

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION
ET DU DÉVELOPPEMENT

LA CONSTRUCTION DES PUIITS EN AFRIQUE TROPICALE

BURGÉAP

Étude et mise en valeur des eaux souterraines

83
Simon

LA CONSTRUCTION DES PUITES EN AFRIQUE TROPICALE

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

—
MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION
ET DU DÉVELOPPEMENT

LA CONSTRUCTION DES PUIITS EN AFRIQUE TROPICALE

« Techniques rurales en Afrique »

BURGÉAP

Etude et mise en valeur des eaux souterraines

1980

ISBN 2-11-084 466-3 (2^e éd. mise à jour)

La première édition du présent ouvrage a été publiée en 1974 sous le titre :

« La construction des puits en Afrique tropicale
et l'investissement humain. »

2^e édition

Tous droits d'adaptation, de traduction et de reproduction par tous procédés, y compris le microfilm et la photocopie réservés pour tous pays.

© Editions du Ministère de la Coopération et du Développement, 1981

SOMMAIRE

	Pages
Avant-propos.....	15
Avant-propos de la première édition.....	17

CHAPITRE I

DONNÉES POUR SERVIR A LA RÉALISATION DES PUIITS

1.1 Aperçu général sur les nappes souterraines	21
1.1.1 Qu'est-ce qu'un aquifère ?	21
1.1.2 Alimentation des nappes	21
1.1.3 Principales séries géologiques de l'Afrique de l'Ouest	23
1.1.4 Principaux aquifères d'Afrique de l'Ouest	24
1.1.5 Nappes libres des bassins sédimentaires	25
1.1.6 Ressources en eau des formations d'altération et fissures des terrains anciens	26
1.1.6.1 Formations d'altération	26
1.1.6.2 La recherche des fractures	30
1.2 Caractéristiques à donner aux ouvrages suivant les aquifères	30
1.2.1 Puits ou forages ?	31
1.2.2 Profondeur des puits et hauteur de captage.....	31
1.2.2.1 Perméabilité des formations et débit des ouvrages	31
1.2.2.2 Fluctuations du niveau des nappes	33
1.2.2.3 Evolution d'un puits en exploitation dans les formations d'altération du socle.....	34
1.2.3 Essais de débit, et débit réellement exploitable.....	37
1.2.3.1 Cas des formations régulièrement perméables	37

1.2.3.2	Cas des formations de perméabilité médiocre et irrégulière	38
1.3	Etudes préliminaires, réalisation et suivi des programmes.....	39
1.3.1	Eléments concernant l'établissement des programmes.....	39
1.3.1.1	Besoins et choix des villages	39
1.3.1.2	Document de projet	40
1.3.2	Choix des implantations.....	40
1.3.2.1	Investigations nécessaires dans les bassins sédimentaires. Inventaire des points d'eau	41
1.3.2.2	Investigations dans les régions de terrains anciens. Fiches de village.....	41
1.3.2.3	Choix des implantations et facteurs humains.....	43
1.3.3	Contrôle et réception des travaux.....	46
1.3.3.1	Importance du contrôle	46
1.3.3.2	Critères de réception	47
1.3.3.3	Documents de chantier et fiche d'ouvrage	47
1.3.4	Le bureau de l'eau et les dossiers d'ouvrages.....	49

CHAPITRE 2

LES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DES PUITES A MAIN

2.1	Puits traditionnels et puits modernes.....	51
2.1.1	Les puits traditionnels	51
2.1.1.1	Puisards temporaires	51
2.1.1.2	Puits pérennes	52
2.1.2	Les puits modernes	54
2.1.2.1	Les trois éléments du puits.....	54
2.1.2.2	Choix des procédés de construction.....	56
2.2	Le fonçage en terrain sec	59
2.2.1	Caractéristiques de la fouille	59
2.2.2	L'avant-trou	60

2.2.3	Fonçage en terrain tendre	61
2.2.4	Fonçage en terrain dur	62
2.2.5	Fonçage en terrain très dur	62
2.2.5.1	La perforation des trous de mine	63
2.2.5.2	Le minage	63
2.2.6	Fonçage en terrain instable	67
2.2.7	Evacuation des déblais	67
2.2.8	Stockage des déblais en surface	68
2.3	Le cuvelage	69
2.3.1	Les matériaux	69
2.3.1.1	Les sables	69
2.3.1.2	Les graviers	69
2.3.1.3	Le ciment	70
2.3.1.4	Les fers	70
2.3.2	Préparation des mortiers et des bétons	70
2.3.2.1	Les mortiers	70
2.3.2.2	Les bétons	71
2.3.3	Les diamètres	71
2.3.3.1	Puits de 1,80 m.....	72
2.3.3.2	Puits de 1,40 m.....	72
2.3.4	Les techniques de cuvelage	72
2.3.4.1	Cuvelage en béton armé avec ancrage... ..	72
2.3.4.1.1	Caractéristiques techniques .	72
2.3.4.1.2	Les armatures métalliques..	73
2.3.4.1.3	Réalisation du cuvelage au cours de la descente	76
2.3.4.1.4	Réalisation du cuvelage en remontant	77
2.3.4.2	Cuvelage continu descendu par havage .	80
2.3.4.3	Cuvelages métalliques	81
2.3.4.3.1	Cuvelage métallique ARMCO.....	82
2.3.4.3.2	Cuvelage métallique VAL-LOUREC	85
2.3.4.4	Autres types de cuvelage	87
2.3.4.5	Méthode FRIRY	87
2.4	Le captage	88
2.4.1	Fonctions et contraintes	88

2.4.2	Description d'un captage classique en béton	89
2.4.2.1	La colonne de captage	89
2.4.2.1.1	Caractéristiques des buses..	89
2.4.2.1.2	Fixation	90
2.4.2.1.3	Construction de la colonne..	90
2.4.2.1.4	Les barbacanes	90
2.4.2.2	La trousse coupante	93
2.4.2.3	La dalle de fond	96
2.4.2.4	Le massif filtrant	96
2.4.2.5	Les crépines métalliques	96
2.4.3	Procédés de mise en place du captage	97
2.4.3.1	Havage à niveau d'eau constant	97
2.4.3.2	Havage avec exhaure	98
2.4.3.3	Captage sans soutènement immédiat....	99
2.4.3.4	Captage sans soutènement définitif	99
2.4.3.5	Cuvelage captant, avec ou sans captage autonome	99
2.4.3.6	Développement du captage	101
2.4.4	Captage par forage : Les puits-forages	102
2.5	Les équipements de surface.....	102
2.5.1	Margelle	104
2.5.2	Trottoir	104
2.5.3	Aire assainie	104
2.5.4	Abreuvoirs	104
2.5.5	Procédés de puisage	108
2.6	Les matériels.....	110
2.6.1	Petit matériel de chantier.....	110
2.6.2	Matériel spécialisé	111
2.6.2.1	Moules	111
2.6.2.2	Cuffats	117
2.6.2.3	Chèvres ou portiques	117
2.6.2.4	Treuil à main	117
2.6.2.5	Câbles métalliques	120
2.6.2.6	Palans	120
2.6.2.7	Tamis	120
2.6.2.8	Citernes et fûts	120
2.6.3	Matériel mécanisé	120
2.6.3.1	Grues-derricks	121
2.6.3.2	Bennes-preneuses	121

2.6.3.3	Compresseurs	121
2.6.3.4	Pompes à air comprimé	121
2.6.3.5	Marteaux-piqueurs et marteaux-perforateurs	124
2.6.3.6	Explosifs	124
2.6.3.7	Détonateurs	124
2.6.3.8	Véhicules	125
2.6.4	Dotation en matériel.....	125
2.6.4.1	Dotation par équipe	125
2.6.4.2	Dotation par brigade.....	126
2.6.5	Entretien du matériel	127
2.6.6	Coût du matériel	127
2.7	L'entretien et la réparation des puits	129
2.7.1	Remise en état du captage.....	129
2.7.1.1	L'ensablement	129
2.7.1.2	Le colmatage	129
2.7.2	Remise en état du cuvelage	130
2.7.3	Entretien des équipements de surface	132
2.7.4	Approfondissement des puits	132

CHAPITRE 3

ORGANISATION DES CHANTIERS DE PUIITS A MAIN ET PARTICIPATION VILLAGEOISE

3.1	Organisation et fonctionnement des chantiers	133
3.1.1	Conditions générales	133
3.1.2	Qualification et tâches du personnel technique ...	134
3.1.2.1	Le chef de brigade	134
3.1.2.2	Le puisatier.....	135
3.1.2.3	L'équipe de mise en eau	135
3.1.3	Déroulement des chantiers	135
3.1.3.1	Opérations préliminaires	135
3.1.3.2	Déroulement des travaux	136
3.1.3.3	Coordination des chantiers	137
3.1.3.4	Comptes rendus de chantier	137

3.2	Participation des collectivités aux chantiers de puits..	141
3.2.1	Facteurs et contraintes de la participation villageoise	141
3.2.1.1	Urgence des besoins	141
3.2.1.2	Disponibilité de la population.....	141
3.2.1.3	Importance de la sensibilisation des collectivités.....	143
3.2.2	Organisation de la participation aux travaux	144
3.2.2.1	Prestations et tâches confiées au village..	144
3.2.2.2	Conditions pratiques de mise en œuvre..	145
3.2.2.3	Tâches respectives des villageois et de la main-d'œuvre spécialisée dans la construction des puits	146
3.2.3	Entretien des puits et participation villageoise.....	147
3.2.3.1	Tâches d'entretien courant	147
3.2.3.2	Les grosses réparations : le service d'entretien.....	148

CHAPITRE 4

LES PUIITS FORÉS

4.1	Puits forés à la tarière (bucket).....	151
4.1.1	Caractéristiques générales	151
4.1.2	Description d'un atelier CALWELD 250 B	152
4.1.3	Equipement du puits	155
4.1.4	Mode d'exécution	155
4.1.4.1	Sondages de reconnaissance	155
4.1.4.2	Puits d'exploitation	155
4.1.4.3	Observations diverses.....	158
4.2	Puits foré à la benne-trépan	159
4.2.1	Données générales	159
4.2.2	Description d'un atelier SECMI-TEKNIFOR TP 1...	162
4.2.3	Equipement d'un puits à captage havé	163
4.2.4	Mode d'exécution	163
4.2.4.1	Terrain tendre consolidé	163
4.2.4.2	Terrain comportant des passées instables	163
4.2.4.3	Temps d'exécution	163
4.2.4.4	Observations	165

CHAPITRE 5

DONNÉES CONCERNANT LES PRIX DE REVIENT

5.1	Eléments des prix de revient.....	167
5.1.1	Personnel	168
5.1.2	Matériaux	168
5.1.3	Frais de fonctionnement	168
5.1.4	Amortissement du matériel	168
5.2	Prix de revient et répartition des coûts dans divers pays.....	169
5.2.1	Niger	169
5.2.2	Mauritanie	169
5.2.3	Tchad.....	170
5.2.4	Guinée	170
5.2.5	Haute-Volta	171
5.3	Budget d'une brigade de puits	172
5.3.1	Hypothèses	172
5.3.2	Dotation en matériel.....	172
5.3.3	Personnel et coût annuel	173
5.3.4	Coût du matériel	173
5.3.5	Investissements, renouvellement et entretien	174
5.3.6	Carburants et lubrifiants	175
5.3.7	Matériaux	175
5.3.8	Divers consommables	176
5.3.9	Budget des quatre campagnes	176

LISTE DES TABLEAUX

1. Tableau comparatif des principaux types d'ouvrages.....	28
2. Choix des procédés de construction des puits en fonction de la nature des terrains.....	58
3. Types de détériorations et de réparations propres aux puits..	131
4. Possibilités et limites de la participation des villageois.....	146

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1A.	Détermination du débit d'un puits par la méthode de Porchet	181
Annexe 1B.	Evaluation de la production des puits à faible débit à partir d'essais de pompage.....	181
Annexe 2.	Matériaux mis en jeu dans la construction d'un puits en béton armé	188
Annexe 3.	Matériaux pour la construction d'un puits de 30 m de cuvelage et de 4 m de captage.....	190
Annexe 4.	Modèle de bordereau de prix pour consultation d'entreprise (puits à main)	191
Annexe 5.	Consignes de sécurité du personnel employé dans les travaux de construction de puits	192
Annexe 6.	Bibliographie succincte	198

LISTE DES FIGURES

N°

1. Coupe schématique d'un bassin sédimentaire.
2. Schéma d'une « fosse d'altération » sur substratum granitique.
3. Exploitation d'une nappe par un puits.
4. Evolution piézométrique et profondeur de la nappe sous le sol en quatre points du bassin de Korhogo.
5. Schématisation des fluctuations de niveau d'un puits dans un aquifère peu perméable soumis à des fluctuations naturelles.
6. Type de fiche de point d'eau.
7. Type de fiche de village (recto).
8. Type de fiche de village (verso).
9. Type de fiche de puits neuf.
10. Type de fiche de visite de puits.
11. Evolution d'un puisard en terrain sablo-argileux au fur et à mesure de la baisse du niveau de puisage.
12. Puits traditionnel.
13. Puits en béton armé à captage autonome.
14. Repérage de l'axe de la fouille.
15. Schéma de fonçage.
16. Schéma de tir pour le fonçage des puits.
17. Cartouche-amorce.
18. Différents types d'amorçage.
19. Raccordement des armatures verticales.
20. Ferrailage d'un ancrage de surface.
21. Ferrailage d'un ancrage intermédiaire.
22. Schéma d'exécution du cuvelage en descendant.
23. Schéma d'exécution du cuvelage en remontant.
24. Trousse coupante pour cuvelage havé.
25. Cuvelage métallique ARMCO.
26. Elément spécial de fixation ARMCO.
27. Ancrage de surface pour cuvelage métallique.

28. Cuvelage métallique VALLOUREC.
29. Buse en béton armé raccordée par des encoches.
30. Buse en béton armé à encoche raccordée par des étriers.
31. Trousse coupante pour captage.
32. Dalle de fond.
33. Buse métallique filtrante.
34. Schémas de puits à cuvelage captant, havé.
35. Différents types de puits-forage.
36. Margelle basse.
37. Margelle haute.
38. Superstructure de puits en zone sédentaire.
39. Moule à cuvelage \varnothing 1,80 m.
40. Moule à buse \varnothing 1,40 m.
41. Moule à margelle.
42. Moule à trousse coupante pour buse \varnothing 1,40 m.
43. Chèvre équipée d'un treuil à main.
44. Treuil à main.
45. Grue derrick à moteur.
46. Benne type BENOTO.
47. Type de formulaire pour rapport mensuel de travaux.
48. Type de fiche de réparation de puits.
49. Machine CALWELD 250 B.
50. Bucket \varnothing 1 200.
51. Phases de construction d'un puits foré à la tarière en 2 diamètres.
52. Atelier GALINET-TEKNIFOR MB 750-SECMI TP 1.
53. Forage d'un puits à la benne-trépan.
54. Courbe de Porchet.
55. Abaque pour la détermination du débit d'essai.
56. Type de fiche d'essai de débit.

Planches hors-textes.

- A) Puits en béton armé \varnothing 1,40 m, à captage autonome.
- B) Puits en béton armé \varnothing 1,80 m, à captage autonome.

AVANT-PROPOS

Depuis la première édition du présent ouvrage (1974), le forage de petit diamètre est devenu, et de loin, le premier type d'ouvrage réalisé pour l'alimentation en eau des villages d'Afrique tropicale.

Non seulement sa supériorité sur le puits est incontestable du point de vue de l'hygiène comme pour le captage des nappes, mais il est de plus le seul ouvrage susceptible de répondre, par sa rapidité de mise en œuvre (quelques jours, contre 2 à 3 mois pour un puits) à l'urgence et à l'ampleur des besoins, tels qu'ils sont actuellement définis.

En outre, l'accroissement de productivité des ateliers et l'abaissement relatif du coût de forage en Afrique sont tels, depuis 10 ans que, du point de vue de l'investissement, le puits ne le concurrence plus, aujourd'hui, que difficilement.

Ceci étant dit, le puits de grand diamètre conserve, contre toute apparence, une grande actualité, et sa construction demeurera sans doute encore longtemps la solution la plus raisonnable, et en définitive la mieux adaptée à de nombreux cas. Nous en citerons trois raisons :

a) C'est le seul type d'ouvrage qui permet de puiser l'eau par des moyens traditionnels et, là où l'usage des pompes n'est pas encore entré dans les mœurs, et leur entretien devenu une opération de routine, le puits de grand diamètre est, *en fait*, le seul moyen sûr d'alimenter en eau les populations rurales.

b) Si le coût du puits tend à devenir plus lourd que celui du forage, ses charges d'exploitation sont bien inférieures. Or, dans la situation actuelle, il est plus que justifié, pour beaucoup d'états africains, d'accroître l'investissement, qui peut être aisément couvert par les financements extérieurs, si cela permet de réduire les charges récurrentes et d'assurer le fonctionnement. Il faut constater en tout cas que, tant que les collectivités villageoises n'auront pas directement pris en charge la responsabilité et le coût de fonctionnement des pompes qu'on installe pour elles, ces états se trouveront, compte tenu de l'importance des réalisations prévues, dans l'impossibilité matérielle de faire face à la maintenance des forages.

c) Alors que l'exploitation du forage villageois est limitée au débit de sa pompe à main (500 l/h à 1 m³/h en pratique), le puits, qui reconstitue naturellement sa réserve la nuit, pendant l'arrêt de l'exploitation, se prête à un puisage collectif, intensif et discontinu, qui s'adapte beaucoup

mieux aux rythmes coutumiers du village, et constitue le seul mode possible pour *l'abreuvement des troupeaux*.

Le forage ne peut donc être une solution de rechange au *puits pastoral* que si on l'équipe d'une motopompe ou d'une pompe solaire, ce qui entraîne un coût d'exploitation d'un autre ordre de grandeur et des sujétions généralement prohibitives. On comprend qu'à l'inverse il soit souvent préférable d'équiper un forage profond en nappe captive d'un contre-puits d'exploitation (puits-forage), plutôt que d'une motopompe.

Les avantages considérables d'exploitation qu'offrent les puits de grand diamètre, et les contraintes liées à leur construction « à la main » (délais et organisation des chantiers) expliquent l'intérêt qui se manifeste de plus en plus en faveur de matériels capables de les réaliser mécaniquement. C'est pourquoi l'étude de deux types d'ateliers de puits forés a été ajoutée au texte primitif.

On notera enfin que « l'investissement humain » n'apparaît plus dans le titre de cette nouvelle édition. Si la formule a vieilli, il ne faut pas craindre d'affirmer que la participation des villages aux aménagements dont ils bénéficient est plus que jamais d'actualité : au moment où la réalisation des équipements hydrauliques villageois tend à se démultiplier et à s'industrialiser, et où, par conséquent, les intéressés en perdent de plus en plus l'initiative, tout doit être fait pour que les collectivités soient associées à la décision d'entreprendre le point d'eau, qu'elles prennent en charge sa gestion, qu'elles l'intègrent à leur vie, en un mot qu'elles en fassent LEUR affaire ; et cela va bien au-delà des techniques de construction des ouvrages...

J. LEMOINE

AVANT-PROPOS DE LA 1^{re} ÉDITION

La participation de la population des villages aux tâches de développement a fait naître de grands espoirs dans les années qui ont suivi la création de certains États d'Afrique.

Cet « investissement humain » — suivant un terme qu'il nous faut bien employer, puisqu'il est consacré par l'usage — a pour principal but de pallier l'insuffisance des investissements financiers, mais il contribue également à un objectif non moins important : la formation des populations rurales à des techniques nouvelles dont la mise en œuvre doit leur profiter directement.

Si l'on peut admettre, lorsqu'on considère comme primordial le second de ces objectifs, que le prix de revient ne soit pas moindre, avec « l'investissement humain », qu'en employant des procédés plus rationalisés, il reste indispensable, sous peine de voir les intéressés s'en détourner, que la qualité des réalisations soit équivalente, et qu'elles rendent le même service dans les deux cas. Or, afin d'adapter les opérations à l'emploi d'une main-d'œuvre non spécialisée, on est fréquemment tenté de simplifier les techniques et cela peut compromettre les résultats.

Née en Haute-Volta en 1963, l'expérience dite des « puits en investissement humain » reposait sur l'idée qu'il était possible de créer dans les villages un type d'ouvrage intermédiaire entre le puits traditionnel, simple trou d'accès à la nappe, sans cesse menacé d'éboulement, et le puits en béton armé comportant une colonne de captage autonome, qui avait été progressivement mis au point par les Services de l'Hydraulique, mais dont un très petit nombre avait été construit dans ce pays.

Le « puits en investissement humain », ouvrage simplifié, sans colonne de captage, était à l'origine entièrement construit par la population, qui bénéficiait d'un encadrement et d'une « animation » dispensés par une société d'aide au développement, mais non du support d'un service technique spécialisé.

Or, après avoir construit un grand nombre de ces ouvrages, on s'aperçut petit à petit que ce type de puits n'était pas adapté à pénétrer profondément dans l'aquifère, alors que les formations exploitées réclamaient une grande hauteur de captage. En bref, un grand nombre des puits n'étaient pas permanents.

C'est pourquoi le gouvernement voltaïque revint progressivement

au type d'ouvrage antérieurement éprouvé, avec captage autonome, tout en confiant la construction des puits à un service technique spécialisé. Dès lors « l'investissement humain » se trouvait intégré dans un ensemble coordonné, et limité à la partie la moins spécialisée des opérations de chantier.

A la même époque, le Niger faisait lui aussi appel à la population des villages pour réaliser certains puits, mais d'emblée il se plaçait dans des conditions propres à assurer le succès de l'entreprise :

- on choisissait le type d'ouvrage éprouvé et bien adapté, dont il est question ci-dessus ;
- la construction était confiée à un organisme national créé pour l'entretien des puits ;
- la participation des villageois était réservée à certains travaux bien délimités.

Il y a donc aujourd'hui convergence sur l'essentiel entre la Haute-Volta et le Niger, qui sont, à notre connaissance les deux seuls états d'Afrique de l'Ouest à réaliser d'importants travaux de puits en régie avec « investissement humain ». Ce n'est pas par hasard, et ces deux expériences et leur issue commune permettent de dégager des enseignements de la plus haute importance pour la construction des puits en Afrique tropicale.

En premier lieu, nous estimons qu'il faut proscrire le concept de « puits en investissement humain ». Cette locution est en effet nuisible car elle sous-entend qu'il s'agit d'une catégorie d'ouvrages d'une nature particulière, alors qu'il ne peut être question — l'expérience l'a bien montré — que de puits comme les autres.

Dans la grande majorité des cas (sables, altérites) la technique des puits est en effet beaucoup trop délicate et tributaire des conditions de terrain pour que l'on puisse se permettre de l'adapter aux possibilités d'intervention d'une main-d'œuvre non spécialisée ; c'est au contraire l'intervention des villageois qui doit être dosée en fonction de ce qu'autorisent le terrain et les procédés de construction.

C'est pourquoi le *présent ouvrage est d'abord et essentiellement un manuel de construction des puits* — destiné à ceux qui lancent les programmes, organisent les chantiers et les font fonctionner — sur lequel se greffe une étude de la part plus ou moins grande que peut prendre « l'investissement humain » sur les chantiers, suivant les conditions de terrain.

Nous avons par ailleurs tenu à faire passer dans la première partie notre expérience d'hydrogéologue, concernant les problèmes que pose l'implantation des ouvrages et ceux, difficiles et trop peu connus, relatifs à la fluctuation des niveaux, à la hauteur de captage et à la mesure du débit des puits dans les régions à substratum cristallin, qui occupent de très vastes domaines en Afrique de l'Ouest ; car il

ne suffit pas de construire des ouvrages solides et durables suivant un plan correct ; il faut encore que ces ouvrages soient en mesure de fournir *en toutes saisons* un débit suffisant et, pour commencer, qu'ils soient bien testés avant leur mise en service, ce qui est hélas très rarement le cas.

En second lieu, le fait que les expériences voltaïques et nigériennes aboutissent à la consécration du même type de puits dans les formations sédimentaires et dans les zones cristallines (le puits en béton à colonne de captage autonome décrit dans le présent ouvrage) incite à réfléchir sur toutes les tentatives faites pour introduire des types d'ouvrages différents et généralement plus simples.

Il est normal que l'insuffisance criante en points d'eau abondants, salubres et en bon état dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest provoque chez les non-techniciens ou les responsables nouvellement confrontés au problème de l'équipement la tentation permanente de réduire les coûts des puits, de simplifier les techniques de réalisation et de faire exécuter les ouvrages par la population. Ce souci, qui se manifestait bien avant l'indépendance des Etats, est aujourd'hui particulièrement marqué chez les représentants des organismes d'aide au développement, qui sont en contact direct avec les villageois.

Il est de fait que dans la plupart des Etats d'Afrique de l'Ouest, ce sont des milliers, voire des dizaines de milliers de points d'eau (il y a couramment 5 à 10 000 villages par Etat) qu'il faudrait construire pour régler définitivement le problème de la desserte en eau des populations rurales. Dans les zones d'habitat dispersé (plateau mossi en Haute-Volta, par exemple) il faudrait, pour y parvenir, remplacer les très nombreux puits traditionnels de quartiers ou de familles, en général non permanents, par des ouvrages durables, dont il est inutile que le débit soit important pourvu qu'ils ne tarissent pas. D'où l'idée, depuis toujours, de cimenter les puits traditionnels ou de construire à leur place des ouvrages rudimentaires et peu coûteux.

Or, face à ces besoins, il est incontestable que le puits en béton armé à captage autonome coûte cher (30 à 60 000 F CFA le mètre linéaire) et qu'il est long à construire (plusieurs mois). C'est la raison pour laquelle il faut poursuivre et amplifier les recherches susceptibles de conduire à la mise au point de nouvelles techniques de construction de puits ou à l'amélioration des procédés courants.

Mais parallèlement, il est indispensable de développer et de promouvoir les procédés classiques — c'est le but du présent ouvrage — jusqu'au jour où des techniques nouvelles et moins onéreuses auront été suffisamment éprouvées pour pouvoir prendre le relais.

De même, bien que l'on sache aujourd'hui (doc. 11) (*) que dans

(*) Les numéros des documents indiqués dans le texte renvoient à la bibliographie (annexe 6).

certaines zones (substratum cristallin), la solution d'avenir pour l'équipement des villages est le forage, et non le puits, abandonner le second pour le premier restera un leurre tant que les problèmes posés par l'exhaure manuelle ne seront pas totalement maîtrisés.

S'il demande de lourds investissements — mais l'investissement est loin d'être le problème financier le plus délicat qui se pose aux états en voie de développement — le puits en béton armé à colonne de captage autonome a, en contrepartie, de très gros avantages, et notamment celui de n'entraîner que de faibles charges récurrentes. En effet :

- cet ouvrage dure normalement 30 à 50 ans ;
- son entretien est peu onéreux ;
- son exploitation (par puisage) ne coûte rien et n'est pas sujette aux pannes que subissent les dispositifs mécaniques.

En outre — et ceci nous paraît très important — contrairement aux procédés mécanisés, sa construction fait largement appel à la main-d'œuvre nationale, et la part des dépenses qui profite à l'économie locale est beaucoup plus grande.

C'est pourquoi nous sommes persuadés qu'au moins dans la Savane et le Sahel le puits constituera encore longtemps la base essentielle de l'équipement hydraulique des villages et des zones pastorales.

En dernier lieu, ce qui doit être particulièrement souligné dans les expériences voltaïque et surtout nigérienne, sur lesquelles nous nous appuyons, ce n'est pas tant la participation des populations à la construction des puits que l'existence d'organismes techniques nationaux (service administratif dans le premier cas, office public autonome dans le second), dont l'objet principal (au Niger au moins) est d'entretenir les puits et les forages, et qui construisent en régie tout ou partie des puits nouveaux.

Certes, nous n'ignorons pas le poids que représente pour certains états le fonctionnement de tels organismes, les difficultés de toutes sortes qu'ils rencontrent, et les risques d'hypertrophie ou de dépérissement qui les guettent.

Mais si leur existence n'est ni une panacée ni même une garantie de succès, nous pensons qu'elle est la condition nécessaire d'une politique cohérente d'équipement en points d'eau. C'est en tout cas le seul fondement sur lequel une participation des populations nous paraît pouvoir être greffée.

C'est à l'intention de ces organismes nationaux, et de ceux qui sont en voie de création ou de restructuration, que nous avons rédigé ce manuel, dont la substance est d'ailleurs tirée pour une bonne part de leur expérience.

J. L.

novembre 1973.

CHAPITRE 1

1. DONNÉES POUR SERVIR A LA RÉALISATION DES PUIITS

1.1 APERÇU GÉNÉRAL SUR LES NAPPES SOUTERRAINES

1.1.1 Qu'est-ce qu'un aquifère ? (fig. 1)

Un puits ne peut fournir de l'eau que s'il recoupe à une profondeur accessible un terrain à la fois saturé d'eau, ce qui suppose une certaine porosité, et assez perméable pour laisser cette eau filtrer à l'intérieur du puits. Certaines formations, comme le granite compact, sont totalement étanches. D'autres, comme l'argile, sont poreuses et contiennent beaucoup d'eau, mais cette eau, fixée au terrain même, dans des interstices minuscules, ne peut être extraite : l'argile est imperméable. Un sable grossier, étant par contre à la fois poreux et perméable, est susceptible de fournir des quantités d'eau importantes.

Un milieu naturel saturé d'eau constitue un aquifère, reposant sur un substratum imperméable (ou de moindre perméabilité). L'aquifère est également limité à sa partie supérieure par un « toit » imperméable (nappe captive), ou bien par une surface libre (nappe libre).

Tout aquifère est caractérisé par la pression qui règne en chacun de ses points. La forme de la surface piézométrique correspondante (la surface libre dans le cas des nappes libres) traduit diverses caractéristiques et notamment les directions des écoulements de la nappe.

Les roches fissurées, et particulièrement les calcaires, constituent un type de gisement particulier : il s'agit plus de réseau aquifère que de nappe au sens courant.

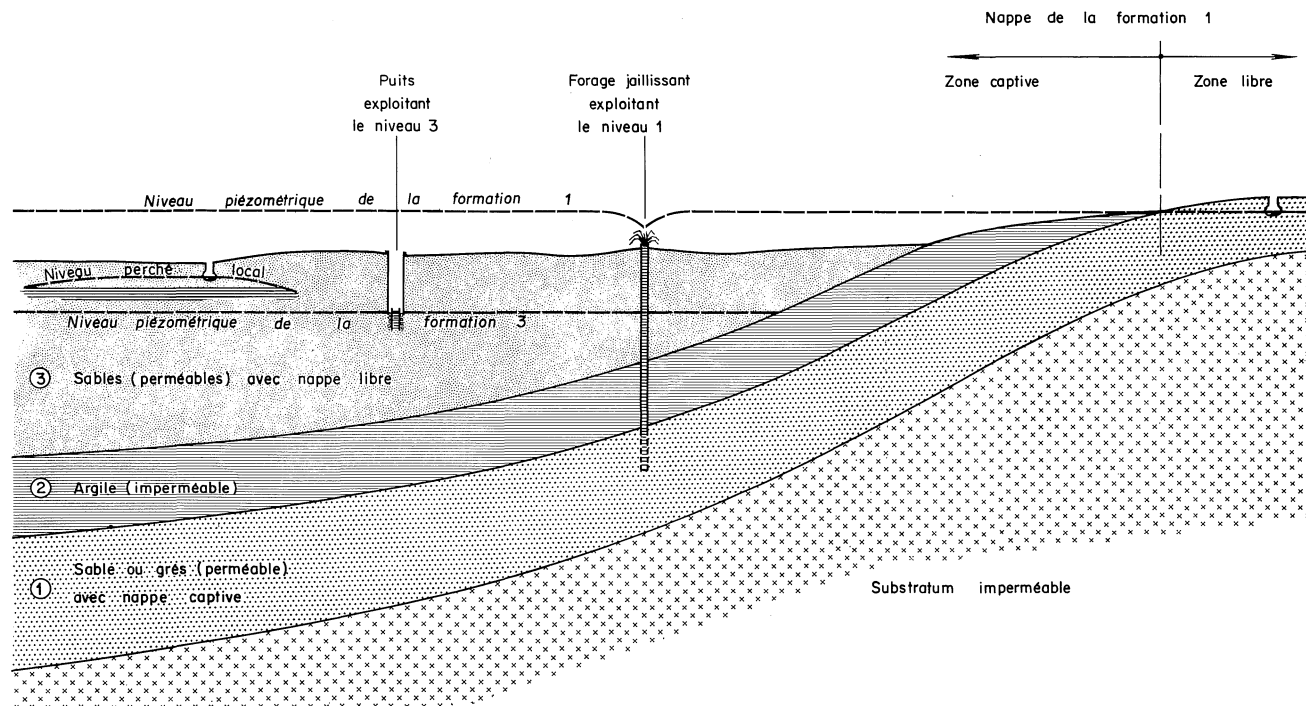
Ces quelques données de base montrent bien que les chances de succès d'un puits, ainsi que ses conditions de réalisation, dépendent étroitement des facteurs hydrogéologiques régionaux et locaux.

1.1.2 Alimentation des nappes

C'est la pluie, et elle seule, qui est à l'origine de l'alimentation des nappes souterraines, en climat aride comme en région équatoriale.

COUPE SCHÉMATIQUE D'UN BASSIN SÉDIMENTAIRE

Fig. 1



Etant toutefois bien précisé qu'en région aride et très aride, à très forte reprise évapotranspiratoire, l'infiltration directe des pluies est nulle ou insignifiante, seules jouant un rôle les nappes d'eau provenant du ruissellement.

Cependant, l'alimentation des nappes ne dépend pas uniquement du régime pluviométrique mais aussi de l'équilibre qui s'établit entre l'infiltration, le ruissellement et l'évaporation. Par conséquent le relief, la nature du sol, et l'importance du couvert végétal, pour ne parler que d'eux, jouent un rôle fondamental dans l'alimentation des nappes.

Ceci explique que des aquifères importants peuvent exister dans les formations sableuses des steppes sahéliennes, où il pleut moins de 300 mm par an, alors que l'alimentation en eau du sous-sol est extrêmement précaire dans des zones forestières où des précipitations annuelles approchent de 1 m.

En fait, dans une bonne partie du Sahel, l'infiltration se réalise essentiellement à partir des axes de ruissellement et des zones d'épandage des eaux de pluie.

Sauf cas exceptionnel (aquifères très localisés dans les zones de socle), les débits d'exploitation des puits villageois ou pastoraux, dispersés, sont négligeables par rapport à ceux mis en jeu par le régime naturel de la nappe.

Mais, s'il n'y a en général pas de danger d'assèchement de la ressource du fait de l'exploitation, on doit souligner que certains aquifères sont *en eux-mêmes* trop superficiels ou trop exigus pour être permanents, ou qu'ils subissent de façon très marquée l'effet de l'irrégularité des pluies.

L'alimentation des nappes est en effet, comme les précipitations, *saisonnière* et soumise à de *fortes variations interannuelles*. Il en résulte des fluctuations de niveau plus ou moins importantes et plus ou moins prévisibles. La prise en compte de ces fluctuations dans la hauteur de captage (notamment pour se prémunir des conséquences d'une série d'années sèches), qui est fondamentale, est trop souvent oubliée. Nous reviendrons sur cette question.

1.1.3 Principales séries géologiques de l'Afrique de l'Ouest (1)

L'Afrique de l'Ouest est constituée par un mêle de terrains anciens, nivelé par l'érosion, sur lequel se sont déposées une succession de formations plus récentes, toutes pratiquement horizontales. On distingue ainsi, de bas en haut, et pour ne s'en tenir qu'aux très grandes lignes :

— *Le socle cristallin* : granito-gneissique.

— *Des terrains précambriens*, qui représentent le début, extrêmement ancien (un milliard d'années), de la formation des sédiments sur la terre. Les roches correspondantes sont constituées surtout de schistes

(1) Pour plus de détails, on pourra se référer aux ouvrages 1, 8, 9 et 10.

et de grès, plus ou moins transformées par « métamorphisme » en micaschistes, en gneiss, en quartzites...

— *Des formations infracambriennes et primaires* : ce sont surtout des grès, généralement très cimentés (grès-quartzites), mais aussi des schistes, et parfois des calcaires : ils sont généralement tabulaires, et sont largement développés au Mali et en Mauritanie.

— *Des bassins sédimentaires secondaires et tertiaires*. Ils contiennent des sédiments, épais et très variés (sables, grès, marnes, calcaires), d'origine marine ou continentale. La plupart de ces bassins sont littoraux (Sénégal et Gambie, Côte d'Ivoire, Togo et Dahomey) mais un immense bassin s'étend au Sud du Sahara, de la Mauritanie au lac Tchad et à l'Est de celui-ci.

— *Des terrains récents*, tous d'origine continentale, et pouvant masquer complètement, dans certaines zones, les terrains précédents.

Parmi eux, on doit citer :

- *les formations d'altération* (arènes granitiques par exemple, provenant de la décomposition sur place de roches diverses, et dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres) ;

- *les cuirasses latéritiques* des régions tropicales. Formées d'oxydes de fer (ou d'alumine) concrétionnés, elles couronnent souvent, sur de très grandes surfaces, les formations d'altération ;

- *les alluvions* déposées par les cours d'eau ou dans certains bas-fonds (mares) ;

- *les sables dunaires* apportés par le vent, le long de certaines côtes et surtout en zone sahélienne ou désertique, où ils recouvrent d'immenses superficies.

1.1.4 Principaux aquifères d'Afrique de l'Ouest (doc. 1, 8, 9 et 10)

Une bonne partie des formations géologiques précédentes sont susceptibles de recéler de l'eau, mais certaines d'entre elles ne peuvent guère être exploitées par puits. On peut les ranger en deux catégories :

— *Les ressources en eau contenues dans les fissures des terrains anciens cristallins, métamorphiques, ou très consolidés*. En raison de leur dureté, ces terrains ne peuvent être utilement exploités que par forage. Des campagnes de sondages effectuées au Ghana et en Côte-d'Ivoire (doc. 11) ont montré que dans des formations telles que les schistes sains (non altérés) et fissurés du Birrimien (Précambrien) par exemple, des débits supérieurs à 10 m³/h pouvaient être obtenus par des ouvrages de 50 à 80 m de profondeur et que le granite non altéré était lui-même souvent fissuré en profondeur.

— *Les aquifères profonds des bassins sédimentaires récents* (fig. 1). L'épaisseur des formations accumulées dans ces bassins est souvent considérable, avec superposition de niveaux perméables et de couches étanches, qui maintiennent en charge les nappes sous-jacentes. Tant en raison de cette mise en pression que de leur profondeur, ces niveaux profonds ne peuvent être atteints que par forage. Seuls les aquifères à surface libre (ou nappes phréatiques) des bassins sédimentaires peuvent être exploités par puits. Ces nappes se trouvent d'ailleurs elles-mêmes parfois à une profondeur telle que la technique des puits atteint la limite de ses possibilités.

En résumé, les puits dont il est question dans le présent volume s'adressent pour l'essentiel à deux types d'aquifères :

- *les nappes libres des bassins sédimentaires* (sables et grès) et des formations de couverture ;
- *les aquifères discontinus des formations d'altération* des roches éruptives (granites et gneiss), métamorphiques (schistes essentiellement), ou consolidées (grès tabulaires).

1.1.5 Nappes libres des bassins sédimentaires post-primaires (doc. 8 et 9)

A la différence des formations d'altération du socle cristallin les conditions de gisement des eaux y sont en général simples, et assez constantes dans des secteurs étendus.

Sauf cas de dépôts irréguliers (alternance de sable et d'argile par exemple) ou présence d'une intercalation argileuse locale déterminant un niveau « perché » (fig. 1), la nature de la formation (qui conditionne le procédé de forage), la profondeur de la nappe, la perméabilité des terrains (et par conséquent le débit probable et la hauteur à capter), etc. peuvent être assez facilement prévues à l'avance à partir d'études régionales, par interpolation des données concernant les points connus les plus proches. Si l'on excepte les formations calcaires, où les implantations des points d'exploitation sont aléatoires, les risques d'échec sont donc très restreints dans les nappes libres des bassins sédimentaires.

La profondeur de l'eau est variable et en général beaucoup plus importante que dans les zones de socle cristallin. Certains puits atteignent et dépassent 100 m.

Les principales formations aquifères exploitées par puits dans les bassins sédimentaires de l'Afrique de l'Ouest, des plus récentes aux plus anciennes, sont les suivantes :

— Dépôts quaternaires anciens de deltas fluviaux, comme la cuvette tchadienne (alternance de sables et d'argiles) ou d'origine éolienne (presqu'île du Cap Vert, nombreuses nappes du Sahel).

— Continental Terminal (Ouest-Niger, Est-Mali, majeure partie du Sénégal, Sud-Mauritanien, bassins côtiers de la Côte-d'Ivoire, du Togo et du Dahomey). La nappe du Continental Terminal est généralement libre et circule dans des sables et des sables argileux.

— Continental Intercalaire. Très étendu, ce système aquifère, le plus souvent recouvert par des dépôts récents, n'est libre que dans les zones d'affleurement. Il est composé de sables, argiles et grès. La nappe du Continental Intercalaire existe au Niger, au Mali et en Mauritanie. On la retrouve au Nord dans le Sahara algérien, en Lybie et en Egypte.

1.1.6 Ressources en eau des formations d'altération et fissures des terrains anciens (doc. 4 et 11)

Le socle précambrien, imperméable lorsqu'il est sain, occupe en Afrique de l'Ouest des superficies considérables. Bien qu'il apparaisse souvent plus rationnel d'exploiter par forages les fissures plus ou moins profondes de la roche-mère, la couverture altérée est généralement exploitable par puits, le niveau de l'eau y étant habituellement à moins de 10 m de profondeur.

Les ressources en eau des formations d'altération présentent donc un très grand intérêt pour l'alimentation en eau des villages, bien que leur perméabilité, et par conséquent le débit des ouvrages, soient très faibles (moins de 1 m³/h en moyenne).

1.1.6.1 Formation d'altération (fig. 2)

En zone de savane au moins, le profil-type d'altération du granite, que l'on rencontre, plus ou moins complet, en dessous du sol sableux humifère, est le suivant :

a) *Un horizon ferrugineux* intermittent et d'épaisseur très variable (20 m maximum), formant parfois une véritable *cuirasse latéritique vacuolaire*.

b) *Des argiles latéritiques* à canalicules, épaisses de quelques mètres au plus.

c) *Des arènes argileuses* compactes ou fluantes, dont la puissance peut être considérable.

d) *Des arènes grenues*, habituellement peu épaisses où l'on retrouve la texture de la roche-mère.

e) *Une zone dite de transition*, entre les arènes et la roche saine, d'épaisseur très variable, parfois grande.

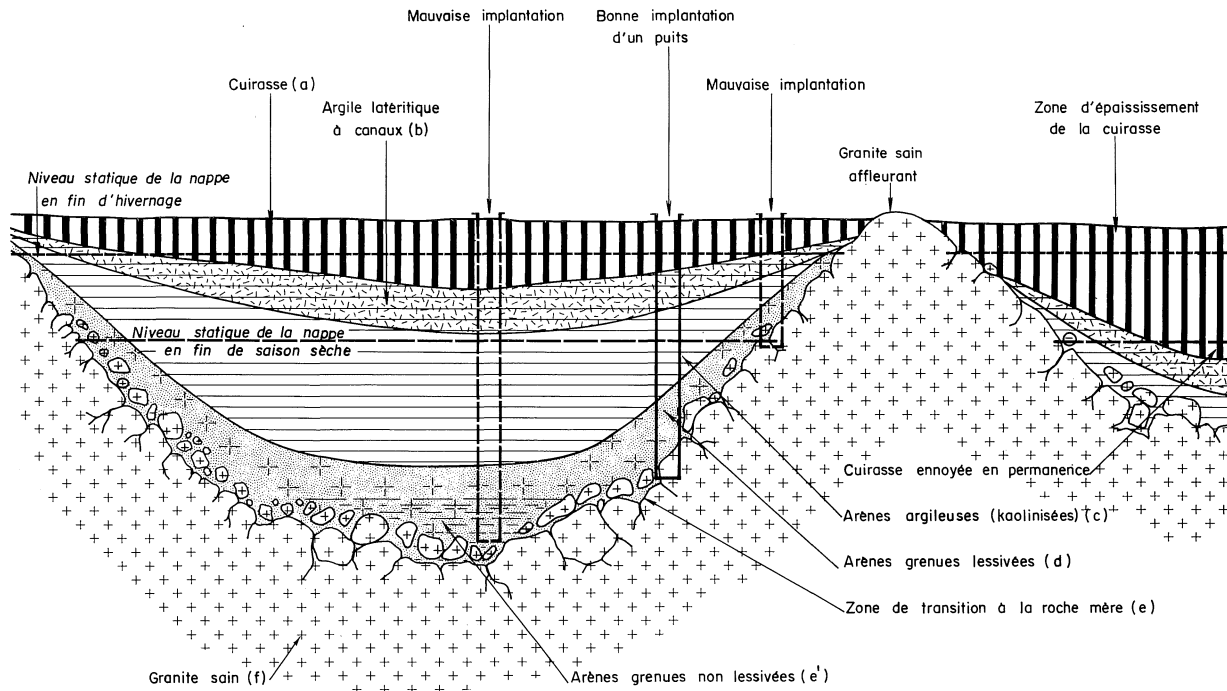
f) *La roche saine* plus ou moins fissurée.

Les parties les plus perméables de ce profil sont :

— d'une part les horizons supérieurs (a) et (b) ; mais la cuirasse, lorsqu'elle existe, est le plus souvent dénoyée en saison sèche,

SCHEMA D'UNE "FOSSE D'ALTERATION" SUR SUBSTRATUM GRANITIQUE

Fig. 2



(d'après document 4. modifié)

TABLEAU N° 1. — Tableau comparatif d

	Puits à main avec puisage traditionnel	Puits foré à la tarière (bucket)	Puits foré à la benne trépan
Conditions naturelles a) <i>Conditions nécessaires</i>	• Nappe à moins de 80 m	• Nappe à moins de 20 m • Roche tendre mais cohérente (1)	• Nappe à moins de 80 m (si puisage à la main)
b) <i>Domaine d'élection</i>	Grès tendres, schistes, altérites	Altérites si tenue suffisante	Grès tendres et durs, altérites de bonne tenue
Méthodes ou Matériel type	<i>Méthode habituelle</i> Cuvelage en béton coulé en place. Captage par colonne de béton havé de plus petit diamètre	Excavation par rotation du « bucket ». Tubage provisoire. Pose de buses à encoches	Fonçage par battage. Eventuellement tubage provisoire Pose de buses à encoches ou coquilles de PRV
Caractéristiques Types d'exploitation	Puisage à main (multiple) ou traction animale	Habituellement par pompe à main (Côte-d'Ivoire)	Puisage à main ou traction animale
Profondeur habituelle	Celle de la nappe + 3 à 15 m	Maximum 30 m	Celle de la nappe + 3 à 15 m
Diamètre courant	Cuvelage : 1,80 m int. Captage : 1,40 m int.	Buses : 1 m int.	Cuvelage : Ø 1,20 m int. (buses B.A. ou Ø 1,40 m (coquille PRV) Captage : Ø 0,8 m int. (buses B.A.) 1 m (PRV)
Variantes possibles	Forage (plus de 30 m) Puits mécaniques	Puits à main	Puits à main
Observations	Coûts très variables avec les conditions locales et l'isolement. Entreprises rares. Charges récurrentes assez faibles	(1) Dureté limite : cuirasse latéritique. Rapide. Domaine d'application étroit	Encore expérimental. Coût mal connu. Mise en œuvre à préciser

N.B. Les ouvrages (colonnes 1 à 4) font l'objet d'une analyse détaillée dans le présent ouvrage.

Principaux types d'ouvrages (d'après doc. 13)

Puits-forage	Forage « type socle » exploité par pompe à main	Forage en terrain tendre exploité par pompe à main	Forage en roche dure exploitant l'eau à plus de 50 m par pompe à moteur	Forage profond « type sédimentaire » exploité par pompe à moteur
<ul style="list-style-type: none"> • Nappe captive • Niveau en puisage à moins de 80 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Nappe à moins de 50 m • Roche dure 	<ul style="list-style-type: none"> • Nappe à moins de 50 m • Terrains tendres à moyens, cohérents ou non 	<ul style="list-style-type: none"> • Nappe à plus de 50 m • Roche dure 	<ul style="list-style-type: none"> • Aquifère profond
Aquifères multicouches des bassins sédimentaires récents	Granite ou gneiss Précambrien varié, laves	Formations diverses des bassins sédimentaires récents (sables, argiles, grès, etc...)	Basaltes Calcaires ou dolomies	Formations diverses des bassins sédimentaires récents (sable, argiles, grès, etc...)
Fonçage d'un puits étanche relié à un forage de type 8	Forage rotary à l'air avec marteau-fond-de-trou, ou perforatrice marteau, ou battage (sauf très dur)	Battage ou rotary à la boue ou circulation inverse	<i>idem.</i> (équipement haute pression au-delà de 120 m ou battage (sauf très dur)	Rotarie à la boue ou battage (sauf très profond)
Puisage traditionnel	Pompe à main ou à pied	Pompe à main	Pompe immergée et groupe électrogène	Pompe immergée et groupe électrogène
Forage jusqu'à 400 m. Puits jusqu'à 80 m	30 à 80 m	30 à 60 m	100 à 150 m possible jusqu'à 250 m	Jusqu'à 400 m ou plus
Puits : 1,80 m	6"-Tubage 4" 1/2	8/6"-Crépine 4 à 5"	8/6"-Tubage 4 à 5"	6/12"-Tubage 4/8"
Forage à motopompe	Puits de 20 à 30 m	Puits. Méthodes particulières de forage pour faibles profondeurs	Aucune	Aucune, sauf puits-forage dans certains cas
Intéressant dans la zone d'élevage sahélienne. Application possible aux terrains anciens	Demande très importante de ce type d'ouvrage. Problèmes d'entretien encore mal résolus. Charges récurrentes élevées	Encore peu développé en Afrique de l'Ouest. Peut-être valable en série	Coût élevé. Rentabilisation nécessaire par distribution d'un débit relativement important	Mise en production délicate. Rentabilisation par distribution d'un débit important

— d'autre part les horizons (d) et (e), habituellement fissurés et peu argileux.

Par contre les arènes argileuses (c) sont très peu perméables ; lorsqu'elles sont fluantes, la mise en place de la colonne de captage des puits y est très délicate : on doit travailler à la benne-preneuse à niveau plein.

Les zones altérées constituent le plus souvent des sortes de « fosses », de profondeur et d'extension imprévisibles, sans relation avec la topographie superficielle, formant des aquifères plus ou moins distincts (fig. 2).

Les zones d'altération des roches métamorphiques obéissent à des règles analogues à celles des granites mais les produits d'altération des schistes, qui dominent dans ces formations, sont plus régulièrement argileux que ceux du granite et, partant, peu favorables.

Contrairement au cas des aquifères sédimentaires, le choix de l'emplacement des puits est par conséquent soumis, dans les régions de socle, à des critères purement locaux. Dans un schéma tel que celui de la figure 2, l'implantation doit éviter à la fois les zones stériles où le forage rencontrerait le substratum sain trop haut, et le milieu de la fosse où l'épaisseur des argiles fluantes est prohibitive et où l'horizon d'arènes grenues lui-même pourrait se révéler inaccessible.

Les méthodes de détermination des zones favorables ont fait d'importants progrès, ces dernières années, au moins à l'échelle régionale, grâce à l'élucidation des relations entre la géomorphologie et l'épaisseur moyenne d'altération (doc. 14 et 25).

1.1.6.2 La recherche des fractures

L'altération se développant surtout sur les fractures des roches indurées de toute nature, et les fractures constituant elles-mêmes, sauf lorsqu'elles sont remplies de produits argileux, des anomalies aquifères, l'implantation des puits doit être basée sur le repérage de ces fractures sur photo aérienne, le cas échéant précisée par prospection électrique. Les études se sont récemment développées sur ce sujet (doc. 16).

1.2 CARACTÉRISTIQUES À DONNER AUX OUVRAGES SUIVANT LES AQUIFÈRES

Le but des pages qui suivent est d'aider à déterminer les dispositions à prendre, et les caractéristiques à donner aux ouvrages de captage, en fonction des particularités des différents types de formations aquifères : profondeur et fluctuation du niveau piézométrique, perméabilité, tenue de terrain, etc... Ainsi ils répondront bien à leur objet : fournir en toute période un débit convenant aux besoins. Toutefois, on ne parlera pas ici des dispositions propres à assurer la qualité et la longévité des ouvrages, c'est-à-dire des méthodes de construction, qui font l'objet du chapitre 2.

1.2.1 Puits ou forages ? (doc. 11 et 13)

Il importe, tout d'abord, de bien situer l'intérêt du puits de grand diamètre par rapport au forage, qui le concurrence de plus en plus. Cette question est développée dans l'avant-propos, auquel on se reportera.

Le tableau 1, ci-après, présente en contrepoint une comparaison des caractéristiques et du domaine d'intérêt de 8 types d'ouvrage dont le puits « à main », 2 puits à construction mécanisée, et divers types de forage.

1.2.2 Profondeur des puits et hauteur de captage (fig. 3)

La profondeur à donner à un puits est la somme de deux termes :

- la profondeur de la nappe sous le sol, qui correspond à la hauteur du cuvelage,
- la hauteur de formation à capter pour obtenir en toutes saisons le débit recherché, compte tenu des fluctuations naturelles de niveau.

Si la hauteur de captage nécessaire peut varier de 1 à 15 m, suivant la nature des formations, la profondeur de la nappe varie, elle, de 0 à 100 m et plus, suivant la cote du sol par rapport au niveau piézométrique.

Dans les bassins sédimentaires, où la perméabilité est habituellement meilleure et le niveau d'eau plus profond que dans les zones de socle, les puits ont couramment 20 à 80 m, dont quelques mètres seulement de captage. Dans les formations d'altération du socle, la profondeur totale souhaitable du puits est très souvent de l'ordre de 15 à 20 m, dont une dizaine de mètres de captage.

La profondeur de la nappe est une donnée imposée par le point d'implantation de l'ouvrage ; mais la hauteur de formation aquifère à capter doit être déterminée en fonction du débit recherché et des caractéristiques hydrogéologiques.

1.2.2.1 Perméabilité des formations et débit des ouvrages

On peut considérer en première approximation que, dans les terrains perméables « en petit » (sables, arènes), le débit d'un puits est donné par la formule de Dupuit (fig. 3).

$$Q = \frac{\pi K(H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}}$$

où :

Q = débit du puits (m^3/s)

K = coefficient de perméabilité de Darcy (m/s)

H = épaisseur de la nappe captée (m)

h = hauteur d'eau stabilisée en pompage dans le puits (m)

$H - h$ = rabattement de la nappe en pompage
 R = rayon d'action du pompage (m)
 r = rayon efficace (peu différent du rayon du puits) (m)
 Ln = Logarithme népérien.

Il résulte de cette formule que si le rayon du puits n'influence que faiblement son débit, la hauteur de captage joue un rôle primordial dans le rendement de l'ouvrage et qu'elle doit être d'autant plus grande que la perméabilité du terrain est plus faible.

Nous donnons ci-après l'ordre de grandeur des débits que l'on peut normalement obtenir, *par mètre de captage*, de quelques formations usuelles :

- cuirasse latéritique : 5 à 20 m³/h,
- alluvions sableuses propres : 5 à 15 m³/h,
- sables des dunes, grès continentaux : 1 à 4 m³/h,
- sables ou grès argileux : 0,3 à 1 m³/h,
- arènes grenues : 0,2 à 0,5 m³/h.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier, en ce qui concerne les formations les moins perméables, qu'un puits, soumis à une exploitation continue pendant toute la durée de la saison sèche, subit progressivement une très sensible diminution de débit pour un rabattement donné.

De plus intervient l'effet des fluctuations naturelles de niveau de la nappe, dont l'amplitude est considérable dans les formations de faible perméabilité.

1.2.2.2 *Fluctuations du niveau des nappes*

Dans les grands ensembles aquifères des *bassins sédimentaires*, où les niveaux statiques sont généralement profonds (plus de 20 m), l'effet de l'évapo-transpiration est limité, et la réalimentation par les pluies est très lente à se produire. Il en résulte que les fluctuations saisonnières du niveau statique sont rarement perceptibles.

Mais les cycles correspondant à une *succession d'années très sèches ou très pluvieuses* peuvent se traduire par une baisse ou une remontée lente, mais sensible, du niveau statique, notamment en zone aride ou médiocrement arrosée. C'est ainsi qu'au Niger le niveau de certains puits exploitant la nappe du Continental Terminal paraissait démontrer, vers 1970, une remontée de niveau de l'ordre de 5 m depuis une quinzaine d'années. Il est fort probable que les sécheresses persistantes de la période actuelle se traduisent et se traduiront de même par un abaissement lent et plus ou moins retardé, qu'il importe de mesurer.

Ces observations montrent qu'il faut, lorsqu'on réalise une campagne de puits, se préoccuper des antécédents pluviométriques et piézométriques et surtout prévoir, dans toute la mesure du possible, le captage d'une hauteur accrue de formation aquifère, pour prévenir d'éventuelles baisses de niveau à long terme.

Beaucoup plus compliquée est la situation *dans les zones de socle*

cristallin, où les fluctuations piézométriques naturelles sont saisonnières et ont une grande amplitude (doc. 7).

Des observations effectuées à Korhogo (Côte d'Ivoire, savane à 1 400 mm de pluie annuelle) et à Parakou (Dahomey, savane à 1 100 mm de pluie annuelle), sur des puits non exploités, ont montré que, dans ce climat à une seule alternance de saisons, les variations piézométriques naturelles ont une amplitude de 2 à 7 m suivant les points.

Par ailleurs, ainsi que le montre la figure 4, la recharge par les pluies s'est révélée à Korhogo d'autant plus amortie et tardive par rapport à l'hivernage que les niveaux sont plus profonds. Les fluctuations répondent au tableau suivant :

N° du piézomètre	Profondeur approximative de la nappe à l'étiage	Niveaux observés (suivant les années)	
		Maximum en	Etiage en
3	3 m	août-septembre	mars-mai
12	7-8 m	septembre-octobre,	mai-juin
18	11-13 m	octobre-novembre	juin-août
27	15-18 m	janvier-février	août-septembre

Ces fluctuations saisonnières ne doivent pas faire oublier les variations interannuelles : la figure 4 montre bien les différences qui existent entre les niveaux d'étiage d'une année à l'autre.

Dans les formations d'altération du socle cristallin, la productivité du puits varie donc considérablement avec la saison. Or la pénétration du puits dans l'aquifère, c'est-à-dire la hauteur de captage, doit être fixée de sorte que l'ouvrage fournisse un débit suffisant à une époque où se cumulent le plus souvent l'effet de la baisse piézométrique naturelle et l'effet de 6 à 8 mois de puisage.

1.2.2.3 Evolution d'un puits en exploitation dans les formations d'altération du socle

Cette question, très importante, puisqu'il s'agit de déterminer une hauteur de captage correcte, quelle que soit l'époque de l'année à laquelle le puits est effectué, a été abordée dans le document 11.

Les principaux résultats de cette étude sont donnés par la figure 5, qui est extraite de ce rapport. Sur ces diagrammes, on a superposé une fluctuation naturelle de niveau de 5 m d'amplitude, à l'évolution provoquée par un pompage de 0,5 ou 1 m³/h dans des puits captant la nappe sur 10 m, en-dessous du niveau d'étiage. On voit qu'avec cette hauteur de captage, il est possible de prélever en permanence 1 m³/h lorsque la perméabilité est moyenne (8.10⁻⁶ m/s), mais qu'on ne peut guère dépasser 0,5 m³/h en cas de perméabilité faible (2.10⁻⁶ m/s).

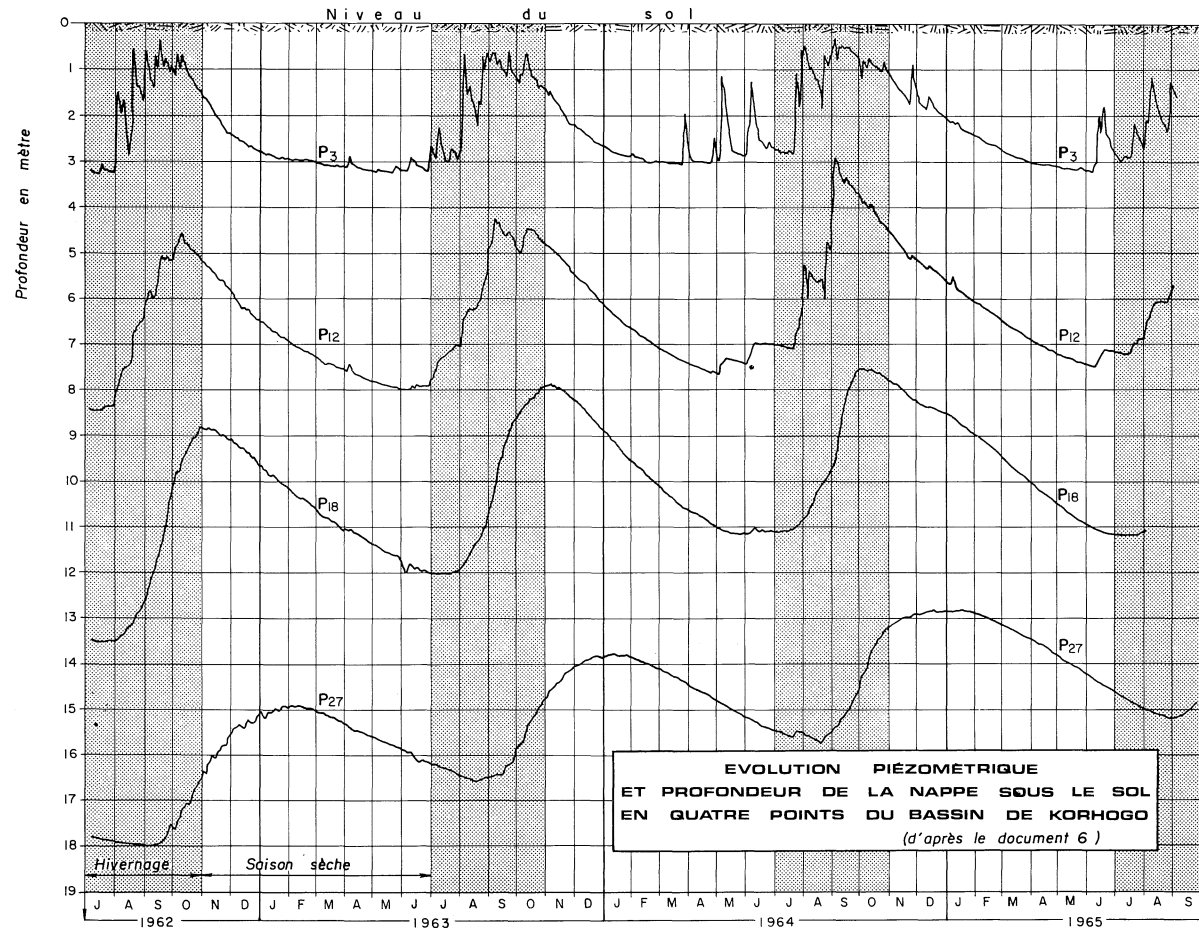


Fig. 4

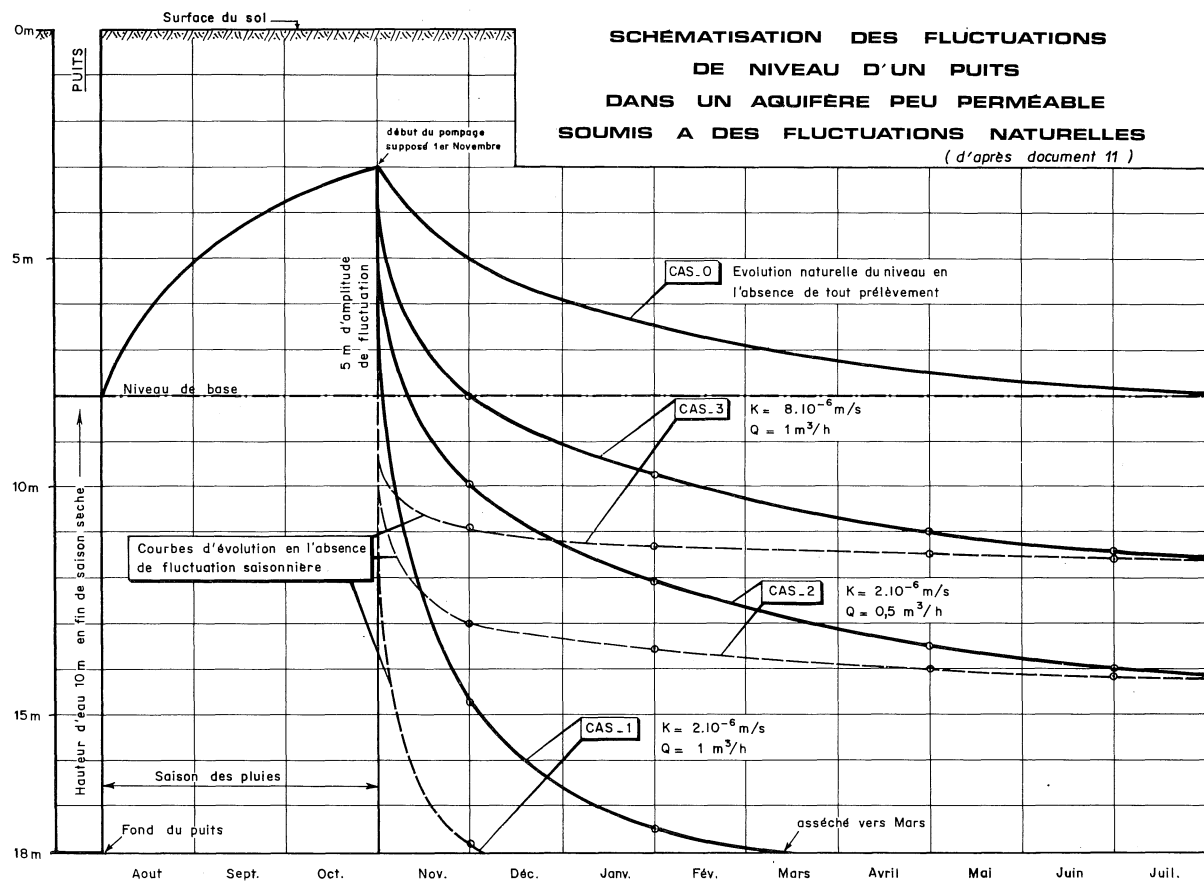


Fig.5

De cet exemple il faut retenir les points suivants, essentiels lorsqu'on réalise des puits dans les régions de socle cristallin :

- à défaut de pouvoir toujours procéder à la mise en eau au moment de l'étiage de la nappe, la hauteur de captage doit être décomptée *en dessous du plus bas niveau connu de la nappe*, et non à partir du niveau au moment des travaux ;

- dans des conditions de perméabilité *moyenne* pour ces formations, la hauteur de captage propre à assurer le débit continu de 1 m³/h (débit nécessaire à un village de 500 à 1 000 habitants, mais trop faible pour un point d'eau pastoral) est de 10 m.

1.2.3 Essais de débit et débit réellement exploitable (doc. 12).

Lorsqu'un puits vient d'être terminé, il est très important de connaître son débit. Mais le but de l'essai de réception n'est pas tant de déterminer le débit de l'ouvrage à l'époque de la fin des travaux que celui qu'il sera réellement en mesure de donner lorsqu'il sera soumis à un puisage intensif à la fin de la saison sèche. Or, si la différence entre ces deux débits n'est pas considérable dans les aquifères sédimentaires de bonne perméabilité, il faut bien se garder de juger du second à partir du premier lorsqu'ils s'agit de formations peu perméables, ce qui est généralement le cas dans les régions de terrains anciens.

On utilise le même matériel que pour l'exhaure sur les chantiers ou sur les puits en service :

- dèlou ou puisette pour les puits de faible débit, si on ne dispose de rien d'autre,

- cuffat à soupape sur les chantiers équipés d'un derrick pour la mise en eau et le développement du captage. Ce matériel permet de réaliser l'essai de débit sans déplacement supplémentaire de matériel et de personnel,

- pompe à air comprimé sur les chantiers où le fonçage est exécuté au marteau piqueur ou à l'explosif ; dans ce cas, comme précédemment, l'essai est effectué avec le matériel de chantier,

- pompe électrique, lorsque les ouvrages en service en comportent.

La méthode d'essai la plus courante, qui consiste à pomper un certain temps à rabattement constant, et à mesurer le débit correspondant, n'est pas valable pour les débits habituels des puits villageois et pastoraux, parce qu'à une faible erreur de niveau correspond une forte erreur relative sur le débit. Par ailleurs elle s'adapte mal au puisage au cuffat, qui est souvent le seul possible.

1.2.3.1 Cas des formations régulièrement perméables (annexe 1A)

Dans ce type de formation, le débit du puits obtenu à l'essai de réception peut être considéré comme le débit exploitable en toute saison. Il

suffit donc que le cahier des charges prévoie comme condition de réception (indépendamment des conditions techniques) l'obtention d'un débit minimum lors de cet essai. On fixe couramment ce débit à 3 m³/h pour les villages et 5 m³/h pour les points d'eau pastoraux ; il est souhaitable de prendre une légère marge de sécurité par rapport aux besoins (1 ou 2 m³/h de plus), sans oublier le surcroît de hauteur de captage permettant de pallier l'effet d'une éventuelle baisse de niveau à long terme.

L'essai de pompage consiste à extraire un volume d'eau dans un temps déterminé, et à mesurer l'abaissement du niveau de l'eau provoqué par le pompage (rabattement), puis sa remontée. Avant de commencer l'essai, on prend soin de déterminer le niveau d'équilibre de la nappe. Les mesures sont interprétées par la méthode de Porchet (voir annexe 1A).

1.2.3.2 Cas des formations de perméabilité médiocre et irrégulière (doc. 12 et annexe 1B)

Il s'agit essentiellement des terrains anciens et notamment des formations d'altération du socle, de perméabilité variable et habituellement très faible, pour lesquelles le problème est beaucoup plus complexe, car on ne peut ignorer l'évolution saisonnière des caractéristiques de l'ouvrage.

L'essai de pompage décrit en annexe 1B permet, dans un premier temps, le calcul des caractéristiques du puits, notamment son débit instantané au moment de l'essai, grâce à un pompage de 2 h, suivi d'une remontée mesurée pendant 4 à 12 h.

A partir des données de cet essai et d'une valeur approchée de la variation piézométrique naturelle, on peut estimer l'ordre de grandeur du débit exploitable en fin de saison sèche.

Une méthode a en effet été mise au point par le BURGEAP à la demande du CIEH (doc. 12), pour répondre à ce cas, à l'aide de simulations sur modèle mathématique et d'essais de pompage de vérification. Elle permet de déterminer la valeur probable des paramètres principaux à l'étiage en exploitation continue : débit maximum du puits, hauteur d'eau de référence, volume journalier exploitable.

On observe que le *débit exploitable à l'étiage* se réduit couramment à la moitié ou au tiers du *débit d'essai*, suivant l'importance des fluctuations piézométriques.

Pour obtenir un débit d'exploitation fixé à l'avance, il est nécessaire d'évaluer, au cours des travaux, la hauteur totale de captage qu'il convient de réaliser. Si les débits obtenus sont faibles (de l'ordre de 500 l/h) on devra s'efforcer d'augmenter largement la hauteur d'eau dans le puits (en pratique, une dizaine de mètres de captage est souvent nécessaire).

1.3 ÉTUDES PRÉLIMINAIRES, RÉALISATION ET SUIVI DES PROGRAMMES

La réalisation de programmes d'hydraulique villageoise dans le cadre de la politique de l'eau d'un état, et compte tenu des moyens financiers dont il dispose, nécessite de la part de l'administration la mise en œuvre de toute une série d'opérations qui permettent et accompagnent les travaux :

- Etudes de base et programmation à l'échelle du pays.
- Etude de faisabilité de chaque programme, détermination des types d'ouvrages et de leurs caractéristiques, évaluation du programme.
- Choix des moyens de réalisation (régie ou entreprise).
- Etudes techniques et socio-économiques sur le terrain, choix des villages. Implantation des ouvrages.
- Passation des marchés de travaux et/ou de fournitures.
- Direction et/ou contrôle des travaux. Réception.
- Suivi des ouvrages après leur mise en service, entretien et réparation.
- Archivage, maintenance et exploitation des dossiers d'ouvrages.

Ces opérations constituent l'essentiel des fonctions du service chargé de l'hydraulique villageoise, en dehors des sections d'exécution des travaux en régie, que ces services comportent le plus souvent.

1.3.1 Eléments concernant l'établissement des programmes

1.3.1.1 Besoins et choix des villages

Les études et inventaires de base fournissent à la fois des données techniques (caractéristiques et exploitabilité de la nappe) et socio-économiques (localisation et urgence des besoins). Ils permettent donc d'établir un programme des urgences à satisfaire, en se basant sur des critères tels que les suivants :

1^{re} urgence : villages dont les ressources sont inférieures à 5 l par jour et par habitant ou dont le point d'eau le plus proche est à une distance supérieure à 2 km.

2^e urgence : villages dont les ressources sont inférieures à 10 l par jour et par habitant ou éloignés de plus de 1 km du point d'eau le plus proche.

3^e urgence : villages dont les ressources sont inférieures à 15 l par jour et par habitant ou éloignés de plus de 500 m du point d'eau le plus proche.

Il n'est pas tenu compte du bétail, car on admet qu'il doit s'abreuver en général à des points d'eau différents des puits villageois.

L'ordre d'urgence ainsi établi peut toutefois être révisé en fonction de considérations telles que la nature de l'habitat (groupé ou dispersé), la profondeur prévisible des puits, le degré de développement du village, la présence d'un cheptel villageois, etc...

Indépendamment des études réalisées par l'administration, des demandes sont souvent formulées et transmises par les intéressés eux-mêmes aux autorités locales et régionales. Elles peuvent avoir pour origine des campagnes d'information montrant aux populations l'intérêt qu'elles ont à participer à la réalisation des puits.

La formulation d'une demande par les villageois est un bon critère de leur intention de travailler sur le chantier. Si, par contre, le programme n'en tient pas suffisamment compte, la population risque de considérer qu'on lui a imposé le puits et de n'y participer qu'avec réticence.

1.3.1.2 Document de projet

Le dossier détaillé précédant la réalisation d'un programme de puits doit comporter notamment les précisions suivantes :

- conditions générales d'exécution du programme :
 - délimitation de la zone intéressée,
 - population sédentaire,
 - urgence des besoins,
 - animation effectuée ; demandes formulées par la population,
 - profondeur prévisible des puits,
 - difficultés hydrogéologiques et techniques ; compatibilité avec l'emploi d'un personnel non spécialisé,
 - définition du type de puits le mieux adapté au terrain à traverser et à capter, et le plus économique,
 - définition des travaux à réaliser par les villageois,
 - choix de l'organisme technique auquel incombera la réalisation du programme,
 - liste des villages intéressés, nombre de puits et de mètres linéaires ;
- devis estimatif des travaux, en fonction des différentes rubriques ;
 - personnel d'encadrement,
 - matériaux,
 - matériel,
 - frais de fonctionnement ;
- planning de l'ensemble des travaux dans le temps.

1.3.2 Choix des implantations

Qu'il s'agisse de points d'eau villageois ou pastoraux, l'implantation rationnelle d'un nouveau puits exige un certain nombre d'investigations d'ordre hydrogéologique comme d'ordre économique et

humain. En bref, il faut acquérir une bonne connaissance des ressources en eau régionales ou locales mais aussi des besoins et des desiderata des habitants, ainsi que de l'équipement existant.

1.3.2.1 Investigations nécessaires dans les bassins sédimentaires. Inventaire des points d'eau

La connaissance des ressources en eau des aquifères sédimentaires exige une étude de base synthétique, à l'échelle régionale, dont les résultats pourront être appliqués systématiquement sur des secteurs étendus, à la création de nouveaux ouvrages. Lorsque les conditions de gisement sont régulières et bien connues, les caractéristiques de chacun des puits à créer peuvent être déterminées à l'avance à partir des études régionales.

Les éléments analytiques les plus essentiels de ce travail sont les caractéristiques des points d'eau existants, à partir desquels on peut préciser la piézométrie régionale, la perméabilité des formations, etc...

C'est pourquoi l'étude d'un aquifère sédimentaire commence, (concurrentement avec les observations géologiques), par *l'inventaire plus ou moins systématique des points d'eau existants*.

La figure 6 montre un type de fiche de point d'eau courant en Afrique de l'Ouest. On y note trois rubriques essentielles :

- des éléments géologiques et hydrogéologiques tels que : nature des terrains de surface et des horizons successifs rencontrés lors de la réalisation du puits ; profondeur de l'eau lors de la visite ; débit instantané ou journalier et rabattement ;
- des éléments concernant l'utilisation du puits (humaine, pastorale, agricole, etc.) et les besoins ;
- des données sur son équipement et son état.

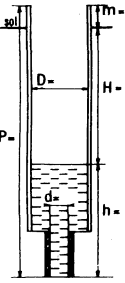
Des investigations complémentaires (campagnes géophysiques, forages de reconnaissance, etc.) peuvent être nécessaires pour préciser l'épaisseur ou l'extension latérale de telle ou telle formation perméable, délimiter les biseaux stériles ou à eau salée, etc. De même l'étude photogéologique est souvent nécessaire pour repérer des zones fracturées favorables ou d'autres traits significatifs de terrain...

1.3.2.2 Investigations dans les régions de terrains anciens

Contrairement au cas des aquifères continus des formations sédimentaires récentes, les données hydrogéologiques régionales ne peuvent conduire, dans les régions de terrains anciens, où les aquifères sont discontinus, à des synthèses applicables à l'implantation des puits nouveaux. Tout au plus la pétrographie et la géomorphologie régionales ainsi que l'étude de la profondeur d'altération fournissent-elles des données indicatives et statistiques sur les chances de succès des ouvrages :

Fig: 6

TYPE DE FICHE DE POINT D'EAU

INVENTAIRE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES						N° I. R. H.		NOM _____	
In utilise in-utilisable _____						Sans couvage bois-maçonnerie-Friry _____		Puits-Source-Forage-Mare-Riviere _____	
Eau douce-saumâtre-salée-claire-trouble-polluée par _____						_____ piliers-fourches en _____		Longitude _____	
Débit approximatif : _____						_____ poulies en _____		Latitude _____	
Indiqué par _____						Puisage par : seau-noria-dalou _____		Altitude du sol _____	
Sec de _____ à _____						Pompe à piston-rotative _____		Altitude de l'orifice _____	
Irrigation _____ hectares						Moteur : _____ cv		Cercle _____	
Industrie _____						abreuvoirs _____		Village _____	
Alimentation _____						bassins _____ m³		Quartier _____	
Nom des villages _____ habitants _____ animaux _____						couverture-dallage anti-bourbier _____		Photo N° _____	
_____						Exécute par _____ en _____		Carte au 1/ _____	
Autres points d'eau dans l'escal _____						Nombre de buses _____		Numéro _____	
_____						Etat du puits _____		de _____	
Besoins _____						Etat de la margelle _____		Edition de _____	
_____						Réparations _____		Croquis de l'orifice	
Température air		P en ohm.m		Degré hydrométrique	pH	Cl	Goupe géologique par		
Nom et qualité de l'observateur _____									
Date et heure de la visite _____									
Observations complémentaires, repère et méthode de nivellement, pâturages environnants, accès, etc... _____									
N° des échantillons _____									
Croquis							Extrait de carte		
Echelle 1/ _____							Echelle 1/ _____		

par exemple, ces chances sont faibles dans les régions où la couverture altérée a été fortement érodée.

Mais, c'est à l'échelle de chaque village où il a été décidé de construire un puits, que doit être menée auparavant une étude locale permettant de déterminer l'emplacement le plus favorable.

Dans le cadre des études préliminaires, l'enquête de base n'est donc pas l'inventaire des points d'eau mais l'inventaire des villages et l'étude de leur situation hydrogéologique et de leurs besoins.

Les figures 7 et 8 montrent un modèle de fiche de village.

Outre les renseignements généraux relatifs au village et à son environnement géologique, on remarque sur le premier volet :

- une rubrique indiquant les ressources en points d'eau, la situation en fin de saison sèche et l'urgence des dispositions à prévoir ;
- une rubrique où figurent les besoins, évalués à partir de la population et du cheptel ;
- une rubrique détaillant les données hydrogéologiques et proposant des aménagements.

Le second volet (fig. 8) est occupé par un plan de situation et un croquis détaillé au 1/20 000, dessiné d'après les photos aériennes. Ce croquis, qui comporte les traits géomorphologiques et hydrogéologiques principaux, ainsi que la position des points d'eau, est un élément essentiel de la fiche.

Les fiches descriptives des principaux points du village sont jointes à la fiche de village.

Ces monographies de village permettent le plus souvent de déterminer, sans autre recherche, des emplacements favorables. Cependant, dans les cas les plus difficiles, ou lorsque les débits souhaités sont particulièrement importants, il peut être justifié d'entreprendre en complément une prospection électrique (recherche de fractures ou de fosses par sondages ou traînés) ou sismique.

Dans tous les cas, il est hautement souhaitable, dans les régions de terrains anciens, de reconnaître le terrain *par avant-trou* jusqu'à la nappe et un peu en dessous, ce qui évite au moins que le puits doive être arrêté prématurément sur la roche saine, et donne une première idée des niveaux plus profonds.

Ces avant-trous peuvent généralement être effectués par les villageois, et cela fournit un test de leur intérêt pour le puits. Ils doivent être entrepris autant que possible systématiquement à la fin de la saison sèche qui précède la campagne de travaux ; ainsi ceux-ci démarreront-ils dans de bien meilleures conditions.

1.3.2.3 Choix des implantations et facteurs humains

Les facteurs humains compliquent parfois grandement la détermination du site des puits. C'est le cas en zone d'habitat dispersé (comme le pays Mossi par exemple) où la création d'un seul puits, même de bon

Fig:7

TYPE DE FICHE DE VILLAGE (recto)

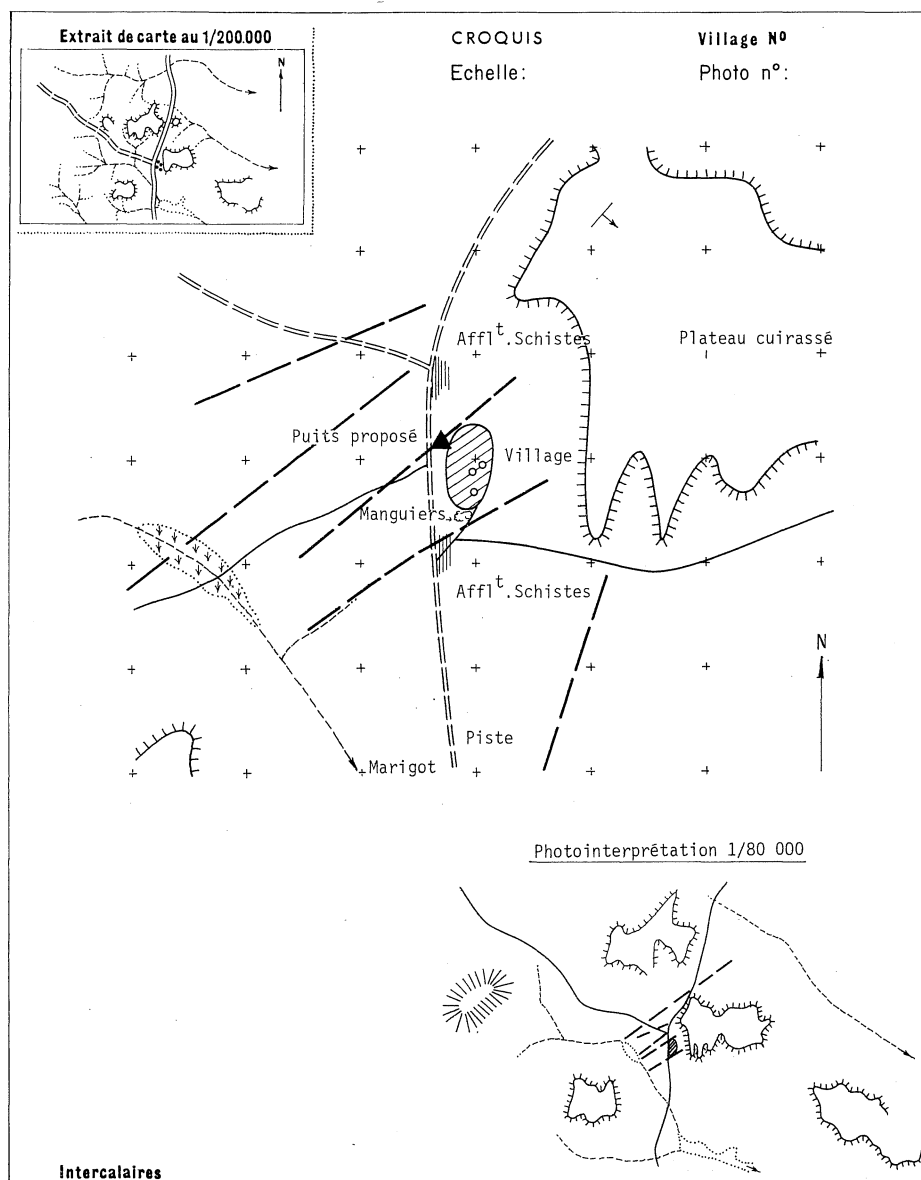
INVENTAIRE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES	Fiche du VILLAGE (Quartier) de : _____	N° I R H : _____															
	Nom sur Carte : _____	N° _____															
	Coordonnées X : _____																
	Y : _____ Carte au : 1/200.000 _____ N° _____																
	Z : _____ lieu : _____ » 1/100.000 _____ Photo N° _____																
Cercle _____	Situation, accès : _____																
Subdiv., Poste adm. _____																	
Canton _____																	
Village administ. _____	Liens traditionnels : _____																
Ethnie _____																	
Observations complémentaires _____																	
Habitat _____																	
Quartiers _____		Habitants _____															
Données géologiques et géomorphologiques : _____		Bassin _____															
		S/bassin _____															
BESOINS	RESSOURCES ACTUELLES	SITUATION GÉNÉRALE															
Habitants _____ X 25 l/j _____ m ³ /j	POINTS D'EAU : densité et répartition le ____/____/____ Nombre de points utilisables dans le village _____	SITUATION EN FIN DE SAISON SÈCHE															
Bétail _____	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th></th> <th>Zone de puisards</th> <th>puits tradit.</th> <th>puits moderne</th> <th>forages</th> </tr> <tr> <td>en temps normal débit m³/j</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>en fin de saison sèche débit m³/j</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Zone de puisards	puits tradit.	puits moderne	forages	en temps normal débit m ³ /j					en fin de saison sèche débit m ³ /j					URGENCE DES AMÉNAGEMENTS
	Zone de puisards	puits tradit.	puits moderne	forages													
en temps normal débit m ³ /j																	
en fin de saison sèche débit m ³ /j																	
grand : _____ X 30 l/j _____		Quartier	Débit à trouver	Ordre d'urgence													
petit : _____ X 8 l/j _____																	
Marché : _____																	
Ecole : _____																	
Centre médical : _____																	
Artisanat, industrie _____																	
Cultures _____																	
Jardins _____																	
	Points d'eau extérieurs : _____																
	Points d'eau gardant un bon débit en fin de saison sèche _____																
	Points d'eau de surface _____																

I. DONNÉES HYDROGÉOLOGIQUES - II. AMÉLIORATIONS A PRÉVOIR

Date	Observateur	Qualité Organisme	Objet ou nature des travaux	Conclusion

Fig.8

**TYPE DE
FICHE DE VILLAGE
(verso)**



débit, dans chaque village, ne peut régler que très imparfaitement le problème de l'eau.

Il ne faut pas oublier qu'un puits n'est pas seulement un ouvrage technique. Il est d'abord destiné à satisfaire les besoins d'hommes déterminés en un point déterminé. La consultation des habitants et leur assentiment sont des éléments fondamentaux pour la prise en charge des ouvrages par la population (on reviendra largement sur ce point dans les chapitres suivants).

Il convient donc de ne jamais perdre de vue quelques principes :

- le puits doit servir à la totalité de la population (le village) ; c'est-à-dire se situer dans un lieu public, libre d'accès et non dans une concession privée ;

- si le puits doit desservir deux villages, il est souhaitable de l'implanter à égale distance de ceux-ci ;

- suivant que la collectivité villageoise est purement rurale ou également pastorale, le puits sera placé soit dans le village (à l'intérieur ou dans la proche périphérie), soit à l'extérieur et à une certaine distance (200 à 300 m) du village, pour éviter les inconvénients dus à la fréquentation des animaux (bruit, piétinement des plantations, poussière), et le cas échéant en tenant compte du vent dominant (harmattan) ;

- si, techniquement parlant, le puits peut être construit n'importe où, c'est aux représentants des villageois que devra être laissé le soin d'en déterminer l'emplacement. Dans le cas contraire, on devra indiquer les sites favorables, parmi lesquels ces représentants choisiront.

Plus généralement, il est fondamental, avant toute campagne de points d'eau, qu'en dehors même des nécessités techniques, les responsables du projet prennent contact, suffisamment à l'avance, avec les collectivités intéressées, afin de bien connaître leurs besoins réels, leurs habitudes et leurs dispositions, et dans le but de les préparer à des réalisations susceptibles de transformer leur mode de vie. Les adaptations qui résultent, de part et d'autre, de telles actions préalables d'information et de sensibilisation, sont des facteurs importants pour l'intégration des ouvrages et le succès du projet.

1.3.3 Contrôle et réception des travaux

1.3.3.1 Importance du contrôle

La fonction de contrôle des travaux est essentielle au bon déroulement de la campagne et à la qualité des ouvrages.

Lorsque la réalisation est confiée à une entreprise, le contrôle des travaux est naturellement effectué à partir du cahier des charges contractuel, sur la base duquel le travail exécuté par l'entreprise est régulièrement accepté (ou refusé) et ses situations réglées, par le maître d'œuvre ou son représentant. Le planning est également suivi de près.

Lorsque l'administration réalise elle-même les travaux en régie, ce

qui est fréquent lorsqu'il s'agit de puits à main, il est très important que le contrôle de la section chargée des travaux soit cependant effectué, par un organisme distinct, et sur la base d'un cahier des charges explicite.

1.3.3.2 Critères de réception

A la fin des travaux, le contrôleur prononce la réception de chaque ouvrage, si sa qualité est conforme aux prescriptions du cahier des charges.

Les critères sont de deux ordres :

- critères techniques : il s'agit de la qualité de matériaux, de la fabrication des bétons, de la verticalité du puits, de la conformité des superstructures, des caractéristiques du captage, etc. ;

- critères hydrauliques : il s'agit de la production effective du puits, c'est-à-dire de son débit, si possible en fin de saison sèche et dans la situation la plus défavorable.

On effectue par conséquent à la réception un essai de débit approprié, du type de ceux qui sont décrits au chapitre 1.2.3 et en annexe 1 :

- dans les aquifères sédimentaires continus, on réalise un essai de pompage classique montrant que le débit du puits est supérieur au minimum fixé. La responsabilité de l'entrepreneur est engagée par ce débit ;

- dans les aquifères discontinus des terrains anciens, les mesures réalisées pendant l'essai sont extrapolées par une méthode convenable à une valeur-test correspondant aux conditions de fin de saison sèche. La responsabilité de l'entrepreneur n'est habituellement pas engagée par cette valeur, qui dépend plus de la qualité du terrain que de celle des travaux. Ce critère de réception est souvent ramené ici à l'exigence d'une hauteur d'eau minimale dans le puits en fin de saison sèche (sans exploitation).

1.3.3.3 Documents de chantier et fiche d'ouvrage

Un cahier est tenu à jour sur chaque chantier, sur lequel sont consignés tous les événements de la vie de chantier : entrées et sorties de matériels et matériaux, avancement, nature du terrain, hauteur de l'eau le matin, etc... Ce cahier est présenté à chaque visite au contrôle.

Chaque mois, le chef de brigade établit un compte rendu mensuel détaillé des travaux (3.1.3.4 et fig. 47).

En fin de chantier, on établit une fiche détaillée (fig. 9) précisant notamment :

- la situation géographique du puits (avec croquis) ;
- les dimensions et caractéristiques de l'ouvrage ;
- la coupe géologique des terrains traversés ;
- le débit et tous renseignements d'ordre hydraulique.

Fig: 9

TYPE DE FICHE DE PUIS NEUF		Débit (m^3/h) Rabatement (m)	
N° Bureau de l'eau Nom du puits Canton : Sous - Préfecture Préfecture	 	Hauteur des buses Type de buses Nombre de buses Trousse coupante Dalle de fond Nombre d'abreuvoir	
Carte 1/200 000 Longitude Latitude	 	Croquis de situation	
Réceptionné le Entreprise Financement	 		
Date des mesures: _____ Nomenclature (en mètres) D. _____ d. _____ m. _____ H. _____ h. _____ C. _____ B. _____ P. _____ P'. _____ P + P'. _____		<p>The diagram illustrates a vertical cross-section of a well. It shows two main shafts connected at the bottom by a horizontal section. The left shaft has an outer diameter 'D' and an inner diameter 'd'. Its total height from the ground level ('Sol') to the base is 'P', and its internal height is 'C'. The right shaft also has an outer diameter 'D' and an internal height 'H'. At the top of the right shaft, there is a small rectangular feature with width 'm'. The distance between the two shafts at the top is 'D'. The base of the shafts is labeled 'B'. The depth from the ground level to the base is 'P' for the left shaft and 'P'' for the right shaft. The total depth is 'P + P''. The central part of the well is filled with water, indicated by dashed lines.</p>	
		Observations : (coupe géologique)	
		Fiche réalisée par : _____ Date : _____	

1.3.4 Le bureau de l'eau et les dossiers d'ouvrages

Dans la plupart des directions de l'Hydraulique, un « bureau de l'eau », chargé des études et de la programmation, est responsable de l'essentiel des tâches de préparation, de contrôle et du suivi des programmes d'hydraulique villageoise, et en particulier :

- programmation d'ensemble ;
- études de base concernant l'hydrogéologie, l'habitat, et les ouvrages (type, technique et coût) ;
- élaboration des documents de projet ;
- études préliminaires socio-économiques et techniques ;
- suivi des ouvrages, après leur mise en service, pour en contrôler l'état et l'utilisation ;
- archivage et maintenance de la documentation sur les points d'eau.

Ce bureau peut également avoir en charge le contrôle des travaux effectués en régie par un autre service.

Son rôle est donc essentiel pour l'équipement hydraulique villageois.

Une de ses tâches les plus importantes est la centralisation de tous les documents relatifs aux ouvrages exécutés, la constitution d'un dossier d'ouvrage pour chacun d'eux et sa tenue à jour.

Ce dossier doit comprendre les fiches suivantes :

- Fiche de village (au moins dans les terrains anciens et les zones d'habitat dispersé) (fig. 7 et 8).
- Fiches des points d'eau préexistants, le cas échéant (fig. 6).
- Fiche récapitulative des reconnaissances effectuées (le cas échéant).
- Fiche de puits neuf (fig. 9).
- Fiche d'essai de débit (fig. 56, annexe 1B).
- Fiches de visite (fig. 10).
- Fiches de réparation (fig. 48).
- Fiches de visite et d'entretien de pompe (le cas échéant).

L'établissement et la tenue à jour de ces dossiers ont une importance très grande : ils permettent en effet de suivre l'état des ouvrages réalisés et d'évaluer l'impact des campagnes d'équipement déjà faites, de préparer les opérations à venir, d'améliorer l'implantation et la conception des ouvrages, ainsi que les méthodes de fonçage ou de captage.

Fig: 10

TYPE DE FICHE DE VISITE DE PUIITS		Puisage en cours	
		Utilisateurs	
N° Bureau de l'eau		Date de construction	
Nom du puits		Débit à l'origine	
Canton		Débit actuel	
Sous-Préfecture		Niveau de l'eau après la saison des pluies	
Préfecture		Puits sec de (à)	
Carte 1/200 000		Autres points d'eau dans le village	
Longitude		ETAT DU PUIITS ET TRAVAUX A ENTREPRENDRE	
Latitude			
Heure et date de la visite		<u>Cuvelage (nature)</u>	
Nom de l'Observateur			
<p>Nomenclature (en mètres)</p> <p>D. _____</p> <p>d. _____</p> <p>m. _____</p> <p>H. _____</p> <p>h. _____</p> <p>C. _____</p> <p>B. _____</p> <p>P. _____</p> <p>Nature de l'aquifère: _____</p>		<p><u>Captage (avec-sans)</u></p> <p>_____</p> <p><u>Equipement de surface</u> (nombre d'abreuvoir)</p> <p>_____</p>	

CHAPITRE 2

LES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DES PUITTS A MAIN

2.1 PUITTS TRADITIONNELS ET PUITTS MODERNES

Un puits est une excavation en général cylindrique, permettant d'atteindre et d'exploiter le niveau aquifère le plus proche du sol ou « nappe phréatique » (*).

2.1.1 Les puits traditionnels

L'examen des puits traditionnels montre comment ont pu être résolus dans le passé les problèmes de captage de l'eau avec des techniques simples. On mesure ainsi le service rendu par les puits traditionnels, mais aussi leurs limites et, par conséquent, un certain nombre d'écueils que les puits actuels doivent éviter.

2.1.1.1 Puits temporaires

Leur profondeur est généralement inférieure à une dizaine de mètres ; ils sont creusés le plus souvent dans des fonds de marigots ou dans des dépressions alluviales inondées durant la saison des pluies. Les nappes aquifères exploitées ont une extension réduite et sont caractérisées par des variations de niveau importantes, pouvant aller jusqu'au tarissement total en saison sèche.

Le puits est construit d'une manière sommaire, avec un diamètre de l'ordre de 0,80 m (diamètre minimum pour permettre le passage d'un homme) ; il est approfondi au fur et à mesure que le niveau baisse au cours de la saison sèche.

Si les terrains sont de bonne tenue (argilo-sableux par exemple) et la baisse du niveau de l'eau rapide, le même puits est parfois utilisé toute l'année, grâce à des approfondissements successifs. Mais si les

(*) C'est-à-dire nappe des puits, de phréas, phréatos : puits en grec.

terrains sont sableux et la baisse du niveau lente, il est fréquent que le puits s'effondre avant même le retour de l'hivernage.

Le revêtement des puisards, quand il existe, est constitué par de la paille, par des matériaux tressés ou par des branchages. Il ne peut s'opposer efficacement aux venues de sable, auxquelles on remédie par un curage périodique. L'enlèvement du sable finit par créer un vide et provoquer l'éboulement des terrains superposés, placés en porte à faux (fig. 11).

La gueule du puits, généralement plus étroite que le fond, est garnie de bois placés à angle droit, qui laissent juste l'espace nécessaire au passage des instruments de puisage (souvent constitués par des calebasses). La gueule du puits est surélevée de 0,20 à 0,50 m pour éviter l'écoulement vers l'intérieur du puits de l'eau déversée à la surface.

Les débits puisés sont faibles (de quelques litres à quelques centaines de litres par heure, selon la perméabilité du terrain), et la hauteur d'eau est le plus souvent inférieure à 0,50 m.

Recreusés chaque année, ces puits sont foncés rapidement (1 à 3 jours), et ils sont multipliés en fonction des besoins, parfois tout près les uns des autres et en très grand nombre, ce qui donne aux bas-fonds où ils sont situés une allure caractéristique.

Il faut souligner qu'un groupe de puisards est généralement mieux adapté qu'un puits moderne à l'exploitation des nappes alluviales (de faible épaisseur et de mauvaise perméabilité) qui se reforment à chaque hivernage dans de nombreuses dépressions d'Afrique tropicale : leur nombre compense en effet le faible débit de chaque trou.

2.1.1.2 Puits pérennes

Ils sont nombreux dans certaines régions, et atteignent parfois des profondeurs considérables (100 m et davantage) dans certaines régions. Les puits profonds sont presque toujours l'œuvre des puisatiers spécialisés, seuls capables de venir à bout des difficultés de fonçage et de soutènement. La coutume veut que le puisatier et ses aides (2 ou 3 personnes) soient payés forfaitairement, logés et nourris par le client (le village). Indiquons qu'au Tchad en 1979, un puits traditionnel de 30 m de profondeur coûtait 35 à 30 000 F CFA.

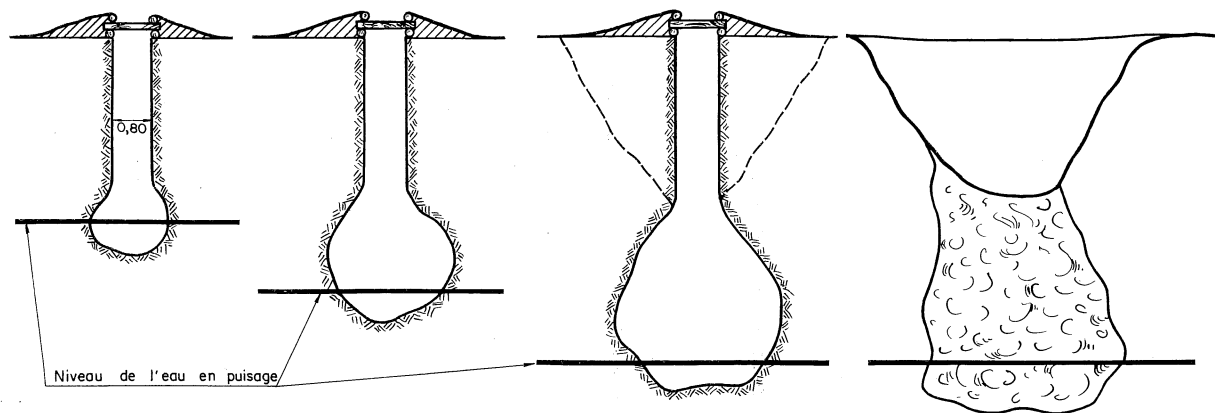
Les puits de ce type ont en général un diamètre de 0,80 m à 1,00 m, selon la nature du soutènement qu'il faudra adopter. Le fonçage est effectué à la daba et à la barre à mine ; l'évacuation des déblais est faite avec un seau de bois.

Réalisé au fur et à mesure du fonçage, le soutènement des parois est mis en place uniquement dans les passées de mauvaise tenue. Suivant les cas, on utilise des matériaux différents (fig. 12) :

- des bois de \varnothing 0,10 à 0,20 m entrecroisés à angle droit ;
- des branchages de petit diamètre (\varnothing 2-5 cm), flexibles recourbés et ajustés au diamètre du puits ;

**EVOLUTION D'UN PUISARD EN TERRAIN SABLO - ARGILEUX
AU FUR ET A MESURE DE LA BAISSSE DU NIVEAU DE PUISAGE**

Fig: 11



— de la paille d'alfa, utilisée seule tressée, ou bourrée dans les interstices des bois ou des branchages ;

— des pierres, dans les régions où il en existe.

Ce type de puits reste incapable de traverser les terrains très durs, nécessitant l'emploi de l'explosif, ou les terrains de très mauvaise tenue.

Mais le défaut principal des puits traditionnels est qu'ils captent la nappe dans de mauvaises conditions. D'où un mauvais rendement et une durée de vie souvent limitée.

En effet, la pénétration dans la nappe dépasse rarement 0,50 m, sauf dans les terrains de bonne tenue à faible débit (certaines roches fissurées, schistes par exemple). Par suite du puisage, l'ensablement du puits est rapide et, lorsqu'on cure le puits, le sable revient. Une caverne se crée à la longue au niveau de l'eau ; elle s'agrandit, et finit par provoquer l'éboulement des terrains superposés (fig. 12).

La longévité de l'ouvrage dépend donc de la résistance des terrains immédiatement superposés à la nappe ; si elle est grande, de vastes cavernes peuvent se former sans éboulement du terrain.

Dans les cas les plus favorables, les puits traditionnels peuvent durer 20 ou 30 ans ; mais, le plus souvent, en terrain sableux, leur durée de vie est de quelques années seulement.

L'équipement de surface des puits profonds est souvent le même que pour les puisards. Des bois de \varnothing 0,20 m peuvent être placés à la gueule du puits, pour faciliter le glissement des cordes de puisage. Des abreuvoirs individuels ou collectifs (en bois, ou en argile) sont disposés dans les environs immédiats du puits.

Compte tenu des moyens rudimentaires dont disposent les artisans, la perfection de certains puits traditionnels et les profondeurs qu'ils atteignent forcent l'admiration. Il reste que ces ouvrages ne parviennent, en général, qu'à effleurer la nappe, et ne peuvent être réalisés ni en terrain dur, ni en terrain bouillant. Le recours à des techniques perfectionnées est donc souvent indispensable.

2.1.2 Les puits modernes

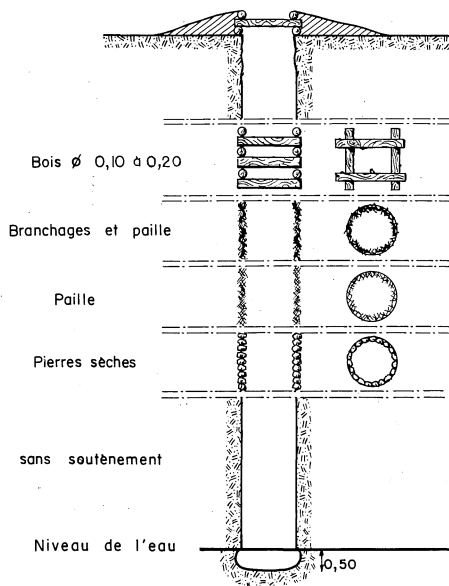
2.1.2.1 Les trois éléments du puits (fig. 13)

Un puits « moderne » se compose de trois parties :

- le cuvelage,
- le captage,
- l'équipement de surface.

Les terrains traversés par le puits manquant habituellement de stabilité, il est nécessaire de les maintenir par un *cuvelage*. Les modalités de réalisation du cuvelage varient avec le type de puits.

Différents modes de soutènement des parois



PUITS TRADITIONNEL

Evolution au droit du captage
(sans fluctuation du niveau statique)

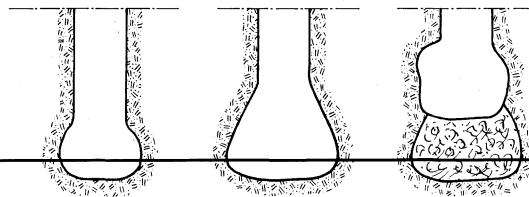


Fig. 12

Le captage est réalisé à la base du puits, sous le niveau de la nappe, et son importance est fondamentale, car c'est de lui que dépendent la longévité et le débit du puits.

Le captage doit permettre l'arrivée de l'eau imprégnant le terrain, sans que soient entraînés les matériaux (sable fin, argile) qui le constituent. Dans le cas de formations aquifères meubles, il est nécessaire de mettre en place un filtre de gravier intercalé entre le terrain et le captage.

La réalisation du captage est l'opération la plus délicate de la construction des puits ; elle implique souvent de faire appel à des techniques relativement complexes.

L'équipement de surface est destiné à faciliter l'accès au puits et son utilisation. La margelle constitue une protection contre les chutes, et évite la pollution de l'eau. L'aire assainie entourant la margelle a pour but d'empêcher que l'eau stagne et croupisse aux abords du puits, et se réinfiltre éventuellement le long du cuvelage.

C'est sur la réalisation du captage que nous mettrons l'accent principal dans la présente notice, tant en raison des problèmes techniques particuliers qu'il pose que parce que c'est de lui que dépend en définitive la rentabilité du puits. Dans le passé, nombre de programmes de puits se sont contentés d'atteindre la nappe, sans réaliser un véritable captage de celle-ci. Les puits se sont taris, ou n'ont donné qu'un débit insuffisant, obligeant à les approfondir ultérieurement.

2.1.2.2 Choix des procédés de construction

Ce choix est essentiellement fonction des caractéristiques du terrain.

Selon la nature des couches à traverser, le fonçage du puits doit être réalisé en utilisant telle ou telle des techniques décrites plus loin. Ces techniques réclament toute l'intervention d'équipes spécialisées, mais elles s'accommodent également, dans une mesure variable, d'une participation des populations. Il est impératif que cette participation soit fonction des difficultés techniques rencontrées.

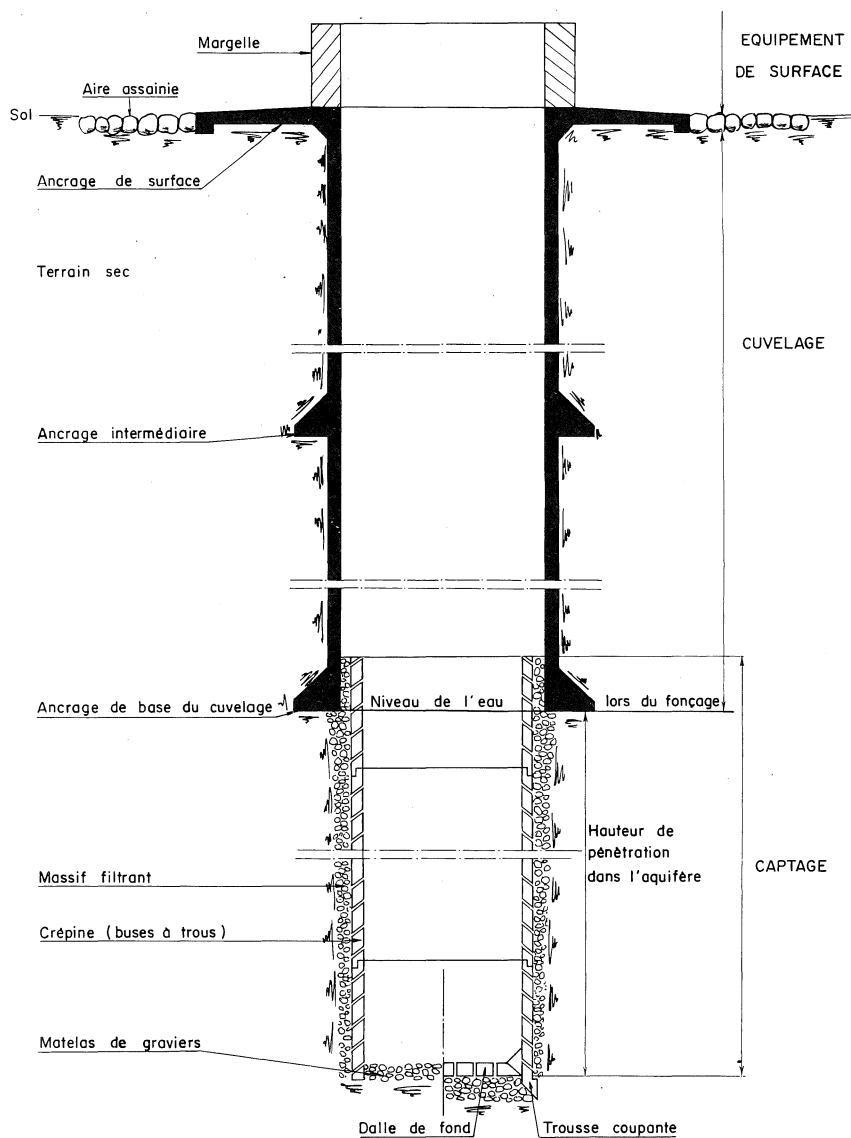
Les cuvelages, réalisés soit en béton armé, soit avec des viroles métalliques, se sont généralisés en Afrique. L'expérience montre que les puits ainsi construits ont une longévité satisfaisante.

Pour des profondeurs inférieures à 30 m, et en terrain tendre, on peut haver (c'est-à-dire faire descendre sous son propre poids, en excavant à la base) un cuvelage constitué d'un train de buses en béton. Les buses de la base, perforées de barbacanes, sont ainsi introduites dans la nappe et servent de captage.

Dans tous les autres cas, le cuvelage du puits s'arrête au niveau de l'eau ; il est coulé en place par tranches successives en descendant ou en remontant. Lorsque le cuvelage est terminé, on met en place, à l'intérieur, un captage autonome, formé de buses perforées de plus petit diamètre, qu'on have ou qu'on construit.

Fig: 13

PUITS EN BÉTON ARMÉ A CAPTAGE AUTONOME



TABEAU N° 2
Choix des procédés de construction des puits en fonction de la nature des terrains

Nature des terrains	Moyens de fonçage	Cuvelage	Captage
1. Terrains instables <ul style="list-style-type: none"> ● Sable boulant ● Argile kaolinique 	Houe, pelle	<ul style="list-style-type: none"> ● Cuvelage havé (moins de 30 m), éventuellement captant. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Base du cuvelage. ● Colonne de buses avec trousse coupante, havée à niveau d'eau constant (havage mécanique).
2. Terrains tendres <ul style="list-style-type: none"> ● Sable argileux ● Grès tendre ● Marne tendre ● Latérite ● Calcaire tendre ● Arène grenue ● Schiste altéré 	Pioche, pic, barre à mine	<ul style="list-style-type: none"> ● Cuvelage havé (moins de 30 m), éventuellement captant. ● Cuvelage en béton armé avec ancrages intermédiaires en descendant par passes de 1 m ou en remontant avec des tranches découvertes de 10 m. ● Cuvelage métallique. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Base du cuvelage. ● Colonne de buses avec trousse coupante, havée manuellement, avec épuisement du puits.
3. Terrains durs <ul style="list-style-type: none"> ● Grès ● Marne indurée ● Calcaire et dolomie ● Schistes à filons de quartz ● Granite peu altéré 	Marteau-piqueur	<ul style="list-style-type: none"> ● Cuvelage en béton armé avec ancrages intermédiaires ou en remontant avec des tranches découvertes de 10 m. ● Cuvelage métallique. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Colonne de buses, sans trousse coupante, mise en place en remontant après le fonçage, avec épuisement.
4. Terrains très durs <ul style="list-style-type: none"> ● Grès compact ● Calcaire dur ● Quartzite ● Granite sain fissuré 	Explosif	<ul style="list-style-type: none"> ● Pas de cuvelage, mais ancrage de surface de 3 m au minimum. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Trou nu. Pas de colonne de captage.

Le captage est, d'une manière générale, constitué par des buses en béton armé, percées de trous et ceinturées de graviers filtrants. Pour des cas particuliers (terrains de granulométrie très fine) on peut utiliser des buses en béton armé avec des éléments de crépines à nervures repoussées.

Jusqu'à ces dernières années, le béton armé était moins coûteux que les viroles métalliques et que les matériaux synthétiques. Mais dans les zones défavorisées (approvisionnement difficile), mauvaise viabilité, absence de matériaux à proximité, on peut penser qu'en raison du coût croissant des transports, les matériaux nouveaux le concurrenceront de plus en plus.

Le tableau n° 2 ci-contre résume les techniques de fonçage, de cuvelage, et de captage à utiliser en fonction de quatre principaux types de terrains.

2.2 LE FONÇAGE EN TERRAIN SEC

On peut décomposer l'exécution d'un puits moderne en quatre opérations successives :

1. le fonçage en terrain sec,
2. la construction du cuvelage,
3. la mise en place du captage,
4. l'équipement de surface.

Le fonçage en terrain sec est l'opération qui consiste à réaliser la fouille, de la surface du sol au niveau de l'eau.

Les dimensions de cette fouille sont fonction de celles à donner au cuvelage. La forme circulaire offre une résistance maximum à la pression du terrain et une surface de paroi minimum.

Le diamètre de la fouille doit être égal au diamètre intérieur du cuvelage, augmenté de deux fois l'épaisseur de celui-ci. Pour un puits dont le cuvelage doit avoir un diamètre intérieur de 1,80 m et une épaisseur de 0,10 m, le diamètre à donner à la fouille sera de 2,00 m. Bien entendu, cette fouille devra être parfaitement verticale.

2.2.1 Caractéristiques de la fouille

Lorsque l'emplacement du puits est choisi, on trace sur le sol, un cercle égal au diamètre de la fouille.

Si le puits est foncé sans soutènement immédiat, on prendra soin de fixer des repères sur le sol à 1 m des bords de la fouille, de manière à permettre de retrouver l'axe de la fouille au cours des travaux (fig. 14).

A partir des 4 piquets-repères, on tend 2 fils qui se couperont à angle droit au point A dans l'axe de la fouille. A partir de ce point,

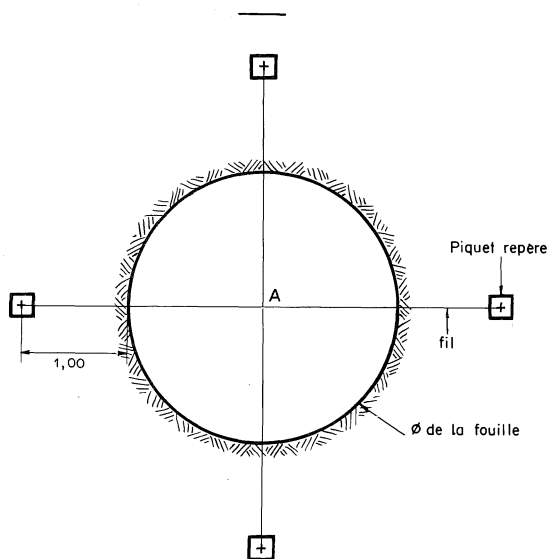
et avec l'aide d'un fil à plomb, il est possible, à tout moment de l'exécution de la fouille, de déterminer son axe et de maintenir la verticalité du trou.

Le diamètre de la fouille doit être parfaitement régulier, car toutes les parties du terrain enlevées en trop devront être remplacées par le matériau constituant le cuvelage ; par contre, si le terrain empiète sur l'épaisseur du cuvelage, ce dernier n'aura plus l'épaisseur voulue. Pour faciliter la régularité de la fouille, on utilise un gabarit circulaire et on le descend au fur et à mesure de l'avancement de la fouille. Tous les 5 m, le centrage du gabarit est vérifié à l'aide d'un fil à plomb.

Dans le cas où le fonçage et le cuvelage sont réalisés simultanément, la verticalité et la régularité de la fouille sont contrôlées mètre par mètre, lors de la mise en place des coffrages.

Fig: 14

REPÈRAGE DE L'AXE DE LA FOUILLE



2.2.2 L'avant-trou

Dans le cas où le manque de renseignements sur la nature de terrain ou la position de la nappe rend nécessaire de creuser un avant-trou, celui-ci est réalisé au diamètre de 0,90 ou 1 m dans les mêmes conditions que pour un puits ordinaire.

La technique du fonçage diffère suivant la nature du terrain. Nous décrirons successivement le fonçage :

- en terrain tendre,
- en terrain dur,
- en terrain très dur,
- en terrain instable.

2.2.3 Fonçage en terrain tendre

Par ce terme, nous entendons les terrains pouvant être traversés avec des moyens techniques rudimentaires, tels que le pic, la barre à mine, ou la houe. Ce sont par exemple des sables consolidés, de l'argile, des grès ou des schistes tendres, des formations d'altération de roches cristallines (granite, gneiss).

Dans le fond de la fouille, l'attaque du terrain se fait habituellement au pic. Il est recommandé de creuser au centre une dépression qui sera utilisée comme surface de dégagement, et de dégager le terrain de proche en proche jusqu'à la paroi de la fouille. On procède à l'abattage des tranches 1 à 6 comme l'indique le schéma (fig. 15).

La stratification, les fissures, et d'une manière générale les points faibles du terrain doivent être utilisés au maximum lors du fonçage.

Le terrain réputé tendre peut être très stable, mais il peut aussi se désagréger après avoir présenté une stabilité suffisante au cours de l'abattage, et nécessiter un soutènement. De la stabilité du terrain dépend la technique à employer pour le cuvelage :

- ou bien on exécute le fonçage jusqu'à l'eau, et on réalise le cuvelage en une phase ultérieure, en remontant vers la surface ;
- ou bien on réalise le cuvelage au fur et à mesure de l'avancement.

SCHEMA DE FONÇAGE

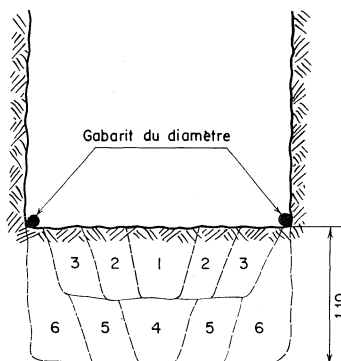


Fig: 15

Si l'on rencontre au cours du fonçage une alternance de terrains stables et instables, il faut cuveler progressivement, au cours de la descente. A noter que l'observation des puits traditionnels existant dans le voisinage est d'une grande utilité pour l'appréciation de la stabilité du terrain.

Le fonçage en terrain tendre ne nécessite pas de main-d'œuvre spécialisée. L'avancement est habituellement de l'ordre de 1 m par journée de travail de 8 h (fonçage et cuvelage) pour une fouille de \varnothing 2,00 m, avec deux ouvriers sur le chantier.

2.2.4 Fonçage en terrain dur

Par terrain dur, nous entendons un terrain qui pourrait, à la rigueur, avec beaucoup d'effort et une baisse de rendement sensible, être attaqué à la barre à mine, mais dans lequel l'emploi d'un marteau-piqueur permet un avancement beaucoup plus rapide.

Il s'agit notamment de grès, de calcaire, de dolomie, de schiste dur, de granite et de gneiss peu altérés.

Pour l'abattage au marteau-piqueur on crée, comme dans le cas du terrain tendre, une surface de dégagement au centre du chantier, et on procède par enlèvements successifs du centre vers la paroi de la fouille (fig. 15). Tandis qu'un ouvrier utilise le marteau-piqueur, un deuxième ouvrier dégage les surfaces abattues, afin que le premier puisse attaquer des surfaces nettes. L'utilisation du marteau-piqueur étant pénible, il est souhaitable que les ouvriers puissent se relayer.

Lorsque le volume des déblais est suffisant, on les évacue afin de dégager la surface de travail.

Le terrain abattu au marteau-piqueur étant généralement stable, une dizaine de mètres peuvent souvent être foncés sans revêtement.

L'utilisation du marteau-piqueur demande une main-d'œuvre spécialement entraînée. Le cas échéant, le puisatier peut se faire aider par un ouvrier non qualifié (en cours de formation), mais la direction de l'abattage incombe à une personne qualifiée.

La vitesse d'avancement du fonçage au marteau-piqueur sans revêtement peut atteindre 1 m par jour.

2.2.5 Fonçage en terrain très dur

Par terrain très dur, nous entendons un terrain qui ne peut être abattu au marteau-piqueur qu'avec des vitesses d'avancement anormalement lentes et qui nécessite, de ce fait, le recours à l'explosif.

Il peut s'agir de granite ou de gneiss sain, de quartzite, de calcaire, de grès, etc...

L'utilisation de l'explosif nécessite le recours à du personnel spécialisé, et comporte deux phases successives :

- la perforation des trous de mine,
- le minage.

Nous nous bornerons ici à une description rapide de l'utilisation des explosifs, renvoyant le lecteur, pour une information plus complète à l'ouvrage de R. Bremond (doc. 6), qui analyse en détail le fonctionnement et l'utilisation du matériel de fonçage des puits.

2.2.5.1 La perforation des trous de mine est réalisée avec un marteau-perforateur et un fleuret. La longueur du fleuret est choisie en fonction du trou de mine qu'on désire forer. Le diamètre du trou, qui doit permettre le passage des cartouches d'explosif, est de 3 à 4 cm.

La perforation des trous de mine dans une fouille circulaire ne doit pas s'effectuer au hasard, mais suivant un schéma préalablement établi et adapté à la nature des terrains à abattre.

Le schéma de perforation est caractérisé par 3 types de trous (fig. 16) : trous de dégagement (1), de bouchon (2), et de parement (3).

La longueur H du trou de mine doit dépasser de 10 % (A) l'épaisseur de roche qu'on désire abattre (B).

L'avancement B est fonction du diamètre D du puits :

- pour $D = 1,60$ m, on peut compter, en moyenne que $B = 0,90$ m ;
- pour $D = 2,00$ m, on peut compter, en moyenne que $B = 1,10$ m.

2.2.5.2 Le minage

Après la perforation et le nettoyage des trous de mine, ces derniers sont chargés avec de l'explosif.

La charge d'explosif nécessaire pour un trou de mine est donnée par la formule suivante :

$$C = ERL^2$$

dans laquelle

C = la charge d'explosif en kg.

E = est fonction de la surface de dégagement (dans les travaux de fonçage on admet $E = 1$).

R = est fonction de la nature de l'explosif. Pour les dynamites $R = 0,8$.

L = est fonction de la roche et de la longueur des trous de mine
 $L = 0,75 H$.

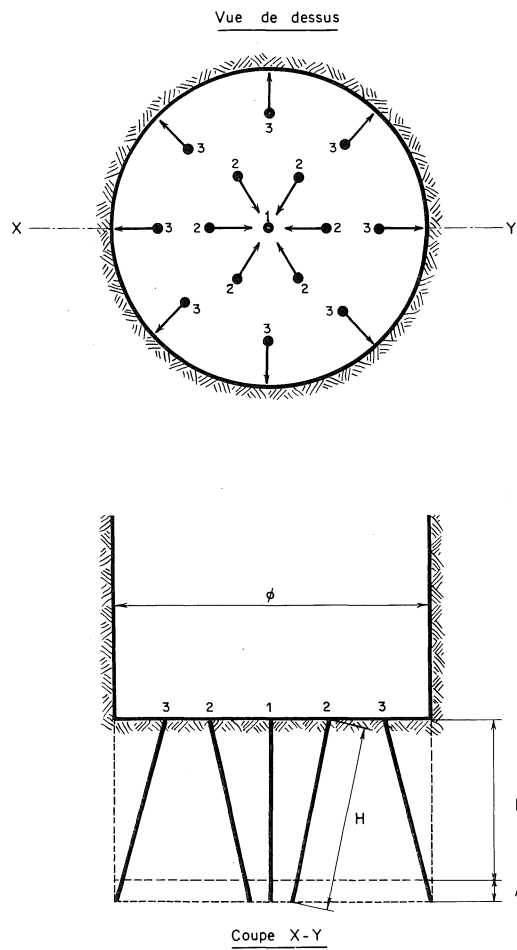
Exemple : En supposant $H = 1,20$ m soit $L = 0,9$, on a pour une fouille d'un diamètre de 2,00 m :

$$C = 1 \times 0,8 \times 0,9^2 \approx 0,65 \text{ kg de dynamite .}$$

Les 6 trous de bouchon et 8 trous de parement nécessaires pour une fouille de $\varnothing 2,00$ m (fig. 14) correspondent donc à une charge

Fig: 16

SCHEMA DE TIR POUR LE FONÇAGE DES Puits



totale d'explosif de l'ordre de 9 kg, pour un avancement de 1,10 m en principe.

En fait, le nombre des trous de mine varie suivant la nature du terrain, l'orientation de la stratification et l'importance des fissures. A partir d'un schéma de tir préalablement établi, on modifiera leur nombre, en fonction des résultats obtenus au tir.

— *L'amorçage.* Les cartouches d'explosif sont introduites dans les trous de mine, munies d'une amorce. L'amorce peut être électrique, à mèche, ou constituée par un cordeau détonant.

Le détonateur est introduit dans un trou percé à l'aide d'une tige de cuivre ou de bois dans la cartouche. La cartouche et les fils du détonateur doivent être attachés (fig. 17).

Après avoir curé le trou de mine, les cartouches d'explosif y sont introduites en ayant bien soin d'éviter qu'elles ne se trouvent séparées par de la poussière, qui risquerait de gêner la propagation de l'onde explosive. La cartouche-amorce peut être placée au fond du trou (amorçage postérieur), ou à l'autre extrémité de la charge (amorçage antérieur). Les positions intermédiaires (amorçage inverse) sont prosrites (fig. 18).

L'efficacité du tir est meilleure avec l'amorçage antérieur mais, avec les détonateurs à retard, l'amorçage postérieur est obligatoire, dans le souci d'éviter une détérioration à l'air libre.

— *Le bourrage.* C'est l'opération, qui consiste à rendre solidaire l'explosif et le terrain afin que l'explosion se fasse en milieu clos. Il est fait avec du sable ou de l'argile. La longueur du bourrage est de 50 cm.

— *Le tir.* La mise à feu des explosifs est réalisée à la mèche, au cordeau détonant, ou électriquement. Pour le fonçage des puits, le tir électrique est préférable, car il peut être provoqué en toute sécurité de l'extérieur du chantier.

Afin que l'explosion crée une surface de dégagement maximum, le tir est effectué en deux temps. Grâce à des amorces à retard, on fait exploser en premier lieu les trous de bouchon (2), puis les trous de parement (3).

Après le tir, il est nécessaire d'aérer le chantier et d'évacuer les fumées, le procédé le meilleur étant d'insuffler par un flexible de l'air comprimé au fond de la fouille.

D'une manière générale, les terrains très durs sont très stables ; ils ne nécessitent donc de soutènement, ni au cours des travaux, ni dans l'état définitif du puits.

Il arrive cependant que des terrains ayant nécessité l'utilisation de l'explosif pour l'abattage doivent être cuvelés une fois le puits fini. Certains terrains, quoique très durs, ont en effet la propriété de se désagréger ou de se fissurer plus ou moins vite au contact de l'atmosphère, et ne peuvent être laissés sans soutènement.

Fig: 17

CARTOUCHE AMORCE

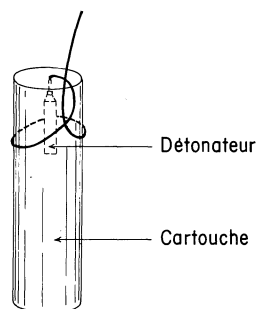
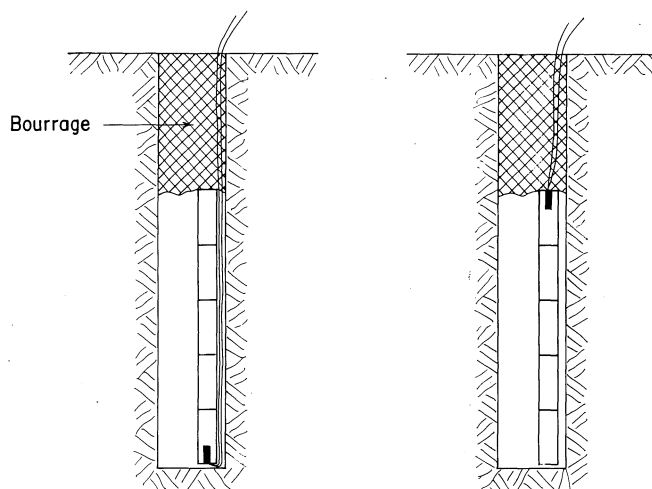


Fig: 18

DIFFÉRENTS TYPES D'AMORÇAGE



Amorçage postérieur
(obligatoire avec des
détonateurs à retard)

Amorçage antérieur

L'avancement du fonçage à explosif est variable (de 0,5 à 1 ou 2 m/jour). L'extraction des déblais peut être difficile : suivant la nature de la roche, il est parfois nécessaire d'utiliser le marteau-piqueur pour débiter les blocs dont le chargement à la pelle est malaisé.

2.2.6 Fonçage en terrain instable

Par terrain instable (parfois aussi appelé « boulant »), nous désignons un terrain qui n'est en équilibre, en talus naturel par exemple, que si la pente est très faible. Dans le cas d'une fouille de puits, dès que ce terrain est découvert sur une faible hauteur, il glisse dans la fouille, annulant tout avancement.

C'est notamment le cas des sables d'origine éolienne (sable dunaire) et de certaines arènes de granulométrie très fine.

La technique de fonçage la plus efficace, et d'ailleurs la seule utilisable en terrain boulant, consiste à mettre en place une colonne de buses avant même d'avoir procédé à l'enlèvement des déblais. C'est ce qu'on appelle *le havage* : la colonne s'enfonce dans le terrain sous l'effet de son propre poids, au fur et à mesure que les déblais sont extraits.

Cette technique est utilisée pour des cuvelages de profondeur réduite, et d'une manière plus générale pour la mise en place des captages.

Lorsqu'on se trouve en présence d'une épaisseur limitée de terrain instable intercalée entre des formations de bonne tenue, il est en général possible de la traverser en plusieurs passes de fonçage réduites (0,50 à 0,2 m), avec mise en place immédiate du cuvelage. Il peut être avantageux de mouiller le terrain au préalable, ce qui lui donne parfois une meilleure stabilité.

Dans ce type de terrain, l'abattage à la houe ou à la pelle ne présente pas de difficultés, mais le volume des déblais à évacuer peut être important. L'avancement du fonçage ne dépasse pas 0,20 à 0,50 m par jour, lorsqu'on procède par tranches de faible hauteur, cuvelées au fur et à mesure. Le havage permet par contre des avancements de l'ordre de 2 à 3 m par jour, ou plus.

2.2.7 Evacuation des déblais

L'évacuation des déblais est réalisée à l'aide soit de seaux (10 l environ), soit de « cuffats » (20, 30, 50 ou 100 l). Elle est fonction du matériel disponible.

Une poulie simple et, *a fortiori*, une corde tirée directement à la main permettent d'évacuer seulement 10 à 20 l (correspondant à un poids de 20 à 40 kg) de déblais à la fois. Un treuil à main permet d'utiliser des cuffats de 30 à 40 l (60 à 80 kg de déblais).

L'emploi de cuffats de 100 l nécessite un treuil à moteur, qui a l'avantage de faciliter la manutention du cuffat et sa vidange à l'extérieur du puits.

Compte tenu du foisonnement, le volume des déblais à extraire est de 4,7 m³ au mètre pour un diamètre de 2,00 m, et de 3,0 m³ au mètre pour un diamètre de 1,60 m.

Le temps d'évacuation des déblais intervient pour une part importante dans le temps total du fonçage du puits. Des moyens insuffisants d'extraction se traduisent par une diminution très sensible de la vitesse d'avancement.

Un certain nombre de précautions sont nécessaires pour l'extraction des déblais :

- le chargement des cuffats doit être modéré ;
- la dimension des blocs doit leur permettre de prendre place normalement dans le cuffat ;
- le dessous des cuffats doit rester propre.

Notons que lors du fonçage du puits sous l'eau, c'est, le plus souvent, le matériel ayant servi à l'extraction des déblais qui est utilisé pour évacuer l'eau de la fouille. Le débit pouvant être évacué sera fonction du volume des récipients (seaux ou cuffat) et de leur vitesse de remontée et de descente.

L'extraction des déblais ne nécessite pas l'intervention de personnel spécialisé : 1 ou 2 personnes au fond du puits chargent le cuffat, 2 personnes manipulent le treuil ou tirent la corde, 2 personnes saisissent le cuffat (80 kg) à la gueule du puits et le transportent sur le lieu où sont stockés les déblais.

L'accès du personnel au fond se fait habituellement avec le matériel utilisé pour l'extraction des déblais. Mais une mesure indispensable de sécurité consiste à laisser pendre dans le puits une corde de garde solidement amarrée à la surface. Cette corde permet au personnel de s'assurer à la descente et à la remontée, et constitue également une sauvergarde en cas de rupture ou de défaillance du système de levage.

2.2.8 Stockage des déblais en surface

Les déblais doivent être stockés en surface de manière à ne pas gêner l'accès au puits. Il est souhaitable de les épandre sur une épaisseur ne dépassant pas quelques décimètres.

Une précaution que nous considérons comme indispensable consiste à déposer à terre, à une vingtaine de mètres au minimum du puits, un cuffat du terrain traversé pour chaque mètre d'avancement. On matérialise ainsi sur le sol la coupe géologique du puits, qui sera relevée par le responsable de travaux et pourra être retrouvée en cas de besoin.

2.3 LE CUVELAGE

2.3.1 Les matériaux

La qualité des matériaux utilisés pour le cuvelage conditionne sa longévité. Les sables et les graviers sont trop souvent prélevés, pour des raisons d'économie ou de commodité, à très faible distance du chantier, et utilisés tels quels, de sorte qu'ils sont chargés d'argile ou de matières organiques. Or la présence d'argile est nuisible à la qualité d'un béton ; elle limite sa résistance et facilite le retrait au durcissement, avec création de fissures.

Avant l'ouverture d'un chantier ou d'un groupe de chantiers, il est donc nécessaire de prospector les gîtes de matériaux, de manière à n'utiliser que des sables et graviers de bonne qualité.

2.3.1.1 Les sables

Ils doivent être de préférence siliceux et ne pas contenir d'argile. Les sables éoliens (sables de dunes) sont souvent très fins et relativement riches en argile. Il est rare, pour ces raisons, que leur utilisation soit possible.

Ce sont les sables alluviaux qui constituent le meilleur matériau, et c'est donc par les lits de marigots que la prospection doit commencer.

Lorsque le sable disponible contient une certaine proportion de fines ou d'argile, on l'en débarrasse par tamisage, en prenant la précaution de n'utiliser que du sable parfaitement sec.

Les granulométries admissibles sont les suivantes :

- pour la composition des mortiers : entre 0,5 mm et 2 mm ;
- pour la composition des bétons : entre 2 mm et 5 mm

2.3.1.2 Les graviers

Les graviers, qui doivent être durs et résistants, sont le plus souvent siliceux ou calcaires.

L'emploi de graviers ferrugineux (latérite) est déconseillé, et nécessite en tout cas de s'assurer de leur qualité. Il est fréquent que leur dureté ne soit pas suffisante ou qu'ils se désagrègent au contact de l'eau.

La granulométrie des graviers utilisables pour la composition des bétons est comprise entre 10 et 25 mm.

Si l'on ne dispose pas de graviers de granulométrie convenable, on procède au concassage de pierres ; dans le cadre des chantiers utilisant la participation villageoise, cette opération se fait à la main, à l'aide d'une massette.

Le tamisage des graviers permet d'éliminer les éléments inférieurs à 10 mm, et peut se faire soit à sec, comme pour les sables, soit par lavage.

2.3.1.3 Le ciment

Toutes les parties du puits, bétons et maçonneries, dans l'eau ou hors de l'eau, doivent être construites avec du ciment Portland artificiel, de la classe 250/315. Ces chiffres indiquent qu'il offre une résistance supérieure à 250 kg au cm² après 7 jours de durcissement, et une résistance supérieure à 315 kg au cm² après 28 jours.

2.3.1.4 Les fers

Les armatures métalliques des cuvelages et des buses sont des fers ronds lisses, en acier doux, de diamètre 6-8-10 mm.

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

résistance à la rupture	38 à 42 kg/mm ²
limite nominale d'élasticité	24 à 26 kg/mm ²
allongement de rupture	20 à 22 %

taux limites d'utilisation :

en extension	14 kg/mm ²
au cisaillement et au glissement	11,2 kg/mm ²

On utilise aussi du treillis soudé de Ø 6 mm à maille de 15 × 15 cm. Avec ce diamètre, la limite d'élasticité nominale du fil est de 53 kg/mm².

Les fers sont ligaturés avec du fil de fer recuit.

Pour éviter la corrosion par l'eau, les armatures métalliques doivent être entièrement noyées dans le béton, sans contact avec l'extérieur. Il est très souhaitable de vibrer le béton, pour qu'il adhère parfaitement aux armatures et que tous les vides soient éliminés.

Le raccordement des fers entre eux doit se faire avec un recouvrement de 0,25 m, de manière à assurer une parfaite cohésion du cuvelage.

2.3.2 Préparation des mortiers et des bétons

2.3.2.1 Les mortiers (doc. 15)

La préparation des mortiers, qui consiste à mélanger intimement le sable, le ciment et l'eau, s'effectue sur une aire cimentée au préalable à proximité du puits.

Le sable et le ciment sont dosés dans la proportion de 400 kg de ciment pour 1 000 l de sable.

Le cubage du sable se fait avec un fût de 200 l, une brouette de 50 l, ou tout autre gabarit.

Dans un premier temps, on mélange le sable et le ciment, puis on ajoute l'eau, et on malaxe l'ensemble.

La quantité d'eau nécessaire pour l'obtention d'un bon mortier est celle strictement nécessaire pour obtenir une pâte plastique, qui ne doit être ni trop sèche, ni trop humide : l'insuffisance d'eau donne-

rait une mauvaise adhérence des matériaux et l'excès d'eau réduirait d'une manière sensible la résistance du mortier.

2.3.2.2 Les bétons

Le béton est constitué par un mélange de ciment, de sable, de gravier et d'eau.

Les bétons à utiliser pour la construction des puits peuvent être dosés à 300 kg, 350 kg ou 400 kg de ciment par m³ de béton.

Les quantités de matériaux à mettre en œuvre sont les suivantes :

Ciment	Sable	Gravier
—	—	—
300 kg ou 350 kg ou 400 kg	400 l	800 l

La préparation et le mélange des bétons sont identiques à ceux des mortiers.

La quantité d'eau de gachage influe sur la facilité de mise en œuvre du béton et sur sa résistance. S'il n'y a pas assez d'eau, le béton est sec et sa mise en place est difficile. S'il y a trop d'eau, l'évaporation laissera des vides : le béton sera poreux et il adhèrera mal aux aciers. La quantité optimale pour les bétons de puits est de 180 à 200 l d'eau par m³ de béton.

Le coulage dans les moules, préalablement huilés, implique la fluidité du béton, qui doit s'insérer jusqu'au bas du moule, et remplir exactement les interstices des armatures.

Pendant la coulée, le béton doit être vibré, ce qui peut être réalisé en frappant les parois du moule avec un marteau.

Le décoffrage du béton doit être fait au plus tôt 5 h après le coulage, de manière à laisser au ciment le temps de prendre. Lorsqu'il s'agit d'un béton coulé en surface (ancrage, buses, margelle, abreuvoir), il faut prendre soin de l'abriter du soleil dès le décoffrage et de l'arroser périodiquement, durant une semaine environ.

La résistance à l'écrasement du béton armé, mesurée au bout de 90 jours, dépend de la proportion de ciment :

Pour 300 kg de ciment au m ³ , elle est de	215 kg/cm ²
— 350 kg de ciment	235 kg/cm ²
— 400 kg de ciment	250 kg/cm ²

On ne doit pas faire travailler le béton à la compression à plus de 30 % du taux de résistance à l'écrasement.

2.3.3 Les diamètres

Le choix du diamètre du cuvelage dépend du débit prévisible, qui conditionne les possibilités de puisage, et aussi de la possibilité d'effectuer les travaux de fonçage dans des conditions normales.

Le diamètre intérieur des puits modernes, en Afrique francophone, a tendance à se normaliser. Il est le plus souvent de 1,80 m, parfois de 1,40 m.

2.3.3.1 Le diamètre 1,80 m a été adopté dans la plupart des régions où les nappes peuvent fournir de 3 à 5 m³/h, et pour les puits très activement utilisés.

En zone pastorale sahélienne, un puits de Ø 1,80 m permet de placer côte à côte 6 à 8 fourches à poulie ; dans les zones rurales, 10 à 12 personnes peuvent puiser de l'eau simultanément.

Le diamètre de la fouille du puits étant de 2,00 m, deux ouvriers peuvent travailler ensemble sans aucune gêne lors du fonçage.

2.3.3.2 Le diamètre 1,40 m utilisé à l'origine dans la technique des puits FRIRY, est de moins en moins pratiqué pour les puits en béton armé. Mais on le rencontre encore dans les régions où les nappes donnent de faibles débits, ou pour les puits de fréquentation peu importante (habitat dispersé).

Sur un puits de Ø 1,40 m, 6 à 8 personnes peuvent puiser en même temps.

Le diamètre de la fouille étant de 1,60 m, deux ouvriers ne peuvent travailler ensemble, et la vitesse d'avancement du fonçage est moindre.

La quantité des matériaux utilisés dans un puits de Ø 1,40 m est d'environ 20 % inférieure à celle nécessaire pour un puits de 1,80 m.

La généralisation de ces deux diamètres peut être considérée comme une normalisation, et elle facilite l'action des services responsables de l'entretien des puits. Le puits de 1,80 m est de plus en plus fréquent, car ses avantages sont beaucoup plus notables que ses inconvénients. Son prix de revient, en particulier, n'est pas sensiblement plus élevé que celui du puits de 1,40 m.

2.3.4 Les techniques de cuvelage

Nous passerons ici en revue l'ensemble des méthodes de cuvelage employées en Afrique tropicale, en étudiant plus en détail les cuvelages en béton armé et métalliques, qui sont les plus utilisés ; nous parlerons aussi de la méthode FRIRY, qui a constitué en son temps un progrès certain et conserve de l'intérêt lorsqu'on a peu de matériel disponible.

2.3.4.1 Cuvelage en béton armé avec ancrage (pl. hors texte A et B)

2.3.4.1.1 Caractéristiques techniques.

La paroi de la fouille est ici entièrement recouverte de béton armé. Deux méthodes sont utilisées, selon la stabilité du terrain traversé :

— si le terrain est instable, on met progressivement en place le

béton armé au fur et à mesure du fonçage, par passes de 1 m ou de 0,50 m ;

— si le terrain est stable, on procède à la totalité du fonçage avant de cuveler. Le béton est alors mis en place en commençant par le bas et en remontant jusqu'à la surface. On peut également procéder par tranches de fonçage d'une dizaine de mètres.

La quantité de béton à mettre en place est la même dans tous les cas, mais il faut environ 20 % de ferraille supplémentaire (en raison des nombreux recouvrements) lorsque le cuvelage est réalisé à la descente, par passes successives.

Un ancrage robuste doit être réalisé à la surface du sol. Son rôle sera de supporter le cuvelage construit au-dessous de lui, dont le poids est maximum au début, lorsque le terrain n'a pas encore comprimé le cuvelage. D'où l'importance du ferrailage vertical, dont la résistance est essentielle.

Dans les puits profonds, pour limiter les charges s'exerçant sur l'ancrage de surface, il y a lieu de réaliser des ancrages intermédiaires, tous les 10 m par exemple, en choisissant les parties les plus compactes du terrain. Un ancrage terminal est enfin réalisé au niveau de l'eau.

On trouvera ci-dessous les principales caractéristiques techniques des cuvelages en béton armé avec ancrage :

Désignation	Puits de 1,80 m	Puits de 1,40 m
Diamètre intérieur	1,80 m	1,40 m
Diamètre extérieur	2,00 m	1,60 m
Epaisseur du cuvelage	0,10 m	0,10 m
Dosage du béton	300 kg	300 kg
Nombre de fers verticaux Ø 8 mm (au mètre) ...	28	22
Nombre de fers horizontaux Ø 6 mm (au mètre) ..	6	6
Distance entre les fers verticaux	0,21 m	0,21 m
Traction pouvant être supportée par les fers verticaux	22 t	18 t
Poids du béton armé pour 10 m de hauteur entre deux ancrages	15 t	12 t

2.3.4.1.2 Les armatures métalliques

Les armatures métalliques du cuvelage sont composées de fers ronds lisses de Ø 8 mm, disposés verticalement à raison de :

22 fers pour les puits de Ø 1,40 m
28 fers pour les puits de Ø 1,80 m

Elles sont croisées horizontalement, par des cercles de fer de Ø 6 mm, espacés de 15 cm et disposés sur l'intérieur du puits ; les fers verticaux et horizontaux sont ligaturés aux points où ils se recoupent.

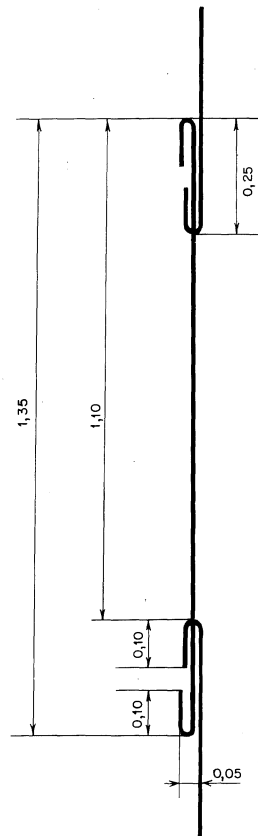
Aux extrémités, les raccordements des fers se font avec un recouvrement de 0,25 m, par des crochets (fig. 19).

Dans le cas où le cuvelage est réalisé en descendant, au fur et à mesure du fonçage, le ferrailage est mis en place mètre par mètre.

Fig: 19

RACCORDEMENT DES ARMATURES VERTICALES

Cas d'exécution : cuvelage réalisé en descendant



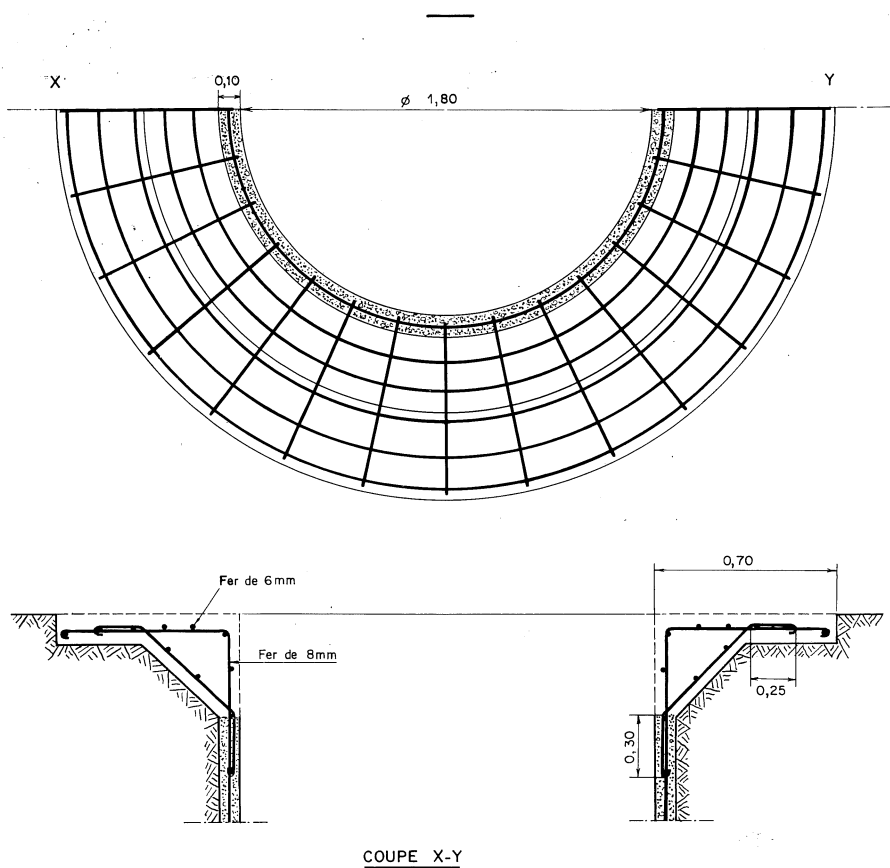
Par contre, si le cuvelage est construit à la fin du fonçage, on peut ferrailer sur toute la longueur des fers livrés dans le commerce, c'est-à-dire sur 6 m.

Le ferrailage des ancrages de surface, ou intermédiaires, est réalisé par le prolongement des fers verticaux du cuvelage.

L'ancrage de surface s'épanouit à l'extérieur de la surface du puits, de manière à former une couronne de 0,70 m ou 1 m de largeur (fig. 20).

Fig: 20

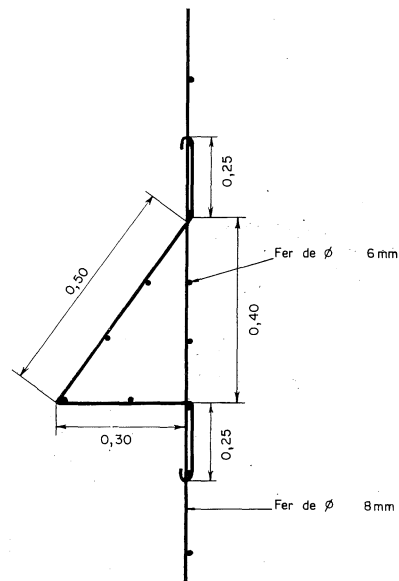
FERRAILLAGE D'UN ANCRAGE DE SURFACE



L'ancrage intermédiaire est ferrailé de telle sorte qu'il soit solidaire des armatures du cuvelage, avec des fers de $\varnothing 8$ mm (fig. 21).

Fig: 21

FERRAILLAGE D'UN ANCRAGE INTERMÉDIAIRE



2.3.4.1.3 Réalisation du cuvelage au cours de la descente

Après préparation de la fouille de l'ancrage, et fonçage du premier mètre, le ferrailage est mis en place de manière à dépasser de 0,25 m l'extrémité inférieure du coffrage, afin de permettre le recouvrement des fers suivants.

Le coffrage (moule métallique d'une hauteur de 1 m) est centré, mis à la verticale à l'aide d'un fil à plomb, puis calé. Le ferrailage doit occuper le milieu de l'espace compris entre la paroi de la fouille et le coffrage.

On coule ensuite le béton, en veillant à ce qu'il se glisse parfaitement au fond du coffrage, et on le vibre à coup de marteau au fur et à mesure du coulage. La partie extérieure de l'ancrage est ensuite

lissée à la truelle. Le décoffrage du moule ne doit pas avoir lieu moins de 8 h après le coulage.

Lorsque l'ancrage de surface et le premier mètre de cuvelage ont été réalisés, on continue à cuveler par tranches de 1,10 m en procédant comme suit :

— Fonçage sur 1,10 m. Mise en place des fers verticaux en les raccordant aux fers de la partie supérieure du cuvelage. Ils devront dépasser de 0,25 m la partie inférieure de la nouvelle tranche de cuvelage (la longueur de chaque fer vertical sera donc de 1,35 m). Fixation des fers horizontaux aux fers verticaux. Calage du coffrage de manière à laisser un espace libre de 0,10 m entre sa partie supérieure et le dessous du béton déjà coulé (fig. 22).

Le béton est ensuite coulé par cet espace libre. Lorsque le moule est rempli, on termine le raccordement avec la tranche de cuvelage précédente, par projection de béton et lissage à la truelle.

Rappelons qu'un ancrage interne doit être construit tous les 10 m. Pour cela, on aménage une fouille circulaire débordant celle du puits de 0,30 m de large et de 0,40 m de hauteur, et de forme trapézoïdale. Le ferrailage est réalisé comme indiqué figure 21. Le béton de l'ancrage est coulé en même temps que le cuvelage. Celui-ci est prolongé jusqu'au niveau de l'eau et repose en ce point sur un nouvel ancrage de base.

Dans le cas où l'on rencontre des terrains durs au cours du fonçage, la construction du cuvelage peut être interrompue sur toute la hauteur de ces formations. De toute manière un ancrage est nécessaire à la base du cuvelage.

2.3.4.1.4 Réalisation du cuvelage en remontant.

Cette méthode, qui implique que les terrains traversés soient de bonne tenue, a le grand avantage de permettre la réalisation du cuvelage (du bas vers le haut) en une seule passe, ou si le puits est profond, par tranches successives d'une dizaine de mètres environ.

Le premier élément du cuvelage est coulé au fond de la fouille, qui comprend l'ancrage de base (fig. 23).

Le ferrailage est mis en place. Il n'y a pas d'inconvénient à ce que sa longueur soit supérieure à la hauteur du coffrage (longueur des fers normalisés : 6 m). Le premier coffrage est centré à l'aide d'un fil à plomb, suivant la manière indiquée (fig. 14).

Au premier moule en place, on peut superposer un deuxième et un troisième moule, ce qui permet de couler des tranches de 2 ou 3 m de hauteur.

Les ancres intermédiaires sont réalisés comme il a été indiqué pour le cuvelage à la descente. L'ancrage de surface est exécuté en dernier lieu.

La technique du cuvelage en remontant est d'une mise en œuvre plus aisée que celle du cuvelage en descendant : elle sera réalisée chaque fois que les terrains le permettront.

Fig: 22

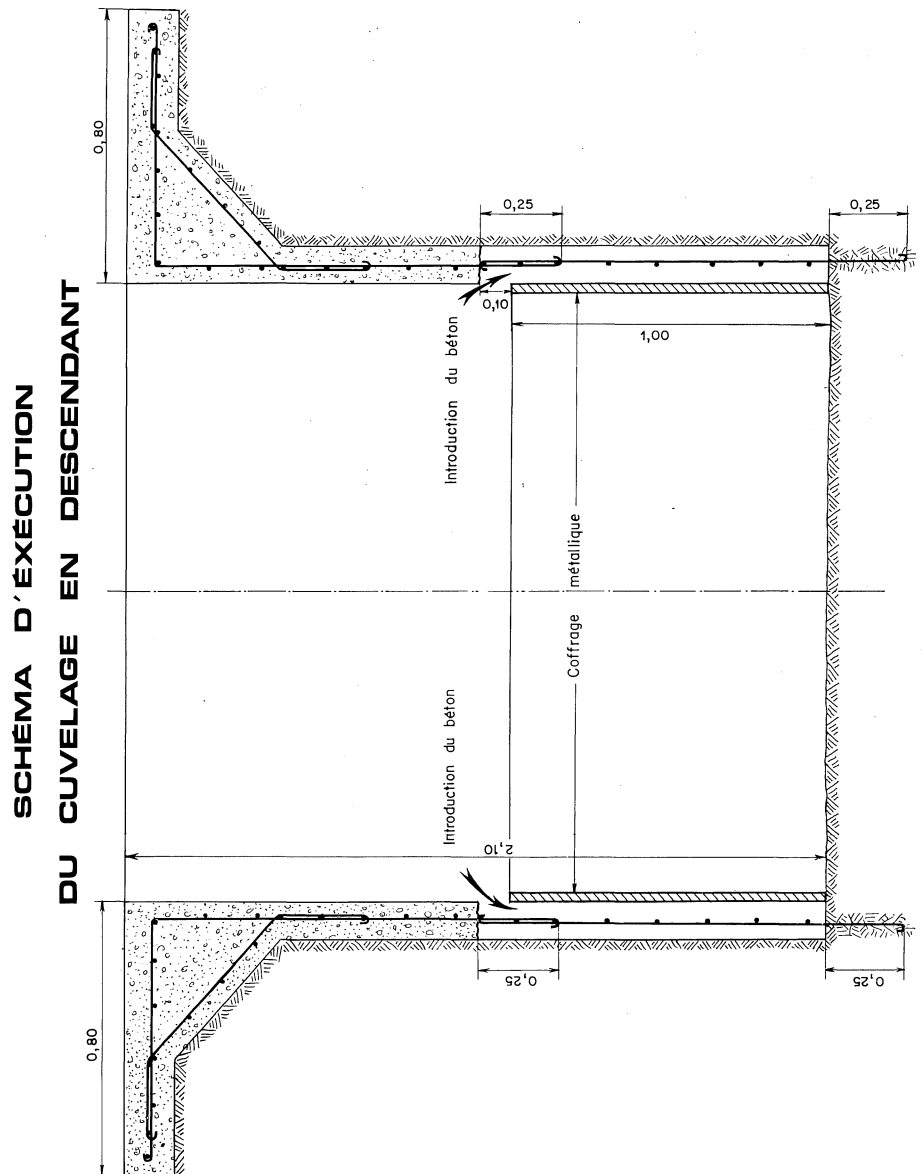
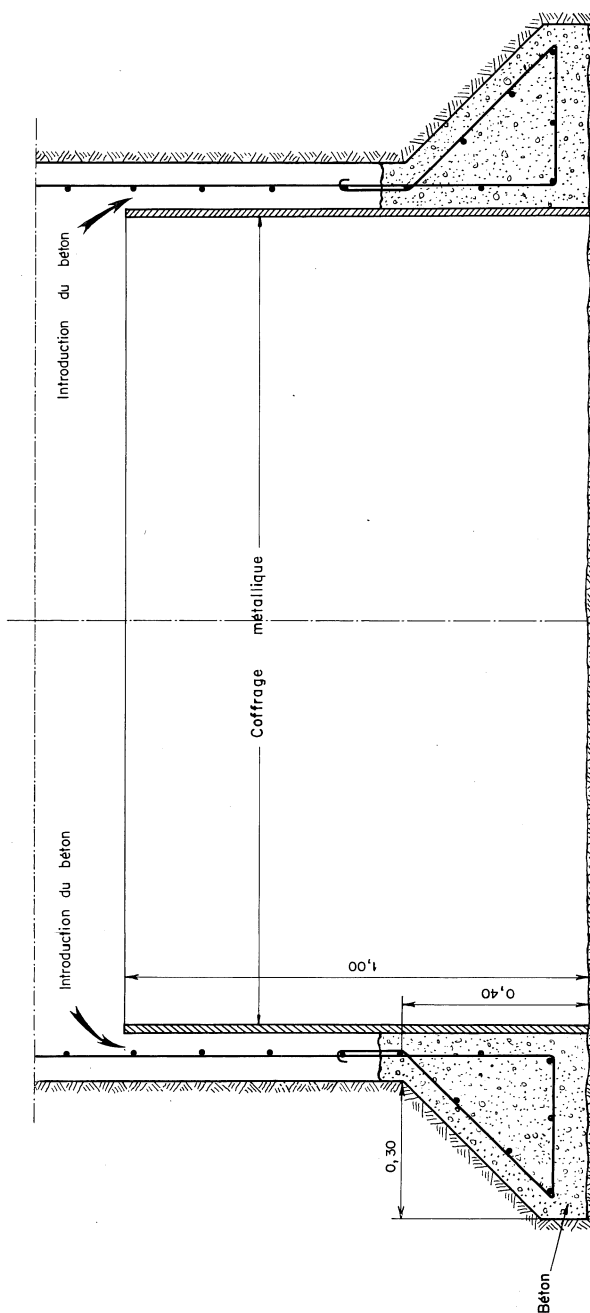


Fig: 23

SCHEMA D'EXECUTION DU CUVELAGE EN REMONTANT



Au fur et à mesure de la remontée, il est nécessaire de confectionner un plancher, qui sera accroché au coffrage, soit par l'intermédiaire de fers à béton pénétrant au travers du coffrage et prenant appui sur celui-ci, soit par encastrement.

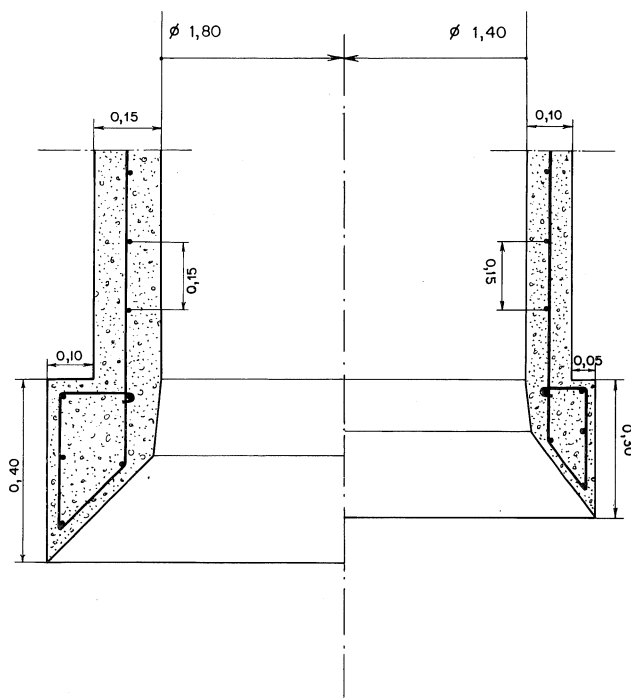
2.3.4.2 Cuvelage continu descendu par havage (pl. A hors-texte : puits \varnothing 1,40 m)

Si l'on a affaire à des terrains très instables nécessitant un soutènement immédiat, et si la profondeur du puits est modérée (une vingtaine de mètres), le cuvelage peut être mis en place par havage.

Dans ce cas, le cuvelage est coulé en surface de manière continue

Fig: 24

TROUSSE COUPANTE POUR CUVELAGE HAVÉ



au fur et à mesure de l'enfoncement, et constitue ainsi une colonne monolithique.

Son extrémité inférieure est munie d'un dispositif spécial appelé « trousse coupante » (fig. 24), en béton armé, dont la forme et le diamètre extérieur, plus grand que celui du cuvelage, facilitent la pénétration dans le terrain et la descente progressive de la colonne.

La trousse coupante et le cuvelage répondent aux caractéristiques suivantes :

Désignation	Puits de 1,80 m	Puits de 1,40 m
Diamètre extérieur du cuvelage	2,10 m	1,60 m
Epaisseur du cuvelage	0,15 m	0,10 m
Diamètre extérieur de la trousse coupante	2,30 m	1,70 m
Débordement de la trousse coupante	0,10 m	0,05 m
Hauteur de la trousse coupante	0,40 m	0,30 m
Largeur de la trousse coupante	0,25 m	0,15 m
Nombre de fers verticaux de Ø 8 mm	28	22
Nombre de fers horizontaux de Ø 6 mm (au mètre)	6	6
Dosage du béton	400 kg	400 kg

L'évacuation des déblais provoque l'enfoncement de la colonne de béton, qui doit être surveillée avec attention, pour que sa pénétration soit bien verticale et sans déviation, surtout si le terrain est hétérogène (alluvions à blocs ou galets). Il est souvent utile d'intercaler du gravier siliceux bien roulé entre le terrain et le cuvelage, à l'intérieur de l'espace ouvert par la trousse coupante, pour diminuer la perte de charge due aux frottements.

La descente d'un cuvelage par havage ne permet pas la réalisation d'ancrages en profondeur. A la fin de sa mise en place, la totalité de la colonne est suspendue à l'ancrage de surface, qui doit donc être construit avec le maximum de précautions.

2.3.4.3 Cuvelages métalliques

Des cuvelages métalliques (type ARMCO ou VALLOUREC) ont été mis sur le marché pour le revêtement des puits, en concurrence avec le béton armé. Leur emploi est tout particulièrement indiqué dans les zones très difficiles d'accès, ou démunies des matériaux (sables, gravier, eau) nécessaires à la confection du béton. Mais elles ne peuvent être utilisées dans les zones où les eaux sont agressives, notamment dans toutes les régions de terrains cristallins ou métamorphiques.

La mise en place d'un cuvelage métallique est relativement aisée et peut être réalisée par un personnel non spécialisé avec un minimum d'encadrement. Le prix du mètre linéaire d'une virolle de Ø 1,40 m est de l'ordre de 400 FF départ usine.

2.3.4.3.1. Cuvelage métallique ARMCO.

Il est constitué de plaques en tôle galvanisée, ondulées et cintrées (fig. 25). Les plaques sont percées de trous sur leur périphérie, de façon à pouvoir être assemblées par des boulons, pour former d'abord des viroles, puis un cuvelage complet.

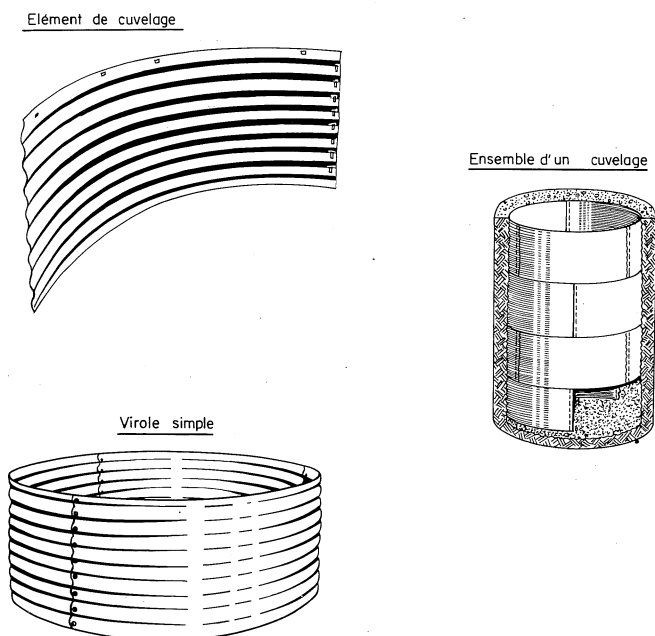
Les diamètres des viroles sont de : 1,39 m et 1,85 m.

Pour \varnothing 1,39 m, chaque virole se compose de 3 éléments standard.

Pour \varnothing 1,85 m, chaque virole se compose de 4 éléments standard.

Fig: 25

CUVELAGE METALLIQUE ARMCO



L'épaisseur de la tôle varie suivant la profondeur du puits :

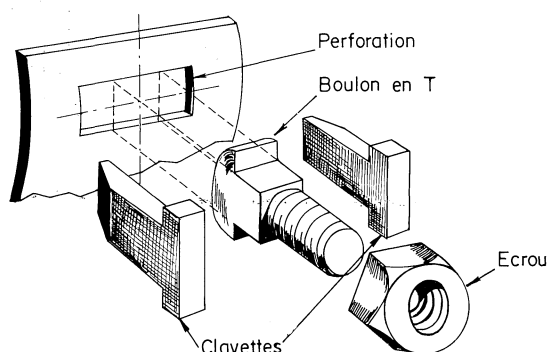
Profondeur maxima (m)	Epaisseur de la tôle (mm)	Poids (kg/mètre linéaire)	
		\varnothing 1,39 m	\varnothing 1,85 m
25,	1,9	78	116
37,5	2,7	121	162
50	3,4	151	201
62,5	4,2	185	247

Les éléments standards ont une hauteur de 0,61 m ; pour le cuvelage des terrains de mauvaise stabilité, il existe également des éléments d'une hauteur de 0,305 m.

Chaque élément et chaque virole sont assemblés par des boulons-clavettes, qui sont mis en place de l'intérieur du cuvelage (fig. 26).

Fig: 26

ELÉMENT SPÉCIAL DE FIXATION ARMCO



Mise en place du cuvelage ARMCO.

Comme le béton armé, le cuvelage ARMCO peut être mis en place soit à la remontée, après le fonçage complet du puits, soit à la descente, au fur et à mesure du fonçage.

Dans ce dernier cas, on prépare l'amorce de la fouille sur une profondeur de 1 m, à un diamètre égal au diamètre extérieur du cuvelage plus deux fois 0,10 m pour le coulage de l'ancrage de surface (fig. 27).

L'ancrage de surface est ferrailé, comme pour le cuvelage en béton armé, les fers verticaux de \varnothing 8 mm pénétrant de 1 m sur la hauteur du cuvelage.

Les 2 premières viroles sont montées en même temps (1,22 m) et doivent dépasser de 0,22 m le niveau du sol. Elles sont centrées dans l'axe de la fouille et mises à la verticale, soit par un calage au fil à plomb, soit par un système de suspension : c'est la verticalité des 2 premières viroles qui conditionne la verticalité du puits.

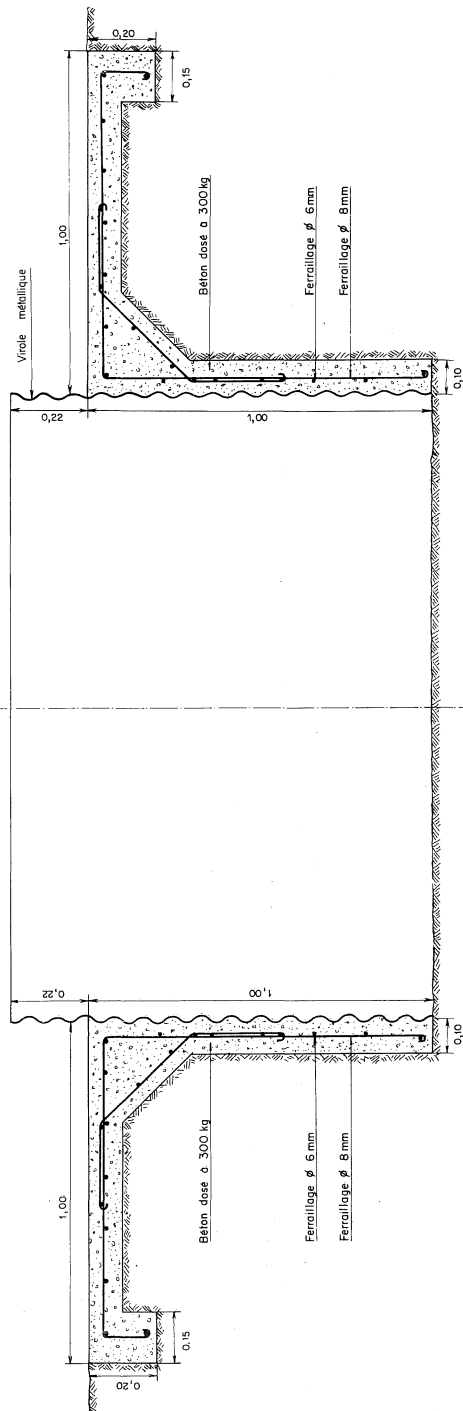
On coule du béton entre le terrain et le cuvelage métallique, et à la partie supérieure de l'ancrage de surface, dont la largeur doit être de 1 m.

Les viroles suivantes sont mises en place, en descendant élément

ANCRAGE DE SURFACE POUR CUVELAGE MÉTALLIQUE

Fig: 27

(Ø 1,80)



par élément et boulonnées à la virole précédente. A chaque virole correspond un avancement de 0,61 m.

Le diamètre de la fouille doit être supérieur de quelques cm au diamètre extérieur de la virole ; il doit être régulier, et serrer au plus près les viroles pour éviter les mouvements du terrain. Il n'y a pas d'ancrage intermédiaire.

Dans les terrains tendres, l'avancement est rapide (le montage des viroles est une opération facile à réaliser et peut atteindre 2 m par jour).

2.3.4.3.2. Cuvelage métallique VALLOUREC.

Il est constitué d'éléments de buses cintrés, d'une hauteur de 0,648 m, soit, après pose, une hauteur utile de 0,61 m. La circonférence s'obtient par l'adjonction de quatre éléments, qui sont poinçonnés, sur les rives, de trous oblongs de 11×19 disposés dans les creux des ondulations (fig. 28).

Leur liaison est assurée par des vis galvanisées, au fur et à mesure de la pose.

Les éléments sont de deux types, qu'il y a lieu de différencier avant leur montage dans le puits :

Eléments A. Ces éléments (2 par virole) sont munis sur leurs génératrices externes de fers plats de 40×10 , eux-mêmes percés de trous de 9 (correspondant à chaque trou oblong de l'élément B).

Eléments B. Ces éléments (2 par virole) comportent des trous oblongs, qui permettent la fixation à l'élément A par vis.

Chaque virole se compose de deux éléments A et de deux éléments B. Le recouvrement de A et de B est de 7,6 cm. Les viroles sont fixées verticalement les unes aux autres par vis, avec un recouvrement de 3,9 cm.

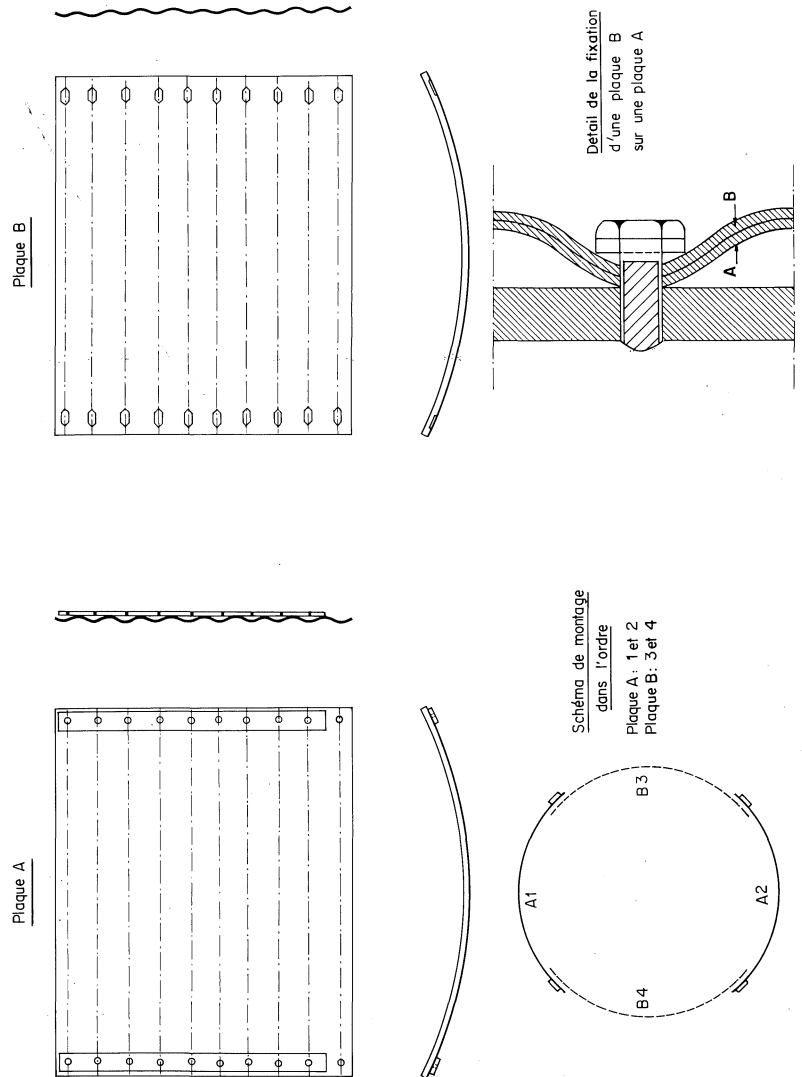
L'épaisseur des tôles varie suivant la profondeur du puits :

Poids en kg par mètre linéaire				
Diamètre	Epaisseur 1,9 mm	2,7 mm	3,4 mm	4,2 mm
1,40	94,20	125,00	157,20	190,00
1,80	118,60	156,50	197,50	240,00

La mise en place des viroles VALLOUREC se fait dans les mêmes conditions que pour le cuvelage ARMCO : les deux premières viroles sont ancrées avec du béton armé (fig. 23) et les viroles suivantes placées élément par élément, au fur et à mesure du fonçage.

Fig: 28

CUVELAGE MÉTALLIQUE VALLOUREC



2.3.4.4 Autres types de cuvelage

Des matériaux nouveaux ont été récemment proposés sur le marché pour l'équipement des cuvelages de puits. Si leur utilisation est encore limitée en raison de leur prix élevé, ils pourraient dans l'avenir concurrencer le béton armé et les cuvelages métalliques.

— *Cuvelage de bois collé* (type SBF). Le matériau de base est le hêtre en lamelles superposées de 0,6 mm ; imprégné de résine synthétique sous une pression de 150 kg/cm², il est façonné en segments circulaires. Ce matériau est surtout indiqué dans les ouvrages dont les eaux sont agressives.

Prix, départ usine, du mètre linéaire en Ø 0,80 m environ 1 000 FF (1980).

— *Cuvelage en PRV* (TEKNIFOR). Il est constitué par du polyéthylène renforcé de fibres de verre. Ce matériau utilisé pour les carrosseries de véhicules, les coques de bateaux et les cuves, a l'avantage de pouvoir être mis en œuvre localement. On étend un treillis de fibres de verre sur un moule-gabarit, qu'on enduit de résine de polyéthylène. On multiplie les couches alternées de résine et de fibres de verre jusqu'à obtenir la résistance voulue (épaisseur 8 à 12 mm). Après séchage, le gabarit retiré, la coquille de PRV est directement utilisable.

Prix, départ usine, du mètre linéaire en Ø 1,80 m : environ 750 F (1980).

2.3.4.5 Méthode FRIRY

Cette technique de cuvelage (doc. 7) qui porte le nom de son inventeur, le capitaine du génie FRIRY, a été longuement employée au cours des décades écoulées, et a permis la réalisation d'un très grand nombre de puits. Bien qu'avec l'avènement du béton armé elle tende à disparaître, elle peut encore rendre des services dans certains cas, notamment lorsqu'il n'est pas possible de s'équiper en matériel tel que des moules à béton.

La méthode FRIRY consiste pour l'essentiel à revêtir la paroi de la fouille du puits d'une couche de mortier mise en place *par projection*, et au sein de laquelle est noyée une armature métallique.

1^{re} opération.

On mouille la paroi de la fouille avec un lait de ciment liquide dosé à 5 kg de ciment pour 10 l d'eau, qu'on projette sur la paroi.

2^e opération.

Projection d'une couche de mortier de 2 à 3 cm d'épaisseur dosé à 400 kg de ciment au mètre cube.

3^e opération.

Mise en place du ferrailage, après séchage partiel de la première couche du mortier.

On dispose des fers verticaux de \varnothing 8 mm à 15 cm, les uns des autres ; et des fers horizontaux de \varnothing 6 mm avec le même écartement. Le recouvrement des fers est de 0,25 m.

Le ferrailage est appliqué contre la première couche de mortier à l'aide d'épingles en forme de U, fabriquées avec du fer de \varnothing 8 mm.

4^e opération.

L'armature métallique est recouverte d'une 2^e couche de mortier, de sorte que l'épaisseur du revêtement soit de 8 à 10 cm, et le béton est lissé.

L'ancrage de surface et les ancrages intermédiaires sont réalisés de la même manière que dans le cas d'un cuvelage en béton armé.

Le cuvelage FRIRY, par suite de la manière dont le mortier est mis en place, offre une résistance bien moindre que le cuvelage de béton armé classique. Il se dégrade assez rapidement, et contient mal la poussée des terrains instables.

2.4 LE CAPTAGE (pl. A et B hors-texte)

Comme nous l'avons déjà souligné, c'est le captage qui constitue la partie essentielle du puits. Entreprendre un puits sans se donner les moyens de capter correctement l'eau du sous-sol, c'est gaspiller inutilement du temps et des crédits.

2.4.1 Fonctions et contraintes

Le rôle du captage, qui est la partie du puits située au-dessous du niveau d'équilibre de la nappe, est de permettre à l'eau de parvenir au puits, tout en maintenant en place les terrains aquifères.

Dans le cas, assez fréquent, où la formation aquifère est meuble avec une granulométrie hétérogène, le captage sera conçu pour retenir les éléments les plus gros et laisser passer les éléments fins ou très fins ; on parle alors de « massif filtrant ».

Un captage bien réalisé doit :

- créer le minimum de pertes de charge, c'est-à-dire offrir le minimum de résistance au passage de l'eau,
- laisser filtrer, le cas échéant, un certain pourcentage d'éléments fins contenus dans le terrain aquifère.

Suivant la manière dont se comporte le filtre que constitue le captage, deux types d'avatars peuvent se produire :

- l'ensablement : une trop grande proportion du terrain aquifère parvient au puits et peut le combler, sans parler des risques d'affouillement dus à l'entraînement de particules du terrain ;
- le colmatage : un captage peut être conçu de telle manière

qu'aucune fraction du terrain aquifère ne le traverse, mais dans ce cas l'arrivée de l'eau au puits deviendra nulle ou insuffisante.

Il faut souligner aussi, qu'à la différence du cuvelage, *un captage n'a rien de statique*. Il évolue dans le temps et nécessite une surveillance et un entretien périodique à titre préventif. Pour cette raison, *il doit être conçu comme un élément indépendant du cuvelage : il ne doit absolument pas être suspendu à celui-ci*, afin que ses mouvements s'effectuent sans détériorer le cuvelage (dans les terrains tendres et instables l'enfoncement est parfois important, et continu).

Il existe bien des types de captage en terrain meuble, et leur mise en œuvre peut être très complexe, lorsqu'il s'agit de certains types de granulométrie, ou lorsqu'on recherche un débit important.

Nous nous limiterons ici au cas des puits exploités à moins de 5 m³/h (maximum pouvant être obtenu avec les moyens de puisage traditionnels) et décrirons les techniques permettant, pour un prix de revient limité, de réaliser un captage correct. Il s'agit d'ailleurs de techniques utilisées depuis longtemps en Afrique, tant en terrain sédimentaire qu'en terrain cristallin. Elles y ont fait leurs preuves, à l'exception de certaines formations particulièrement difficiles à capter, qui nécessitent l'emploi de méthodes plus perfectionnées.

2.4.2 Description d'un captage classique en béton

La *crépine*, organe essentiel de ce captage, est constituée d'une *colonne de buses perforées*, en béton. Elle est entourée d'un *massif de gravier filtrant*. Les buses sont havées par l'intermédiaire d'une *trousse coupante*. A la base est installée une *dalle de fond*.

2.4.2.1 La colonne de captage

2.4.2.1.1 Caractéristiques des buses

Désignation	Puits de 1,80 m	Puits de 1,40 m
Hauteur	1,00 m	1,00 m
Diamètre intérieur	1,40 m	1,00 m
Diamètre extérieur	1,60 m	1,20 m
Épaisseur	0,10 m	0,10 m
Béton dosé à	400 kg	400 kg
Poids	1 200 kg	700 kg
Nombre de fers verticaux (Ø 8 mm)	22	16
Nombre de fers horizontaux (Ø 6 mm) au mètre	6	6
Nombre de trous de Ø 10 mm inclinés à 45° (fig. 29)	430	320
Surface des vides	320 cm ²	250 cm ²
Pourcentage de vide	0,64 %	0,66 %
Débit admissible au mètre linéaire, pour une vitesse de 1 cm/s	1,15 m ³ /h	0,900 m ³ /h

2.4.2.1.2 Fixation

Les buses sont empilées les unes sur les autres, et leur liaison est assurée soit par des encoches à angle droit (fig. 29), soit par des étriers boulonnés (fig. 30), soit par l'un et l'autre, de manière à former une colonne monolithique.

La fixation par encoche et étriers boulonnés est la plus efficace. Les étriers sont constitués par un fer en U de 50, d'une largeur de 50, percé d'un trou de $\varnothing 14$ pour le passage d'un boulon de 12×45 . La partie supérieure de l'étrier épouse la partie inférieure de l'encoche (haut du moule) tandis que son opposé affleure la partie supérieure de l'encoche (bas du moule). Les étriers opposés ne sont pas reliés entre eux. A chaque étrier sont soudés 4 fers de $\varnothing 6$ mm d'une longueur de 0,50 m. Il y a 3 ou 4 paires d'étriers par buse. Au moment du coulage, les étriers sont boulonnés au gabarit du moule, et des emplacements sont ménagés au droit des étriers pour permettre la mise en place des boulons de fixation.

2.4.2.1.3 Construction de la colonne

Les buses sont descendues dans le puits l'une après l'autre, puis rendues solidaire à l'aide des boulons, ce qui évite leur déboîtement au cours du havage.

Les buses sont coulées à l'extérieur du puits, dans des coffrages métalliques. En raison de leur poids (700 à 1 200 kg selon le diamètre), leur mise en place nécessite un engin de levage relativement puissant.

Si l'on ne dispose pas d'un tel matériel, on peut couler la colonne de captage au fond même du puits, d'une manière continue comme dans le cas du cuvelage descendu par havage. Mais dans ce cas, il est nécessaire de réduire son diamètre pour permettre le décoffrage du moule extérieur. Pour un puits de $\varnothing 1,80$ m ; la colonne de captage aura un diamètre extérieur de 1,40 m (au lieu de 1,60 m) avec un espace libre entre le cuvelage et le captage de 0,20 m (au lieu de 0,10 m).

Les buses de 1 m de haut assurent une meilleure rigidité à la colonne de captage, mais l'insuffisance des moyens de manutention et de levage peut amener à utiliser cependant des buses de 0,50 m de hauteur.

2.4.2.1.4 Les barbacanes

Le passage de l'eau à travers les buses de captage, est assuré par des orifices qui sont le plus souvent des trous de $\varnothing 5-10$ mm (fig. 29) inclinés à 45° . Ils sont réalisés au moyen de fers de $\varnothing 5$ à 10 mm, disposés au travers des moules dans des lumières prévues à cet effet, après que le béton ait été coulé, et avant son durcissement. On les tourne périodiquement pour éviter la prise du béton. Les trous sont espacés de 0,10 m les uns des autres, et pour une buse de 1 m de hauteur, leur nombre est de :

\varnothing intérieur 1,40 m : 430 trous,

\varnothing intérieur 1,00 m : 320 trous.

Fig: 29

**BUSE EN BÉTON ARMÉ
RACCORDÉE PAR DES ENCOCHES**

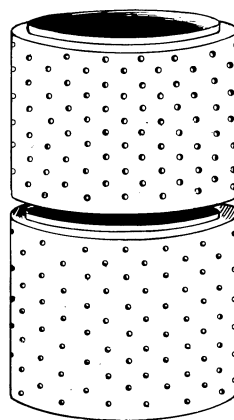
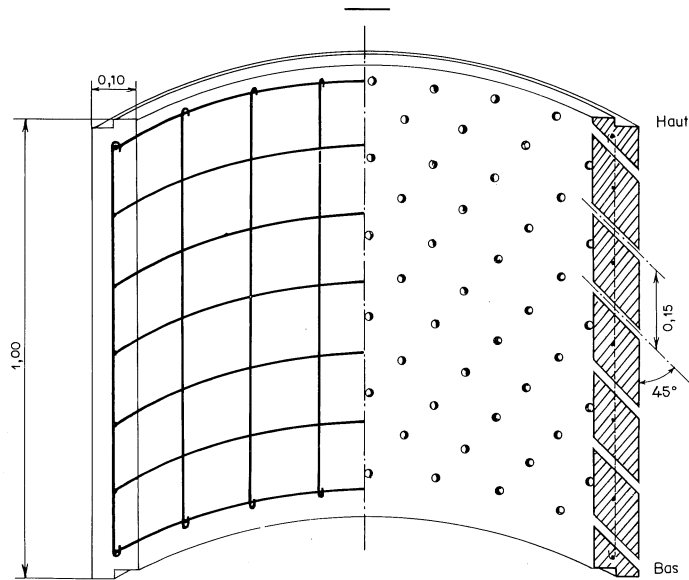
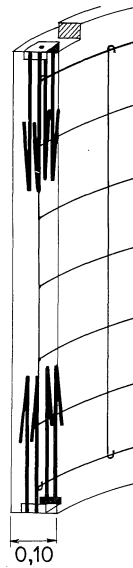


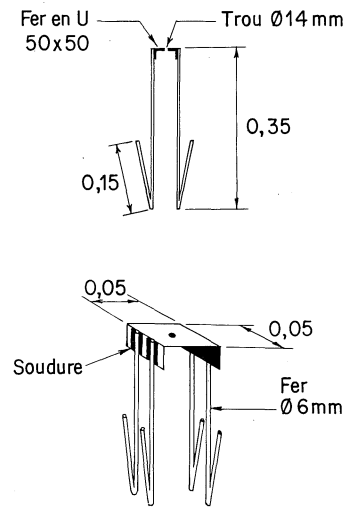
Fig: 30

BUSE EN BÉTON ARMÉ A ENCOCHE RACCORDÉE PAR DES ETRIERS

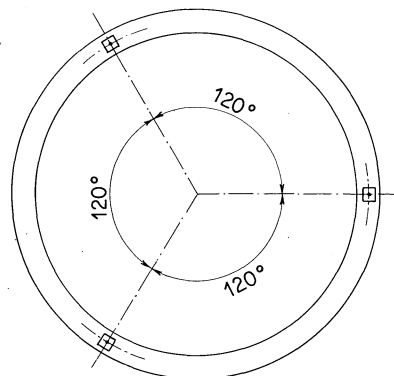
COUPE D'UNE BUSE



DÉTAIL D'UN ETRIER



POSITION DES ETRIERS



Des buses de ce type autorisent une arrivée d'eau environ $1 \text{ m}^3/\text{h}$ par mètre linéaire, pour une vitesse des filets liquides de 1 cm/s , sans détériorer le filtre que constituent la couronne annulaire de gravier et la bordure périphérique du terrain qui a été « développé » (c'est-à-dire débarrassé de ses éléments les plus fins).

On emploie parfois des dispositifs plus élaborés :

— Éléments de crépine à nervures repoussées, d'ouverture 1-2 mm, en acier doux (ou inoxydable dans le cas d'eaux agressives), de dimension utile de $10 \times 10 \text{ cm}$. Ces éléments sont scellés dans le béton armé lorsque celui-ci est coulé. Il est possible d'insérer un maximum de 36 éléments de crépines par buse de $\varnothing 1,40 \text{ m}$ (3 éléments sur la hauteur).

Ces buses sont utilisées en général dans les terrains de granulométrie très fine.

— Éléments filtrants préfabriqués à base de résines synthétiques et de matériaux divers. On les scelle dans le béton armé comme les éléments métalliques précités. Les buses réalisées à partir de ces éléments sont à déconseiller dans les formations riches en argile (sable argileux, arènes granitiques) à cause de leur peu d'aptitude à laisser passer les particules argileuses et de la tendance au colmatage qui en résulte.

Enfin on peut utiliser :

— Du béton armé poreux. Ce type de béton s'obtient en diminuant la proportion de ciment (150 kg de ciment au mètre de béton), en supprimant le sable et en utilisant uniquement du gravier calibré.

Comme les crépines fabriquées avec des matières synthétiques, les buses de béton poreux ont tendance à se colmater rapidement par dépôt d'argile.

2.4.2.2 La trousse coupante

Comme dans le cas du cuvelage continu, descendu par havage, la mise en place d'une colonne de buses filtrantes nécessite de munir la base de la première buse d'une trousse coupante, dont le rôle est de faciliter la descente de la colonne.

La trousse coupante doit déborder de 5 cm le bord externe de la colonne, de manière à créer un espace annulaire par lequel on introduit le gravier filtrant au fur et à mesure de l'avancement. Pour les buses habituelles, dont le diamètre extérieur est de 1,60 ou 1,20, le diamètre extérieur de la trousse coupante est donc de 1,70 m ou de 1,30 m.

La trousse coupante est fixée à la buse de base, soit par des étriers boulonnés, soit par une encoche à 90° . Elle peut être aussi coulée d'avance en même temps que la buse.

La trousse coupante, ferrillée comme l'indique la figure 31, est réalisée en béton dosé à 400 kg de ciment au m^3 .

Fig: 31

TROUSSE COUPANTE POUR CAPTAGE

(Raccordement par buse à encoches et à étriers)

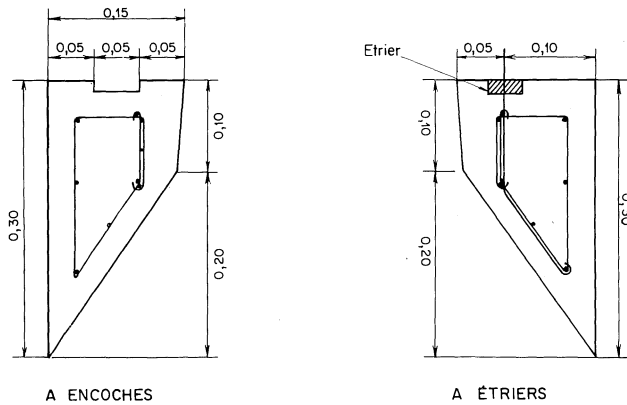
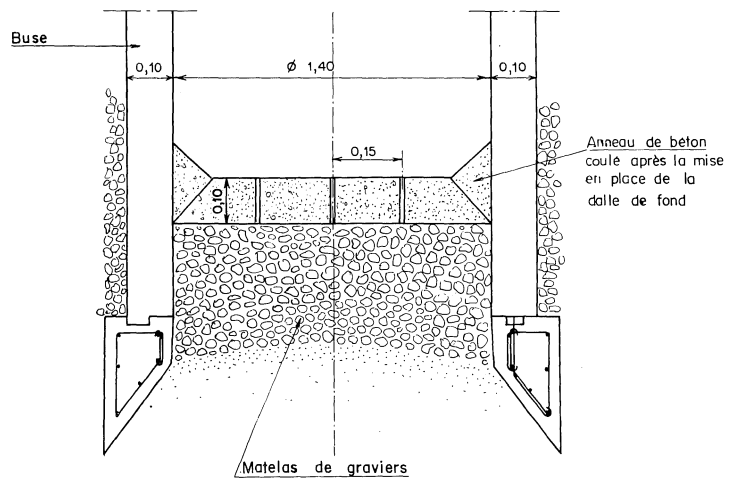
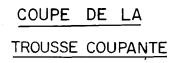


Fig: 32

DALLE DE FOND



95



2.4.2.3 La dalle de fond

Pour éviter la remontée dans le captage des terrains instables et de granulométrie très fine, on met en place une dalle de fond, superposée à un matelas de gravier.

Cette dalle (fig. 32) peut être percée de trous de \varnothing 10 mm tous les 15 cm. Elle est en béton armé, d'une épaisseur de 0,10 m. Son diamètre extérieur doit être inférieur de quelques centimètres au diamètre intérieur des buses.

La poussée du terrain rend parfois nécessaire de sceller cette dalle à la colonne de captage pour éviter sa remontée. Il faut alors biseauter à 45° la tranche extérieure de la dalle afin de pouvoir couler un anneau de béton entre la dalle et la buse.

2.4.2.4 Le massif filtrant

Inséré dans l'espace annulaire compris entre la crépine et le terrain, ce massif de gravier joue le rôle de filtre, et doit à la fois retenir le terrain et laisser passer l'eau. La grosseur des grains du filtre doit être de beaucoup supérieure (environ 10 fois) à la grosseur moyenne de grains du terrain. La granulométrie du terrain à capter doit donc, en principe, être déterminée par des analyses appropriées (1).

Pour le type de puits dont il est question ici, nous préconisons l'utilisation courante d'un gravier de granulométrie 10-15 mm. Un tel gravier permet d'arrêter des éléments de dimension 0,5 à 1 mm pour une vitesse de passage de l'eau au travers des crépines inférieure à 1 cm/s, (qui correspond aux conditions normales d'exploitation des puits).

Le gravier doit être *silicieux et de forme arrondie* (gravier roulé) ; les gravillons de latérite sont à proscrire car ils risquent de se décomposer au contact de l'eau et de colmater la crépine. La forme arrondie du gravier est préconisée car elle correspond au maximum de vides dans la masse du filtre.

Le gravier doit être réparti autour de la crépine sur une épaisseur de 10 cm. Sa mise en place est souvent délicate, notamment dans le cas du havage. Il faut en introduire très souvent au cours de la descente, et vérifier que la quantité mise en place correspond bien au volume de terrain enlevé derrière la trousse coupante.

Au cours du temps, un tassement se produit au sein du massif filtrant, et il est nécessaire de prévoir une réserve de gravier à la partie supérieure du captage, et le cas échéant de la reconstituer lors des visites d'entretien du puits.

2.4.2.5 Les crépines métalliques

Cette variante de la colonne de buses en béton peut s'imposer lorsque le terrain a une granulométrie fine, *sous réserve que les eaux ne soient pas*

(1) On trouvera toutes précisions sur cette question, et sur les formules à utiliser, dans l'ouvrage de R. Bremond (doc. 5).

agressives. Il existe bien dans le commerce des crépines spéciales très perfectionnées, inoxydables, permettant le captage dans toutes les conditions, mais leur prix de revient est disproportionné pour les puits ruraux de faible débit dont il est question ici. Nous nous bornerons donc à décrire un type de crépine métallique pouvant être réalisé sans difficultés.

Cette crépine (fig. 33) est composée de 2 viroles en tôle de 4 mm, concentriques, espacées de 0,20 m et entrecroisées par des cornières. Des ouvertures de 5×30 cm sont ménagées, en haut de l'extérieur et en bas de l'intérieur, et une grille d'arrêt en grillage métallique de 2 mm est placée devant ces ouvertures. L'espace libre entre les 2 viroles est rempli de gravier calibré (2-5 mm). Pour traverser la buse, l'eau chemine de haut en bas, au travers du gravier. Les buses sont boulonnées entre elles au cours de la descente. Une trousse coupante métallique remplie de béton est boulonnée à la base de la buse inférieure.

Les inconvénients de la crépine métallique sont sa relative fragilité, les risques de colmatage et son prix de revient élevé. Son emploi n'est à préconiser que dans les cas où la granulométrie du terrain est exceptionnellement fine.

2.4.3 Procédés de mise en place du captage

Le procédé de mise en place de la colonne de captage varie selon le terrain (stable ou instable, tendre ou dur) :

- havage à niveau d'eau constant,
- havage avec exhaure,
- sans soutènement immédiat,
- sans soutènement définitif.

2.4.3.1 Havage à niveau d'eau constant (pl. A)

En terrain très instable, épuiser l'eau au fond du puits provoquerait une arrivée continue de matériaux, sable ou argile, qui viendraient remplir le fond du puits et déséquilibrer la colonne par affouillement derrière les parois du puits. La colonne de captage, munie de sa trousse coupante, doit donc être descendue sans exhaure, l'eau maintenant les terrains en pression.

La mise en place de la colonne nécessite alors l'utilisation d'une benne preneuse, qui est manœuvrée de l'extérieur du puits, à l'aide d'une grue-derrick à moteur, ou l'intervention d'hommes-grenouilles.

Avant de commencer le fonçage, on procède, au fond du puits, au montage de la colonne de buses (munie de sa trousse coupante), de manière à conférer un poids maximum à la colonne et à faciliter ainsi sa descente. La mise en place du gravier doit suivre l'avancement de la colonne et l'approvisionnement doit être effectué sans cesse, en abondance. La partie supérieure de la colonne est centrée par rapport aux

parois du cuvelage par des cales de bois, destinées à suivre et à guider sa descente.

La descente de la colonne de captage doit être régulière. Si celle-ci reste immobile après l'enlèvement de trois ou quatre godets de terres par la benne preneuse, il faut marquer un temps de repos, reprendre le fonçage, arrêter et attendre à nouveau qu'elle descende. Il est en effet dangereux d'extraire beaucoup de déblais sans assurer le soutènement du terrain : les mouvements de terrain qui en résultent tôt ou tard risquent de compromettre gravement l'équilibre du captage.

Si la base du captage repose encore sur des terrains instables lorsqu'on a atteint la hauteur d'eau qu'on s'était fixé, il faut donner à la colonne un surcroît de hauteur d'environ 2 m par rapport à la base du cuvelage : l'expérience prouve en effet que dans ces terrains, la colonne continue à s'enfoncer, parfois d'une hauteur importante, en cours d'exploitation. On place d'autre part dans le fond du puits un matelas de graviers et une dalle de fond, perforée ou non, pour éviter la remontée des éléments fins.

Mais, chaque fois que ce sera possible, on s'efforcera de traverser la totalité des terrains bouillants et d'asseoir le captage sur un terrain résistant, ce qui assure à l'ouvrage une garantie de longévité bien supérieure.

Il va de soi que le havage à niveau constant nécessite non seulement un matériel approprié (grue-derrick et benne preneuse), mais aussi la présence d'un personnel spécialisé et entraîné. Cette technique permet de descendre assez aisément une colonne de captage à une dizaine de mètres de profondeur sous le niveau de l'eau, dans des terrains très difficiles, ce qui ne serait possible par aucun autre procédé.

2.4.3.2 Havage avec exhaure (pl. A et B)

La tenue de certains terrains (sables argileux consolidés, arènes grenues de la base du profil d'altération des granites) permet de rabattre le niveau de la nappe sans entraînement notable de particules solides. On peut alors procéder au havage de la colonne avec épuisement continu de l'eau et maintien à sec du fond du puits, ce qui permet d'y travailler.

L'essentiel, lors du fonçage, est de dégager régulièrement le tranchant de la trousse coupante sur tout son périmètre, pour qu'elle descende verticalement. Lorsque la colonne de captage a tendance à s'incliner, on creuse sous la partie de la trousse coupante qui s'oppose à la descente, et cette manœuvre permet généralement de la redresser si l'inclinaison est peu importante.

L'évacuation de l'eau s'effectue soit avec une pompe à air comprimé, soit à l'aide d'un cuffat muni d'une soupape.

Ici encore, si les terrains sont peu stables, il est recommandé de faire dépasser la colonne de captage d'environ 2 m au-dessus du cuvelage, de manière à pallier son enfoncement ultérieur. Une dalle de fond est également mise en place si la nature du terrain le demande.

2.4.3.3 Captage sans soutènement immédiat (pl. B)

Les terrains de bonne tenue (cuirasse latéritique, grès, roches cristallines pas trop altérées) permettent de réaliser, à nu, sans aucun soutènement, le fonçage au pic, à la barre à mine, ou même au marteau piqueur.

On creuse alors le puits jusqu'à obtention d'un débit supérieur au débit d'utilisation prévu (couramment 5 m³/h en terrain sédimentaire), en procédant à l'épuisement continu des venues d'eau. Fonçage et extraction des déblais s'effectuent dans les mêmes conditions que pour le cuvelage, à un diamètre égal au diamètre intérieur du cuvelage, et l'on met en place la colonne de captage à la fin du fonçage.

Les buses, descendues une par une, sans trousse coupante, sont placées, en remontant, dans leur position définitive, et le gravier filtrant est déversé derrière les buses au fur et à mesure de l'opération.

Il est moins important, dans ces terrains, de donner à la colonne de captage un surcroît de hauteur par rapport à la base du cuvelage, mais il est bon de prévoir cependant une garde de 0,50 m environ.

La mise en place d'une colonne de captage est recommandée, même lorsque le terrain est stable et résistant, car les parois du puits sont susceptibles de se dégrader au cours du temps.

2.4.3.4 Captage sans soutènement définitif

Dans les roches dures (granite, calcaires compacts, quartzites) dont le fonçage nécessite l'emploi de l'explosif, et où l'eau circule à travers des fissures, soutènement et massif filtrant n'ont pas de raison d'être. On se contente donc de réaliser la fouille à un diamètre égal au diamètre intérieur du cuvelage.

Toutefois, si au cours du fonçage on rencontre une alternance de terrains durs et tendres, il faut se placer dans le cas le plus défavorable et mettre en place une colonne de captage.

2.4.3.5 Cuvelage captant, avec ou sans captage autonome (fig. 34)

Dans les terrains anciens, où la nappe est en général peu profonde, et la hauteur à capter du même ordre que la profondeur du niveau statique, on a souvent intérêt à se servir du cuvelage comme captage.

Celui-ci est alors havé à partir du sol (cf. 2.3.4.2) ou, si la tenue du terrain le permet, à partir du fond de fouille préalablement mené jusqu'au niveau de l'eau. Cette technique permet de faire l'économie d'un captage autonome et de réaliser le puits plus rapidement.

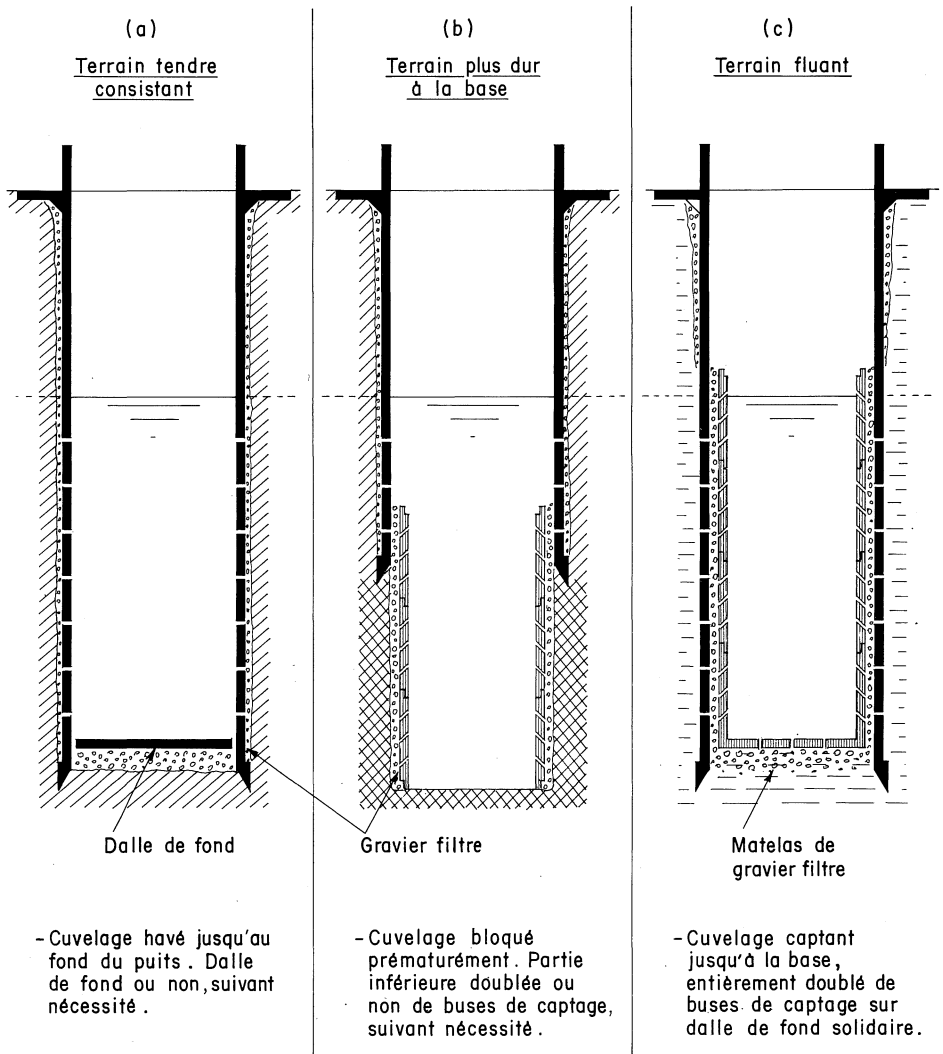
On peut soit placer à la base de la colonne des buses filtrantes, soit y pratiquer après coup des orifices au marteau perforateur.

La méthode est particulièrement intéressante dans les formations fluantes où le havage constitue la seule possibilité de fonçage. Mais elle présente un certain nombre d'inconvénients ou de difficultés :

- limitation pratique à 25 m de profondeur,

Fig: 34

PUITS AVEC CUVELAGE CAPTANT HAVÉ



- contrôle délicat de la descente du cuvelage, qui doit rester bien vertical,
- risque de coincement prématuré, obligeant à réduire le diamètre et à descendre une colonne de captage spéciale,
- médiocre qualité du dispositif d'entrée de l'eau obtenu par perforation après coup du cuvelage,
- difficulté de faire descendre régulièrement le gravier-filtre dans l'espace annulaire lorsque le havage est effectué sur une forte hauteur.

La planche 34 présente 3 cas schématiques de puits réalisés de cette manière :

- a) Le premier, correspond à des terrains tendres, de tenue convenable : le cuvelage captant est mené jusqu'au fond.
- b) Dans le second cas, le cuvelage s'est posé sur un substratum dur ; le fonçage a été poursuivi en dessous et des buses de captage ont été empilées sur le fond.
- c) Le 3^e cas correspond à un terrain très fluant : le cuvelage a été havé jusqu'au fond à la benne-preneuse, à niveau plein. La première buse de captage, rendue solidaire de la dalle de fond, est ensuite descendue et posée sur un lit de gravier, un peu en retrait du bas du cuvelage. Puis elle est remplie de gravier, ce qui permet d'équilibrer la pression de la boue et de commencer à vider le puits. Les buses suivantes sont ensuite posées en remontant à l'intérieur du cuvelage, et le gravier est mis en place dans l'espace annulaire par pompage dans le puits et circulation d'eau : la boue se rassemble ainsi au fond du puits, d'où on la retire, ainsi que le gravier mis en place provisoirement dans la première buse.

2.4.3.6 Développement du captage (doc. 5)

Le « développement » est l'opération qui consiste, une fois la colonne de captage mise en place, à éliminer les éléments fins de la formation aquifère autour du captage. Dans le cas des roches fissurées, cette opération a pour but de dégager les fissures de l'argile qui les obstrue. Le développement augmente le pourcentage de vide du terrain et diminue les pertes de charge. Il provoque la constitution d'un filtre naturel, en continuité avec le filtre artificiel constitué par le gravier.

Dans les puits, le développement du terrain peut être réalisé soit au cuffat, soit au moyen d'une pompe.

Le procédé le plus simple est celui qui consiste à agiter un cuffat manœuvré dans l'eau comme un piston, par une série de va-et-vient continus et assez violents. Les différences de pression qui en résultent au droit du terrain ont pour résultat d'attirer progressivement à l'intérieur du puits les éléments les plus fins.

L'opération terminée, on pompe dans le puits à un débit limité et on puise avec un cuffat à soupape. Quand l'eau pompée est devenue claire, on recommence le pistonnage au cuffat, puis on reprend le pompage, à

un débit plus important, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'eau pompée soit tout à fait claire. L'essentiel est de procéder progressivement, tant en ce qui concerne l'agitation de l'eau que pour le débit pompé, qui doit dépasser au dernier stade le débit auquel on se propose de réceptionner l'ouvrage.

A chaque phase de l'opération, on surveille les venues de sable au fond du puits. Par ailleurs, on mesure à chaque pompage, le débit du puits. Si le développement est bien conduit, il doit se traduire par un accroissement notable du débit spécifique (débit correspondant à un mètre de rabattement).

2.4.4 Captage par forage : les puits-forages

Il existe parfois, *dans les bassins sédimentaires*, des couches aquifères maintenues captives, par des horizons imperméables, à plusieurs centaines de mètres de profondeur, et dont le niveau d'équilibre est cependant proche du sol.

Tout en les captant par forage, on peut s'affranchir des sujétions de l'exhaure mécanique et les exploiter par puisage à main. Il suffit d'aménager au sommet du forage un puits, dont la profondeur soit fonction à la fois du niveau statique de la nappe et du rabattement en puisage qu'il sera nécessaire d'opérer.

Fonctionnant comme un réservoir d'eau, ce puits doit bien entendu être étanche. La tête du forage doit d'autre part être munie d'un dispositif spécial (fig. 35a, b, c).

Dans les terrains anciens, où la perméabilité est irrégulière, on pourrait améliorer, dans de nombreux cas, la production de puits n'ayant rencontré que des niveaux à faible perméabilité, en les prolongeant par un forage pouvant capter des niveaux fissurés plus profonds.

Dans ce cas, il n'est généralement pas nécessaire de tuber le forage ; un remplissage de gravier de quartz de 10/20 mm suffit pour éviter qu'il ne s'obture (fig. 35d).

La solution du puits-forage exige un investissement élevé, mais elle dispense des frais inhérents à l'installation de pompes et à leur entretien ultérieur.

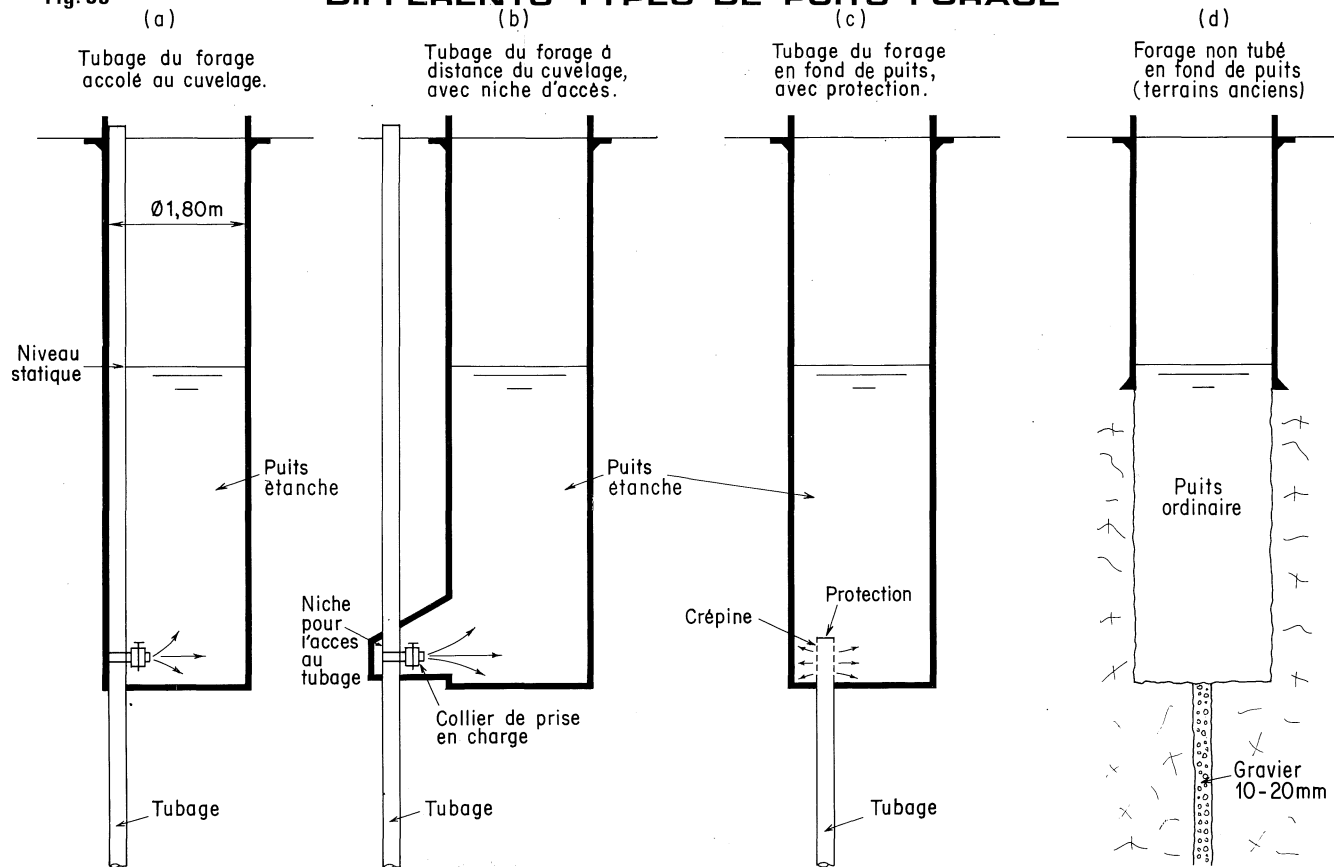
2.5 LES ÉQUIPEMENTS DE SURFACE (doc. 3)

Il s'agit de l'ensemble des équipements extérieurs du puits :

- margelle,
- trottoir,
- aire assainie,
- abreuvoir,
- système d'exhaure éventuel.

Fig: 35

DIFFÉRENTS TYPES DE PUIITS-FORAGE



2.5.1 Margelle

C'est un « garde-fou » qui protège de la chute hommes et animaux. Elle a également pour but de protéger le puits des souillures provenant de la surface. Elle facilite enfin l'utilisation du puits, les usagers pouvant s'appuyer contre elle, ou monter dessus.

On rencontre en Afrique deux types de margelles :

— *la margelle basse* (fig. 36) (moins de 0,50 m) et large (0,40 m) équipe en général dans la zone pastorale les puits dont le débit dépasse les possibilités des techniques traditionnelles de puisage (de 2 à 5 m³/h en général). Les utilisateurs montent sur la margelle, dans une position relativement propice aux efforts longs et pénibles que le puisage implique ;

— *la margelle haute* (fig. 37) (plus de 0,50 m), et étroite (largeur 0,20 m), équipe généralement les puits à faible débit. Les utilisateurs s'appuient contre la margelle et se penchent pour puiser.

La margelle est construite, soit en béton armé (dosé à 300 kg de ciment), soit en maçonnerie de pierres, soit en moellons préfabriqués. Elle est édifiée sur le prolongement du cuvelage, et prend appui sur l'ancrage de surface.

2.5.2 Trottoir

Le trottoir est une aire de propreté, généralement en béton armé. En tient parfois lieu la partie supérieure de l'ancrage (fig. 37), d'une largeur de 1 m, construite à la périphérie de la margelle. C'est sur le trottoir que l'utilisateur prend appui (dans le cas de la margelle haute) et que repose la corde au cours du puisage. Le trottoir doit être faiblement incliné vers l'extérieur afin de favoriser l'écoulement des eaux de puisage.

2.5.3 Aire assainie

Elle prolonge le trottoir sur une largeur de 1 m : dans le cas de la margelle basse, elle lui est contiguë (fig. 36). Son but est de maintenir aussi propre que possible les abords du puits, et notamment d'empêcher que le borbier dû au piétinement des animaux ne s'installe à proximité immédiate. Un pavement de pierres de 0,20 × 0,20 m, disposées d'une manière concentrique, permet de réaliser efficacement cette aire assainie, sur laquelle sont disposés les récipients destinés au transport de l'eau.

2.5.4 Abreuvoirs

Même en pays de culture, il est très rare qu'un puits soit utilisé uniquement pour les besoins humains ; *a fortiori* en zone pastorale, où les animaux consomment la quasi-totalité de l'eau prélevée.

Fig: 36

MARGELLE BASSE

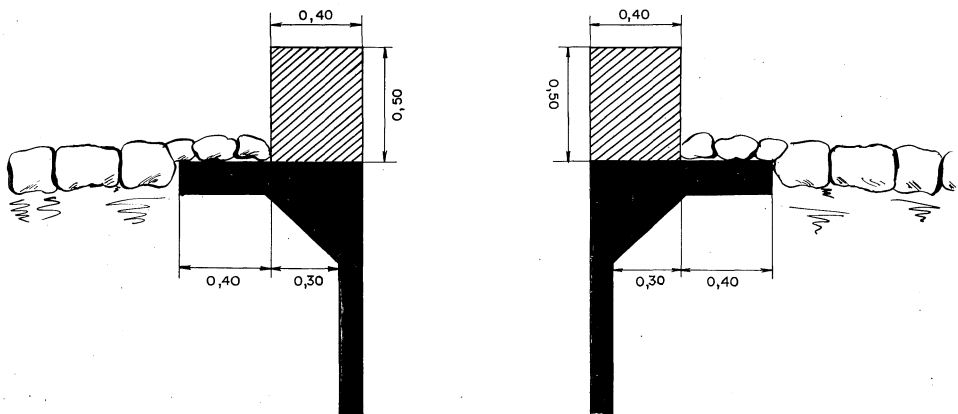
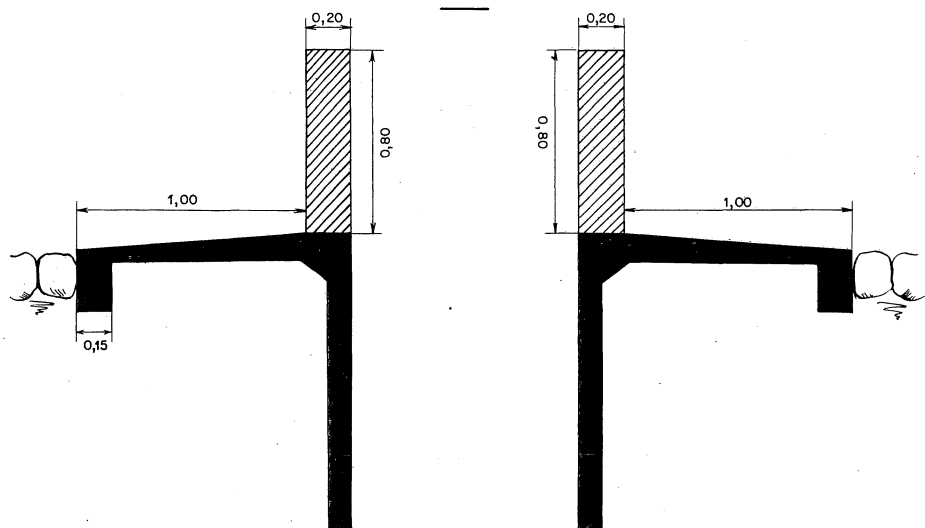


Fig: 37

MARGELLE HAUTE



Aux abreuvoirs traditionnels, souvent peu résistants, il est souhaitable de substituer des abreuvoirs construits en béton armé.

Ceux-ci seront évidemment placés à l'extérieur de l'aire assainie.

Si le sol est meuble (sable), les abreuvoirs seront posés sur le sol et non scellés, afin que les utilisateurs puissent les déplacer périodiquement et permettre ainsi au bournier, dû au piétinement des animaux, de se résorber.

Le volume de l'abreuvoir sera calculé en fonction du débit du puits : il est inutile de construire des abreuvoirs volumineux qu'on ne pourrait remplir.

L'abreuvoir peut être de forme circulaire ou rectangulaire. Nous donnons ci-dessous les caractéristiques des deux types d'abreuvoir en béton armé :

— Abreuvoir non scellé, circulaire (utilisé au Niger, en zone pastorale) :

- volume utile : 100 l,
- diamètre intérieur : 0,80 m,
- hauteur intérieure : 0,20 m,
- épaisseur des parois : 0,10 m,
- béton dosé à 400 kg de ciment,
- volume du béton : 0,137 m³,
- poids : 340 kg.

— Abreuvoir non scellé, rectangulaire, en béton armé :

- volume utile : 100 l,
- dimensions intérieures :
 - Longueur 1,20 m,
 - Largeur 0,40 m,
 - Hauteur 0,20 m,
- épaisseur des parois : 0,10 m,
- béton dosé à 400 kg de ciment,
- volume du béton : 0,156 m³,
- poids : 390 kg.

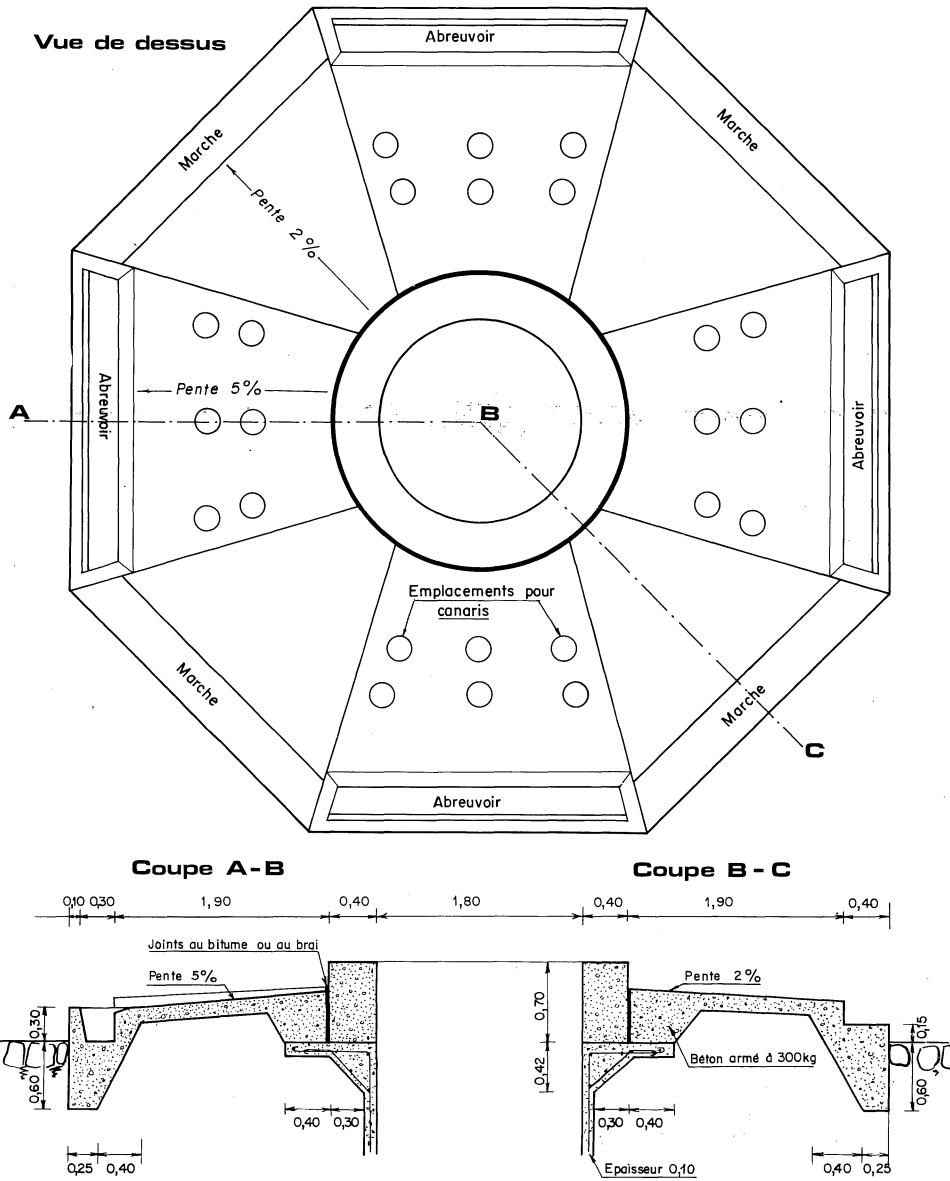
Le nombre d'abreuvoirs à placer sur un puits dépend de son débit et du nombre de bêtes qui s'y abreuvent. Le remplissage de l'abreuvoir se fait au moyen d'un va-et-vient entre le puits et l'abreuvoir. On peut éviter cette manœuvre en mettant en place certains types d'équipement.

Nous donnons dans la figure 38 un exemple de superstructure de puits utilisé au Niger (margelle basse), qui est bien adaptée à un usage à la fois villageois et pastoral.

Il faut cependant noter que de tels équipements sont très onéreux,

Fig: 38

SUPERSTRUCTURE DE PUIITS EN ZONE SÉDENTAIRE



et qu'ils doivent être conçus et réalisés en tenant compte des habitudes et des traditions, afin qu'ils soient utilisés après leur installation. Avant de multiplier un type de superstructure il importe donc de l'expérimenter sur un nombre réduit de puits, et éventuellement de le modifier après enquête auprès des utilisateurs, pour ne le généraliser qu'à bon escient.

2.5.5 Procédés de puisage (doc. 3)

Traditionnellement, le puisage (individuel en zone rurale, parfois collectif pour les puits profonds), s'effectue avec une corde et un récipient (puisette) fabriqué avec une peau, unealebasse, du caoutchouc (chutes de chambre à air). Le volume de ce récipient peut varier de 3 à 50 l. La corde, manœuvrée à bout de bras, glisse sur un tronc de bois placé en travers de la margelle, dans lequel l'usure creuse de profondes rainures, ou parfois sur une poulie de bois soutenue par une fourche. En région pastorale, c'est souvent la traction d'un animal qui remonte le récipient.

Un des inconvénients du puisage traditionnel est de polluer l'eau du puits : le va-et-vient de la corde qui traîne par terre à chaque manœuvre, aux abords du puits ou beaucoup plus loin (puisage par traction animale), rejette dans le puits à son retour toutes les souillures qu'elle a récoltées.

La mise en place de poulies métalliques, suspendues ou boulonnées à un portique transversal (en bois, en maçonnerie, métallique) peut améliorer les conditions de puisage. Il faut surtout veiller à maintenir la propreté des abords du puits, qui permet seule de limiter la souillure des cordes de puisage. La superstructure décrite à la figure 38 est particulièrement apte au maintien des abords du puits dans un état de propreté satisfaisant.

Quant aux avantages respectifs des moyens d'exhaure mécanique ou manuelle, ils ont fait l'objet de nombreuses recherches et d'essais (doc. 3). Nous nous bornerons ici à souligner les points les plus importants :

— Un matériel déterminé peut être robuste mais il n'en existe pas qui fonctionne sans entretien, *a fortiori* quand il s'agit d'un matériel utilisé par n'importe qui. Il y a de fait d'innombrables exemples d'essais d'exhaure effectués avec un matériel « simple et robuste » qui ont échoué faute d'un entretien élémentaire. Les seules réussites concernent des installations à usage individuel ou destinées à de petites collectivités capables d'assurer elles-mêmes cet entretien.

— Toute substitution de matériel nouveau aux modes traditionnels de puisage doit par conséquent être précédée d'un solide examen des conditions d'intégration de ce matériel par la collectivité et de la possi-

bilité et du coût d'intervention de l'échelon technique d'entretien qu'il sera, le cas échéant, indispensable de créer.

— En particulier, et malgré l'intérêt sanitaire de l'opération, il est généralement inintéressant de monter des pompes à main sur les puits, ce qui diminue leur exploitabilité (perte de l'effet de capacité et de la possibilité de puiser collectivement aux heures d'affluence) et apporte de considérables sujétions d'entretien.

2.6 LES MATÉRIELS

La mise en œuvre et l'entretien du matériel de construction de puits représentent des charges importantes dès que ce matériel est un tant soit peu perfectionné.

Pour diminuer ces charges et pour employer le maximum de personnel non spécialisé, les programmes anciens de construction de puits ont souvent été conçus avec du matériel extrêmement rudimentaire. Mais très vite, les problèmes techniques à résoudre et les difficultés de fonctionnement des chantiers ont obligé les responsables de ces programmes à mettre en œuvre un équipement mieux adapté, plus efficace, mais aussi plus coûteux.

En particulier, on considère aujourd'hui qu'un équipement mécanique approprié (grue-derrick actionnée par un moteur) est presque toujours indispensable pour réaliser correctement le captage. On évite de cette manière de construire des puits au débit notoirement insuffisant ou de durée de vie problématique.

L'importance du matériel nécessaire est d'ailleurs fonction des difficultés techniques prévisibles.

Nous distinguerons ici :

- le petit matériel de chantier,
- le matériel spécialisé,
- le matériel mécanisé,
- les véhicules.

2.6.1 Petit matériel de chantier

Ce matériel rudimentaire, utilisé sur la plupart des chantiers de terrassement et de maçonnerie, peut être couramment acquis dans le commerce.

Il comporte principalement :

- barre à mine,
- pioche,
- pelle,
- truelle,
- masse de 3 kg,
- marteau,
- tenailles,
- burin,

- coupe-boulon (pour cisailer les fers à béton),
- seau de maçon,
- jeu de clés pour le montage et le démontage des moules de coffrage,
- fûts de 200 l ouverts (pour la réserve d'eau et comme gabarit volumétrique des quantités de sable et de graviers à mettre en œuvre),
- brosse métallique,
- poulie,
- corde de \varnothing 18 mm (pour l'extraction des déblais),
- corde de \varnothing 25 mm (de garde),
- griffes à béton (6 mm et 8 mm),
- scie,
- planches,
- cercles de guidage (fer \varnothing 20) de fond de fouille,
- brouette.

Il faut y ajouter du matériel de mesure et de contrôle :

- fil à plomb,
- niveau antichoc,
- double-mètre,
- règle de maçon,

et du matériel de sécurité :

- casques,
- ceintures de sécurité,
- trousse médicale de première urgence.

2.6.2 Matériel spécialisé (doc. 6)

Il s'agit de matériel propre à l'équipement des chantiers de puits, et dont une partie peut encore être acquise dans le commerce. L'essentiel de ce matériel devra cependant donner lieu à des commandes spéciales, et dans certains cas être fabriqué à la demande, si l'on veut qu'il soit parfaitement adapté aux conditions particulières du chantier.

2.6.2.1 Moules (fig. 39 à 42)

Ce sont eux qui permettent de couler le béton, pour des formes et des dimensions déterminées. Ils sont métalliques, en tôle de 3 mm d'épaisseur au minimum, et renforcés par des cornières, ou des fer en U, de manière à les rendre indéformables.

Chacun des éléments constitutifs d'un moule doit pouvoir être manipulé par un homme seul. L'assemblage se fait lors de la mise en place au moyen de boulons (de 14 \times 40), système qui résiste efficacement aux déformations, ou par clavetage.

La hauteur des moules (1 m ou 0,50 m) sera déterminée en fonction de l'utilisation et des habitudes acquises. Chaque fois que c'est possible, il vaut mieux choisir des moules de 1 m : cette hauteur est plus favorable à la qualité de l'ouvrage car elle diminue le nombre des reprises nécessaires.

Lorsque le cuvelage est réalisé à la remontée, il est recommandé d'assembler pour chaque coulée 2 ou 3 moules l'un au-dessus de l'autre à l'aide d'un système de fixation par boulons.

Chaque partie de l'ouvrage (cuvelage, captage, trousse coupante, margelle, abreuvoir) a ses propres moules, et l'ensemble de ces moules constitue un investissement non négligeable.

Pour les puits en béton armé de \varnothing 1,80 et \varnothing 1,40 m ces moules doivent répondre aux caractéristiques suivantes :

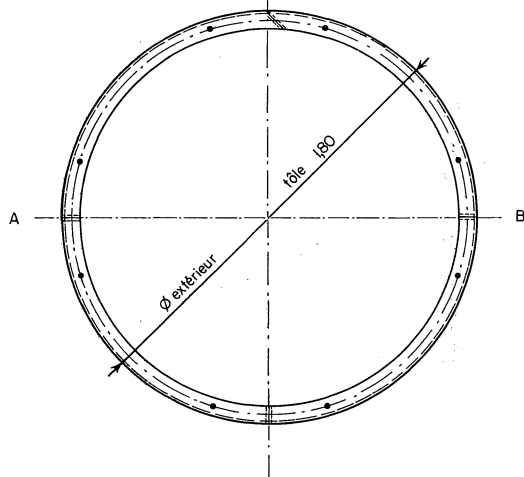
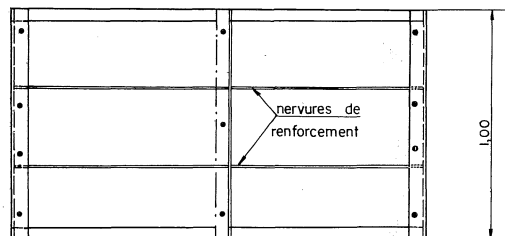
Caractéristiques géométriques des moules pour les puits en béton

Désignation	Puits de 1,80 m	Puits de 1,40 m	Hauteur (m)
1. Moule à cuvelage :			
\varnothing extérieur	1,80	1,40	1,00 ou 0,50
2. Moule à buses (captage) :			
\varnothing extérieur	1,60	1,20	1,00
\varnothing intérieur	1,40	1,00	1,00
3. Moule à trousse coupante :			
\varnothing intérieur	1,40	1,00	0,30
\varnothing extérieur	1,70	1,30	0,30
4. Moule à margelle, margelle basse et large :			
\varnothing intérieur	Cuvelage	Cuvelage	Cuvelage
\varnothing extérieur	2,60	2,20	0,50
margelle haute et étroite :			
\varnothing intérieur	Cuvelage	Cuvelage	Cuvelage
\varnothing extérieur	2,20	1,80	0,80
5. Moule à abreuvoir circulaire :			
\varnothing intérieur	0,80	0,80	0,20
\varnothing extérieur	1,00	1,00	0,30

Après le décoffrage, les moules doivent être raclés et brossés ; pour maintenir nettes les surfaces de contact, et éviter qu'elles n'adhèrent au béton on les enduira de gazole ou d'huile de vidange au moment de l'emploi.

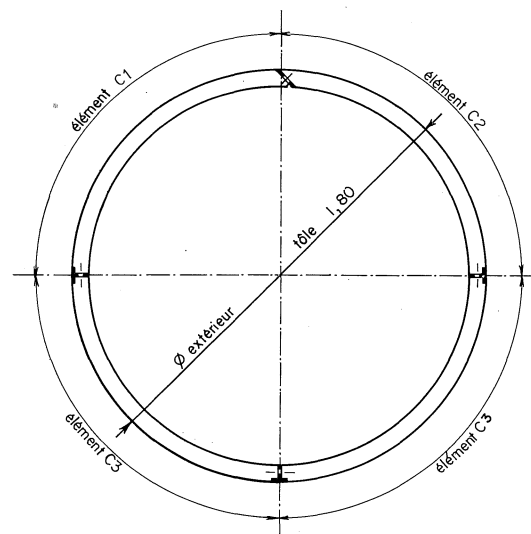
Les figures 39 à 42 montrent des modèles de moules à cuvelage, à buses, à trousse coupante et à margelle pour un puits de 1,80 m (pour les puits de \varnothing 1,40 m les moules sont les mêmes, aux dimensions près). Les moules à buses représentés permettent la fixation des buses par étriers (cf. 2.4.2.1 et fig. 30). L'assemblage des éléments des moules entre eux se fait avec des boulons.

COUPE . A.B



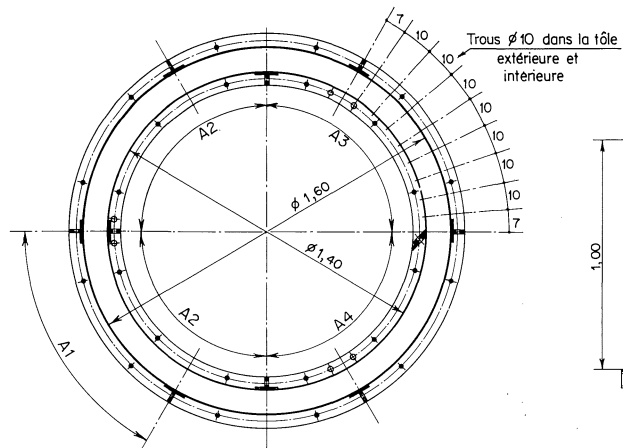
d'après plan COFRAL S.A

MOULE A CUVELAGE (Ø 1,80)



Schema d'assemblage
des éléments

Fig : 39



MOULE EXTÉRIEUR (6 éléments)
MOULE INTÉRIEUR (4 éléments)

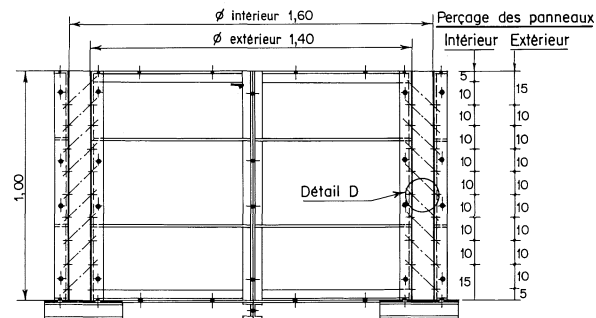
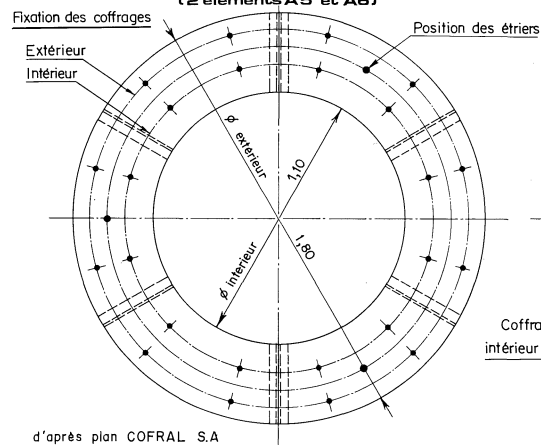


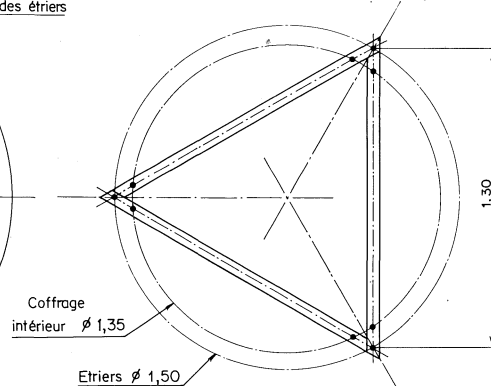
Fig: 40

MOULE A BUSE
 $\phi 1,40$

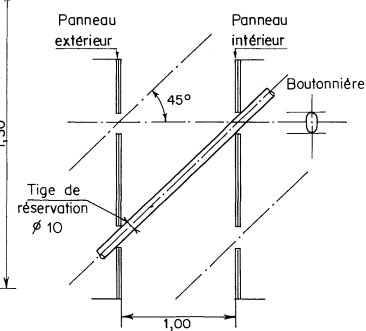
FOND DE MOULE
(2 éléments A5 et A6)



TRIANGLE DE MISE EN PLACE DES ETRIERS
(1 élément A7)
(Pour levage des pièces préfabriquées)



DÉTAIL D

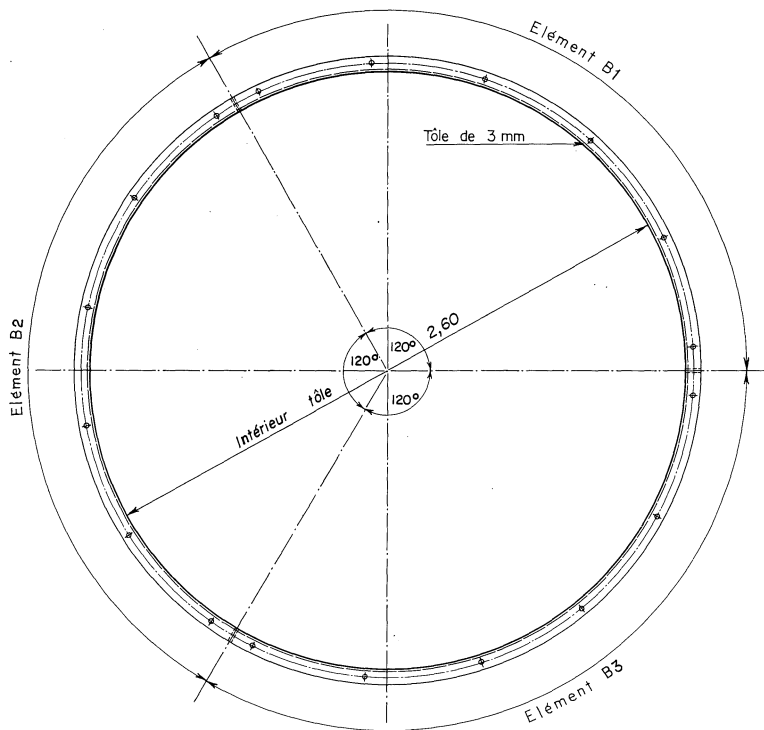
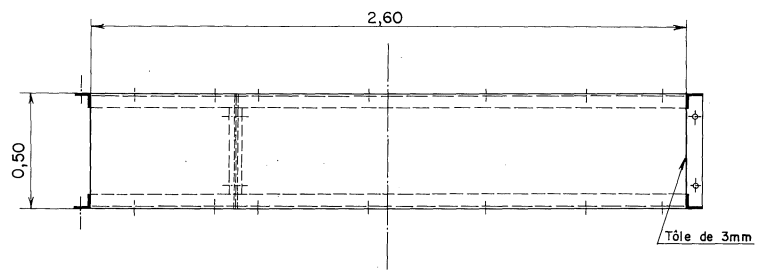


d'après plan COFRAL S.A

Fig: 41

MOULE A MARGELLE

ø extérieur 2,60

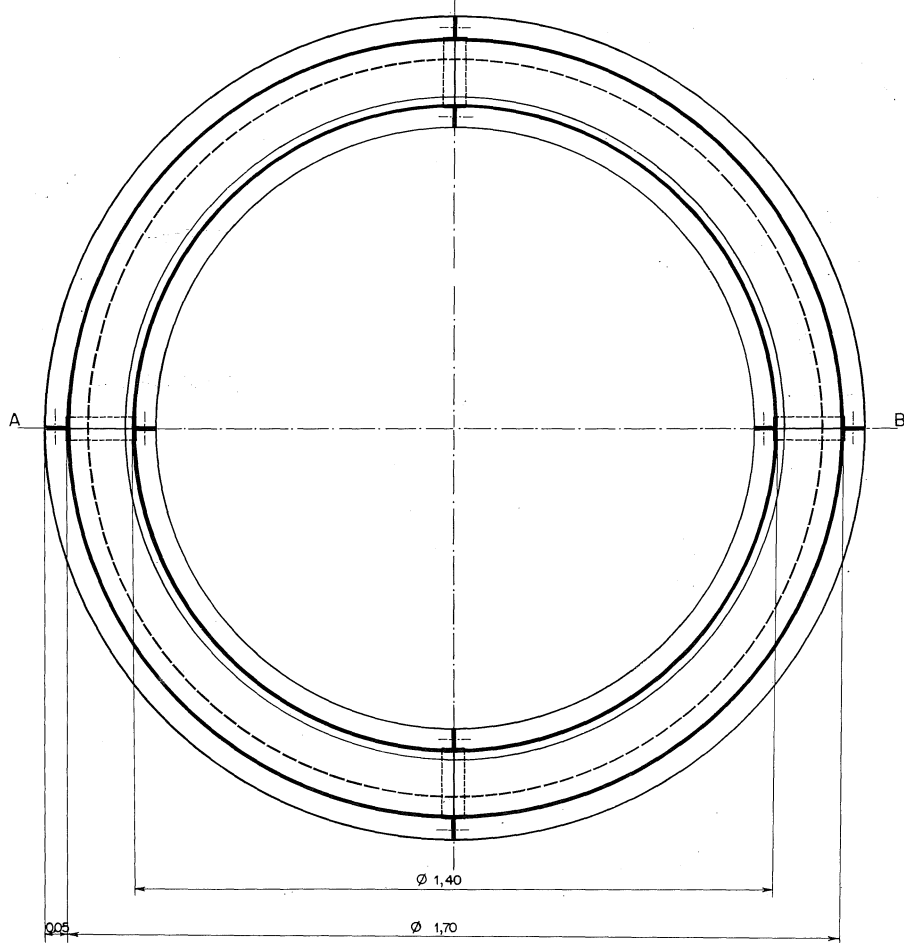
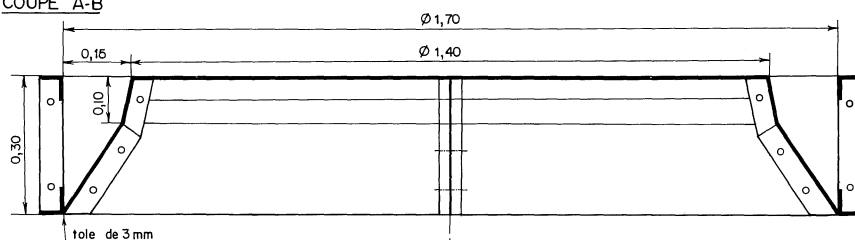


d'après plan COFRAL S.A

Fig: 42

**MOULE A TROUSSE COUPANTE
POUR BUSE Ø 1,40**

COUPE A-B



2.6.2.2 Cuffats

Seaux métalliques, ou en caoutchouc armé, servant à l'extraction des déblais, ils ont une capacité qui dépend de la puissance du matériel de levage disponible. Selon qu'il s'agit d'une poulie ou d'un treuil, cette capacité sera de 10, 20, 30, 50 ou 100 l (volume à multiplier approximativement par deux pour avoir le poids de la charge correspondante).

Les plus petites capacités sont celles des seaux ou encore des cuffats réalisés sur place en découpant la partie inférieure d'un fût de 200 l (hauteur : 0,40 m), l'anse étant fabriquée avec du fer à béton de \varnothing 8 mm.

A partir de 50 à 100 l, les véritables cuffats sont basculants.

Pour l'extraction des déblais, on dépasse rarement la capacité de 100 l. Par contre des cuffats de 200 et même de 400 l sont fort utiles pour épuiser l'eau au cours des travaux, ainsi que pour effectuer un essai de débit en l'absence de pompe.

Dans ce cas, le cuffat est muni d'une soupape de fond, qui laisse passer l'eau sans que tout le récipient soit immergé. A la remontée la soupape se ferme, et la vidange s'effectue à l'extérieur par basculement du cuffat.

A partir d'une capacité de 50 l, la manœuvre des cuffats nécessite l'emploi d'un derrick à moteur.

2.6.2.3 Chèvre ou portique (fig. 43)

Si l'extraction des déblais est réalisée avec une corde et une poulie, cette dernière est fixée à un portique placé à 2 m environ au-dessus du puits. Ce portique peut être en bois (2 piliers fourchus supportant une barre de bois transversale, sur laquelle est fixée la poulie par l'intermédiaire d'une élingue).

Si on utilise un treuil à main fixé au sol à côté du puits, on devra faire passer le câble sur une poulie accrochée à une chèvre triangulaire coiffant le puits et composée d'éléments de tubes de \varnothing 60 ou 80 mm. La hauteur libre sous la poulie doit être de l'ordre de 2 m.

2.6.2.4 Treuil à main

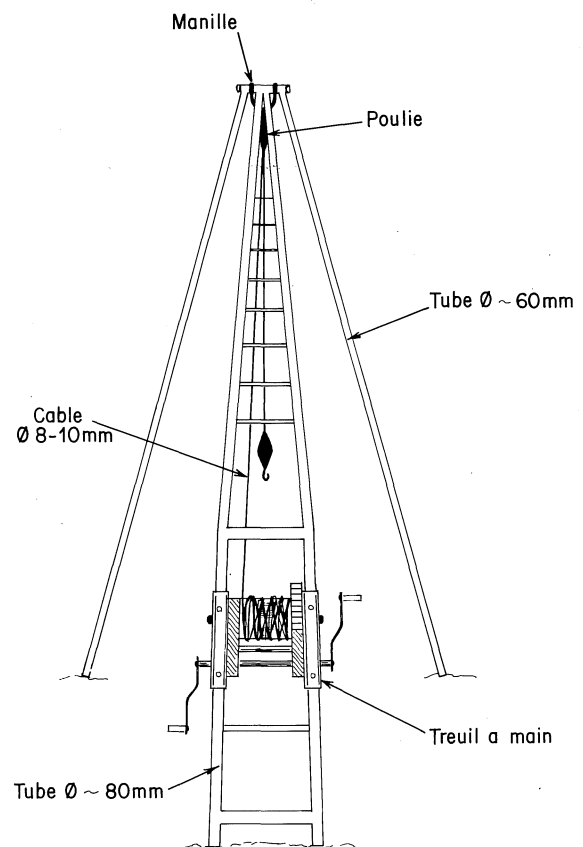
L'utilisation du treuil à main, permet de manœuvrer des charges plus lourdes et pour un moindre effort que la simple poulie ; la remontée de cuffats chargés de 60 à 80 kg de déblais est possible avec ce matériel. En fait, on est surtout limité par la manœuvre de décrochage du cuffat, qui est faite à bras d'homme.

Le treuil à main est pratiquement indispensable lorsque la profondeur dépasse 20 m.

La figure 44 représente le treuil dont sont dotées les brigades de puits du Niger. Ce treuil, placé sur la gueule du puits et manœuvré par deux hommes, comporte un cliquet de sûreté. Il est démontable et ne nécessite pas l'emploi d'une chèvre en raison de sa position au sommet du puits.

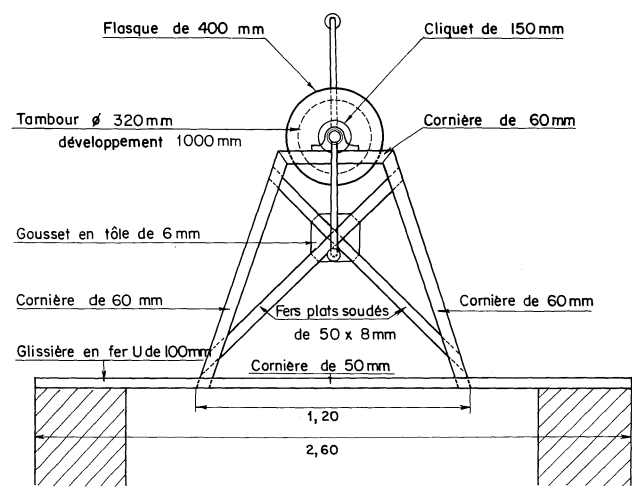
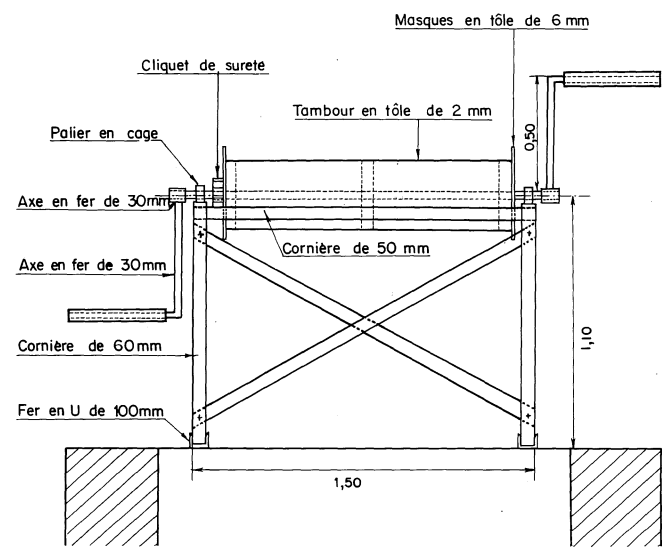
Fig: 43

CHÈVRE EQUIPÉE D'UN TREUIL A MAIN



TREUIL A MAIN

Fig. 44



2.6.2.5 Câbles métalliques

Les treuils sont équipés de câbles métalliques de \varnothing 8 mm-10 mm souples à 6 torons, ou de câbles antigiratoires à 17 torons. Le câble est fixé et enroulé régulièrement sur le tambour du treuil.

L'extrémité libre du câble est munie d'un crochet avec une sécurité, pour éviter le décrochage accidentel du cuffat.

La longueur du câble à placer sur le treuil doit être supérieure à la profondeur à atteindre, de manière à conserver trois tours morts au minimum sur le tambour.

2.6.2.6 Palan

Le rôle du palan est de soulever les charges lourdes en l'absence de moyen de levage mécanique. Sa force doit être de 1,5 à 2 t pour pouvoir lors du décoffrage, ou pour le chargement sur un véhicule, soulever les buses de \varnothing intérieur 1,40 m (poids 1 200 kg).

Le palan est pendu à une chèvre et parfois, plus simplement, à un arbre.

2.6.2.7 Tamis

Les tamis servent à séparer à partir du tout-venant, les sables et les graviers utilisés pour le béton ou les massifs filtrants. Ils sont réalisés avec du grillage d'acier maille carrée. Les dimensions de mailles les plus fréquentes sont : 5 × 5 mm, 10 × 10 mm, 15 × 15 mm et 20 × 20 mm.

Le grillage est monté sur un châssis de superficie de 1 × 2 m, fait en cornières métalliques de 50 mm. Une ou deux cornières transversales renforcent le cadre.

2.6.2.8 Citerne et fûts

La fabrication du béton nécessite beaucoup d'eau (200 l par m³ de béton), qu'il est pratique de stocker sur place dans des fûts ouverts de 200 l.

Lorsque le fonçage et le cuvelage du puits sont réalisés simultanément, l'approvisionnement en eau est généralement fait à l'aide d'une citerne de 1 000 à 2 000 l, portée ou tractée par un véhicule. Par contre, la réalisation du cuvelage après le fonçage permet d'utiliser l'eau du puits en chantier. Les programmes de puits prévoient parfois l'approvisionnement en eau du chantier par les villageois eux-mêmes, à partir d'un point d'eau du voisinage.

2.6.3 Matériel mécanisé

Le fonctionnement et l'entretien de ce matériel, qui est actionné par des moteurs, exige du personnel un minimum de notions de mécanique.

2.6.3.1 Grue-derrick

Cet engin facilite considérablement le maniement des charges lourdes au-dehors ou à l'intérieur des puits. Il est nécessaire pour le havage mécanique à la benne-preneuse. Il se compose (fig. 45) d'un châssis métallique, d'une flèche, d'un treuil et d'un moteur.

La grue-derrick est installée à côté du puits, de manière que la poulie, placée à l'extrémité de la flèche, soit à l'aplomb de l'axe du puits. Sa puissance de levage est normalement de 1 000 kg, et peut être doublée en mouflant le câble.

La fixation de cette grue-derrick sur un châssis de véhicule ou sur traîneau permet de la déplacer sans avoir à la démonter.

2.6.3.2 Benne preneuse

La benne preneuse (fig. 46) permet le travail sous l'eau (havage à niveau constant). Son volume est de 30, 55 ou 75 l. Elle est descendue ouverte dans le puits. Ses dimensions doivent lui permettre de passer à travers la colonne de captage, c'est-à-dire que son diamètre doit être inférieur respectivement à 1,40 ou 1,00 m, selon qu'il s'agit de puits de 1,80 ou 1,40 m.

C'est la grue-derrick à moteur, décrite ci-dessus, qui manœuvre la benne preneuse, dont le maniement nécessite une force de levage de 500 kg.

2.6.3.3 Compresseur

Il produit l'air comprimé nécessaire au fonctionnement des marteaux-piqueurs, des marteaux-perforateurs et des pompes.

La pression nécessaire est d'environ 7 kg/cm². Le débit minimum est de 2 500 l/mn (fonctionnement simultané de deux marteaux-piqueurs) ou de 4 500 l/mn (fonctionnement d'une pompe et d'un marteau-perforateur).

2.6.3.4 Pompe à air comprimé

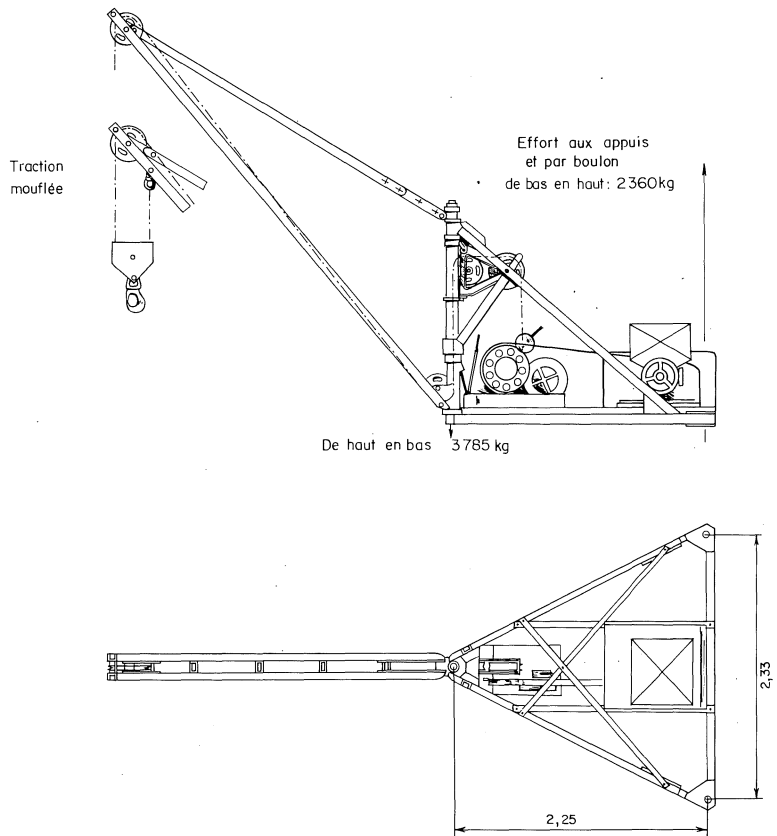
Ses avantages sur les autres pompes de chantier sont considérables : robustesse, possibilité d'aspirer et refouler des eaux chargées de matières solides, commodité, absence de nocivité de l'air comprimé.

Le tableau ci-après donne les caractéristiques des pompes à air comprimé INGERSOLL-RAND en fonction des divers paramètres :

Consommation d'air comprimé en l/mn	Débit refoulé en m ³ /h Pour les hauteurs de refoulement					
	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m
2 000	39	21	6			
3 500	66	39	12	6		
4 500	45	45	39	33	26	18

Fig. 45

GRUE DERRICK A MOTEUR

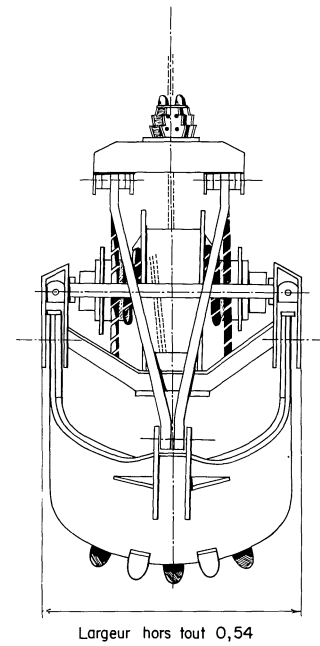


	FORCES	PORTÉE	HAUTEUR S. POULIE	VITESSE DE LEVAGE
- Traction directe	1 000 kg	3 m	3,30 m	30 m par minute
- Traction mouflée 2 brins	2 000 kg	2,50 m	3,65 m	15 m par minute
- Traction mouflée 3 brins	2 500 kg	2 m	3,95 m	10 m par minute

d'après plan PERNIN S.A

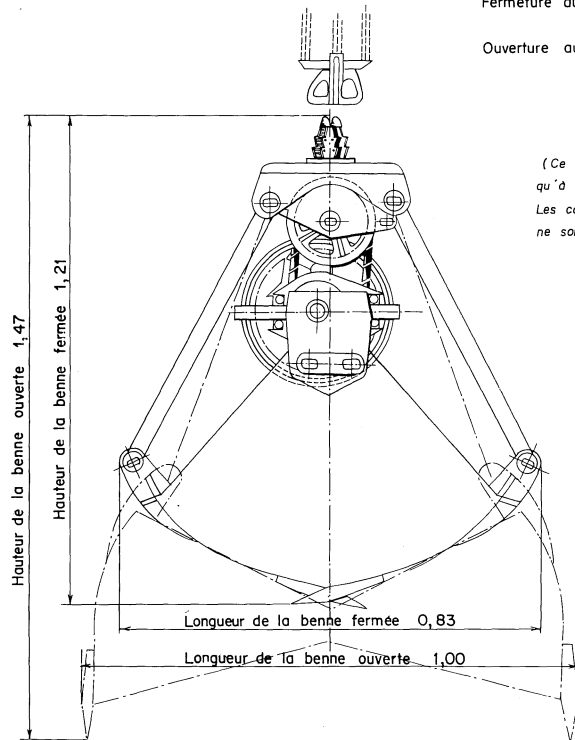
Fig. 46

BENNE TYPE BENOTO
(AS 52)



Fermeture au moyen d'une chaîne
Ouverture au moyen d'une couronne

(Ce schéma n'est remis
qu'à titre indicatif
Les cotes, poids et capacités
ne sont qu'approximatifs)



2.6.3.5 Marteaux-piqueurs et marteaux-perforateurs

Nécessaire en terrain dur, le marteau-piqueur est muni d'une aiguille (dont la pointe doit être périodiquement reforgee) actionnée par un piston battant à la cadence de 1 200 à 1 500 coups/mn. Un marteau-piqueur pèse de 6 à 10 kg et consomme environ 700 l d'air à la minute.

Utilisé pour la réalisation des trous de mines, le marteau-perforateur actionne un fleuret (en forme de burin) que pousse un piston (1 000 à 2 500 coups/mn) en même temps que lui est imprimé un mouvement de rotation. La consommation d'air comprimé d'un marteau perforateur est de l'ordre de 1 200 à 1 500 l/mn et son poids de 9 à 15 kg. La vitesse moyenne d'avancement est comprise entre 15 et 60 cm/mn.

Les trous perforés ont un diamètre de 3 à 4 cm. La longueur des fleurets est fonction de la profondeur à donner aux trous. Le taillant qui équipe la pointe du fleuret est parfois démontable, ce qui permet de le changer lorsqu'il est usé.

Marteaux-piqueurs et perforateurs sont alimentés en air comprimé par le compresseur, à l'aide d'un flexible de caoutchouc.

2.6.3.6 Explosifs

Deux sortes d'explosifs sont utilisés dans les puits : la dynamite et les supernitrates.

La dynamite, fabriquée à partir de la nitroglycérine, à l'avantage d'être insensible à l'eau. Il en existe un certain nombre de variétés :

- | | | | | |
|---|-------------------------|--------|----------------------|--------|
| — | dynamite-gomme A et AS, | à 92 % | de nitroglycérine | |
| — | — | — | BAM, | à 60 % |
| — | — | — | plastique A, | à 40 % |
| — | — | — | -nitratite plastique | à 23 % |

Les supernitrates ne peuvent être employés dans l'eau, mais conviennent au fonçage dans un terrain sec.

Les explosifs sont livrés sous la forme de cartouches de 100 g ; les conditions de dépôt et les consignes de sécurité relatives à leur emploi sont régies par des règlements administratifs qui doivent être rigoureusement respectés (doc. 18).

2.6.3.7 Détonateurs

Ils sont constitués par une pastille de fulminates de mercure très sensible, qui explose sous l'action d'une flamme ou d'une vive élévation de température. Ils provoquent, en détonant, l'explosion des charges d'explosif normalement inertes.

On distingue les détonateurs à mèche lente et les détonateurs électriques mis à feu par un exposeur.

Pour le fonçage des puits, un minimum de sécurité impose la mise à feu à l'extérieur du puits. Dans le cas des détonateurs à mèche lente, on intercale donc entre le détonateur situé hors du puits et les charges explosives situées dans les trous de mine des longueurs suffisantes de cordeau détonant, qui transmet l'onde de choc formée par le détonateur.

Le stockage et le transport des **explosifs** et des **détonateurs** doivent impérativement se faire de **manière séparée**.

2.6.3.8 Véhicules

Il est nécessaire de disposer à la fois de véhicules légers (si possible des camionnettes, permettant le transport du petit matériel), pour la liaison et le contrôle des chantiers, et de véhicules lourds, pour le transport des matériaux et du matériel. Ces derniers sont le plus souvent de 5 t, et de préférence refroidis à l'air ; les régions accidentées ou d'accès difficile rendent parfois indispensable l'emploi de camions de 2 ou 3 t seulement, et à deux ponts moteurs.

2.6.4 Dotation en matériel

On trouve ci-après la liste du matériel nécessaire, soit pour une équipe travaillant isolément sur un puits, soit pour une brigade groupant plusieurs équipes.

2.6.4.1 Dotation par équipe

En plus du petit matériel de chantier, et éventuellement d'un treuil à main, le *fonçage* et le *cuvelage* nécessitent :

- 1 moule à cuvelage,
- 1 moule à margelle (en fin de chantier),
- 1 jeu de tamis,
- 1 cuffat,
- 3 fûts de 200 l.

Si le fonçage est réalisé en terrain dur et très dur, il faudra en outre :

- 1 compresseur (avec flexible),
- 2 marteaux-piqueurs (avec aiguilles),
- 1 marteau-perforateur (avec fleurets),
- des explosifs, des détonateurs et un exploseur (cas des détonateurs électriques).

Si le cuvelage est réalisé en remontant, l'équipe devra disposer de 2 ou 3 moules à cuvelage supplémentaires, afin de pouvoir couler le cuvelage par tranches de 2 ou 3 m à la fois.

Pour préparer le captage et, notamment, fabriquer les buses qui seront placées ultérieurement au fond du puits, on doit disposer de :

- 1 ou 2 jeux de moules à buses,
- 1 moule à trousse coupante,
- 1 moule à abreuvoir (le cas échéant),
- 1 jeu de tamis,
- 1 palan pour déplacer et charger les buses,
- 3 fûts de 200 l.

Les buses de captage peuvent être fabriquées soit sur le chantier même, soit dans un centre desservant plusieurs chantiers, selon les ressources locales en matériaux, en eau, et en personnel plus ou moins spécialisé.

C'est la réalisation du captage qui nécessite le matériel le plus perfectionné :

Dans le cas du havage à niveau d'eau constant il faut :

- 1 grue-derrick à moteur,
- 1 benne preneuse (havage à niveau d'eau constant),
- 1 cuffat de 50 l,
- 1 cuffat de 200 l à soupape pour l'exhaure.

Dans le cas de terrain dur et très dur :

- 1 compresseur,
- 1 pompe à air comprimé,
- 2 marteaux-piqueurs,
- 1 marteau-perforateur.

2.6.4.2 Dotation par brigade

Conçue comme une unité autonome, la brigade a la charge d'approvisionner et de faire fonctionner les équipes qui dépendent d'elle.

C'est la brigade qui dispose des véhicules lourds pour l'ensemble des transports que nécessitent les différents chantiers de son ressort. Le nombre des véhicules varie beaucoup avec l'éloignement des chantiers et des centres d'approvisionnement, et aussi avec les vitesses d'avancement réalisées par les équipes isolées. On compte habituellement un véhicule lourd pour 5 à 10 équipes.

Répartir le matériel en fonction des données géographiques et des types de terrain traversés par chaque puits réclame une bonne organisation, sans laquelle on est conduit à alourdir inutilement le parc de matériel, et par conséquent à investir des sommes importantes, car ce matériel est coûteux.

2.6.5 Entretien du matériel

Tout matériel exige un entretien. Cet entretien est particulièrement important pour le matériel spécialisé et mécanisé. Il représente des charges d'autant plus lourdes que les conditions d'utilisation et de surveillance de ce matériel sont plus difficiles.

Il importe donc que le matériel mécanisé ne soit pas utilisé par la main-d'œuvre fournie par les villages, mais seulement par un personnel pris en charge, formé et contrôlé par les services spécialisés de l'Administration.

Des consignes claires d'entretien doivent être données à ce personnel et le chef de brigade devra veiller à ce qu'elles soient appliquées.

Un jeu de clés accompagnera chaque matériel, pour permettre le démontage des pièces aisément accessibles. Les chauffeurs des véhicules peuvent souvent donner leur concours pour le dépannage élémentaire et l'entretien du matériel. Mais c'est au chef de brigade qu'incombe la surveillance, l'entretien et, le cas échéant, le dépannage du matériel, soit sur place, soit en le transportant, s'il y a lieu, à la base qui comporte l'équipement mécanique nécessaire.

Au niveau régional (regroupement de plusieurs brigades) ou national, la constitution d'un atelier mécanique bien équipé est indispensable, cet atelier peut être commun à plusieurs services.

Il est très souhaitable de standardiser le matériel dans toute la mesure du possible : de cette manière le stock de pièces détachées peut être réduit au minimum.

Une révision minutieuse et complète du matériel de chantier et des véhicules est conseillée à la saison des pluies. Les dépenses correspondantes seront largement compensées par le meilleur fonctionnement ultérieur des chantiers.

2.6.6 Coût du matériel

Nous donnons ici, à titre d'information, le prix approximatif en France de divers matériels spécialisés utilisés pour la construction des puits, en 1980.

Il s'agit de prix, départ usine, hors taxe. Pour obtenir le prix de ces matériels rendus dans divers états d'Afrique de l'Ouest, il faut les majorer de 20 % à 50 % selon les lieux, pour les frais de transport et de transitaire.

Désignation	Francs français
a) <i>Matériel à air comprimé</i>	
Compresseur (4 800 l/mm)	85 000
Pompe à air comprimé de chantier	8 000
Marteau-piqueur (12 kg)	2 500
Marteau-piqueur (35 kg)	3 500
Marteau-perforateur (11 kg)	4 800
Marteau-perforateur (21 kg)	6 000
Fleuret de foration de 0,8 m	310
Fleuret de foration de 1,6 m	350
Fleuret de foration de 2,0 m	375
Aiguille de marteau-piqueur (12 kg)	60
Aiguille de marteau-piqueur (35 kg)	80
Flexible \varnothing 25 mm, les 20 m	350
Flexible \varnothing 19 mm, les 20 m	250
Graisseur de ligne pour perforation	600
Graisseur de ligne pour marteau piqueur ..	250
b) <i>Moules de coffrage</i>	
Moule à cuvelage \varnothing 1,40 à \varnothing 1,80	4 000
Jeu de moules à buse \varnothing 1,00 à \varnothing 1,40	10 000
Jeu de moules à trousse coupante	3 000
Moule à margelle	4 000
Moule à abreuvoir	5 000
c) <i>Matériel de levage</i>	
Grue derrick à moteur, équipée d'un moteur de 30 CV, avec 100 m de câble	140 000
Chèvre de chantier avec treuil à main	6 000
Palan 1 t	1 000
Palan 2 t	1 800
Benne preneuse (type BENOTO) de 30 l ...	45 000
Benne preneuse (type BENOTO) de 50 l ...	50 000
Cuffat à soupape de 400 l	3 000
Cuffat à soupape de 200 l	2 000
Cuffat de 50 l	1 000
d) <i>Véhicules</i>	
Véhicule 5 t tous terrains	200 000
Véhicule léger tous terrains	70 000
Véhicule léger (un pont)	40 000
e) <i>Divers</i>	
Moteur de 30 CV pour grue derrick	30 000
Groupe électrogène 20 KVA	45 000
Groupe de soudure autonome 16-20 A	10 000-30 000
Citerne sur roue de 1 000 l	7 000

2.7 L'ENTRETIEN ET LA RÉPARATION DES PUITES

L'entretien des puits est indispensable à la fois pour prévenir ou réparer les dégradations, pour prolonger la durée de vie de l'ouvrage et pour maintenir le débit qu'il fournit.

Dans le cas, malheureusement trop fréquent, où les puits ne sont pas visités et réparés périodiquement, ils se détériorent progressivement, jusqu'au jour où le puisage de l'eau devient impossible. À ce moment, il est souvent trop tard pour faire appel à un service spécialisé (s'il existe) parce que la dégradation est telle que le puits n'est plus réparable, ou parce que le prix de la réparation serait du même ordre que celui de la construction d'un puits neuf.

Le souci d'une bonne conservation du capital que représentent les puits conseille donc de pratiquer leur visite périodique, afin de pouvoir intervenir en temps utile si leur réparation est nécessaire.

2.7.1 Remise en état du captage

Le captage, qui est un organe « vivant », constitue la partie la plus délicate du puits. Son évolution au cours du temps nécessite un entretien préventif. Deux dangers le menacent en effet :

- l'ensablement,
- le colmatage.

2.7.1.1 L'ensablement

Lorsque tout ou partie des éléments constitutifs du terrain aquifère parviennent à traverser le captage, les matériaux qui ont filtré s'accumulent à l'intérieur du puits tandis que, derrière les buses, se forme une caverne, qui s'agrandit progressivement jusqu'à la rupture ou au basculement du captage, voire du cuvelage.

On ne peut remédier à l'ensablement que par la mise en place d'un supplément de gravier-filtre entre les buses et le terrain, et par le choix d'une crépine adaptée à la granulométrie du terrain.

2.7.1.2 Le colmatage

Il résulte du dépôt sur la crépine d'un certain nombre de substances existant en suspension ou en solution dans l'eau de la nappe (argile, concrétions ferrugineuses ou carbonatées, etc...) Peu à peu, ou parfois très rapidement, ces dépôts obturent les espaces vides de la crépine et du massif filtrant.

Tout captage est plus ou moins sujet au colmatage. On doit le réaliser de telle manière que ce colmatage soit aussi réduit et aussi tardif que possible. Soulignons à ce propos que les buses percées de trous de \varnothing 8 à 10 mm se colmatent peu, contrairement aux buses en béton poreux, qui sont très sujettes au colmatage par l'argile.

Le décolmatage des captages fait appel à des procédés physiques (agitations, pompage intensif) et chimiques (polyphosphates, acide), qui nécessitent l'intervention d'une équipe spécialisée. Le service d'entretien des puits, quand il existe, peut parfois procéder à ces opérations, pas toujours efficaces d'ailleurs, ni durables.

Le tableau N° 3 récapitule pour chaque type de détérioration, les réparations qu'il y a lieu d'effectuer. Il mérite quelques commentaires :

- Le gravier filtrant intercalé entre le terrain et le captage est sans cesse appelé vers la base du puits, et la réserve qu'on a recommandé de constituer au sommet du captage, sur 0,5 à 2 m de hauteur au-dessus du niveau de la nappe, se trouve périodiquement absorbée. Il y a donc lieu de reconstituer de temps à autre cette réserve.

- L'ensablement a pour effet de diminuer la tranche d'eau disponible et par conséquent le débit ; il faut donc régulièrement curer le puits.

- Si l'ensablement est rapide et si l'on omet de réalimenter la réserve de gravier filtrant, des désordres graves ont toutes chances d'intervenir à plus ou moins brève échéance : les buses du captage s'inclinent, se déboîtent et rendent le puisage impossible.

Si l'intervention est pratiquée avant que l'inclinaison des buses ne devienne importante, il est possible de doubler la crépine par des buses perforées d'un diamètre inférieur, l'espace vide entre les buses étant rempli de gravier.

Au-delà d'une certaine inclinaison, la réparation devient difficile et aléatoire : il faut extraire le captage, remblayer jusqu'au sommet de la nappe et remettre en place un nouveau captage. Mais il est parfois impossible d'extraire la colonne endommagée ; dans ce cas, on procède après remblaiement au havage d'une nouvelle colonne, en détruisant l'ancienne au fur et à mesure de l'avancement des travaux (ce travail coûteux ne se justifie que pour un puits très profond, de plus de 50 m).

Lorsqu'un captage est réalisé en totalité dans des terrains très instables, son enfoncement continu dans le sous-sol est pratiquement inévitable. Le seul remède est de mettre périodiquement en place de nouvelles buses à sa partie supérieure, de telle façon que le sommet de la colonne de captage dépasse toujours notablement la base du cuvelage.

2.7.2 Remise en état du cuvelage

Sauf cas exceptionnel (marnes gonflantes), le cuvelage, s'il est exécuté suivant les règles de l'art, avec des matériaux de bonne

TABLEAU N° 3

Types de détériorations et de réparations propres aux puits

Détériorations	Réparations
A. Captage	
<ul style="list-style-type: none"> ● Gravier filtrant insuffisant. ● Ensablement. ● Première buse cassée. ● Buses fissurées ou trouées avec perte du gravier filtrant ● Décalage et inclinaison des buses. ● Absence ou disparition du captage. ● Cavernes. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mise en place de gravier filtrant. ● Curage. ● Extraction et remplacement de la première buse. ● Doublage du captage par une colonne de diamètre inférieur. ● Si le décalage et l'inclinaison le permettent, doublage du captage. ● Si cette opération n'est pas possible, remblaiement du captage et mise en place d'un nouveau captage avec destruction et extraction de l'ancien. ● Remblaiement jusqu'à la base du cuvelage et mise en place d'un captage nouveau. ● Remblaiement.
B. Cuvelage	
<ul style="list-style-type: none"> ● Fissuration sans décrochement. Trous dans le cuvelage. ● Décrochement vertical. Cisaillement horizontal. ● Rupture du cuvelage au-dessus du captage. ● Cavernes. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Maçonnerie. ● Doublage du cuvelage avec ancrage. ● Doublage du cuvelage avec appui sur le captage. ● Remblaiement.
C. Équipement de surface	
<ul style="list-style-type: none"> ● Abreuvoirs cassés ou fissurés. ● Margelle au-dessous du niveau du sol (remblaiement éolien ou autre) ● Absence d'abreuvoir. ● Absence de l'anti-bourbier. ● Déchaussement des abords du puits 	<ul style="list-style-type: none"> ● Petite maçonnerie. ● Remontée de la margelle. ● Confection d'abreuvoir. ● Confection d'un dallage anti-bourbier. ● Remblaiement.

qualité et un ferrailage suffisant, ne doit pas se détériorer : une fois construit, il n'est en effet soumis à aucun effort particulier en dehors de la pression régulière du terrain.

La construction du cuvelage en descendant par tranches successives de 1,10 m, entraîne toutefois dans certains cas la production de fissures entre les tranches. Il est alors nécessaire de reboucher soigneusement ces fissures avec du mortier.

D'autre part, un captage détérioré a souvent des répercussions sur la partie inférieure du cuvelage. Les cavernes qui se produisent dans ce cas déséquilibrent le cuvelage et peuvent entraîner sa rupture, avec ou sans déplacement latéral.

La rupture du cuvelage nécessite de le chemiser par un jeu de buses pleines. Si la cassure est située à proximité de la colonne de captage, ces buses pourront prendre appui sur elle. Dans le cas contraire, il sera nécessaire de les ancrer dans le terrain encaissant.

2.7.3 Entretien des équipements de surface

Les superstructures des puits peu fréquentés (ou de faible débit) sont très durables. Si par contre l'utilisation du puits est intense (puits pastoraux, certains puits ruraux), un bourbier prend naissance au voisinage du puits, dont les équipements de surface se dégradent rapidement.

On y remédie en procédant au remblaiement des abords du puits, afin d'éviter la stagnation de l'eau aux abords de la margelle. L'utilisation d'abreuvoirs mobiles, qu'on déplace de temps à autre, favorise le remblaiement naturel des excavations dû au piétinement des animaux.

Dans le cas où le puisage s'effectue par traction animale, les abords du puits ont tendance à se remblayer peu à peu. (Le retour vers le puits des cordes servant au puisage et posées à terre se traduit par l'entraînement continu en direction de la margelle des fragments de terrain adhérent à ces cordes). La margelle doit être alors surélevée périodiquement si l'on veut éviter que le monticule de surface ne la dépasse.

2.7.4 Approfondissement des puits

Les fluctuations annuelles ou pluriannuelles du niveau des nappes ont souvent pour résultat de tarir certains puits, ou de les rendre pratiquement inutilisables, lorsque la perméabilité des terrains est très mauvaise ou la hauteur de nappe captée insuffisante. La seule solution, dès lors, est d'approfondir le puits.

Lorsqu'il ne s'agit pas d'un approfondissement très important, il peut se faire en ajoutant des buses par le haut au captage initial. Dans le cas contraire, une crépine d'un diamètre inférieur est mise en place pour prolonger le captage existant (télescopage).

CHAPITRE 3

ORGANISATION DES CHANTIERS DE PUIITS A MAIN ET PARTICIPATION VILLAGEOISE

Les entrepreneurs construisant des puits à main ayant pratiquement disparu en Afrique de l'Ouest, la plupart des opérations sont réalisées en régie administrative par les services nationaux, ou dans le cadre de projets décentralisés plus ou moins autonomes et contrôlés par l'Administration.

Les procédures de réalisation font un appel plus ou moins large à la participation des villages.

C'est dans cette perspective que se place le présent chapitre.

3.1 ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT DES CHANTIERS

3.1.1 Conditions générales

La construction d'un puits de 20 à 30 m demande 2 à 3 mois de travail de la part d'une équipe de 4 à 5 personnes. Suivant la méthode classique développée ci-dessus, il s'agit d'abord d'une équipe de fonçage et de cuvelage, peu spécialisée, sous la direction du puisatier, et ensuite d'une équipe de mise en eau, qui effectue le captage.

Une brigade comporte 4 à 10 équipes, suivant la nature des travaux, chaque équipe mettant en œuvre un chantier. En fonction de la durée moyenne de ces chantiers, si l'on veut réaliser 300 à 350 points d'eau par an, on doit prévoir le fonctionnement simultané d'une centaine de chantiers. Autrement dit, il faudra mettre sur pied un organisme très lourd, utilisant les services d'environ 500 personnes (la majeure partie étant d'ailleurs constituée de manœuvres peu spécialisés).

Un tel organisme nécessitera notamment :

- un échelon de direction comprenant un ingénieur très qualifié et les agents administratifs et comptables nécessaires,
- une base centrale avec ateliers mécaniques et magasins.

Les points délicats d'une telle organisation sont les suivants :

a) La technique des puits est lente et à base de travail manuel. De là vient sans doute que les difficultés inhérentes à l'exécution d'un programme de puits sont très généralement sous-estimées et qu'on affecte trop souvent à ces programmes un matériel et un personnel insuffisants.

Or la réalisation de captages assez profonds en tous terrains réclame un matériel important : grues derricks, bennes-preneuses, compresseurs, moules à buses de construction soignée, etc. Quant au personnel, il faut noter la disparition progressive des puisatiers et l'insuffisance des tentatives de formation, souvent trop théoriques.

b) La grande difficulté d'une opération de puits est la coordination des chantiers et l'approvisionnement de chacun d'eux en temps utile. Il faut notamment prévoir avec une précision suffisante la date et la durée d'intervention de l'équipe de « mise en eau », et ceci n'est possible que si l'avancement des travaux est régulier.

Par ailleurs le grand nombre de travailleurs employés et la décentralisation des travaux entraînent des risques évidents de gaspillage de carburants (transports) et de matériaux (ciment).

Organiser rigoureusement les transports pose des problèmes complexes, car le nombre des véhicules est rarement bien proportionné aux travaux. La construction d'un puits nécessite des transports très importants, qu'il s'agisse de l'approvisionnement des chantiers ou des tournées du chef de brigade ; cependant, une mauvaise organisation peut conduire à surdimensionner le parc de véhicules.

3.1.2 Qualifications et tâches du personnel technique

Le chef de brigade a pour fonction d'organiser, de faire fonctionner et de contrôler un certain nombre de chantiers. Sur le puits même, c'est le puisatier qui a pour rôle de diriger les travaux et d'encadrer la population.

3.1.2.1 Le chef de brigade

Le chef de brigade doit avoir le niveau d'un bon agent technique. La nécessité d'une solide formation technique doit être soulignée ; il arrive en effet trop souvent que des chefs de brigade se révèlent, malgré leur bonne volonté, incapables de diriger les chantiers dont ils ont la charge.

La coordination des travaux est l'une des tâches essentielles du chef de brigade ; il doit suivre l'avancement des chantiers, organiser en temps voulu les différentes opérations et veiller à la régularité

des approvisionnements (rotation des véhicules, déplacement de l'équipe de mise en eau).

Le nombre de chantiers placés sous le contrôle d'un chef de brigade ne doit pas dépasser 5 à 10. Lorsque les conditions sont difficiles (chantiers éloignés et dispersés, approvisionnement en matériaux délicat), le nombre de puits à surveiller simultanément doit être beaucoup plus réduit. Il va de soi que des relations étroites entre le chef de brigade et les autorités administratives locales, ainsi qu'avec l'animation rurale, sont indispensables.

3.1.2.2 Le puisatier

Il doit posséder une bonne expérience pratique des diverses opérations de construction des puits (fonçage, cuvelage, captage, choix des matériaux, etc.) ; il lui revient d'encadrer les villageois généralement inexpérimentés et de leur apprendre à travailler. De sa présence, constante sur le chantier, dépendra la participation effective de la population.

Le puisatier devra en outre désigner les emplacements où doivent être collectés les matériaux (graviers, sable) et assurer l'entretien du matériel.

Mais c'est surtout son rôle d'animateur qui est important, et cela implique qu'il ait, en plus de ses connaissances techniques, de solides qualités humaines.

Le puisatier est habituellement accompagné d'un aide-puisatier, qui s'initie à son contact et le seconde sur le chantier.

3.1.2.3 L'équipe de mise en eau

Cette équipe, chargée de l'opération la plus importante : le captage se compose habituellement de :

- 1 puisatier,
- 1 aide-puisatier,
- 1 treuilliste (grue-derrick),
- 2 manœuvres.

Elle ne requiert pas normalement la participation de la population, à l'exception des travaux annexes habituels (approvisionnement en gravier filtre, etc...).

3.1.3 Déroulement des chantiers

3.1.3.1 Opérations préliminaires

Avant la mise en route des chantiers, un plan d'exécution des travaux doit être préparé en fonction, d'une part, du nombre et des caractéristiques des puits à réaliser, d'autre part du personnel d'encadrement et des matériels disponibles.

Il est indispensable d'attendre que les travaux agricoles soient terminés et que certaines coupures de circulation dues à la saison des pluies soient rétablies. Suivant la latitude, la période propice commence en octobre, novembre ou décembre pour se terminer en mai, juin ou juillet, ce qui laisse un intervalle compris entre 6 et 9 mois.

Au préalable, et si possible à la précédente saison sèche, on aura effectué une campagne d'information et jugé du désir de participation des populations ; les villages où doivent être réalisés les puits auront été visités par les différentes autorités (administrative, technique, animation), l'implantation précise des puits aura été effectuée, et les avant-trous de reconnaissance auront été exécutés, s'il y a lieu.

Le responsable régional et le chef de brigade du service chargé de la construction des puits peuvent dès lors décider de la répartition des chantiers, affecter les puisatiers, préparer les approvisionnements en matériaux (ciment, fer) et en matériel.

3.1.3.2 Déroulement des travaux

On exécute d'abord le *fonçage*, que les villageois effectuent avec le puisatier, surtout si le *cuvelage* doit être réalisé simultanément.

Lorsque le cuvelage a atteint la nappe et que les buses sont coulées, l'équipe de mise en eau intervient pour réaliser le *captage*. Pour des raisons psychologiques et pratiques évidentes, il est très souhaitable que la mise en eau se fasse le plus rapidement possible.

Si les buses et la trousse coupante sont coulées sur le chantier, elles doivent être fabriquées avant l'arrivée de l'équipe de mise en eau. C'est habituellement le puisatier chargé de la confection du cuvelage qui les prépare. Mais le nombre de buses à mettre en place dans chaque puits ne peut pas toujours être déterminé à l'avance, ce qui conduit souvent à aménager un chantier spécial où les buses sont fabriquées par une équipe distincte, et stockées en vue de leur répartition ultérieure.

Pendant toutes ces opérations, le puisatier, aidé par les villageois, doit veiller à l'approvisionnement régulier du chantier en sable et graviers, et au transport de ces matériaux par les villageois (ou un véhicule) jusqu'au lieu d'utilisation.

Quant au chef de brigade, il est nécessaire qu'il visite chacun de ses chantiers 2 à 3 fois par semaine.

Le déroulement des travaux et l'organisation des chantiers diffèrent suivant la nature des terrains :

a) Dans les formations sédimentaires sablo-gréseuses, comme au Niger (eau à 25 ou 30 m, nappe à capter sur 3 à 5 m de hauteur), le chef de brigade ne peut pas diriger plus de 5 à 10 puisatiers et une à deux équipes de mise en eau, pour une production maxima de 30 puits par an (9 mois utiles). En fait, d'après des observations faites au Niger l'optimum paraît être de 7 puisatiers, d'une seule équipe de mise en eau, et de

20 puits réalisés par an. La mise en place des captages demande environ deux semaines.

Au Niger (OFEDES) chaque chantier est encadré par un puisatier, qu'il s'agisse du fonçage ou du cuvelage.

b) Dans les terrains anciens et en particulier le socle cristallin et métamorphique, comme en Haute-Volta, où la hauteur souhaitable de captage (5 à 15 m) est du même ordre de grandeur que celle du cuvelage (profondeur de l'eau de 2 à 20 m), une brigade comprend jusqu'à 10 puisatiers et 3 équipes de mise en eau pour une production d'environ 50 puits par an. Mais il vaut mieux la limiter à 7 puisatiers et 2 équipes de captage, ou 8 équipes effectuant la totalité des puits (si l'on utilise la technique du cuvelage captant), pour une production de l'ordre de 30 puits par an.

3.1.3.3 Coordination des chantiers

Malaisée à réaliser même lorsqu'on dispose d'équipes de fonçage de puits expérimentées, la coordination des chantiers est certainement une des difficultés majeures des programmes de puits à main. Un avancement régulier des travaux permet de prévoir pour chaque puits les approvisionnements en matériaux et matériels, la date d'intervention de l'équipe de mise en eau, etc. A partir de ces données, la coordination des opérations des différents chantiers est réalisable et, compte tenu des véhicules disponibles, les temps d'immobilisation du matériel et des chantiers sont réduits au minimum. Mais si les travaux se déroulent avec des vitesses d'avancement irrégulières ou très différentes, la coordination de l'ensemble devient pratiquement impossible.

Les inconvénients de cette irrégularité se répercutent d'ailleurs sur la fin des chantiers : il suffit d'un ou deux puits non terminés pour mobiliser pendant une période supplémentaire, parfois longue, l'ensemble des moyens en personnel et en matériel rassemblés pour la réalisation des 5 à 10 puits affectés à la brigade, ce qui peut accroître dans une forte proportion le prix de revient de chaque puits.

Un effort tout particulier est donc nécessaire, lorsqu'on fait appel à la participation des villages, pour coordonner l'ensemble des travaux.

3.1.3.4 Compte rendu de chantier

Tous les événements de la vie de chantier sont consignés sur un cahier de chantier régulièrement tenu à jour par le puisatier chef d'équipe, et contrôlé par le chef de Brigade.

A partir de ces données, des carnets de bord des véhicules et des fiches de sortie des magasins, le chef de Brigade établit mensuellement un rapport d'activité rendant compte de l'ensemble des travaux et comportant les rubriques suivantes :

- état des stocks et consommations en matériaux et carburants,
- répartition du personnel sur les chantiers,

Fig: 47

TYPE DE FORMULAIRE POUR RAPPORT MENSUEL DE TRAVAUX

A - STOCKS ET CONSOMMATIONS MATÉRIAUX-CARBURANTS	
Stocks en magasin	
SUBDIVISION DE :	DÉSIGNATION STOCK DÉBUT DU MOIS ENTRÉES SORTIES STOCK FIN DU MOIS OBSERVATIONS
MOIS DE :	Ciment (T)
RAPPORT MENSUEL A = STOCKS B = PERSONNEL C = MATÉRIEL D = TRAVAUX	Fer Ø 6 (T)
	Fer Ø 6 (T)
	Essence (l)
	Gaz Oil (l)
Le Subdivisionnaire, le : (Signature)	
Observations (reliquat des caisses d'avance) A renvoyer à la Direction la 1 ^{ère} semaine de chaque mois	

B - PERSONNEL																																		
CHEF D'ÉQUIPE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	PN OU PR	FONCAGE (m)	OBSERVATIONS RÉPARATIONS
	TOTAL																															PN		
																																PR		
																																PN+PR		
PN : Puits neufs , PR : Puits réparés																																		

C - MATÉRIEL						
VÉHICULES OU ENGIN	KM OU HEURE	CONSOMMATIONS MENSUELLES		CONSOMMATIONS SPÉCIFIQUES CARBURANT	NBRE JOURS DE PANNES	OBSERVATIONS - RÉPARATIONS
		CARBURANT	HUILE			

Joindre les feuilles originales des carnets de bord des véhicules ou engins.

D- TRAVAUX RÉALISÉS AU COURS DU MOIS

N°	NOM DU Puits	FONCAGE MENSUEL (m)	CUMULÉ (m)	NOMBRE DE BUSES	HAUTEUR D'EAU (m)	DÉBIT RABATTEMENT (m / h) (m)	DATE DES TRAVAUX		OBSERVATIONS NATURES-RÉPARATIONS
							Début	Fin	
a	PUITS NEUFS								
	TOTAL								

- utilisation des véhicules et du matériel avec consommations et pannes,
- détail des travaux réalisés.

Les figures 47 donnent un exemple de présentation de ces comptes rendus.

3.2 PARTICIPATION DES COLLECTIVITÉS AUX CHANTIERS DE PUIT

L'action de l'administration s'étant peu à peu substituée à l'initiative et aux moyens des collectivités, pour la réalisation des ouvrages, il est essentiel que les utilisateurs soient associés au maximum à tous les stades. Sinon on risque, en dépit du besoin vital de points d'eau qu'ont le plus souvent les villages, d'aboutir non seulement à des erreurs diverses mais encore à une certaine désaffection de la population pour les ouvrages créés.

3.2.1 Facteurs et contraintes de la participation villageoise

3.2.1.1 Urgence des besoins

La disposition des villageois à participer au chantier est essentiellement fonction de l'urgence des besoins en eau.

Si le village a de réelles difficultés pour s'alimenter, par exemple parce que l'approfondissement des puits traditionnels se heurte à l'instabilité ou à la dureté des terrains, la population n'hésitera pas à participer à la construction d'un nouveau puits.

Si la population s'alimente habituellement au marigot et que le but du puits est d'améliorer la qualité de l'eau, il faudra une action plus soutenue pour obtenir la participation des villageois.

En fait, c'est par sa demande aux autorités locales et régionales que la population manifeste le plus sûrement son intérêt pour la construction d'un puits. Lorsqu'on a recours à la participation villageoise il est particulièrement important de s'assurer que cette demande a bien été formulée par les villageois, ce qui n'est pas toujours le cas, les programmes étant généralement élaborés dans les capitales.

3.2.1.2 Disponibilité de la population

Suivant leurs traditions et leurs modes de vie, les populations intéressées sont plus ou moins disposées à participer à la construction du point d'eau.

a) *En économie pastorale*; bien que les besoins d'abreuvement du troupeau soient très importants, la participation aux travaux est rarement possible. En effet :

- les éleveurs sont occupés pratiquement toute l'année (et surtout en saison sèche) car le puisage occupe la majeure partie de leur temps,
- ils ne se prêtent pas volontiers à des travaux de terrassement,
- leurs déplacements à la recherche des pâturages les conduisent à utiliser plusieurs puits,
- les structures sociales traditionnelles (accentuées par le mode de vie et l'isolement) sont très vivaces,
- l'animation rurale en milieu pastoral est souvent très réduite en raison des difficultés inhérentes au nomadisme,
- la méfiance des éleveurs envers les sédentaires les rend réticents face à toute action émanant de ces derniers, y compris des services officiels,
- les puits traditionnels sont souvent loués, ou creusés par des étrangers.

Par contre, on peut envisager une participation financière des éleveurs, plus facilement que des villageois, comme c'est le cas en Mauritanie.

b) *En économie agricole*, les conditions sont très différentes :

- durant une partie de l'année l'agriculture n'est pas possible, faute de pluie, et la population est, de ce fait, partiellement disponible,
- beaucoup de villages disposent d'une main-d'œuvre nombreuse,
- la vie quotidienne s'organise, toute l'année, autour du même puits, dans la structure sociale du village,
- grâce à l'animation rurale, les villages prennent plus facilement conscience de leurs besoins et sont souvent prêts à entreprendre une action collective.

Il reste que, dans certains cas (par exemple habitat dispersé, ou puits desservant plusieurs villages), la participation des villageois pourra se révéler très difficile à obtenir.

En effet, si pendant 5 mois de l'année, la principale activité des sociétés rurales, l'agriculture, est impossible (absence de pluie) en pays tropical sahélien, les populations profitent de cette période pour s'adonner à d'autres tâches (réfection des habitations, artisanat, etc.). Elles ne restent donc pas complètement inactives.

Or, la construction d'un puits exige la présence permanente sur le chantier d'un certain nombre de personnes. Le personnel nécessaire peut faire défaut pour différentes raisons :

- l'émigration saisonnière (nov.-mai) des jeunes gens des pays sahéliens vers les pays côtiers, pour y trouver du travail, y gagner de l'argent ou voyager, prive le village d'une part importante de ses éléments les plus dynamiques ;

— la sous-alimentation sévit particulièrement durant la saison sèche, souvent à partir de février. Elle limite l'activité et la résistance physique des villageois ;

— le travail d'un chantier de puits diffère des travaux collectifs auxquels sont accoutumées les populations africaines : les travaux collectifs traditionnels durent souvent moins d'une semaine, ils s'effectuent en groupe et ne sont pas spécialisés ;

— la construction des puits exige un effort prolongé (3 mois environ), qui rend difficile le maintien de l'enthousiasme, d'autant plus que le travail est très particulier. Certaines coutumes limitent le temps consacré au chantier : dans certains groupes ethniques, les cérémonies d'un enterrement, par exemple, arrêtent toutes les activités du village durant une semaine. Si, lors du creusement du puits, survient un accident mortel, le puits est abandonné ; il existe des jours fastes et néfastes, etc... ;

— les différences de niveau social existant dans un village font que, pour une partie de ses habitants, travailler au fond d'un puits en qualité de manœuvre n'est pas concevable ;

— le puisage de l'eau en milieu rural est généralement réalisé par les femmes du village : les difficultés inhérentes à un puits de mauvaise qualité affectent donc peu les hommes, qui se trouvent moins concernés que leurs compagnes ;

— il arrive enfin que des programmes soient réalisés aux environs, sans exiger la participation des habitants. Les villageois font alors la comparaison et refusent leur concours.

3.2.1.3 Importance de la sensibilisation des collectivités

La participation n'est pas une fin en soi et les économies qu'elle apporte ne sont d'ailleurs pas significatives.

Ses buts essentiels sont la bonne intégration des ouvrages et leur prise en charge effective par la population, ainsi que la formation des villageois à des techniques nouvelles. Aucun de ces buts ne peut être atteint et aucune participation aux travaux organisée si la population ne se sent pas vraiment concernée.

Il est donc nécessaire d'effectuer suffisamment à l'avance une importante campagne d'information réciproque et de sensibilisation, portant sur :

- les caractéristiques et le point d'implantation de l'ouvrage,
- les raisons et les avantages escomptés,
- la transformation du mode de vie qui en résultera,
- les exemples de réalisations déjà effectuées,
- les charges incombant aux deux parties,
- les disponibilités du village,

— l'organisation de l'opération et la participation de la collectivité, etc. Ainsi les responsables des villages peuvent décider en connaissance de cause de leur participation.

Il est souhaitable que les intentions exprimées soient matérialisées par un engagement contractuel.

Des services d'animation rurale peuvent exister et être parfaitement préparés à de telles actions. Dans la négative, il est nécessaire de prévoir, dans le cadre de chaque projet, des moyens suffisants en hommes et en crédits pour procéder à cette tâche essentielle.

Dans son exécution on n'omettra pas de se mettre en rapport avec les responsables des actions de développement en cours, et avec toutes les personnalités et organismes intéressés, de façon à intégrer au maximum les réalisations dans l'effort de développement.

3.2.2 Organisation de la participation aux travaux

3.2.2.1 Prestations et tâches confiées au village

Le village met habituellement à la disposition du chantier 5 à 6 hommes pendant toute la durée des travaux (travaux préparatoires et chantier proprement dit).

De plus, il assure le logement du personnel spécialisé (puisatier, équipe de mise en eau).

Si le village dispose de certaines ressources financières, il peut participer à l'achat des matériaux (ciment, fer), soit à titre symbolique, soit de manière plus substantielle.

Les tâches réalisables par la population sont les suivantes :

— ouverture des pistes d'accès aux chantiers pour les véhicules (déboisement, nivellement sommaire) ;

— ramassage et tamisage du gravier et du sable sur les lieux indiqués par le puisatier ;

— transport des matériaux sur le chantier (sable, graviers, avec des moyens traditionnels) (ânes) ; cette formule tend à être abandonnée parce que trop lente, et le transport se fait le plus souvent au moyen de camions ;

— approvisionnement en eau du chantier ;

— fonçage et extraction des déblais ; sauf si la mauvaise tenue du terrain oblige à descendre le cuvelage par havage, cette opération est toujours réalisable (de préférence sous la direction effective d'un puisatier) par les villageois eux-mêmes ;

— préparation (gâchage) du béton ;

— il arrive que certains villageois puissent être affectés, sous la direction du puisatier responsable, à des travaux plus spécialisés (maniement du marteau-piqueur par exemple).

Nous verrons plus précisément au paragraphe 3.2.2.3 comment s'articulent la participation du village et les tâches spécialisées dans la construction du puits.

3.2.2.2 Conditions pratiques de mise en œuvre

S'agissant de main-d'œuvre non formée, une des premières conditions de réussite de la participation des villageois est que les *travaux à effectuer soient simples et si possible réalisables avec l'outillage traditionnel*. C'est le cas pour le fonçage du puits jusqu'à l'eau, si le terrain le permet.

Il faut absolument *éviter de laisser les villageois travailler sans contrôle régulier* : il est fréquent dans ce cas que les consignes — plus ou moins sommaires — données au départ soient mal appliquées : la population, non surveillée, a tendance à faire preuve d'initiatives plus ou moins heureuses, et le résultat obtenu s'avère sans rapport avec la somme des efforts dépensés.

On le constate précisément pour le fonçage du puits, qui doit être réalisé dans un diamètre déterminé, en vue du revêtement ultérieur par un cuvelage de béton. Le diamètre de la fouille, notamment, doit être parfaitement régulier ; lorsque le fonçage est fait sans contrôle, la fouille est généralement irrégulière, ce qui oblige à couler un important excédent de béton, dont la seule utilité est de rattraper les irrégularités.

D'une manière plus générale, si des difficultés techniques se font jour au cours des travaux, les villageois ne sont en mesure d'y apporter que des solutions de type traditionnel, et cela peut avoir des conséquences très fâcheuses. Ajoutons que, sans surveillance, le rythme de travail est irrégulier avec des vitesses d'avancement très inégales d'un village à l'autre, ce qui rend difficile la coordination des chantiers en vue des opérations ultérieures.

Si l'on veut que le travail fourni par la population soit de qualité acceptable, et que les villageois s'initient progressivement aux techniques nouvelles, *il est indispensable qu'ils soient en contact quasi permanent tout au long des travaux, avec une personne formée à ces techniques*.

Ce rôle de formation sera assuré par un puisatier accompagné ou non d'un apprenti. Responsable du chantier, le puisatier est en même temps le représentant du service chargé de la réalisation du programme, et par conséquent le mandataire de fait de l'administration, ce qui lui donne autorité auprès des responsables du village pour coordonner et, le cas échéant, accélérer le rythme des travaux.

C'est souvent aussi au puisatier qu'il incombera de désigner les lieux où seront collectés les graviers et le sable, et c'est bien entendu lui qui dirigera et contrôlera le fonçage et la construction du cuvelage et qui assurera le fonctionnement et l'entretien du matériel spécial (compresseur par exemple) dont l'introduction sur le chantier est parfois nécessaire.

La population, à laquelle il sera demandé de fournir un labeur pénible sur le puits en cours de fonçage est souvent sous-alimentée durant la saison sèche. Pour y remédier, il est bon que les travailleurs reçoivent une aide alimentaire, en nature ou en argent :

3.2.2.3 Tâches respectives des villageois et de la main-d'œuvre spécialisée dans la construction des puits




Nous avons vu dans le chapitre 2 que les méthodes de construction des puits dépendent essentiellement des terrains traversés. Ce sont en fait les difficultés du terrain, et elles seules, qui dictent les limites d'utilisation de la main-d'œuvre non spécialisée.

Le tableau n° 4, qui reprend les données de base du tableau n° 2 sur les procédés de construction de puits, récapitule les opérations que les villageois peuvent réaliser et celles qui nécessitent un personnel spécialisé.

TABLEAU N° 4

Possibilités et limites de la participation des villageois

Nature des terrains	Fonçage	Cuvelage	Captage
Terrain instable	Fonçage à la houe ou à la pelle	Cuvelage haché	Colonne avec trousse coupante, hachée à niveau d'eau constant à l'aide d'une benne preneuse.
Terrain tendre	Fonçage à la pioche, au pic, ou à la barre à mine	Cuvelage en béton armé posé en remon- tant, ou en descen- dant. Cuvelage métallique.	Colonne avec trousse coupante, hachée manuellement, avec pompage ou puisage.
Terrain dur	Fonçage au marteau- piqueur.	Cuvelage en béton ar- mé posé en remon- tant. Cuvelage métallique.	Colonne de buses, mise en place après le fon- çage, avec pompage.
Terrain très dur	Fonçage à l'explosif.	Pas de cuvelage, mais ancrage de surface de 3 m de profondeur au minimum.	Terrain nu.

- 1  Travail des villageois sous la direction d'un puisatier.
2  Equipe spécialisée dans la mise en eau.
3  Equipe spécialisée (pouvant être la même que pour la mise en eau).

a) *En terrain instable*, le fonçage et le cuvelage font appel à la technique difficile du havage. Des spécialistes sont donc nécessaires ; ce peut être la même équipe que pour la mise en eau.

b) *En terrain tendre*, le fonçage peut être réalisé par la population ; la présence d'un puisatier est fort utile pour rendre l'avancement plus régulier, et pour la bonne qualité du travail. Si le cuvelage est construit au fur et à mesure du fonçage (en descendant) la présence du puisatier est obligatoire.

c) *En terrain dur et très dur*, le puisatier et son aide dirigent le chantier. Ils sont responsables du fonctionnement et de l'entretien du matériel mécanique (compresseur). Des explosifs peuvent être employés sur le chantier, mais à condition de prendre de *sévères précautions*. Les opérations les plus délicates (forage des trous de mines) doivent être faites en présence du puisatier. Quant au chargement des trous de mines et à la mise à feu, ils sont du *ressort exclusif du puisatier* lui-même ou du chef de brigade.

d) *La réalisation du cuvelage en béton armé ou métallique*, en remontant ou en descendant, nécessite la présence d'un puisatier. Ce dernier dirige la confection du ferrailage, la mise en place du coffrage et du béton. Dans le cas d'un cuvelage métallique, il dirige l'assemblage des viroles.

Suivant les cas et les habitudes, la margelle du puits est construite dès le début des travaux de cuvelage, ou bien à la fin, mais toujours en présence du puisatier.

e) *Le captage* (mise en eau du puits) ne peut être réalisé que par une équipe spécialisée. Il apparaît en effet de plus en plus nécessaire, surtout dans les régions à substratum cristallin où la hauteur d'eau doit être importante (une dizaine de mètres), d'effectuer la mise en eau avec du matériel mécanique (grue-derrick). On constate d'ailleurs souvent qu'il est difficile de faire travailler les villageois dans les puits dès que celui-ci a une hauteur d'eau importante.

f) Nous n'avons pas mentionné dans le tableau n° 4 *la fabrication des buses perforées*, de la trousse coupante et des abreuvoirs. Ces éléments peuvent être coulés sur place par un puisatier avec l'aide de la population, ou par une équipe spécialisée, dans une base fixe.

3.2.3 Entretien des puits et participation villageoise

3.2.3.1 Tâches d'entretien courant

Même si la participation des villageois à la construction de leur puits les incite à en prendre un soin particulier, il n'en reste pas moins que

l'entretien et la réparation posent des problèmes techniques difficiles et ne peuvent en général être réalisés qu'avec un matériel et un personnel spécialisés.

Toutefois, un certain nombre de tâches d'entretien courant ne peuvent être effectuées que par les villageois, et il est essentiel qu'ils les remplissent car, en leur absence, il en résulte des dégradations progressives qui nécessitent ensuite le recours à un service spécialisé. Il s'agit de *l'entretien des abords du puits* : protection contre les animaux, rotation des abreuvoirs, évacuation des eaux stagnantes, réfection du pavage de l'aire assainie, remblaiement des ravines, etc.

Si la connexion entre les utilisateurs et le service d'entretien est bien établie, la main-d'œuvre non spécialisée du village peut effectuer d'autres tâches de grande utilité telles que :

- curage du puits, à condition de ne pas le poursuivre au-delà de la base du captage,

- renouvellement périodique du gravier filtrant, en veillant à l'emploi d'un matériau siliceux et bien calibré (ce qui est généralement difficile à obtenir),

- petites réparations de la margelle et du cuvelage.

Les travaux plus importants sont du ressort d'équipes spécialisées, auxquelles la main-d'œuvre villageoise peut évidemment apporter son aide. Mais le plus souvent la participation du village consistera pour l'essentiel à loger le personnel de ces équipes.

3.2.3.2 Les grosses réparations : le service d'entretien des puits

Les réparations importantes doivent être assurées par un service compétent et bien équipé. Une des tâches fondamentales de ce service est la visite périodique des puits, de manière à pouvoir effectuer les réparations avant que les détériorations ne soient trop graves. C'est à ce service qu'il reviendra de définir les travaux réalisables par la population elle-même et ceux qui nécessitent l'intervention de spécialistes.

Lorsque les puits sont visités régulièrement (l'expérience du Niger montre qu'une visite tous les 3 ans est suffisante), les réparations à effectuer sont généralement peu importantes, et, de ce fait, peu onéreuses. Toutefois on ne dispose d'aucune statistique valable pour en apprécier le coût normal (*).

Les puits profonds doivent être suivis avec un soin particulier, en raison de l'investissement important qu'ils représentent, et dont la plus grande partie se rapporte d'ailleurs au cuvelage, d'un entretien beaucoup moins coûteux que le captage.

(*) Il ne dépasserait pas 40 000 F CFA par an au Niger.

La meilleure façon d'assurer l'entretien des puits est de créer une section spéciale au sein de l'organisme responsable des programmes de construction.

Cette section d'entretien comportera, suivant le nombre de puits à entretenir, une ou plusieurs équipes, chacune d'entre elles comprenant :

- 1 puisatier,
- 1 aide-puisatier,
- 1 treuilliste,
- 2 manœuvres,
- un équipement en matériel du même type que celui de l'équipe de mise en eau (grue-derrick, coffrages...), avec un véhicule lourd (véhicule pouvant desservir 1 à 3 équipes, selon les cas).

Après chaque intervention, une fiche synthétique de réparation (fig. 48) récapitule la nature des réparations effectuées et les caractéristiques du puits à la fin de celles-ci. Elle est archivée en double exemplaire par le service Travaux et le bureau de l'Eau.

Fig. 48

TYPE DE FICHE DE RÉPARATION DE PUIITS		TRAVAUX EFFECTUÉS	
N° Bureau de l'eau	_____	Fonçage	_____
Nom du puits	_____	Curage	_____
Canton	_____	Buses neuves	_____
Sous-Préfecture	_____	Trousse coupante	_____
Préfecture	_____	Cuvelage	_____
		Dalle de fond	_____
Carte 1/200 000	_____	Margelle	_____
Longitude	_____	Trottoir	_____
Latitude	_____	Abreuvoir	_____
Dates des travaux	_____	Débit (m^3/h)	_____
Commencés	_____	Hauteur d'eau restante	_____
terminés	_____		

ETAT DU PUIITS (après les travaux)		OBSERVATIONS : (description sommaire des travaux effectués et nature du terrain aquifère)
<p>Date des mesures : _____</p> <p>Nomenclature (en mètres)</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> D. _____ d. _____ m. _____ H. _____ h. _____ C. _____ B. _____ P. _____ </div> </div> <p>Superstructure (avec - sans) _____</p> <p>Nombre d'abreuvoirs : _____</p> <p>Nombre de buses filtrantes : _____</p>		

Fiche rédigée par : _____

Date : _____

CHAPITRE 4

LES PUIITS FORÉS

Les années 1980 avaient connu un certain développement de la construction mécanisée des puits de grand diamètre (matériel BENOTO) ; puis on revint aux puits à main. Ce n'est que depuis quelques années que se manifeste un nouvel intérêt pour les techniques mécanisées, à cause de la rapidité de leur mise en œuvre (voir l'avant-propos).

Deux types de matériels de puits forés méritent d'être signalés : les matériels rotatifs du genre tarière, d'une part, et les matériels de bat-tage équipés de bennes-tréfans.

4.1 PUIITS FORÉ A LA TARIÈRE (BUCKET)

4.1.1 Caractéristiques générales

Nous nous rapportons ici au matériel genre CALWELD qui a été largement utilisé en Côte-d'Ivoire (*). Il est à noter que son emploi dans ce pays ne répondait pas au souci d'intégrer un diamètre permettant le puisage, puisque les ouvrages y sont équipés de pompes, mais aux autres intérêts de cette technique dans les terrains anciens.

L'excavation est réalisée par un cylindre à lames hélicoïdales (bucket) fixé à l'extrémité d'un train de tige télescopique (kelly) entraîné par une table de rotation.

Le diamètre de forage maximum est de 1,50 m. Des tubages provisoires peuvent être utilisés pour maintenir le terrain. Le puits est garni de buses en béton d'un diamètre maximum de 1 m intérieur.

Un puits simple, sans réduction de diamètre, peut être réalisé et équipé en une journée.

Cette technique présente trois contraintes principales :

— la profondeur, très limitée, du fonçage (29 m pour le matériel présenté ci-après), qui restreint pratiquement l'usage de cette technique aux nappes dont le niveau est à moins de 20 m sous le sol ;

(*) Le présent chapitre est tiré de l'expérience ivoirienne (doc. 24).

— l'adaptation du procédé aux seuls terrains à la fois tendres et cohérents ;

— les risques d'éboulement constants et les difficultés de mise en place de la colonne de buses.

De plus le matériel, lourd et lent, réclame une bonne infrastructure routière.

Le même matériel permettant d'effectuer à la fois les sondages de reconnaissance et les puits d'exploitation, ce procédé est particulièrement bien adapté aux formations d'altération des terrains anciens, où la productivité des nappes est aléatoire.

Dans le cadre d'une réalisation systématique en Côte-d'Ivoire en 1979 (doc. 24), comportant 208 puits équipés, de 20 m de profondeur moyenne et environ 600 puits de reconnaissance, le coût du mètre linéaire tout compris, actualisé à 1980, s'établit à 140 000 F CFA.

4.1.2 Description d'un atelier CALWELD (250 B)

Ce type de matériel, employé en Côte-d'Ivoire, peut être considéré comme un bon exemple.

La machine (fig. 49) est montée sur un véhicule porteur tous terrains d'une charge utile de 25 t. Trois autres véhicules lourds sont nécessaires pour les déplacements et les transports.

La machine comprend :

- moteur de 240 CV,
- derrick de 12,80 m,
- kelly télescopique de 3 éléments de 10 m,
- treuil à double tambour (puissance 4 t) pour kelly et câble de service,
- table de rotation :
 - diamètre intérieur : 1,32 m,
 - couple maximum 5 000 m × kg,
 - vitesse de rotation moyenne : 20 tr/min,
- 2 vérins latéraux de stabilisation à l'arrière,
- mandrin hydraulique avec vérins verticaux pour passage de terrains indurés,
- bras latéral de décharge pour l'évacuation des déblais.

Des " buckets " de deux diamètres sont couramment utilisés (fig. 50) : 1,0 m (42") et 1,20 m (48"). Le bucket de 1,20 m peut être équipé d'un aléateur permettant de forer en 1,50 m.

Les tubages

Le terrain peut être maintenu par 3 tubages de protection pouvant être

Fig: 49

MACHINE CALWELD 250 B

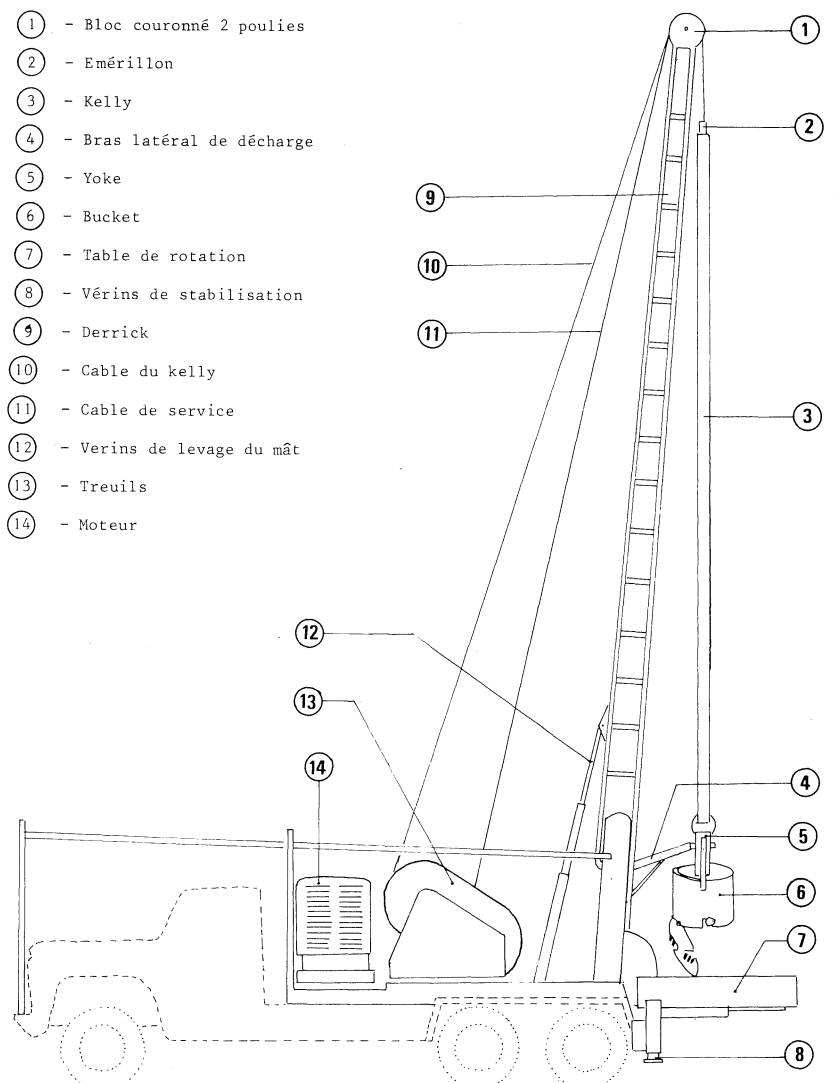
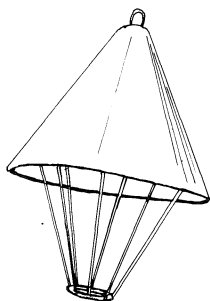
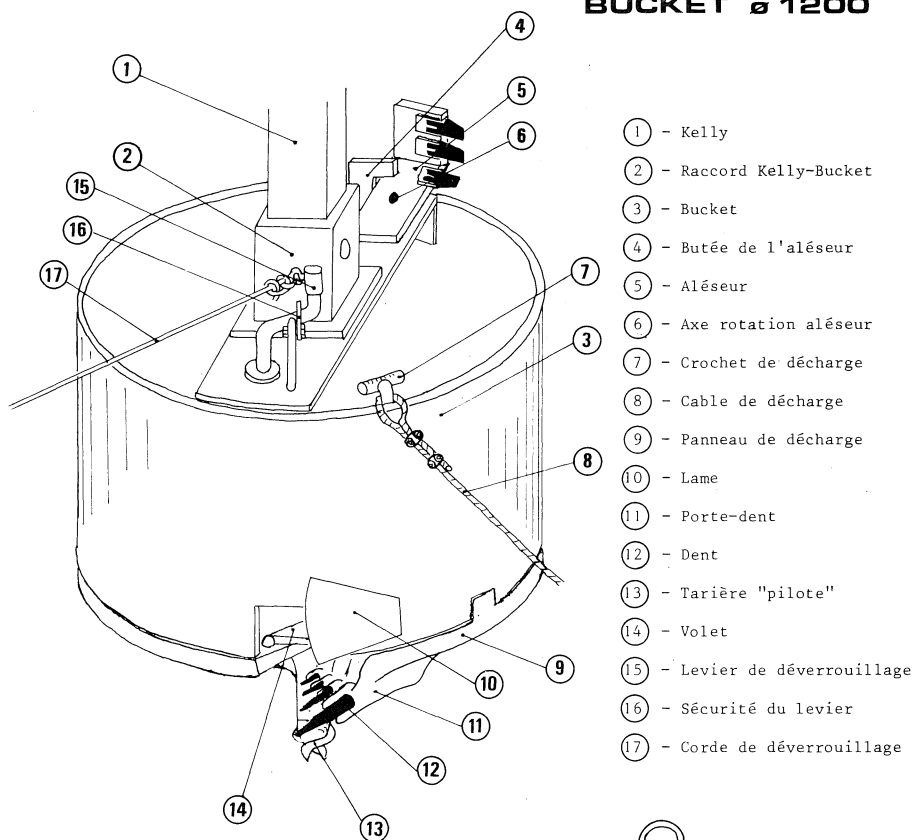
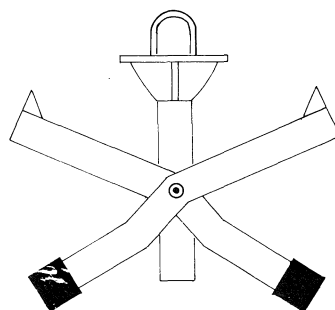


Fig: 50

BUCKET Ø 1200



CHAPEAU CHINOIS



CISEAUX A BUSES

télescopés au fur et à mesure de l'avancement ; ils sont en tôle roulée et soudée de 4 mm, garnis de guides extérieurs de centrage.

Ils ont des diamètres de 1,30, 1,20 et 0,95 m et une longueur de 6 à 7 m, soit au total 16 m posés, compte tenu du recouvrement.

Les accessoires comprennent :

- des guides de centrage pour les buses descendues à l'intérieur du tubage,
- des ciseaux à buse pour la descente des buses dans le puits,
- deux chapeaux chinois pour le gravillonnage de l'espace annulaire.

4.1.3 Equipement du puits

Les buses sont en béton armé vibré avec des encoches. Elles sont pleines pour le cuvelage, percées de trous pour la crépine, et ont 1 m de hauteur avec les caractéristiques suivantes :

	Epaisseur (m)	Nbre de trous (crépines)
Buse de 1 m.....	0,10	180
Buse de 0,80 m.....	0,08	140
Buse de 0,60 m.....	0,075	95

Elles sont posées sur une dalle de fond solidaire de la première buse, et reposant sur un matelas de gravier. Les buses suivantes sont successivement empilées. Des couronnes intermédiaires permettent de raccorder les buses de diamètre différent.

4.1.4 Mode d'exécution

4.1.4.1 Sondages de reconnaissance

Ils sont réalisés dans les mêmes diamètres que ceux utilisés pour les puits. Les tubages de travail ne sont pas forcément nécessaires.

La vitesse de réalisation des sondages, malgré les gros diamètres de foration, permet de faire environ 60 m de reconnaissance par jour, soit 3 sondages en moyenne, déplacements compris.

4.1.4.2 Puits d'exploitation

Le puits est exécuté à environ 5 m du sondage jugé positif. Les terres retirées du puits permettent de combler le trou du sondage précédent.

Le puits doit nécessairement être réalisé dans la journée (au moins busé et gravillonné jusqu'au niveau statique).

L'exemple ci-après est tiré du compte rendu d'exécution d'un puits busé en deux diamètres (800 et 600 mm) et exécuté en Côte-d'Ivoire (fig. 51).

Phase 1

- Foration \varnothing 1 500 (bucket \varnothing 1 200 + aléueur), de 0 m à 13,40 m.
Pose tubage \varnothing 1 300, de 13,40 m à 7,00 m (8 h 05 à 9 h 00).
- Foration \varnothing 1 200 (bucket \varnothing 1 200), de 13,40 m à 17,80 m.
Pose tubage \varnothing 1 100, de 17,80 à 10,80 m (9 h 00 à 9 h 35).
- Foration \varnothing 1 000 (après changement de bucket), de 17,80 m à 21,90 m (foration arrêtée à 21,90 m sur le socle granitique).
Pose tubage \varnothing 950, de 21,90 m à 15,90 m (9 h 35 à 10 h 15).

Phase 2

- Descente de la buse crépinée « dalle de fond » \varnothing 600 avec la première buse \varnothing 600 crépinée sur un lit de gravier (0,30 m).

Phase 3

- Descente de 3 buses \varnothing 600 crépinées.
- Gravillonnage de l'espace annulaire à l'aide du petit chapeau chinois (pour insertion du gravier à la périphérie du trou) et retrait du tubage \varnothing 950 au fur et à mesure de l'opération (11 h 25).

Phase 4

- Descente de la dernière buse \varnothing 600 crépinée et de 3 buses \varnothing 600 pleines.
- Deuxième phase de gravillonnage de la colonne \varnothing 600, avec retrait du tubage \varnothing 1 100.
- Pose de la couronne intermédiaire à 12 h 45.

Phase 5

- Descente de 4 buses \varnothing 800 pleines.
- Gravillonnage de l'espace annulaire, et retrait du tubage \varnothing 1 300, à 14 h 30.

Phase 6

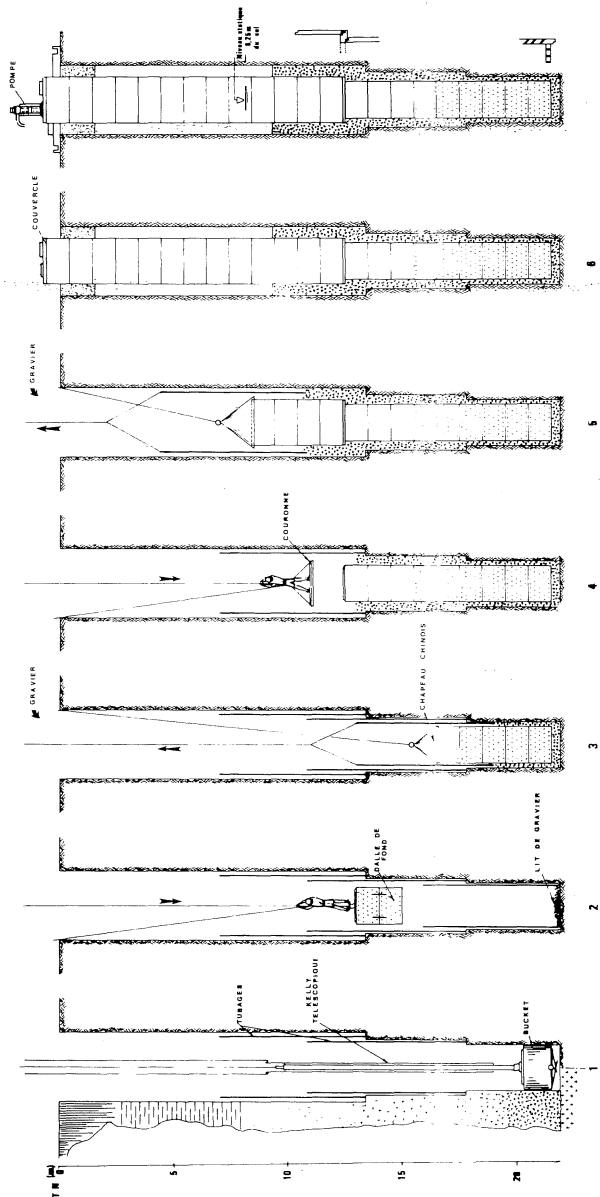
- Descente des dernières buses \varnothing 800 pleines.
- Pose du couvercle.
- Damage de l'espace annulaire avec du tout-venant (déblais du puits).
- Cimentation de l'espace annulaire sur 1,50 m.
- Fin des travaux à 16 h 20.

Travaux de finition

- Développement de l'ouvrage le lendemain (4 h à la pompe à air comprimé).

PHASES DE CONSTRUCTION D'UN PUIT FORÉ A LA TARIÈRE EN 2 DIAMÈTRES

Fig: 51



- Essai de pompage (2 h), et observation de la remontée pendant 12 h.
 - Construction de la superstructure
 - Pose de la pompe
- } ultérieurement.

Nota

Le temps total d'exécution d'un puits CALWED tel qu'il vient d'être décrit est de 6 jours :

- 1^{er} jour : Exécution de 1, 2 ou 3 puits de reconnaissance.
- 2^e jour : Approvisionnement en buses et gravier, et réalisation du puits d'exploitation.
- 3^e jour : Développement, essai de débit.
- 4^e jour : Construction de la superstructure.
- 5^e jour : Consolidations (séchage) de la superstructure.
- 6^e jour : Installation de la pompe à main.

On remarquera que la machine est libérée du chantier dès la fin de la 2^e journée. Les opérations ultérieures sont réalisées par des équipes différentes.

4.1.4.3 Observations diverses

a) La réussite de cette technique est basée avant tout sur la rapidité d'exécution. La décompression des terrains après sondage doit s'accompagner d'une désaturation, d'où une diminution importante de la perméabilité aux abords des parois et une consolidation des terrains. En outre, les parois sont glacées par le passage de l'outil. Le sondage se fait ainsi généralement à sec : les venues d'eau en cours de sondage ne se manifestent immédiatement que dans les fissures qui affectent les horizons de roche altérée à structure conservée, ou dans les niveaux les plus perméables d'arènes grenues.

La stabilité des parois dans ces formations argilo-sableuses n'est que temporaire. En particulier, la remontée du niveau d'eau entraîne la destruction progressive des parois. Pour pallier ces éboulements, pendant notamment le temps que dure la mise en place des buses, il est en général nécessaire de poser le tubage métallique de protection.

Le gravillonnage de l'espace annulaire est une nécessité absolue, non pas pour constituer un massif filtrant mais pour soutenir le terrain. Sans ce soutènement, la structure du terrain (qui a toujours une certaine cohésion) est détruite, des éboulements se produisent, les altérites sablo-argileuses se liquéfient et les ouvrages s'ensablent. L'utilisation de gravier de 15 mm concassé, granitique, est parfaitement adaptée à cet objectif.

b) La grande rapidité d'exécution des ouvrages explique que ce procédé ait trouvé son application dans les terrains cristallins de Côte-

d'Ivoire, pays qui a mis en route d'importants programmes de puits, et dont l'infrastructure est développée.

Un tel atelier, qui représente une immobilisation importante, doit fonctionner à plein temps, ce qui correspond bien aux conditions des gros marchés d'entreprise.

Sa rentabilité devient rapidement problématique avec une utilisation discontinue, par exemple en régie administrative dans le cadre de campagnes de durée limitée.

4.2 PUIITS FORÉ A LA BENNE-TRÉPAN

4.2.1 Données générales

Par rapport à la technique précédente, le battage à la benne présente deux avantages importants :

- la profondeur utile dépasse 100 m,
- on peut forer des terrains beaucoup plus durs qu'avec la tarière ; toutefois le rendement n'est satisfaisant qu'avec des formations de dureté faible ou moyenne.

Il est à noter que, si le matériel qui va être décrit ci-après est couramment employé en France, dans la craie du Bassin Parisien (roche tendre de bonne tenue), il commence seulement à être utilisé en Afrique (actuellement en Guinée-Bissau dans les terrains anciens, et prochainement au Niger, dans les grès tendres du Continental Terminal). Les données d'utilisation dont on dispose sont donc aujourd'hui encore fragmentaires.

Le principe de forage est le « havage » à la benne-preneuse ; dans les terrains peu consolidés, et notamment dans la nappe, on utilise des bennes à coquilles hémisphériques classiques ; en terrain dur, par contre, et c'est là l'originalité du matériel SECMI et GALINET-TEKNIFOR (fig. 52) présentés ici, on emploie des bennes renforcées par une couronne externe de dents, dont le poids total peut atteindre 5 t, ce qui permet de briser les terrains durs.

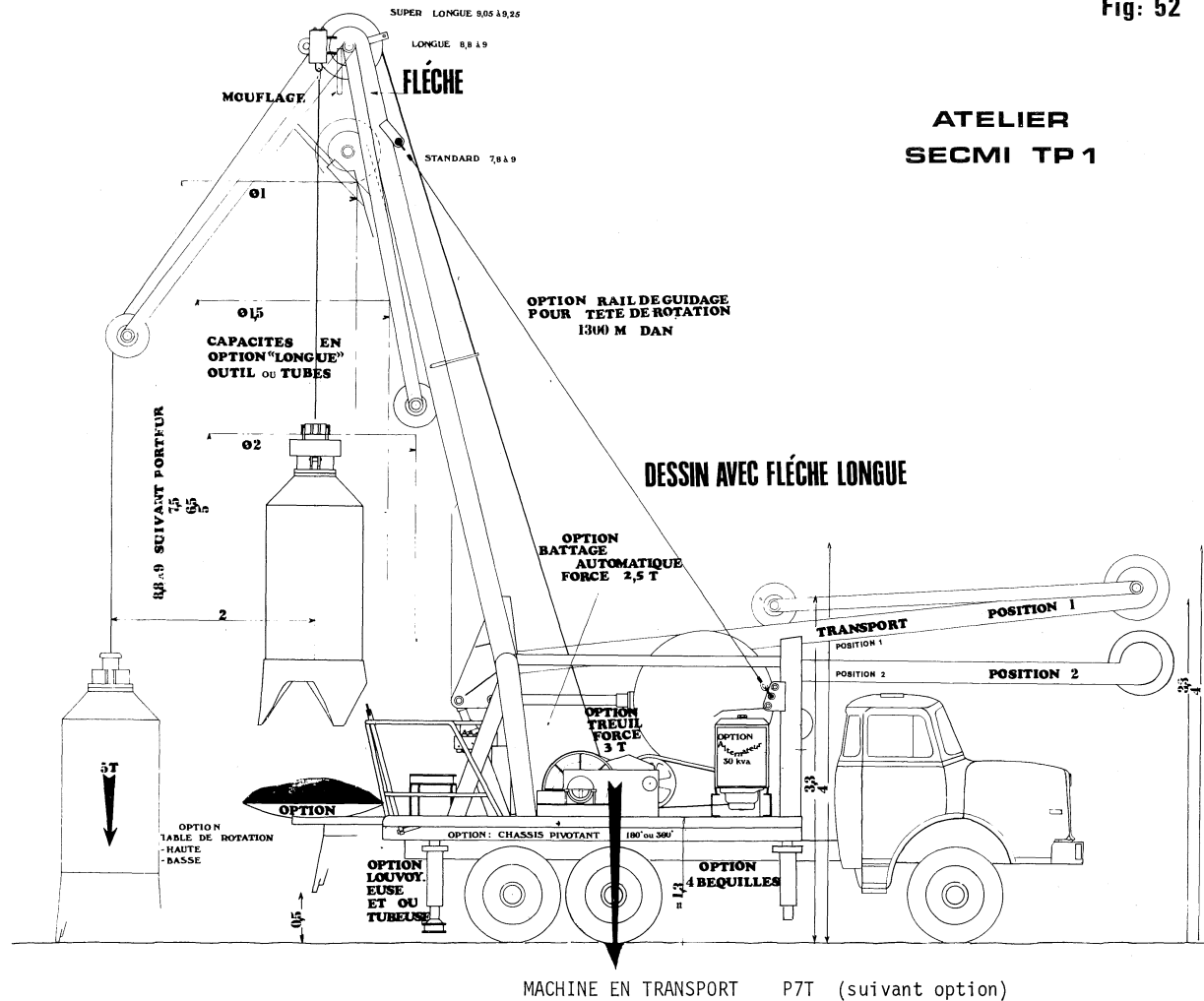
Le diamètre des bennes peut aller jusqu'à 2 m.

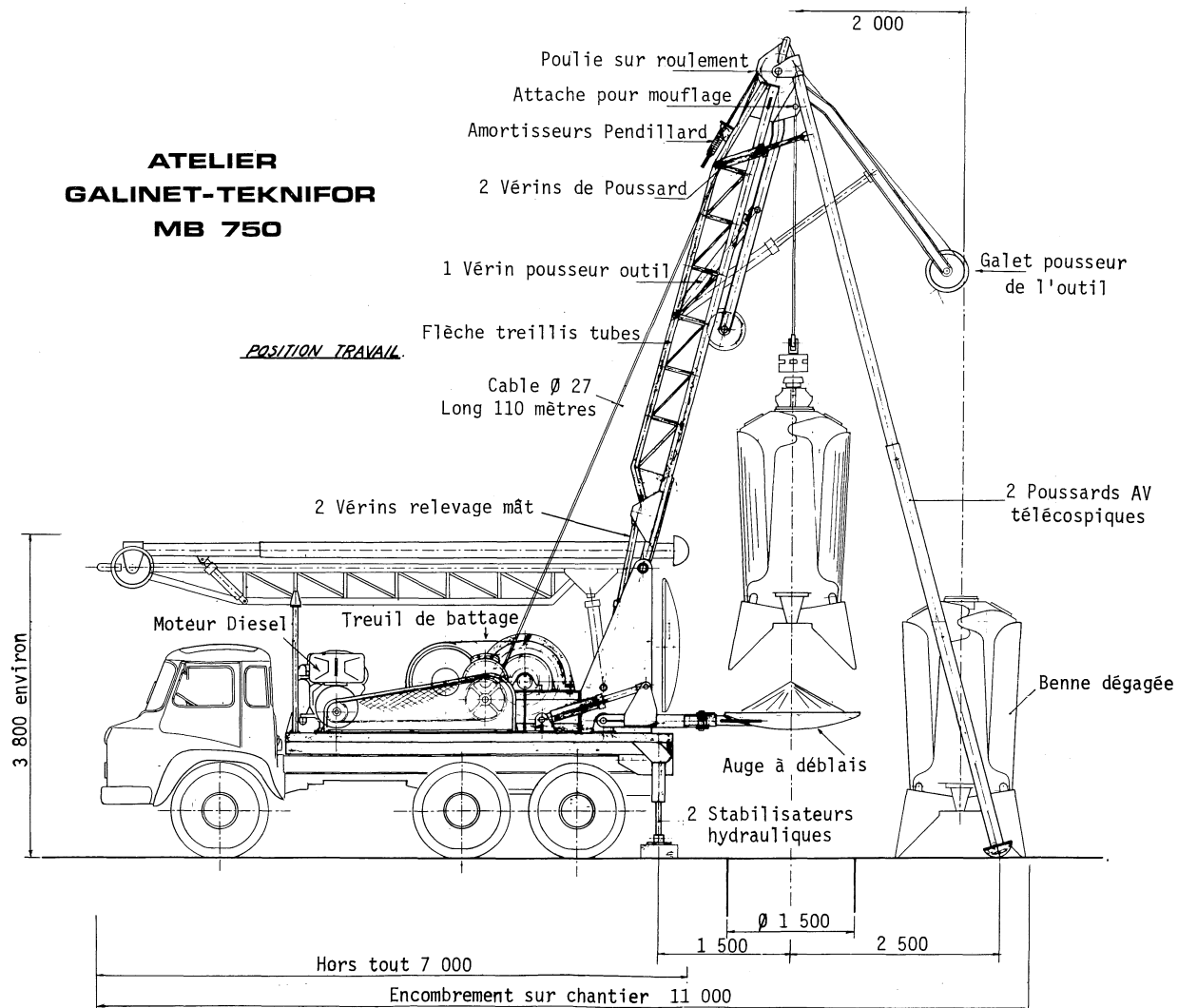
Pour la construction des puits, on peut envisager deux procédés :

- en terrain consolidé, nécessitant ou non l'emploi de tubages de travail, le forage est mené jusqu'au fond ; puis on met en place une colonne de buses emboîtées, suivant la méthode décrite ci-dessus, pour les puits à la tarière ;

- en terrain peu consolidé par contre, on arrête dans une première phase le puits au niveau statique, puis on met en place un cuvelage ancré par cimentation dans le terrain.

Fig: 52





On reprend ensuite le fonçage avec une benne de plus petit diamètre, en havant une colonne de captage. Cette technique rejoint donc celle exposée pour le puits dit « à main » ;

— en terrain dur ou très dur, un complément de matériel de battage permet de poursuivre le puits à la benne par un forage de petit diamètre (6").

D'après les prévisions de Guinée Bissau et du Niger, il semble que le prix de revient, tout compris, s'établisse entre 100 et 150 000 F le mètre linéaire.

4.2.2 Description d'un atelier SECMI TP 1

Montée sur un véhicule porteur tous terrains de 20 t, la machine de forage au battage à câble comporte :

- une flèche de 9 m,
- un treuil de battage de 10 t, avec 80 m de câble,
- un treuil de manœuvre de 3 t, avec 80 m de câble,
- un moteur diesel de 100 CV,
- 2 vérins de stabilisation.

Les outils de forage

La benne-trépan est conçue de manière à protéger les coquilles de ramassage lors du fonçage. Ces coquilles s'appuient contre le trépan qui encaisse le choc lors du fonçage. Le modèle actuel est monocâble mais, prochainement, une benne à 2 câbles permettra d'effectuer plusieurs manœuvres successives de fonçage afin de remonter le maximum de déblais.

Les outils sont les suivants :

- benne-trépan \varnothing 1 500 mm (5 t),
- élargisseur \varnothing 1 700 à 2 000, pour benne à trépan,
- benne à coquilles \varnothing 1 500 et 1 000 mm,
- benne-trépan \varnothing 1 150 (3 t),
- trépan en croix \varnothing 1 150,
- soupape \varnothing 700.
- accessoires divers.

Les tubages de travail sont en éléments de 6 m.

Un atelier de construction de buses doit être aménagé, ainsi qu'un atelier de développement et d'essai.

2 camions gros porteurs sont nécessaires au transport du matériel, des buses et du gravier.

Le coût de l'atelier est d'environ 2 000 000 FF, l'ensemble de l'équipement nécessaire étant de l'ordre de 3 000 000 F.

4.2.3 Equipement d'un puits à captage havé

Le puits, foré en 1 500 mm jusqu'à 1 m du niveau de l'eau, peut être revêtu de buses en béton armé à encoches boulonnées, de diamètre intérieur 1 200, avec un ancrage de base, ou de coquilles plastiques de PRV (\varnothing 1 200 ou 1 400) de 6 m de long.

L'espace annulaire est remblayé avec du tout-venant.

Le captage est constitué d'une colonne de buses en béton havée sur une trousse coupante ; l'annulaire est garni de gravier-filtre.

On aménage une margelle et une aire assainie.

4.2.4 Mode d'exécution (fig. 53)

4.2.4.1 Terrain tendre consolidé

— Havage d'un tubage de travail \varnothing 1 700 mm sur quelques mètres.

— Fonçage à la benne-trépan \varnothing 1 500 jusqu'à environ 1 m du niveau de l'eau.

— Mise en place des buses de béton armé \varnothing 1 200-1 400 par groupe de 5 sur la totalité du cuvelage : cimentation du pied de la colonne.

— Fonçage dans l'aquifère avec la benne-trépan \varnothing 1 150 jusqu'à la profondeur désirée. Mise en place de la colonne de captage (\varnothing 800-1 000) sur trousse coupante, par havage avec soupape \varnothing 700.

En terrain de bonne tenue, mise en place de buses encastrées, garnies de gravier-filtre en partant de la base.

4.2.4.2 Terrain comportant des passées instables

— Puits de moins de 20 m : havage d'un cuvelage (monolithique), avec trousse coupante, de \varnothing 1 200-1 400, avec la benne-trépan \varnothing 1 000. Colonne de captage \varnothing 800-1 000 mise en place par havage à la soupape \varnothing 700 ;

— Puits de plus de 20 m : mise en place, havage, d'un tubage provisoire dans les zones instables. Equipement du puits comme dans le cas des terrains consolidés, avec retrait progressif du tubage provisoire. La colonne captante est havée à la soupape \varnothing 700.

4.2.4.3 Temps d'exécution

Il semble que l'on puisse admettre, pour un puits de 50 m dans des terrains tendres consolidés (type Continental Terminal) :

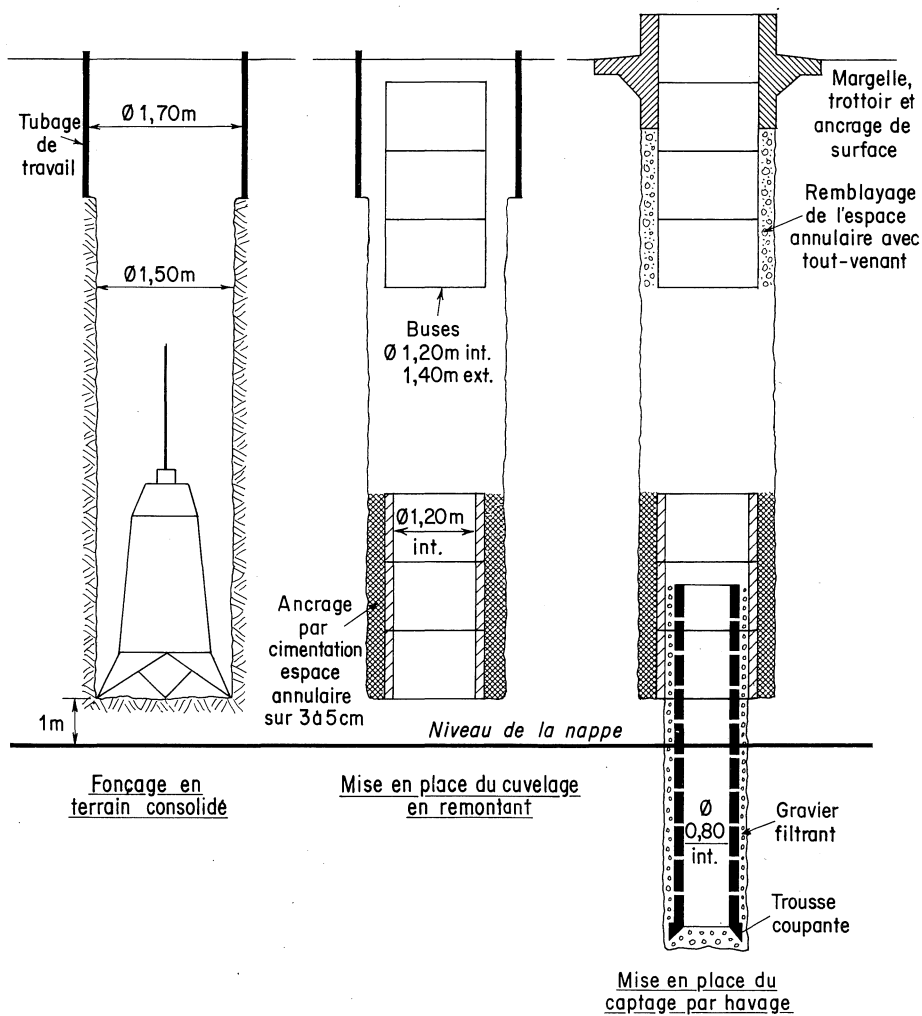
— 5 jours pour le havage jusqu'à l'eau,

— 5 jours pour la mise en place du cuvelage avec des buses de béton armé (1 jour avec des coquilles de PRV) et l'ancrage de surface,

— 5 jours pour la mise en eau et le développement, soit 15 jours, c'est-à-dire environ 10 fois moins de temps que pour un puits à main équivalent.

Fig: 53

FORAGE D'UN Puits A LA BENNE-TREPAN EN TERRAIN TENDRE



D'autres estimations prévoient 6 jours en moyenne, avec une reconnaissance, et déplacement compris, pour un puits de 20 m équipé dans des terrains anciens.

4.2.4.4 Observations

Le procédé de fonçage à la benne-trépan a l'avantage de permettre de traverser des terrains variés, tendres ou durs, sans limite de profondeur. Même si cela réclame de financer des opérations à caractère expérimental, il nous paraît important de tester et de mettre au point cette technique pour en évaluer l'intérêt réel.

Un des gros problèmes posés par cette méthode, comme d'ailleurs pour la précédente, réside dans les sujétions relatives à la fabrication, à l'approvisionnement et à la mise en place des buses en béton. Ces procédés ne peuvent atteindre une efficacité réelle qu'à la condition de mettre en place un atelier industriel de buses et de maîtriser entièrement approvisionnements, fabrication et transports.

Ceci montre l'intérêt de mettre au point des revêtements en matière plastique comme le PRV. On devrait pouvoir ainsi alléger la réalisation et augmenter le diamètre utile.

CHAPITRE 5

DONNÉES CONCERNANT LES PRIX DE REVIENT

Il est extrêmement difficile de parler du coût des puits de grand diamètre, et nous avons dû réduire ce chapitre au minimum. Il est facile d'en comprendre la raison.

Les forages villageois de petit diamètre au marteau fond-de-trou dans les terrains anciens sont actuellement réalisés en Afrique tropicale en grandes séries, et donnent lieu à une vive concurrence entre les entreprises, obligeant celles-ci à rationaliser au maximum leur matériel et leurs méthodes : on atteint ainsi des prix économiques dont la signification est précise.

Dans le domaine des puits de grand diamètre, rien de semblable ; il n'y a plus véritablement de marché, plus d'appel d'offres, plus d'entreprise spécialisée. La quasi-totalité des puits réalisés en Afrique de l'Ouest le sont en régie par des administrations, des organismes publics, ou des projets autonomes dont les comptes sont difficiles à analyser, dont l'activité est souvent irrégulière et dont les conditions de fonctionnement sont peu comparables.

Les coûts indiqués ci-après ne constituent donc que des ordres de grandeur, et doivent être considérés avec réserve.

Le chapitre présent comporte deux parties : la première fournit une série de coûts tirés de diverses opérations dans divers pays ; la seconde est la présentation du budget prévisionnel d'une opération : nous avons pensé en effet que cet exemple pourrait être utile à la préparation d'autres projets du même type.

5.1 ÉLÉMENTS DES PRIX DE REVIENT

Ce sont essentiellement le personnel, les matériaux, les dépenses de fonctionnement et l'amortissement du matériel.

Il faut ajouter à ces rubriques les dépenses des services généraux (base, ateliers centraux, bureaux, etc.), et les frais généraux (frais de siège notamment).

Les dépenses d'études ne sont généralement pas incluses dans les prix de revient des ouvrages, ni le coût des ouvrages stériles.

L'assistance technique, qui intervient à des niveaux divers, n'est pas toujours décomptée non plus.

5.1.1 Personnel

Il faut prendre en compte la totalité du personnel qui concourt, directement ou indirectement, au fonctionnement du chantier. Le cas échéant, une distinction doit être établie entre le personnel spécialisé et la participation des villageois.

Il faut d'autre part tenir compte, en plus du personnel qui travaille à plein temps sur le chantier, de la quote-part de travail du personnel qui dessert plusieurs chantiers (équipe de base, chauffeurs), et du personnel d'encadrement (chef de secteur).

Pour chaque catégorie de personnel, les dépenses à prendre à compte comprendront :

- les salaires (majorés, le cas échéant, des frais de déplacement et des primes de productivité),
- les charges sociales,
- les congés annuels.

Des barèmes peuvent permettre d'effectuer rapidement les calculs nécessaires.

5.1.2 Matériaux

Les principaux matériaux employés sont le ciment, le fer, le fil de fer, etc. Lorsqu'il y a participation villageoise, le sable et le gravier sont en général extraits par une main-d'œuvre non rétribuée.

La part des matériaux dans le prix de revient est considérable. Or, leur coût varie très largement en fonction de l'éloignement des ports et des capitales.

5.1.3 Frais de fonctionnement

Cette rubrique comprend les dépenses relatives au fonctionnement du matériel mécanisé (véhicules, compresseurs, grues-derricks, etc.) et au remplacement du petit matériel. Il s'agit des carburants, des lubrifiants, des pièces détachées et du petit outillage et matériel.

Elle est souvent divisée en un poste « carburants » et un poste « entretien ».

5.1.4 Amortissement du matériel

L'ensemble du matériel doit être périodiquement renouvelé, et le prix de revient doit tenir compte des amortissements correspondants.

On impute par conséquent à chaque chantier une quote-part du prix de ce matériel, en sorte que les sommes nécessaires soient disponibles lorsque le moment est venu de le renouveler.

Les durées d'amortissement habituellement admises sont les suivantes :

- petit matériel : de 1 à 3 ans,
- matériel mécanisé (véhicules, moteurs de derricks) : entre 3 et 5 ans,
- matériel spécialisé non mécanisé (moules, bennes preneuses, cuffats, grues-derricks) : entre 5 et 10 ans,
- bâtiments : entre 30 et 50 ans.

5.2 PRIX DE REVIENT ET RÉPARTITION DES COÛTS ENREGISTRÉS DANS DIVERS PAYS (FCFA 1980) (PUITS EN BÉTON DE DIAMÈTRE 1,80 m)

5.2.1 Niger

Puits à captage autonome de 30 m de profondeur moyenne en formation tendre.

La répartition des dépenses établie par l'OFEDS était la suivante en 1969.

	Régie ordinaire %	Régie avec participation des populations %
1. Personnel		
• ouvriers	18,9	7,2
• chef de brigade	5,6	6,3
	<u>24,5</u>	<u>13,5</u>
2. Matériaux	33,0	37,8
3. Fonctionnement	7,3	8,4
4. Amortissement du matériel	26,0	29,8
5. Frais généraux	9,2	10,5
	<u>100</u>	<u>100</u>

5.2.2 Mauritanie (doc. 22)

Puits à captage autonome, réalisé en régie par la DHE avec la participation financière prévue des collectivités.

- L'évaluation ci-après porte sur un ouvrage de 60 m en terrain tendre à proximité de Nouakchott et un ouvrage en terrain dur dans le Hodh oriental.

	Puits de 60 m terrain dur (explosif) (Hodh oriental)		Puits de 37 m formations meubles (Trarza)	
Distance de la base	Néma : 200 km		Nouakchott : 80 km	
Durée du chantier	4 mois		2,5 mois	
	F CFA	%	F CFA	%
Personnel spécialisé (DHE)	2 185 000	20	1 260 000	23
Personnel non spécialisé (collectivité) ..	1 195 000	11	530 000	10
Matériaux	1 675 000	15	810 000	15
Carburant, lubrifiant	1 230 000	11	750 000	14
Amortissement du matériel, et outillage ..	3 450 000	32	1 350 000	25
Charge du siège et assistance technique ..	1 150 000	11	718 750	12
Prix total	10 885 000	100	5 418 750	100
Prix du mètre linéaire	181 417		146 452	

5.2.3 Tchad

Puits à captage autonome de 55 m, réalisé en régie par le SERARPHY dans le Bathe (centre du Tchad) à 200 km de la base — Terrain tendre.

Prix du mètre linéaire :

	F CFA	%
— Personnel	26 137	17,5
— Matériaux	37 755	25,2
— Entretien	5 310	3,6
— Carburant-lubrifiant	19 233	12,8
— Frais généraux	5 850	3,9
— Amortissement du matériel	55 500	37,0
Prix total ml	149 785	100

5.2.4 Guinée (doc. 26)

Puits à cuvelage captant, réalisé en 1979-80 dans les schistes grès et altérites de Fouta-Djalon pour le SNAPE, en régie.

Profondeur moyenne : 15 m.

- Prix moyen global d'un puits 3 410 000 F CFA
- Prix du mètre linéaire 220 000 F CFA

Répartition des dépenses :

● Personnel	40 %
● Matériaux	14 %
● Carburant-lubrifiant	13 %
● Entretien	11 %
● Divers fonctionnement	4 %
● Amortissement	18 %
	<hr/> 100 %

Ces prix, très élevés, appellent deux remarques :

a) les dépenses locales (notamment le personnel national) sont effectuées en sylis, et exprimées en francs au cours officiel, ce qui majore la dépense réelle ;

b) il s'agit d'un service en cours d'organisation ; la formation et les études préliminaires ont une grande importance et requièrent une assistance technique notable, qui est comptabilisée dans le coût des ouvrages.

5.2.5 Haute-Volta (doc. 27)

Évaluation du coût d'un puits de 23 m de profondeur moyenne dans le cadre d'un projet d'équipement villageois de 143 ouvrages dans le socle ancien, réalisé par l'HER dans deux ORD : Yatenga et Comoé (démarrage fin 1981) :

— Coût de l'ouvrage (février 1980)	2 800 000 F CFA
— Soit coût du mètre linéaire	120 000 F CFA

Répartition des dépenses :

● Personnel	22 %
● Matériaux	17,5 %
● Carburants	8,5 %
● Entretien	8,5 %
● Amortissement du matériel	20,5 %
● Services généraux	11,5 %
● Assistance technique	11,5 %

La dispersion des pourcentages de répartition de dépenses se passe de commentaire.

Quant au coût du mètre linéaire, il s'étage entre 120 et 200 000 F CFA suivant les particularités locales, sans qu'on puisse pousser l'analyse.

En regard, le seul prix « récent » d'entreprise dont on dispose se rapporte à la campagne des 124 puits réalisée au Togo en 1977 (terrain cristallin, profondeur moyenne : 17 m), le mètre linéaire a coûté 190 000 F CFA. Même ce prix n'est pas lui-même significatif, eu égard aux conditions particulières de l'opération en question.

Il convient également de rapprocher de ces coûts les évaluations concernant les puits forés (cf. plus haut) : entre 120 et 175 000 F le m. l. L'ordre de grandeur est le même.

5.3 BUDGET D'UNE BRIGADE DE PUITES

(Prix base janvier 1980, exprimés en milliers de F CFA.)

Ce calcul de prix de revient est donné à titre d'exemple.

5.3.1 Hypothèses

- Projet de 5 ans : 4 campagnes de travaux plus préparation.
- 9 équipes dont une équipe lourde, spécialisée dans les travaux de captage.
- Terrain : altérites et socle cristallin.
- Profondeur moyenne des ouvrages : 27 m.
- Prévision de réalisation : 160 puits en 4 campagnes (4 320 m), soit 40 puits (1 080 m) par an.

5.3.2 Dotation en matériel

- 8 équipes légères
 - chacune dotée de : 1 grue légère 600 kg
2 moules cuvelage \varnothing 1,80 (1 m)
1 moule cuvelage \varnothing 1,80 (0,5 m)
1 cuffat basculant 75 l.
 - pour deux équipes : 1 compresseur 4 500 l/mn
2 pompes pneumatiques
2 marteaux piqueurs
1 moule à margelle
1 cuffat à soupape 200 l
1 jeu de moules \varnothing 1,40
1 jeu de moules trousse coupante.
- équipe lourde
 - dotée de 1 grue derrick de 1 t sur remorque avec treuil chute libre
1 benne preneuse 50 l
1 compresseur 4 500 l/mn
2 pompes air comprimé
2 marteaux piqueurs
1 marteau perforateur
1 jeu de moules captage \varnothing 1,40
1 jeu de moules trousse coupante
1 cuffat basculant 150 l
1 explodeur.

5.3.3 Personnel et coût annuel

	Nbre	Mois/an (1)	Coût mensuel (2)	Coût annuel
Chef de brigade	1	12	100	1 200
Chef d'équipe	9	10	45	4 050
Aides puisatiers	9	—	40	3 600
Grutiers	9	—	40	3 600
Manœuvres 4 ^e cat.	18	—	30	5 400
Chauffeur PL	2	12	40	960
Chauffeur VL	1	—	35	420
Manœuvre camion	2	—	30	720
Mécanicien	1	—	35	420
Divers	—	—	—	1 330
Total				21 700

(1) Y compris congés.

(2) Y compris charges et primes.

5.3.4 Coût du matériel

	Quantité	Prix 1 000 F CFA Prix unitaire	Total	Durée amortissement
1. Véhicules				
• camion 7 t	2	7 000	14 000	3
• véhicule liaison	1	1 700	1 700	2
			15 700	
2. Matériel				
• <i>Gros matériel</i>				
• compresseur 4 500 l/mn	5	3 000	18 000	5
• grue 600 kg	8	1 700	13 600	—
• grue 1 t sur remorque	1	3 500	3 500	—
• benne preneuse	1	1 800	1 800	—
			36 900	
• <i>Petit matériel</i>				
• pompes pneumatiques	10	200	2 000	3
• marteaux piqueurs	10	200	2 000	—
• marteaux perforateurs	1	400	400	—
• cuffat 75 l	8	30	240	—
• cuffat 150 l	1	40	40	—
• cuffat à soupape 200 l	3	140	420	—
			5 100	
3. Moules				
• cuvelage Ø 1,80 m-1 m	16	250	4 000	5
• cuvelage Ø 1,80 m-0,5 m	8	200	1 600	—
• captage Ø 1,40 m le jeu	5	500	2 500	—
• trousse coupante le jeu	5	200	1 000	—
• margelle	4	200	800	—
			9 900	
4. Petit équipement				
• fût, outils outillage et divers	10	200	2 000	5
Total			69 600	

5.3.5 Investissements, renouvellement et entretien

a) Hypothèse

Campagne 0 : achat du matériel et stock de pièces de rechange (S).

R = renouvellement du matériel au bout de la période d'amortissement. Valeur du stock de pièce (S) et coût de l'entretien annuel (E) exprimés en pourcentage (approximatif) de la valeur du matériel.

Campagnes	0 S	1 E	2 E	3 E	4 E
Camions 7 t	0,10	0,05	0,15	0,25	R + 0,10
Véhicules liaison	0,10	0,15	0,30	R + 0,10	0,30
Gros matériel	0,10		0,05	0,10	0,10
Petit matériel et équipement	0,10	0,05	0,15	0,25	0,35
Moules				0,10	0,20

b) Investissements et renouvellement

Campagnes	0	1	2	3	4
Camions 7 t	14 000				14 000
Véhicules liaison	1 700			1 700	
Gros matériel	36 900				
Petit matériel et équipement	5 100				
Moules	9 900				
Petit équipement	2 000				
Total	69 600			1 700	14 000

c) Coût de l'entretien

Campagnes	0	1	2	3	4	
					Option 1	Option 2
Camion 7 t	1 400	700	2 100	3 500	1 400	500
Véhicules liaison	200	300	500	200	500	200
Gros matériel	3 700		1 800	3 700	3 700	1 200
Petit matériel et équipement	500	200	800	1 300	1 800	600
Moules				1 000	1 000	300
Total	5 800	1 200	5 200	9 700	8 400	2 800

d) *Valeur résiduelle*

● Camions (2/3 valeur d'achat)	9 300
● Gros matériel (1/5 valeur d'achat)	7 400
	16 700

5.3.6 Carburants et lubrifiants (décompte annuel)

Gas-oil

Camion 7 t	2 × 40 000 km × 0,35 l =	28 000	
Grue 0,6 t	8 × 700 h × 2 l =	11 200	
Grue 2 t	1 × 700 h × 4 l =	2 800	
Compresseur 5	× 300 h × 10 l =	15 000	
	57 000 × 110 F...		6 270

Essence

Véhicule de liaison	1 × 40 000 km × 0,14 =	5 600 × 130 F...	728
Lubrifiants 15 %			1 002
Total			8 000

5.3.7 Matériaux

Décompte annuel pour 40 puits de 27 m de profondeur moyenne, soit 900 m de cuvelage Ø 1,80 et 200 m de captage Ø 1,40.

a) *Quantités*

	Ciment		Treillis m ²	Fer t
	Dosage kg/m ³	t		
— 900 m	300	180	6 000	1
— 200 m de captage	400	40	950	1
— Superstructures et divers	350	30	250	3
Total		250	7 200	5

b) *Coût des matériaux*

— Ciment	250 t × 38 =	9 500
— Treillis 150 rouleaux	50 m × 70 =	10 500
— Fer	5 t × 300 =	1 500
— Fournitures diverses	=	200
		21 700

5.3.8 Divers consommables (décompte annuel)

Pelles, pioches, tamis, cordes, seaux, explosifs, détonateurs : 2 300 (moyenne terrains très durs à l'explosif : 2 m par ouvrage).

5.3.9 Budget des quatre campagnes

Campagnes	0	1	2	3	4	Total Projet	Valeur résiduelle matérielle
Personnel	200	21 700	21 700	21 700	21 700	87 000	- 16 700
Investissement	69 600			1 700	14 000	85 300	
Entretien	5 800	4 000	5 200	9 700	8 400	33 100	
Carburants		8 000	8 000	8 000	8 000	32 000	
Matériaux		21 700	21 700	21 700	21 700	86 800	
Divers consommables		2 300	2 300	2 300	2 300	9 200	
Total	75 600	57 700	58 900	65 100	76 100	333 400	
Majoration pour divers imprévus ..	83 200	63 500	64 800	71 600	83 700	366 800	

Coût total des ouvrages : $366\,800 - 16\,700 = 350\,100$ milliers de F CFA.

Nombre d'ouvrages réalisés : $4 \times 40 = 160$ puits.

Coût d'un ouvrage (prix de revient « chantier ») : 2 200 000 F CFA.

Prix moyen du mètre de puits (prix chantier) : 81 000 F CFA.

Nota : Ces prix doivent être majorés de 20 à 30 % pour inclure le coût des services généraux (ateliers, magasins) et la direction des opérations.

Pour atelier, magasin, et garage sont prévus les moyens suivants :

a) Locaux

- 1 magasin pour 80 t de ciment (30 m²),
- 1 magasin pièces de rechange véhicules et lubrifiants (15 m²),
- 1 magasin petit matériel, consommable, fer et divers (30 m²),
- 1 hangar pour stockage PVC (15 m²),
- 1 citerne 20 000 l (prêtée par le fournisseur),
- 1 hangar atelier (30 m²),
- 1 bureau Chef d'atelier et magasinier (15 m²).

Coût de construction..... **20 000**

b) *Outillage*

	Quantité	Prix unitaire F CFA
— Poste soudure électrique ...	1	1 000
— Equipement complet oxyacé- tylénique	1	200
— Cric	1	200
— Etabli + étau + forge	1	600
— Chargeur de batterie.....	1	120
— Compresseur	1	700
— Fileteuse	1	400
— Outillage	1	400
— Perceuse, meuleuse, scie élec- trique	1	150
— Tareur d'injection Diésel ...	1	200
— Petit matériel divers	1	1 030
		<u>5 000</u>

ANNEXES

ANNEXE 1 A

DÉTERMINATION DU DÉBIT D'UN PUIT PAR LA MÉTHODE DE PORCHET

Le relevé régulier, sur une fiche, du niveau de l'eau sous la margelle, reporté sur un diagramme de coordonnées arithmétiques (rabattement en fonction du temps) permet d'établir une courbe de vidange et une courbe de remontée que l'on peut interpréter simplement par la méthode de Porchet (fig. 54). A noter qu'il n'est pas nécessaire de vider complètement le puits. Le débit d'exhaure doit être adapté au débit du puits et au volume d'eau qu'il contient au repos, afin que la vidange ne dure pas trop longtemps (une à deux heures).

L'interprétation est faite de la manière suivante. Pour une valeur donnée du rabattement (s), on trace sur le graphique une droite parallèle à l'axe des temps, qui coupe respectivement les courbes de pompage et de remontée en B et C. On trace ensuite les tangentes en B et C à la courbe correspondante. Ces tangentes se coupent en A. Du point A on mène la perpendiculaire à la droite BC ; on obtient le point H, qui permet de mesurer les longueurs BH et BC. En désignant par q (m^3/h) le débit de pompage (constant) auquel le puits a été soumis, le débit d'exploitation pour le rabattement choisi (s) est donné par la formule :

$$Q = q \times \frac{BH}{BC}.$$

Il faut bien souligner que les couples débit-rabattement (Q, s) ainsi obtenus n'ont pas de signification générale : ils se rapportent à l'instant auquel a été pratiqué l'essai.

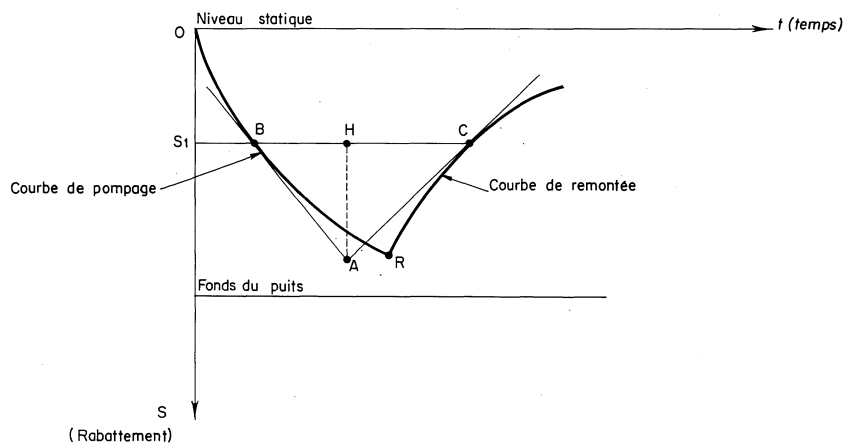
ANNEXE 1 B

ÉVALUATION DE LA PRODUCTION DES PUIT DE FAIBLE DÉBIT A PARTIR D'ESSAIS DE POMPAGE

On observe fréquemment que les essais de pompage réalisés sur les puits de faible débit sont difficilement comparables, peu significatifs, et que le débit déduit des essais s'avère surestimé. En fait, les méthodes

Fig: 54

DÉTERMINATION DU DÉBIT D'UN PUIT PAR LA MÉTHODE DE PORCHET



habituelles d'essai conviennent mal aux puits de grand diamètre, à cause de l'effet de capacité, surtout quand ces puits sont foncés dans des formations d'altération caractérisées par leur hétérogénéité et leur faible perméabilité.

Toutefois, même dans ce type d'aquifère, la capacité de production d'un puits au bout de huit mois de saison sèche peut être estimée à partir d'un essai rapide effectué à un moment quelconque. Mais il faut, à cet effet, connaître ou pouvoir estimer la fluctuation naturelle du niveau de la nappe entre la période d'essai et l'étiage. Si tel est le cas, les abaques mis au point par BURGEAP (doc. 12) permettent, sous réserve que l'essai soit correctement réalisé, de déterminer les caractéristiques de l'ouvrage à l'étiage (débit, niveau dynamique).

La méthode devant être prochainement simplifiée afin de la rendre

plus facilement utilisable sur le terrain, on se contentera de décrire ci-après « l'essai-type » qui en permet l'application, et de montrer sur un exemple le calcul du débit spécifique, du débit instantané et du débit d'exploitation au moment de l'essai.

1. Mise en œuvre de l'essai de pompage

Pour un puits en exploitation, l'essai est réalisé en trois phases : récupération du niveau, pompage et remontée. Si on est certain que le niveau mesuré dans l'ouvrage est bien le niveau statique (1), l'essai de pompage peut être entrepris directement. Avec l'installation et le repli du matériel de pompage, un essai demande environ une journée.

1.1 Récupération (2 h)

Le niveau de l'eau dans un puits à faible débit où l'on veut faire un essai est rarement stabilisé sur un ouvrage neuf, en raison de l'importance des volumes d'eau évacués lors du creusement (vidange totale une ou plusieurs fois par jour), et sur un ouvrage en exploitation, à cause de l'utilisation continue par la population (2).

Il serait souvent trop long d'attendre pour entreprendre l'essai, que le niveau soit rigoureusement stabilisé ; en effet, pour des ouvrages à faible débit, plusieurs jours d'arrêt de puisage peuvent s'avérer nécessaires, ce qui est difficilement acceptable pour les utilisateurs.

Dans la pratique, on se bornera à mesurer la profondeur du niveau de l'eau dans le puits par rapport à un repère fixe (sol ou margelle), pendant un arrêt de puisage de 2 h. Ces mesures permettront de déterminer la vitesse de remontée V_1 (en m/h) pour un niveau dynamique N_1 .

1.2 Pompage (2 h)

L'opération consiste à pomper pendant 2 h à un débit constant, déterminé de la façon suivante :

On calcule le volume d'eau contenu dans le puits entre le niveau de l'eau et la cote 1 m au-dessus du fond ; le débit de pompage à adopter (en m^3/h) est égal à la moitié de ce volume (m^3) ; il est fourni plus simplement par l'abaque de la figure 55.

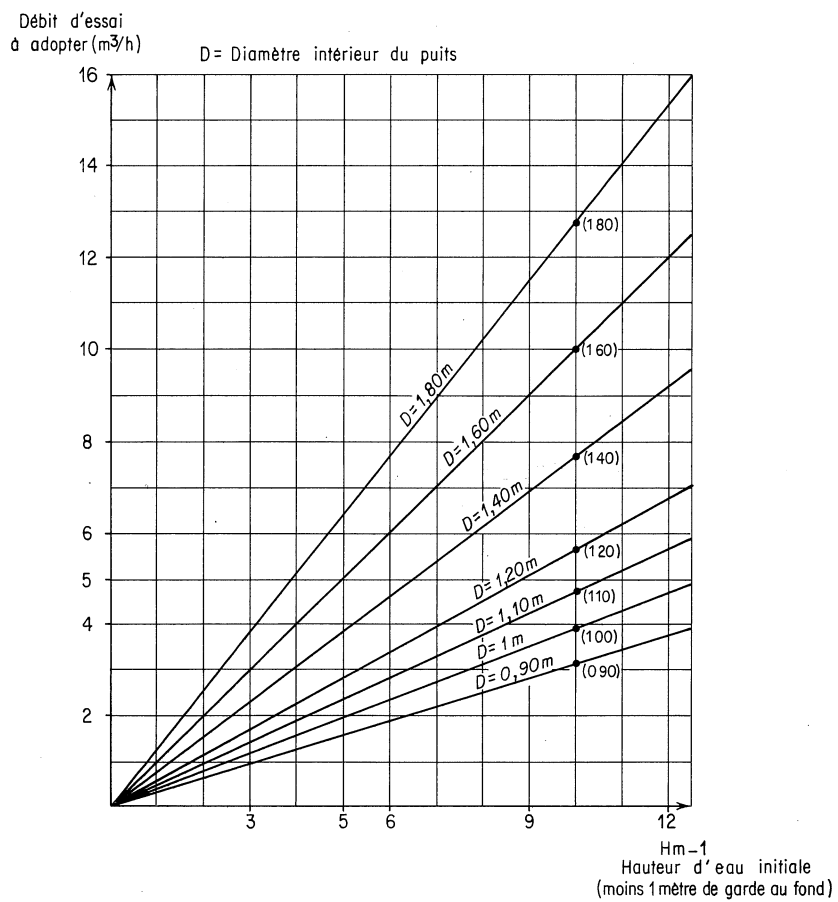
A titre d'exemple, pour un puits de 1 m de diamètre ayant avant l'essai 7,5 m d'eau à partir du fond, on lit directement sur l'abaque, à l'intersection de la verticale d'abscisse $+ 6,5$ ($7,5 - 1$) et de la droite correspondant au diamètre 1 m, que le débit à adopter pour l'essai est de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ environ. Ce chiffre correspond au débit de pompage qui serait nécessaire pour vider le puits en 2 h, jusqu'à 1 m du fond, *s'il était totalement étanche*.

(1) On considérera que la nappe est au repos si le niveau varie de moins d'un centimètre en une heure.

(2) Mais, dans le cas d'une exploitation intensive et continue sur un puits à faible débit, il suffit de mesurer les quantités puisées par les utilisateurs pendant un temps donné, pour connaître le débit effectif de l'ouvrage.

Fig: 55

**ABaque POUR LA DÉTERMINATION
DU DÉBIT D'ESSAI NORMALISÉ DE 2 HEURES
EN FONCTION DU DIAMÈTRE DU Puits**



Pendant le pompage, on note, toutes les dix minutes, la profondeur du niveau dynamique (1) par rapport au repère défini en 1.1 ; en outre, on contrôle régulièrement le débit pompé pour s'assurer qu'il reste constant et on observe la couleur de l'eau et les éventuelles venues de sable ou de fines (2).

1.3 Remontée (4 h minimum)

A l'arrêt du pompage, on note soigneusement le niveau de l'eau, puis on le mesure régulièrement pendant la remontée, avec des intervalles de temps croissants : par exemple toutes les minutes de 0 à 10 min, puis toutes les 10 mn jusqu'à 1 h, puis toutes les 30 mn.

La première heure de remontée fournit une vitesse de remontée V_2 pour un niveau dynamique moyen N_2 .

Deux mesures de la profondeur totale de l'ouvrage, effectuées l'une avant l'essai et l'autre en fin de remontée, permettent de s'assurer qu'il ne s'est pas produit d'ensablement ou d'envasement de l'ouvrage au cours de l'essai.

Remarque : Les mesures effectuées dans les premières minutes de la remontée peuvent être faussées par la vidange dans le puits des tuyauteries de la pompe et il convient d'en tenir compte lors de l'interprétation.

2. Interprétation

Il est nécessaire de remplir à chaque essai une fiche du modèle ci-après (fig. 56). On y reporte, sur le diagramme en coordonnées arithmétiques, les variations de niveau en fonction du temps, ainsi que toutes les données du pompage et les caractéristiques du puits.

A partir de ces données, on peut procéder aux évaluations suivantes :

2.1 Détermination du niveau statique

Pour calculer le rabattement en pompage, il faut connaître le niveau de la nappe au repos. Pour un puits en exploitation, le niveau statique peut être estimé à partir de deux vitesses de remontée correspondant à deux rabattements différents : avant essai (récupération) et après (remontée). La méthode est basée sur l'hypothèse d'une proportionnalité des débits instantanés et des rabattements. Si les vitesses de remontée sont V_1 (avant essai) et V_2 (remontée), pour des profondeurs du niveau sous repère N_1 et N_2 la profondeur du niveau statique N_0 est :

$$N_0 = \frac{N_1 V_2 - N_2 V_1}{V_2 - V_1}.$$

(1) Pour les puits comportant une colonne de captage télescopée dans le cuvelage, on évitera que le niveau dynamique en fin d'essai se situe au changement de diamètre, le calcul du débit de remplissage étant alors difficile. Dans ce cas, il est recommandé de choisir un débit de pompage, soit plus fort, soit plus faible.

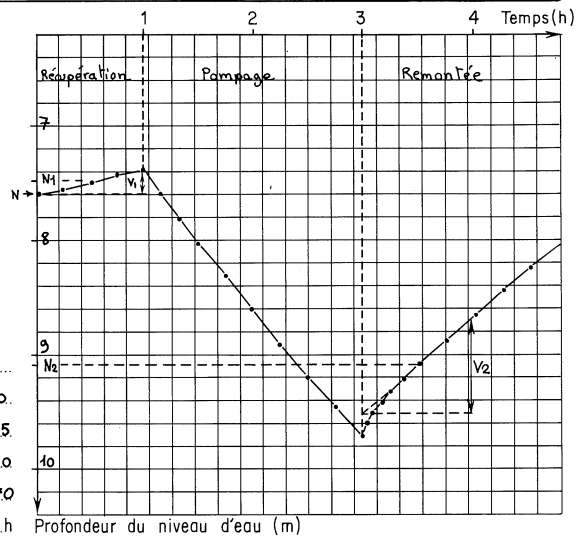
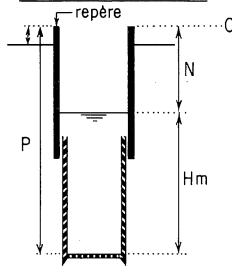
(2) Faire tourbillonner l'eau dans un seau et noter la dimension de la tache de sable qui peut se former au fond.

Fig: 56

TYPE DE FICHE D'ESSAI DE DÉBIT (puits)

CARACTÉRISTIQUES DU PUIT: -Hauteur repère (margelle)/sol: 0,60 -Prof. totale du puits: 14,30
-Diamètre cuvelage: 1,00 -Diamètre captage: 1,00

DONNÉES DE L'ESSAI



.Date et heure de l'essai:

.Profondeur de l'ouvrage -avant essai: P1= 14,30
-après essai: P2= 14,25

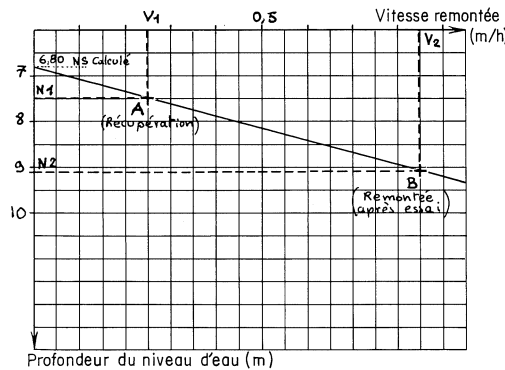
.Niveau d'eau initial $N = 7,60$

.Hauteur d'eau initiale $Hm = P1 - N = 6,70$

.Débit pompage $Q = 2,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Durée: 2 h

Observations: Puits en pompage au moment de l'essai

.Vitesse récupération $V1 = 0,25 \text{ m/h}$
.Prof. moyenne niveau d'eau (récupération) $N1 = 7,50 \text{ m}$
.Vitesse remontée (1^{ère} heure) $V2 = 0,84 \text{ m/h}$
.Prof. moyenne niveau d'eau 1^{ère} h. remontée $N2 = 9,70 \text{ m}$



INTERPRETATION

.Section puits $S = 0,78 \text{ m}^2$
.Débit remontée: $Q2 = V2 \times S = 0,65 \text{ m}^3/\text{h}$
.Niveau d'eau au repos (observé ou calculé) $NS = 6,80 \text{ m}$
.Rabatement $\Delta = N2 - NS = 2,90 \text{ m}$
.DÉBIT SPÉCIFIQUE
 $Qs = \frac{Q2}{\Delta} = 0,22 \text{ m}^3/\text{h/m}$
.Rabatement max. $\Delta m = P - NS = 1 = 6,5 \text{ m}$
.DÉBIT INSTANTANÉ
 $Qi = Qs \times \Delta m = 1,43 \text{ m}^3/\text{h}$
.DÉBIT D'EXPLOITATION (au moment de l'essai)
 $Qe = Qi \times 20 \text{ h} = 28 \text{ m}^3/\text{j}$

OBSERVATIONS: Pendant l'essai, légère venue de sable.

Essai réalisé par:
Fiche établie par:
Puits réceptionné le:

On le détermine graphiquement en reportant sur le diagramme de la fiche d'essai les deux vitesses de remontée et les niveaux correspondants. Par les deux points A et B, passe une droite dont l'intersection avec l'axe des ordonnées donne le niveau statique recherché.

2.2 Débit spécifique

Par différence entre le niveau dynamique N_2 (en fin de pompage) et le niveau statique (connu, ou calculé comme en 2-1), on obtient le rabattement :

$$\Delta = N_2 - NS.$$

Le débit de remontée est :

$$Q \text{ (m}^3/\text{h)} = V_2 \text{ (m/h)} \times S \text{ (m}^2/\text{m)}$$

avec V_2 : vitesse de remontée et S : section du puits (celle du cuvelage si le captage n'est pas dénoyé, celle du captage si le niveau dynamique s'abaisse au-dessous du cuvelage (1)).

Le débit spécifique est :

$$Q \text{ spec. (m}^3/\text{h/m)} = \frac{Q_2}{\Delta}.$$

2.3 Débit instantané

Chaque puits peut être caractérisé par son débit instantané Q_i , qui dépend essentiellement de trois paramètres : diamètre, hauteur d'eau du puits, perméabilité du terrain.

On calculera pour un rabattement maximum $\Delta \text{ max}$, que l'on peut fixer comme correspondant à un niveau rabattu à 1 m du fond du puits (2) :

$$Q_i = Q \text{ spec.} \times \Delta \text{ max}, \text{ avec } \Delta \text{ max} = \text{Prof. puits} - NS - 1.$$

2.4 Evaluation de la capacité de production journalière

Si l'on multiplie par 20 le débit instantané, on a un ordre de grandeur de la capacité du puits, en supposant que le puisage atteigne 20 h par jour, ce qui arrive parfois en saison sèche.

Cependant, cette évaluation concerne l'état du puits *au moment de l'essai*. Si celui-ci était déjà soumis à une exploitation intensive, cet ordre de grandeur peut être considéré comme valable, sous réserve de l'influence des fluctuations naturelles du niveau statique. Si par contre le puits était au repos, ce débit constitue une évaluation par excès et peut être fortement surévalué.

(1) Si le puits comporte un massif de gravier dans l'espace annulaire il faut corriger S en tenant compte du volume et du pourcentage de vides de ce gravier (on adoptera 10 %).

(2) Haut « de garde » correspondant à la cote d'installation d'une crépine si le puits doit être équipé d'une pompe manuelle. En cas de puisage traditionnel, on peut prendre 0,5 m.

ANNEXE 2

MATÉRIAUX MIS EN JEU DANS LA CONSTRUCTION D'UN PUIT EN BÉTON ARMÉ

	Diamètre 1,80 m	Diamètre 1,40 m
<i>Fonçage (mètre linéaire)</i>		
Volume des matériaux en place	3,14 m ³	2,01 m ³
Volume des matériaux foisonnés	4,70 m ³	3,00 m ³
<i>Cuvelage (mètre linéaire)</i>		
Volume de béton	0,60 m ³	0,48 m ³
Volume de gravier 0,8 m ³	0,472 m ³	0,384 m ³
Volume de sable 0,4 m ³	0,236 m ³	0,192 m ³
Ciment dosé à 300 kg	180 kg	144 kg
<i>Ancrage de surface (unité)</i>		
Volume de béton	1,20 m ³	1,00 m ³
Volume de gravier 0,8 m ³	0,96 m ³	0,80 m ³
Volume de sable 0,4 m ³	0,48 m ³	0,40 m ³
Ciment dosé à 300 kg	360 kg	300 kg
<i>Ancrage intermédiaire (unité)</i>		
Volume de béton	0,61 m ³	0,505 m ³
Volume de gravier	0,488 m ³	0,405 m ³
Volume de sable	0,244 m ³	0,202 m ³
Ciment dosé à 300 kg	214 kg	177 kg
<i>Buse de captage de 1 m (unité)</i>		
Diamètre intérieur	1,40 m	1,00 m
Diamètre extérieur	1,60 m	1,20 m
Volume de béton	0,48 m ³	0,278 m ³
Volume de gravier	0,384 m ³	0,222 m ³
Volume de sable	0,192 m ³	0,111 m ³
Ciment dosé à 400 kg	192 kg	112 kg
Poids	1 200 kg	700 kg
<i>Trousse coupante (unité)</i>		
Volume de béton	0,192 m ³	0,142 m ³
Volume de gravier	0,154 m ³	0,113 m ³
Volume de sable	0,077 m ³	0,057 m ³
Ciment dosé à 400 kg	80 kg	60 kg

	Diamètre 1,80 m	Diamètre 1,40 m
<i>Margelle (unité)</i>		
a) <i>basse et large : 0,50 × 0,40</i>		
Volume de béton	1,33 m³	1,13 m³
Volume de gravier	1,08 m³	0,90 m³
Volume de sable	0,53 m³	0,45 m³
Ciment dosé à 300 kg	405 kg	340 kg
b) <i>haute et étroite : 0,20 × 0,80</i>		
Volume de béton	1,00 m³	0,80 m³
Volume de gravier	0,80 m³	0,64 m³
Volume de sable	0,40 m³	0,32 m³
Ciment dosé à 300 kg	300 kg	240 kg
<i>Armatures métalliques</i>		
a) <i>Cuvelage (mètre linéaire)</i>		
Ø 8 mm	28 fers (28 m)	22 fers (22 m)
Ø 6 mm	6 fers (36 m)	6 fers (28 m)
<i>Nota :</i>		
— Dans le cas d'un cuvelage mis en place à la descente, il faut majorer de 30 % la longueur des fers verticaux pour le recouvrement.		
— On compte + 10 % pour les autres recouvrements.		
b) <i>Buse de captage de 1 m (unité)</i>		
Ø 8 mm	22 fers (22 m)	16 fers (16 m)
Ø 6 mm	6 fers (28 m)	6 fers (21 m)
c) <i>Ancrages (unités)</i>		
intermédiaires Ø 8 mm	28 fers (36 m)	22 fers (28 m)
Ø 6 mm	4 fers (30 m)	4 fers (23 m)
de surface Ø 8 mm	28 fers (28 m)	22 fers (22 m)
Ø 6 mm	6 fers (53 m)	6 fers (45 m)
d) <i>Trousse coupante (unité)</i>		
Ø 8 mm	28 fers (31 m)	22 fers (24 m)
Ø 6 mm	5 fers (25 m)	5 fers (19 m)
e) <i>Margelle</i>		
Haute et étroite		
Ø 8 mm	28 fers (56 m)	22 fers (44 m)
Ø 6 mm	5 fers (30 m)	5 fers (23 m)

ANNEXE 3

MATÉRIAUX POUR LA CONSTRUCTION D'UN Puits DE 30 m DE CUVELAGE ET DE 4 m DE CAPTAGE

(Cuvelage en béton armé réalisé à la descente)

	Gravier (m³)		Sable (m³)		Ciment (m³)		Fers (m)			
	Ø 180	Ø 140	Ø 180	Ø 140	Ø 180	Ø 140	Ø 180		Ø 140	
							Ø 8 mm	Ø 6 mm	Ø 8 mm	Ø 6 mm
<i>Cuvelage</i> (30 m)	14,10	11,50	7,10	5,75	5 400	4 300	1 090	1 180	860	920
Ancrage de surface (1)	0,96	0,80	0,48	0,40	360	300	30	58	24	50
Ancrage intermédiaire (3)	1,47	1,21	0,73	0,60	640	530	120	100	90	76
<i>Captage</i> (5 buses de 1 m)	1,92	1,11	0,96	0,55	960	560	120	155	90	115
Trousse coupante (1)	0,15	0,11	0,07	0,05	80	60	34	26	28	20
<i>Margelle</i> (Haute et étroite)	0,80	0,64	0,40	0,32	300	240	60	50	33	25
Total	19,40	15,37	9,74	7,67	7 740	5 990	1 454 580 kg	1 569 350 kg	1 125 450 kg	1 206 270 kg

Nota : Le fonçage correspond aux volumes de déblais suivants (m³) :

	Ø 180	Ø 140
en place	110	70
foisonné	165	105

ANNEXE 4

MODÈLE DE BORDEREAU DE PRIX POUR CONSULTATION D'ENTREPRISE (PUITS A MAIN)

N°	Désignation	Unité	Prix unitaire
1	Installation et repli du personnel et du matériel	u	
2	Superstructure, margelle, aire assainie	u	
3	Dalle de fond avec gravier	u	
4	Fonçage et cuvelage en terrain tendre de 0-20 m	m.l.	
5	Fonçage et cuvelage en terrain tendre de 20 à 40 m	m.l.	
6	Fonçage et cuvelage en terrain au-delà de 40 m	m.l.	
7	Plus-value pour terrain dur (marteau piqueur)	m.l.	
8	Plus-value pour terrain très dur (explosif)	m.l.	
9	Captage de 0-10 m en terrain aquifère	m.l.	
10	Captage de 0-20 m en terrain aquifère	m.l.	
11	Plus-value pour terrain dur	m.l.	
12	Plus-value pour terrain très dur	m.l.	
13	Plus-value pour terrain fluant	m.l.	
14	Moins-value pour suppression de cuvelage en terrain très dur	m.l.	
15	Moins-value pour suppression de captage en terrain très dur	m.l.	
16	Développement et essai de débit	u	

ANNEXE 5

CONSIGNES DE SÉCURITÉ DU PERSONNEL EMPLOYÉ DANS LES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DES PUITS

(d'après R. Bremond) (doc. 7)

La présente annexe a pour but de signaler quelques mesures de prévention des accidents du travail qui sont nécessaires pour assurer la sécurité du personnel et celle des installations. Ces prescriptions sont applicables pour tous les travaux de puits neufs, d'approfondissement et de réparation de puits anciens, comme de creusement, d'excavation, ou de galeries souterraines, et de contrôle de travaux.

I. — Concernant le personnel

a) Il est absolument interdit aux personnes étrangères au chantier de pénétrer sur les lieux du travail, aux abords du puits et au contact des machines. Un écriteau placé visiblement pourra manifester cette prescription.

b) Il est recommandé que les ouvriers portent des vêtements ajustés et non flottants, afin d'éviter tous accidents près des machines en fonctionnement.

c) Nulle personne, nul ouvrier ne sera admis dans les travaux s'il est ivre ou en état de maladie.

II. — Matériel et installations de surface

a) Les abords des puits doivent être constamment tenus très propres. On ne doit y rencontrer aucun caillou, aucun outil, aucun matériel, aucun matériel, etc., susceptibles de tomber dans le puits et de blesser le personnel y travaillant.

b) Les matériels installés en surface seront disposés de manière à ne présenter aucun danger pour le personnel travaillant au fond

du puits et pour le personnel chargé de son fonctionnement. On prendra toutes dispositions pour qu'aucun ouvrier affecté normalement à un travail quelconque, exécution de mortier par exemple, ne se trouve aux abords immédiats de ces matériels. Ceux-ci seront placés sur un sol nivelé et disposés de manière à laisser entre eux des intervalles de circulation aisée. Le sol de ces intervalles sera nivelé.

c) Dans le cas de matériels entraînés par des courroies, sauf en cas d'arrêt du moteur, le maniement des courroies est toujours fait par le moyen de systèmes tels que monte-courroie, porte-courroie, évitant l'utilisation directe de la main.

d) La mise en train et l'arrêt des machines doivent être toujours précédés d'un signal convenu.

e) Il est interdit de nettoyer et de graisser pendant la marche les transmissions et mécanismes dont l'approche est dangereuse.

En cas de réparation d'un organe mécanique quelconque, son arrêt doit être assuré en même temps que toutes dispositions sont prises pour assurer, si besoin est, la sécurité du personnel et des installations du fond.

f) Les treuils métalliques fonctionnant à la main, les chèvres métalliques utilisées avec ou sans treuil à démultiplication, les derricks à moteur, etc..., seront placés de manière à ce que leur stabilité soit parfaitement assurée.

g) Les chèvres métalliques, les portiques et, si besoin est, les derricks des treuils seront solidement haubannés dans la direction opposée à celle du câble.

h) Il est interdit de manœuvrer par des engins de manutention des charges supérieures à celles pour lesquelles ils ont été construits. Ces appareils devront porter en apparence le maximum de la charge autorisée.

i) Les treuils mus à bras d'homme doivent être munis d'un cliquet ou d'un appareil équivalent ; les treuils à moteur doivent être dotés de dispositifs permettant d'immobiliser les câbles. Tous ces matériels seront dotés de freins.

j) Les freins, les cliquets, l'attache du câble feront l'objet d'une surveillance attentive. Chaque jour, avant la descente du personnel, seront vérifiés le bon état et le bon fonctionnement des treuils, des freins, des cliquets d'arrêts, de l'attache du câble, etc.

Toutes mesures seront prises pour assurer le remplacement des objets défectueux, endommagés, cassés, fêlés ou présentant des signes de faible résistance préjudiciable à la sécurité du personnel et des installations.

III. — Des câbles

a) Les câbles des appareils et installations servant à l'extraction ou à la circulation du personnel dans les puits doivent faire journellement l'objet d'un examen attentif.

Chaque jour, avant la descente du personnel, il est fait une cordée d'essai à pleine charge, entre le sol et le fond du puits. Pendant cette descente une observation attentive du câble est effectuée.

Une visite détaillée de ces câbles sera faite une fois au moins par semaine par un agent compétent.

b) Un câble métallique servant à la circulation normale du personnel ne doit jamais travailler sous une charge supérieure à $1/6$ de sa résistance, constatée par des essais de traction. Il doit être retiré du service lorsque les essais de flexion montrent que les fils n'ont plus la flexibilité suffisante.

Si on ne procède pas à des essais de traction, le câble métallique ne doit jamais travailler sous une charge supérieure à $1/8$ de sa résistance à l'état neuf.

Un câble métallique ne peut être employé à la circulation normale du personnel que s'il n'a pas plus de deux ans de service. Il est possible de prolonger cette durée quand un agent compétent confirme le bon état du câble.

c) Tout câble affecté pour la première fois à la circulation normale du personnel doit être essayé pendant vingt voyages au moins à pleine charge et avoir été reconnu en bon état.

d) Tout câble en service doit faire l'objet une fois tous les trois mois pendant la première année et une fois tous les deux mois pendant les années suivantes du coupage de la patte sur une hauteur d'au moins deux mètres.

Après chaque coupage de la patte ou après renouvellement de l'attache, le câble doit faire l'objet avant sa mise en service de quatre essais de cordée au moins à pleine charge et avoir été reconnu en bon état.

Les câbles épissés doivent, avant d'être remis en service, être essayés pendant vingt voyages au moins à pleine charge ; après cet essai le bon état de l'épissure doit être constaté.

e) Un câble métallique rendu suspect par son état apparent, par le nombre de ses fils cassés ou rouillés, ou par l'augmentation rapide du nombre de ses fils cassés ne peut en aucun cas être maintenu en service.

En particulier un câble métallique ne peut être maintenu en service s'il présente, dans une région quelconque et sur une longueur de 2 m, un nombre de fils cassés dépassant le dixième du nombre total des fils.

Il est interdit d'employer un câble changé de sens pour cause de fatigue.

f) Les essais de câbles, tant à la mise en service de ceux-ci pour la première fois qu'après une épissure, un coupage ou avant la mise en train du matin, sont effectués en l'absence de personnel au fond du puits.

g) Un câble de réserve propre à la circulation du personnel doit toujours être prêt à être mis en service.

h) La date de mise en service du câble ainsi que celles relatives aux opérations de coupage et de réparation par épissure seront obligatoirement consignées sur un carnet approprié.

i) Les câbles seront soigneusement entretenus, gainés ou à défaut huilés ou goudronnés et placés en un lieu sec.

j) Les prescriptions ci-dessus s'appliquent à l'utilisation de cordes en chanvre.

k) L'installation quasi permanente d'une corde de garde, seul organe de sécurité en cas de rupture du câble d'extraction, est obligatoire. Cette corde sert également de guide en évitant la rotation du câble pendant la manœuvre.

Le diamètre de cette corde de garde ne doit pas être inférieur à 25 mm. Elle doit être en parfait état, et toute corde de garde suspecte doit être immédiatement remplacée. Chaque jour, avant la première manœuvre du personnel descendant au travail, on vérifiera le bon état de la corde de garde, et notamment son attache sur le sol.

La corde de garde sera solidement fixée au sol à une pièce profondément et solidement ancrée. Toutes dispositions seront prises pour la préserver de l'humidité et de l'action nuisible des animaux.

La corde de garde sera retirée avant l'explosion de tirs de mines. Elle sera également retirée en fin de chantier.

IV. — Des précautions à prendre avant la descente dans le puits

a) Avant de descendre dans les puits pour travailler, à la première descente du matin, après un laps de temps assez long pendant lequel aucun travail n'a eu lieu dans le puits, il sera procédé à la détermination de l'absence de gaz délétères et à la vérification de l'absence d'animaux dangereux tels que scorpions ou serpents dans le fond du puits.

En ce qui concerne les gaz délétères il sera descendu dans l'ouvrage, préalablement à toute descente du personnel, une bougie allumée qui, laissée quelques instants au fond du puits, s'éteindra s'il y a présence de gaz carbonique. Dans ce cas il est absolument interdit de descendre dans le puits avant d'avoir chassé le gaz carbonique et renouvelé l'air. Le renouvellement d'air peut être facilement obtenu en procédant à des envois d'air comprimé, si on dispose d'un compresseur.

En ce qui concerne les animaux dangereux, les parois du puits non encore cuvelées et le fond de l'ouvrage seront particulièrement observés par le chef puisatier avec une bonne source de lumière. C'est là que se posent en particulier les scorpions, dont la couleur se confond avec celle du terrain. Ces animaux seront tués avant la descente des ouvriers.

b) Pendant sa descente, le chef puisatier examinera la bonne tenue des parois du puits. En cas d'observations faisant craindre pour la sécurité du personnel ou des installations, seront prises toutes mesures pour y apporter remède.

V. — De la circulation du personnel

a) Quel que soit l'appareil d'extraction utilisé, il est absolument interdit de faire circuler dans un puits plus d'une personne à la fois.

b) Il est absolument interdit de faire circuler en même temps qu'une personne des matériels, matières, matériaux, ingrédients, etc., quelconques.

c) Si le personnel descend dans le puits à l'aide d'une escarpolette, le câble d'extraction sera fixé très solidement à l'escarpolette.

S'il n'est pas fait usage de treuil pour la descente du personnel le câble sera remplacé par une corde qui après avoir passé sur la poulie devra toujours faire au minimum deux tours morts autour d'un piquet enfoui solidement dans le sol à proximité du puits avant d'être tenue par les hommes assurant la descente.

d) Nul n'est autorisé à descendre dans un puits s'il n'est muni d'un casque de mineur et d'une ceinture de sécurité.

La ceinture de sécurité est passée autour du corps de la personne et fixée solidement au câble d'extraction. La ceinture de sécurité est également fixée à la corde de garde. Celle-ci doit toujours faire au moins deux tours morts autour du piquet auquel elle est fixée au sol avant d'être tenue par les hommes qui assureront le lâcher de la corde au fur et à mesure de la descente de la personne.

e) Il est absolument interdit d'ôter la ceinture de sécurité pendant la descente et la remontée dans le puits et pendant les travaux exécutés dans le puits.

La corde de garde est constamment fixée à la ceinture de sécurité.

f) La descente et la remontée du personnel doivent se faire sans bruit, le responsable devant seul donner les ordres qui s'imposent.

La circulation du personnel doit se faire lentement et sans à-coups. Pendant cette circulation il est interdit de faire manœuvrer le treuil par un ouvrier autre que le préposé.

VI. — Du travail dans les puits

a) Il est absolument interdit de projeter aucun corps, quelle qu'en soit la nature, dans les puits.

b) Les manœuvres d'extraction sont commandées par le responsable, au fond du puits.

c) Les seaux, cuffats ou récipients servant au transport de l'outillage, matériaux, etc... doivent être munis à leur base d'un cercle évitant que le fond ne porte totalement sur le sol. On aura intérêt à faire poser ces récipients sur une planche propre afin qu'aucun dépôt ne se colle sur le fond et ne risque de retomber pendant les manœuvres.

Ces appareils doivent, dans le cas où ils sont munis d'un système de basculement, être dotés d'un verrouillage de ce système afin qu'il n'y ait pas ouverture intempestive et renversement des récipients dans le puits.

d) Les seaux, cuffats ou récipients servant aux transports des matériaux ne doivent jamais être remplis à plus de 0,20 m du bord.

Les objets qui dépassent le bord des récipients doivent être attachés aux chaînes ou câbles.

e) Les réparations dans les puits se font au moyen d'une benne ou d'un plancher de travail, établis dans des conditions qui garantissent le personnel contre les chutes.

VII. — Du stockage, du transport et de l'utilisation des explosifs

Tout d'abord se conformer aux textes en vigueur dans le pays en ce qui concerne la détention et le transport d'explosifs.

Pour ce qui est de leur mise en œuvre, des accidents peuvent arriver si l'on ne respecte pas scrupuleusement un certain nombre de règles de sécurité. Les consignes à suivre lors de la mise en place des charges, pendant et après le tir, sont simples mais trop nombreuses pour qu'on puisse les indiquer ici.

Il faut surtout se méfier de l'accoutumance qui conduit peu à peu à négliger les précautions élémentaires et se dire que pour un artificier la première erreur est souvent la dernière !

Le lecteur désireux de connaître le détail des consignes de sécurité aura intérêt à consulter des ouvrages spécialisés (voir annexe 6).

ANNEXE 6

BIBLIOGRAPHIE SUCCINCTE

A) Publications

1. ARCHAMBAULT (J.) (BURGEAP). — Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale (Ed. Berger Levrault), 1960.
2. AMIABLE-FONTAINE-QUINCHON. — La sécurité et l'hygiène du travail dans l'industrie des substances explosives (Techniques et documentation), 1980.
3. BCEOM-IEMVT. — Hydraulique pastorale (Techniques rurales en Afrique n° 7) (Ministère de la Coopération), 1973.
4. BISCALDI (R.) (BRGM). — Etude statistique des forages et carte hydrogéologique des régions à substratum éruptif et métamorphique en Afrique occidentale (CIEH), 1967.
5. BREMOND (R.). — Technique de développement des puits (CIEH), 1964.
6. BREMOND (R.). — Construction des puits de captage d'eau (Ed. Gauthier-Villars), 1965.
7. BRGM. — Etude du ruissellement et de l'infiltration sur un petit bassin versant de zone de savane KORHOGO-Côte-d'Ivoire (CIEH), 1972.
8. BRGM. — Notices explicatives et cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne (FAC), 1975.
9. BRGM. — Hydraulique villageoise dans les états d'Afrique associés à la CEE. Carte des principaux aquifères et notice (FAC), 1977.
10. BRGM. — Carte de planification des ressources en eau : Côte-d'Ivoire, Ghana, Togo, Benin (CIEH), 1979.
11. BURGEAP. — Etude comparative des avantages respectifs des puits et forages dans les régions à substratum cristallin d'Afrique de l'Ouest (CIEH), 1972.
12. BURGEAP. — Evaluation du débit d'exploitation des puits dans les régions à substratum cristallin d'Afrique tropicale (CIEH), avril 1976.
13. BURGEAP. — L'équipement des villages en puits et forages en fonction des conditions hydrogéologiques dans les états ACP d'Afrique (CEE), juillet 1978.
14. BURGEAP-DCH Côte-d'Ivoire. — La campagne d'hydraulique villageoise du « Projet coton ». Méthodologie et résultats. Journées techniques du CIEH-BAMAKO, février 1980.
15. CHARON (P.). — Le calcul et la vérification des ouvrages en béton armé (théorie et application) (Ed. Eyrolles), 1972.
16. ENGALENC (M.) (GEOHYDRAULIQUE). — Méthode d'étude et de recherches de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'Ouest (CIEH), vol. 1 février 1978, vol. 2 août 1979.
17. HERMANN (K.). — Précis de forage des roches (Ed. Dunod), 1971.

18. ORGANISME PROFESSIONNEL DE PRÉVENTION DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (221, boulevard Davout, 75020 PARIS). — Brochure N° 18 : Emploi des explosifs. — Brochure N° 171 E 79 : Utilisation des explosifs dans le bâtiment et les travaux publics. — Fiches de sécurité OPPBTP — D 501 à D 508.
19. SAINT-ARROMAN (C.). — Pratique des explosifs (Ed. Eyrolles), 1977.
20. DHV Consulting Engineers. — Shallow wells (DHV), 1979.

B) Documents et rapports non publiés

21. BECQUART (A.). — Puits maraîchers en béton armé en République du Niger (Association Française des Volontaires du Progrès), novembre 1979.
22. BOURGUET (L.). — Planification de l'utilisation des eaux en République Islamique de Mauritanie (PNUD) — rapport 414, mars 1980.
23. BURGEAP. — Construction de puits sur financement FED au Togo, 292, avril 1978.
24. BURGEAP-RENARDET. — Projet de développement des régions cotonnières en République de Côte-d'Ivoire. Etude d'implantation et surveillance des travaux sur 570 points d'eau. R. 532, juillet 1979.
25. BURGEAP. — Traitement informatique des données hydrogéologiques du « Projet de développement des régions cotonnières » (Côte-d'Ivoire). Application pour l'implantation des ouvrages. R. 399, août 1980.
26. BURGEAP. — République Populaire de Guinée. Service National d'Aménagement de points d'eau (SNAPE). Résultat des travaux 1979-80. R. 407, 1980.
27. BURGEAP. — Projet d'hydraulique villageoise ORD du Yatenga et ORD de la Comoé, République de Haute-Volta (DHER), 1980.
28. DUPUIS (J.) et HLAVEK (R.). — Compte rendu d'une mission d'information effectuée auprès de l'Office des Eaux du Sous-sol (OFEDES) de la République du Niger CERAHER (Ministère de la Coopération), 1969.
29. GÉOHYDRAULIQUE. — Programme d'hydraulique villageoise dans les états du Conseil de l'Entente (Conseil de l'Entente 1979).
30. LEMOINE (J.). — Données pour la valorisation des eaux souterraines sur le territoire voltaïque (PNUD), avril 1975.
31. Archives de divers services hydrauliques africains.

PLANCHES HORS-TEXTE

Pl. A. — Puits en béton armé \varnothing 1,40 m.

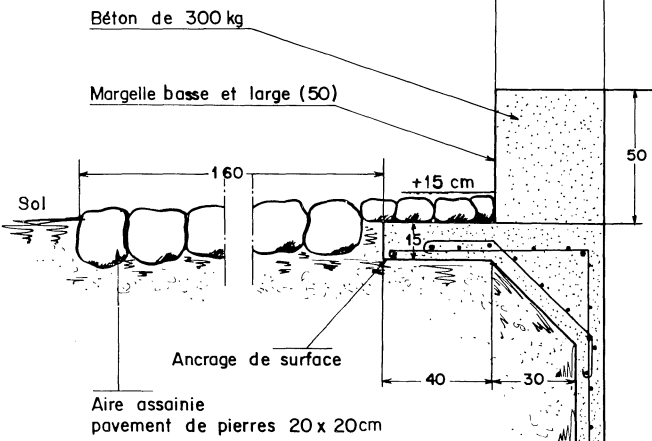
Pl. B. — Puits en béton armé \varnothing 1,80 m.

PUITS EN BÉTON ARMÉ Ø 1,40

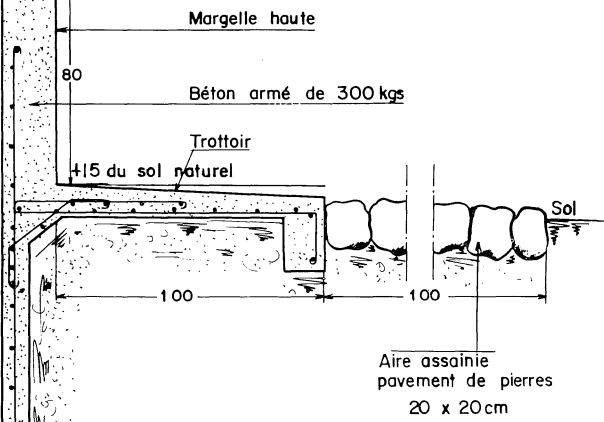
..Margelle basse et large
..Cuvelage en terrain tendre et dur
..Captage en terrain tendre

..Margelle haute et étroite
..Cuvelage en terrain instable
..Captage en terrain instable

EQUIPEMENT DE SURFACE



EQUIPEMENT DE SURFACE



CUVELAGE

Epaisseur 10 cm
Béton armé de 300 kg
FERRAILLAGE :
22 fers verticaux Ø 8 mm
fers horizontaux Ø 6 mm tous les 15 cm

CUVELAGE

Epaisseur 10 cm
Béton armé à 400 kg
FERRAILLAGE :
22 fers verticaux Ø 8 mm
fers horizontaux Ø 6 mm tous les 15 cm

Ancrage tous les 10 m

CAPTAGE

(avec des buses percées à étriers)

CAPTAGE

(avec des buses percées à encoches)

Massif filtrant : graviers de 10 à 15 mm

Béton armé de 400 kg

FERRAILLAGE :
16 fers verticaux de Ø 8 mm
6 fers horizontaux par buse
Ø 6 mm tous les 15 cm

Massif filtrant : graviers de 10 à 15 mm

Béton armé de 400 kg

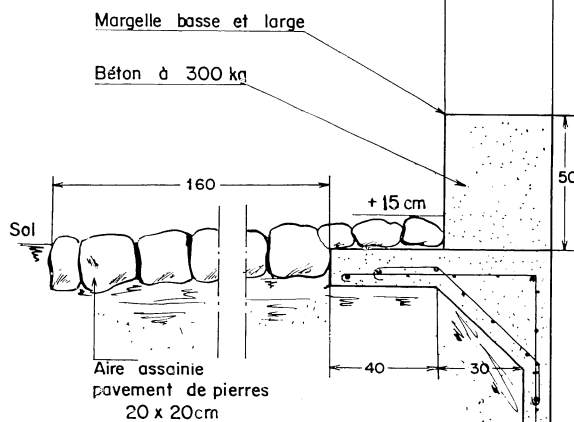
FERRAILLAGE :
16 fers verticaux Ø 8 mm
6 fers horizontaux par buse
Ø 6 mm tous les 15 cm

PUITS EN BÉTON ARMÉ Ø 1,80

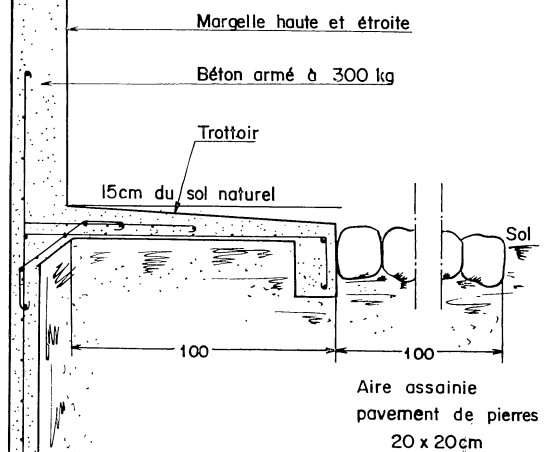
-Margelle basse et large
 -Cuvelage en terrain tendre et dur
 -Captage en terrain dur

-Margelle haute et étroite
 -Cuvelage en terrain tendre et dur
 -Captage en terrain tendre

EQUIPEMENT DE SURFACE



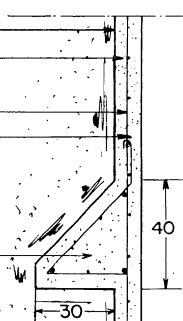
EQUIPEMENT DE SURFACE



CUVELAGE

Epaisseur 10 cm
 Béton à 300 kg
FERRAILLAGE
 28 fers verticaux Ø 8 mm
 fers horizontaux Ø 6 mm
 tous les 15 cm

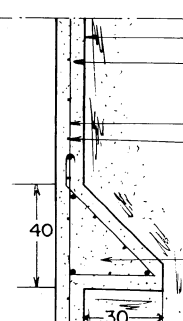
Ancrage intermédiaire
 tous les 10 m



CUVELAGE

Epaisseur 10 cm
 Béton à 300 kg
FERRAILLAGE
 28 fers verticaux Ø 8 mm
 fers horizontaux Ø 6 mm
 tous les 15 cm

Ancrage intermédiaire
 tous les 10 m



CAPTAGE

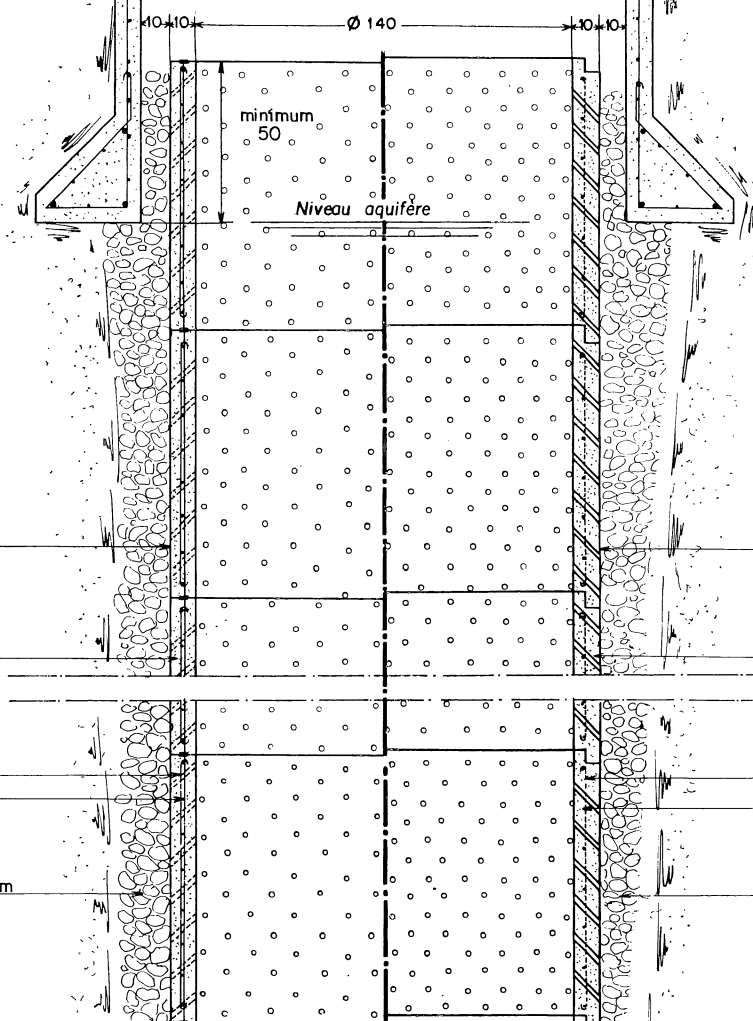
(avec des buses percées à étriers)

Epaisseur des buses 10 cm

Béton armé à 400 kg

FERRAILLAGE
 22 fers verticaux Ø 8 mm
 6 fers horizontaux Ø 6 mm par buse
 tous les 15 cm

Massif filtrant graviers de 10 à 15 mm



CAPTAGE

(avec des buses percées à encoches)

Epaisseur des buses 10 cm

Béton armé à 400 kg

FERRAILLAGE
 22 fers verticaux Ø 8 mm
 6 fers horizontaux Ø 6 mm par buse
 tous les 15 cm

Massif filtrant graviers de 10 à 15 mm

Imprimé en France. — Imprimerie JOUYE, 18, rue Saint-Denis, 75001 PARIS
Dépôt légal : 4^e trimestre 1981
