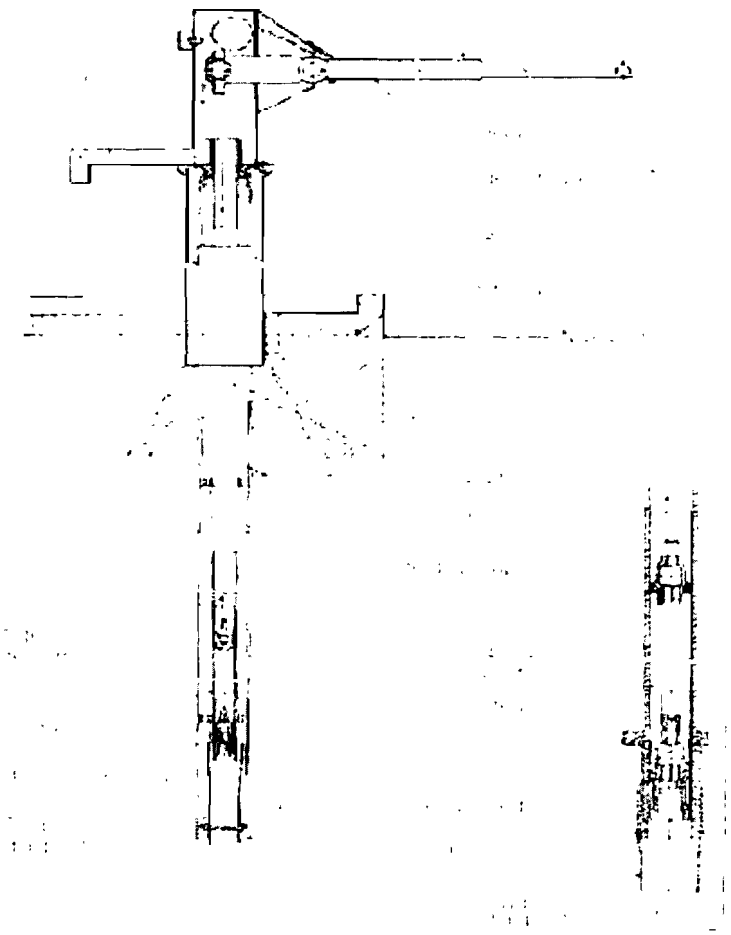
Coupe A-A



ANNEXE 7: CALCUL DES PERTES DE CHARGE

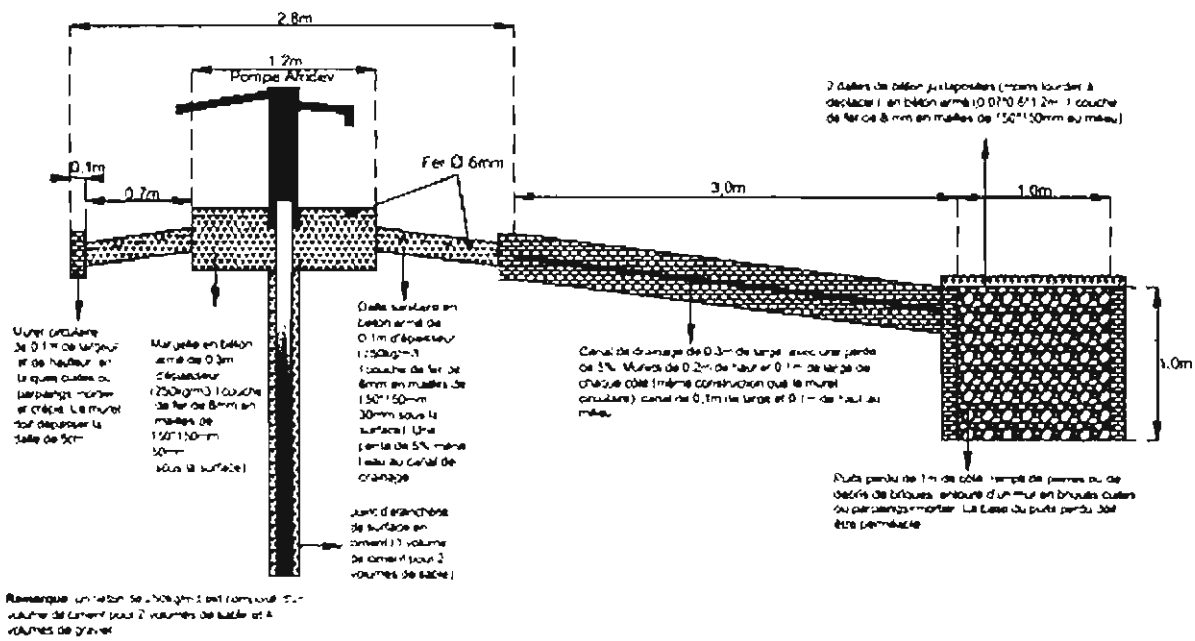


ANNEXE 8: COUPE TRANSVERSALE DE LA POMPE Afridev



ANNEXE 9 : VUE DE COTE ET DE DESSUS DU FORAGE ; DE LA PLATE-FORME ; DU PUITS PERDU ET DE LA POMPE Afridev

VUE DE COTE



VUE DE DESSUS

