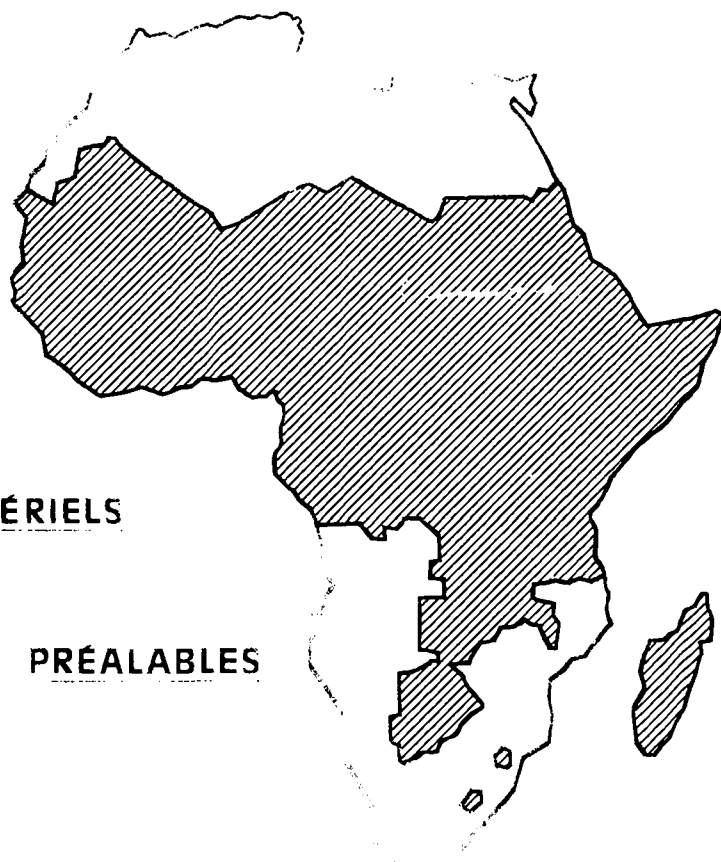

L'ÉQUIPEMENT DES VILLAGES EN PUIITS ET FORAGES

EN FONCTION DES CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES
DANS LES ETATS A.C.P. D'AFRIQUE

*



TYPES D'OUVRAGES ET DE MATÉRIELS

CONDITIONS D'EMPLOI

ETUDES ET RECONNAISSANCES PRÉALABLES



BURGEAP

ETUDE ET MISE EN VALEUR

212.0-7886

212.0
78EQ

513 I

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Direction Générale du Développement

L'ÉQUIPEMENT DES VILLAGES EN PUIITS ET FORAGES
EN FONCTION DES CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES
DANS LES ÉTATS A.C.P. D'AFRIQUE

Types d'ouvrages et de matériels
Conditions d'emploi
Études et reconnaissances préalables

Rédigé par J. LEMOINE
avec la collaboration de Y. VAILLEUX et L. BOURGUET

LIBRARY
International Reference Centre
for Community Water Supply

R. 267 - E.613

Juillet 1978

BURGEAP - 70, rue Mademoiselle - 75015 PARIS

Rédigé par les ingénieurs du BURGEAP, le présent ouvrage
ne reflète pas nécessairement les vues
de la Commission des Communautés Européennes.

TABLE DES MATIERES

	Pages
AVANT-PROPOS	9
RESUME	11
<u>CHAPITRE 1 : SITUATION DU PROBLEME POSE.</u>	
<u>LES CONTRAINTES HYDROGEOLOGIQUES ET LES AUTRES.....</u>	29
1.1. BUTS ET CONDITIONS DE REUSSITE DES PROGRAMMES D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE	29
1.1.1. Perspective de long terme	29
1.1.2. Les buts essentiels	30
1.1.3. Le problème qualité - quantité - utilisation	31
1.2. QU'EST-CE QU'UN POINT D'EAU VILLAGEOIS ?	31
1.2.1. Orientation souhaitable	31
1.2.2. Point d'eau standard	32
1.2.3. Conséquences hydrogéologiques et technologiques	33
1.3. LES PARAMETRES HYDROGEOLOGIQUES ET LEURS CONSEQUENCES POUR L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE	34
1.3.1. La profondeur du niveau de l'eau	34
1.3.2. Les caractéristiques mécaniques du terrain	34
1.3.3. La perméabilité du terrain	34
1.3.4. Aquifères continus et aquifères discontinus	35
1.3.5. Aquifères captifs	35
1.3.6. Aquifère idéal	36
1.4. AUTRES PARAMETRES - LIMITES DES CONTRAINTES HYDROGEOLOGIQUES.	36
1.4.1. Contraintes d'origine physique	37
1.4.2. Contraintes d'origine socioéconomique	38
<u>CHAPITRE 2 : LES ZONES HYDROGEOLOGIQUES ET LEUR INTERET POUR</u> <u>L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE</u>	41
2.1. BASES D'UNE CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE DES AQUIFERES A L'EQUIPEMENT VILLAGEOIS	41
2.1.1. Données générales	41
2.1.2. Principes d'une cartographie rationnelle	42
2.2. LES GRANDS TYPES DE FORMATIONS GEOLOGIQUES	45
2.2.1. Le socle précambrien (et les roches volcaniques).....	45
2.2.2. Les formations infracambriennes et primaires	45
2.2.3. Les formations sédimentaires récentes	46

<u>CHAPITRE 3 : OPERATIONS CONDUISANT A L'IMPLANTATION DES OUVRAGES -</u> <u>ETUDES ET RECONNAISSANCES PRELIMINAIRES</u>	49
3.1. INTERET DES ETUDES PRELIMINAIRES	49
3.1.1. Finalité et buts des études préliminaires	50
3.1.2. Choix des méthodes	51
3.2. APERCU DES METHODES ET TECHNIQUES DE RECHERCHE HYDROGEOLOGIQUE	53
3.2.1. Méthodes d'approche générales et régionales	53
3.2.2. Méthodes d'investigation locales ou ponctuelles	54
1. Couverture photographique aérienne	
2. Procédés géophysiques	
3. Sondages de reconnaissance	
4. Investigations dans les sondages et les puits	
3.3. LES ETUDES PRELIMINAIRES DANS LES AQUIFERES SEDIMENTAIRES CONTINUS	59
3.4. L'IMPLANTATION DES POINTS D'EAU VILLAGEOIS DANS LES TERRAINS ANCIENS	61
3.4.1. Etudes préliminaires d'ensemble	61
3.4.2. Etudes ponctuelles	63
1. Nature et organisation	
2. Etude du site	
3. Prospection électrique	
4. Reconnaissance directe du terrain	
3.4.3. Vers une stratégie des reconnaissances de sites	68
 <u>CHAPITRE 4 : LES OUVRAGES D'EXPLOITATION</u>	 73
4.1. LES GRANDS TYPES D'OUVRAGE	73
4.1.1. Présentation	73
4.1.2. Puits à main avec puisage traditionnel	76
4.1.3. Forage "type socle" avec pompe à main	78
4.1.4. Forage en roche dure avec motopompe	79
4.1.5. Forage en terrain tendre avec pompe à main	81
4.1.6. Forage profond (sédimentaire) avec motopompe	83
4.1.7. Puits-forage	84
4.1.8. Ouvrages de faible profondeur	85
4.1.9. Conclusions	88

4.2. PROCÉDES ET MATÉRIELS DE FORAGE	91 -
4.2.1. Les différentes techniques et leurs domaines d'application	91
1. Présentation et tableau comparatif	
2. Battage au câble	
3. Rotary à la boue	
4. Perforatrice marteau-fond-de-trou	
5. Rotary à l'air	
6. Conclusions	
4.2.2. Analyse comparative des coûts de forage	97
1. Rotary à l'air-marteau	
2. Battage en terrain dur	
3. Battage et rotary à la boue	
4.2.3. Conclusions	101
4.2.4. Recommandations pour le bon usage des matériels	102
4.3. INVESTISSEMENTS ET EXPLOITATION - COUTS ET CHARGES	107
4.3.1. Coûts d'investissement - Puits et forages	107
1. Dans les terrains anciens	
2. Dans les formations tendres	
4.3.2. L'entretien - Nature et coûts	110
1. puits	
2. Forages	
3. Pompes	
4.3.3. Charges globales par m ³ pour quelques ouvrages-type ...	113
4.4. ELEMENTS CONCERNANT LES STRUCTURES ET L'ORGANISATION	121
4.4.1. Réalisation de forages villageois	121
4.4.2. Réalisation de puits à main	122
1. Organisation générale des chantiers	
2. Points délicats de l'organisation	
3. Participation de la population	
4.4.3. Types de structures opérationnelles	126
1. Pour les travaux	
2. Pour l'entretien	
3. Rôle de l'Administration	

<u>CHAPITRE 5 : L'EXHAURE ET LES POMPES A MAIN</u>	129
5.1. DONNEES DE BASE	130
5.1.1. Situation du problème	130
1. Nécessité de la pompe à main	
2. Conditions d'usage en Afrique	
3. Objectifs à viser	
5.1.2. Conception et organisation de l'entretien	132
1. Coût et financement	
2. Conditions pratiques d'un entretien satisfaisant	
3. Eléments concernant l'organisation de l'entretien	
5.1.3. Les points faibles des pompes à main	134
5.1.4. Critères de sélection des pompes à main	136
1. Différents critères	
2. Prix de revient effectif	
3. Intérêt des expérimentations approfondies	
5.2. LES DIFFERENTS TYPES DE POMPES A MAIN	138
5.2.1. Généralités	138
1. Données de base	
2. Présentation des tableaux et planches	
5.2.2. Les grandes catégories de pompes	140
1. Pompes à piston	
2. Pompes d'autres types	
5.2.3. Les constituants des pompes à piston classique	141
1. Système de pompage	
2. Superstructure	
3. Transmission	
5.2.4. Les voies de recherche et les nouveaux types	145

ANNEXES

	<u>Pages</u>
1. Schémas d'optimisation d'une méthode de reconnaissance	161
2. Estimation du coût d'un forage à l'air en zone de socle	165
3. Estimation du coût d'un forage au battage en zone de socle	169
4. Estimation du coût de l'eau dans un puits à main	171
5. Estimation du coût de l'eau dans un "forage-unité" type socle, avec pompe à main	172
6. Estimation du coût de l'eau dans un forage type socle, exploité à 30 m ³ /j par motopompe	173
7. Estimation du coût de l'eau dans un forage de 120 m en roche dure, exploité à 10 m ³ /j par motopompe	174
8. Estimation du coût de l'eau dans un puits pastoral de 50 m et un forage en terrain tendre de 60 m	175
9. Estimation du coût d'entretien des pompes à main	176

TABLEAUX

Tableau comparatif des principaux types d'ouvrages	89
Tableau comparatif des matériels de forage	90
Evaluation du coût de l'eau dans quelques ouvrages-type	115
Caractéristiques de pompes à main ou à pied de différents types'	148-157

PLANCHES

<u>Planche 1</u> : Esquisse géologique au 1/40.000.000	40
<u>Planche 2</u> : Schéma d'une pompe à main classique	143
<u>Planche 3</u> : Pompes à main classiques : différents types de commande par levier	151
<u>Planche 4</u> : Autres types de pompes à piston à main	153
<u>Planche 5</u> : Pompes à pied et autres systèmes	155

AVANT-PROPOS

Le Service spécialisé de l'Evaluation de la Commission des Communautés Européennes (Direction Générale du Développement) a entrepris d'analyser a posteriori ("évaluation ex-post") 29 opérations d'approvisionnement en eau, 14 concernant des villes et 15 des villages, financées par le Fonds Européen de Développement dans 6 pays signataires de la Convention de Yaoundé : Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Niger, Sénégal, Tchad, Togo. Le but de l'ouvrage de synthèse qui a été établi est de dégager de l'expérience acquise des éléments propres à améliorer l'instruction des futurs projets d'équipement hydraulique dans les états signataires de la Convention de Lomé (états A.C.P. d'Afrique) (1).

Dans cet ensemble, les services de la C.C.E. ont demandé à BURGEAP de faire une étude des conditions de réalisation des projets d'hydraulique villageoise en fonction des ressources en eau souterraine existantes : il s'agit de déterminer les implications des conditions hydrogéologiques sur :

- les techniques de reconnaissance préliminaire du terrain et la détection des ressources ;*
- les modes d'exploitation de l'eau et le choix des ouvrages ;*
- les méthodes et techniques de réalisation de ces ouvrages, les matériels, les structures ;*
- les techniques d'exhaure ;*
- les coûts.*

(1) Bénin, Botswana, Burundi, Cameroun, Cap Vert, Centrafrique, Comores, Congo, Côte d'Ivoire, Ethiopie, Gabon, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Guinée Equatoriale, Haute-Volta, Kenya, Lesotho, Libéria, Madagascar, Malawi, Mali, Maurice, Mauritanie, Niger, Nigéria, Ouganda, Rwanda, Sao Tomé - Príncipe, Sénégal, Seychelles, Sierra Léone, Somalie, Soudan, Swaziland, Tanzanie, Tchad, Togo, Zaïre, Zambie.

Les pages qui suivent constituent une tentative difficile, et nous avons conscience de n'avoir qu'imparfaitement répondu à la demande formulée ; en effet :

a) Dans la définition de normes d'équipement, et a fortiori d'une politique d'hydraulique rurale, les contraintes hydrogéologiques n'ont, dans de nombreux cas, qu'un caractère relatif. Elles peuvent et doivent souvent passer au second plan par rapport à d'autres facteurs.

b) Il faudrait partir de l'analyse des réalisations et des conditions socioéconomiques de chacun des états pour pouvoir dégager des normes ayant une valeur générale, au moins pour telle ou telle région. Or, ni les délais, ni le budget imparti à l'étude ne permettraient d'effectuer les voyages nécessaires.

c) Notre expérience concerne essentiellement les états francophones de l'Afrique Occidentale et les zones de socle (basement complex). Pour les autres états, nous avons dû nous contenter d'une bibliographie très sommaire et incomplète. Or, les pays anglophones ont fréquemment un développement plus avancé et une attitude plus entreprenante en matière d'équipement, et les problèmes peuvent s'y poser différemment.

d) La traduction cartographique d'une telle analyse est très aléatoire, sauf si l'on se contente des grands traits du terrain. Mais les caractères hydrogéologiques spécifiques de l'équipement villageois ne pourraient être correctement rendus qu'à une échelle beaucoup plus grande que celle des cartes existantes.

Une raison supplémentaire d'humilité réside dans la distance qui sépare une telle synthèse des besoins réels des paysans africains, les utilisateurs.

Comme ce fut le cas naguère en Afrique, et souvent encore aujourd'hui, comme cela l'a été en Europe avant la généralisation des distributions d'eau, les points d'eau domestiques ont été créés essentiellement par les familles et les collectivités élémentaires.

Ce stade, totalement insuffisant, doit être aujourd'hui dépassé. Mais le point d'eau rural demeure un organe essentiel, particulier, de la vie quotidienne des paysans alors que, devant l'ampleur des besoins à satisfaire, les solutions tendent de plus en plus à la réalisation industrielle, préparée par des techniciens souvent extérieurs au milieu, et à la maintenance par des organismes centralisés : solutions en définitive coûteuses et qui ne concourent pas comme il le faudrait à l'indispensable prise en charge des points d'eau par leurs utilisateurs.

Nota : tous les prix mentionnés dans le présent rapport sont exprimés en francs CFA.

A titre indicatif, 1 U.CE = 279,1 F.CFA = 1,271 US \$ (juil. 1978).

R É S U M É

I - PRESENTATION

N'ayant pu être précédé de voyages dans les états concernés, le présent rapport a été rédigé essentiellement sur la base de notre expérience de l'Afrique de l'Ouest. Par ailleurs, il s'est avéré difficile de distinguer et de caractériser dans le détail à l'échelle de ce travail, les aptitudes des aquifères à l'équipement villageois, de sorte qu'on se ramène le plus souvent à deux grandes catégories : les "terrains anciens" et les bassins sédimentaires récents.

a) Les composantes hydrogéologiques de l'équipement hydraulique des villages doivent être situées parmi les autres contraintes auxquelles est soumis ce type d'aménagement.

Le but d'un programme d'équipement villageois est d'augmenter la quantité d'eau facilement accessible (zones arides) ou/et sa qualité (zones humides). Un tel programme peut être considéré comme réussi :

- 1°) lorsque les ouvrages sont utilisés
- 2°) lorsqu'ils sont entretenus
- 3°) lorsque les charges récurrentes sont supportables.

Les choix d'ordre hydrogéologique doivent être soumis à ces exigences.

b) Le point d'eau villageois bien adapté est un ouvrage de faible débit. Le "point d'eau unité", qu'il s'agit de reproduire à un grand nombre d'exemplaires dans une bonne partie des zones considérées, est le forage de 1 m³/h équipé d'une pompe à main et permettant de desservir 300 habitants à raison de 20 l/jour. Il en résulte que des nappes superficielles de caractéristiques médiocres conviennent souvent, mieux que les aquifères puissants, à la desserte des besoins villageois.

c) Deux paramètres hydrogéologiques sont essentiels en matière d'hydraulique villageoise :

- la profondeur du niveau de l'eau, point fondamental, qui conditionne à la fois le coût d'investissement et l'exhaure ; celle-ci n'est possible par puisage que jusqu'à 80 m (zones pastorales) et par pompe à main qu'à moins de 50 m (1). Au delà, elle doit être effectuée par motopompe.

- les caractéristiques mécaniques du terrain, desquelles dépendent le type d'ouvrage et surtout la technique de réalisation.

(1) 35 m pour certains types de pompe, 60 pour d'autres.

Les autres paramètres sont moins importants : la continuité ou la discontinuité des aquifères intervient dans les méthodes d'étude et influe sur les chances de réussite des ouvrages ; la perméabilité conditionne la hauteur de la tranche à capter.

L'aquifère idéal pour l'hydraulique villageoise est un aquifère libre, peu profond, contenu dans une roche de bonne tenue mécanique, continu, et sans fluctuation de niveau.

d) Les principaux facteurs non hydrogéologiques à prendre également en considération sont :

- d'ordre physique : le climat conditionne la rareté ou l'abondance de l'eau et par conséquent les chances de réussite (utilisation) des programmes ; le relief joue un rôle sur la localisation et la profondeur des ressources en eau et sur la possibilité de réaliser des adductions gravitaires de sources ; l'éloignement influence les prix et les conditions de réalisation ;

- d'ordre socioéconomique : il faut citer les traditions, la structure de l'habitat, essentielle pour la conception des programmes, les structures administratives et entreprises existantes, les techniques traditionnelles (puits), la nature des besoins (élevage), les moyens financiers, l'état de développement, etc...

- d'ordre politique.

II - LES FORMATIONS GEOLOGIQUES

A. Bases d'une cartographie de l'aptitude des aquifères à l'hydraulique villageoise

De telles cartes pourraient être réalisées avec profit dans les différents états. Elles consistent à figurer le terrain en fonction des conditions de réalisation d'ouvrages destinés à fournir 1 m³/h (alors que les études visent habituellement à l'exploitation des débits les plus importants possible) :

- possibilité d'exhauser l'eau à la main (moins de 50 m de profondeur) ou nécessité d'équipement par motopompe ;
- dureté de la roche, d'où le procédé de réalisation ;
- type d'étude nécessaire avant l'implantation.

Seraient également figurés des éléments annexes tels que qualité de l'eau (lorsqu'elle est mauvaise), relief, données sur l'habitat, etc...).

De telles cartes doivent mettre en évidence dans certains cas des nappes locales mieux adaptées que les aquifères plus puissants auxquels on recourt habituellement.

B. Les grands types de formations

L'esquisse géologique au 1/40.000.000 présentée page 40 (planche 1) ramène les formations géologiques à trois groupes, et en fait même à deux principaux :

- les "terrains anciens" : socle granitique ou métamorphique précambrien d'une part, formations infracambriennes et primaires (grès et schistes dominants) d'autre part. Cet ensemble est caractérisé par la présence d'eau essentiellement dans des zones altérées ou des fractures plus ou moins discontinues, au sein de roches dures. Le niveau statique est le plus souvent très superficiel, permettant l'exhaure à la main. Les débits sont faibles et parfois problématiques. L'ouvrage-type est le "forage-unité", d'une cinquantaine de mètres, réalisé au marteau pneumatique et équipé d'une pompe à main.

On a rattaché à ce groupe les roches volcaniques.

Les zones de terrains anciens sont très étendues et très peuplées dans les états A.C.P. d'Afrique.

- les formations sédimentaires "récentes" (post-primaire)

Ces formations, où dominent les sables et les grès tendres, renferment des aquifères continus beaucoup plus productifs que les précédents, mais une grande variété de cas est possible et les niveaux aquifères connus ne sont pas forcément les plus intéressants pour l'hydraulique villageoise. Il importe donc de rechercher dans le détail, les mieux adaptés.

III - LES ETUDES ET LES RECONNAISSANCES PRELIMINAIRES

Elles permettent de définir les caractéristiques des ouvrages convenant au terrain, et d'implanter ces ouvrages aux points les mieux appropriés.

A. Objet des études préliminaires

La finalité des études préliminaires est de réduire le prix de revient global des équipements, en optimisant le coût de l'ensemble : études plus réalisations. Ces études ont pour but :

- d'identifier les formations aquifères utilisables et leurs paramètres ;
- de déterminer les caractéristiques des ouvrages à réaliser et les moyens de réalisation ;
- de prévoir les risques d'échec et de les abaisser au maximum.

Leur nature et leur enchaînement sont très différents suivant qu'il s'agit de "terrains anciens" ou de formations sédimentaires récentes.

B. Aperçu des méthodes et techniques de recherches

1°) Les méthodes d'approche générale et régionale, telle que l'analyse des cartes géologiques et topographiques, ou l'inventaire des points d'eau, permettent d'identifier les caractéristiques essentielles de l'aquifère.

2°) Les méthodes d'investigation locale ou ponctuelle servent à préciser certains traits particuliers des bassins sédimentaires ou à déterminer des points d'implantation dans les terrains anciens. Ce sont :

- l'étude de la couverture photographique aérienne ;
- divers procédés géophysiques, dont les plus employés sont les méthodes de résistivité électrique, et qui font apparaître des limites de couches géologiques ou des discontinuités favorables ;
- les sondages mécaniques, qui permettent la reconnaissance directe de la nature du terrain et de ses propriétés, notamment le débit ponctuel de l'aquifère.

C. Les études dans les formations sédimentaires récentes

Dans ces formations, qui contiennent des nappes en général continues, l'essentiel des études est fait une fois pour toutes pour l'ensemble du système aquifère, et les données relatives à chaque point se déduisent directement de la synthèse par interpolation.

Ces études sont généralement entreprises en vue d'exploiter des débits importants et concernent les aquifères les plus productifs, qui ne sont pas forcément les mieux adaptés à l'hydraulique villageoise.

D. Implantation des points d'eau villageois dans les terrains anciens

Dans les aquifères discontinus des terrains anciens, par contre, l'essentiel des études sert à préciser l'implantation et doit être réalisé point par point, les études régionales préliminaires ne fournissant que des résultats statistiques.

1°) Intervenant au stade de l'évaluation, les études préliminaires d'ensemble ont donc pour but de découper le territoire en une série de secteurs de caractéristiques statistiquement homogènes, pour chacun desquels on précisera :

- le type d'ouvrage à réaliser et les méthodes correspondantes
- la proportion d'échecs à prévoir
- le programme et le coût des études ponctuelles et de reconnaissance
- le coût des travaux.

2°) Les études ponctuelles qui suivent, site par site, comprennent :

a) l'étude du site sur le terrain, effectuée sur la base de la photo aérienne et des données administratives : l'enquête auprès des villageois, l'étude du terrain et celle des points d'eau existants permet de repérer les meilleurs points d'implantation (généralement sur une discontinuité) en fonction de l'ensemble des éléments du dossier, et de préciser les caractéristiques de l'ouvrage à entreprendre.

L'implantation est matérialisée sur le terrain et les données font l'objet d'une fiche monographique de village accompagnée d'un croquis.

b) le cas échéant (dans les cas très favorables), suit une phase de prospection électrique de 2 à 4 jours pour préciser le point d'implantation.

c) la reconnaissance directe du terrain constitue la phase ultime, éventuellement nécessaire :

- pour les puits à main, des "avants-trous" menés jusqu'à l'eau suffisent en général

- les forages en petit diamètre constituent leur propre reconnaissance ; ils sont équipés en forage d'exploitation lorsqu'ils sont positifs, abandonnés dans le cas inverse.

Le coût des études et reconnaissances préliminaires peut atteindre un pourcentage très important du coût du point d'eau, lorsque le terrain est très aléatoire.

3°) Stratégie de reconnaissance des sites

Dans chaque zone statistiquement homogène du point de vue hydrogéologique doit être déterminée la "stratégie" de reconnaissance préliminaire qui doit permettre d'obtenir le meilleur résultat au plus faible coût.

Une approche mathématique, qui devrait être développée, montre qu'il est assez facile de calculer le montant financier maximum que l'on peut affecter aux reconnaissances dans le but de ramener à zéro le taux d'échec à meilleur compte que par la répétition des tentatives.

Mais il est indispensable de prévoir auparavant le taux d'échec en l'absence de reconnaissances et le taux de succès d'une opération de reconnaissance donnée, ce qui est pour l'instant assez aléatoire.

Ceci impose de multiplier les études hydrogéologiques "ex post" sur les projets terminés.

IV - LES OUVRAGES D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

A. Les grands types d'ouvrages :

Trois grandes catégories d'ouvrages peuvent être distinguées : elles diffèrent largement par l'usage, la gestion et les charges récurrentes :

1°) Le puits à main de grand diamètre (1,40 m à 1,80 m int.) où le puisage traditionnel est efficace jusqu'à 80 mètres (1) : la capacité pratique d'exhaure des techniques traditionnelles des éleveurs sahéliens est de 20 à 50 m³/jour, mais des débits de cet ordre ne sont couramment obtenus que dans les régions sédimentaires. En région d'élevage, le puits à main n'a comme alternative que le forage équipé de motopompe.

2°) Le "forage-unité", à pompe à main, dont la capacité pratique d'exhaure est de 5 à 10 m³/jour, est l'ouvrage-type des terrains anciens, comme le socle cristallin, extrêmement répandus en Afrique, et où l'eau est habituellement atteinte à faible profondeur.

Bien qu'il soit plus productif et plus sûr que le puits pour un prix analogue, ce dernier continue à juste titre de lui être préféré dans certains états, car les problèmes posés par l'entretien des pompes sont encore rarement résolus de manière correcte.

3°) Avec le forage à motopompe, indispensable lorsque l'eau se trouve à plus de 50 m de profondeur et que le puits est exclu, on passe dans une catégorie beaucoup plus onéreuse et contraignante en ce qui concerne le fonctionnement. Les problèmes les plus difficiles correspondent à la desserte de groupes humains dispersés dans des zones où les nappes sont profondes. Ce cas paraît heureusement rare.

Le tableau de la page 20 résume les caractéristiques de 7 types d'ouvrages d'exploitation dérivés de ces 3 catégories en fonction des conditions de terrain, et susceptibles d'être utilisés pour l'équipement villageois.

Il faut signaler en outre des systèmes particuliers applicables dans les nappes très superficielles (battage à main, puits forés, well-points, etc...).

(1) dans les zones où il existe des techniques de puisage traditionnelles (Sahel).

TABLEAU COMPARATIF DES PRINCIPAUX TYPES D'OUVRAGES

	PUITS A MAIN avec puisage traditionnel	PUITS A LA TARIERE (bucket)	FORAGE "TYPE SOCLE" exploité par pompe à main	FORAGE EN ROCHE DURE exploitant l'eau à plus de 50 m par pompe à moteur	FORAGE EN TERRAIN TENDRE exploité par pompe à main	FORAGE PROFOND "type sédimentaire" exploité par pompe à moteur	PUITS-FORAGE
CONDITIONS NATURELLES							
a) Conditions nécessaires	- Nappe à moins de 80m	-Nappe à moins de 20m -Roche tendre mais cohérente (1).	-Nappe à moins de 50m -Roche dure	-Nappe à plus de 50 m -Roche dure	-Nappe à moins de 50 m -Terrains tendres à moyens, cohérents ou non	- Idem	-Nappe captive -Niveau en puisage à moins de 80 m.
b) Domaine d'élection	Grès tendres, schistes altérites.	Altérites si tenue suffisante.	Granite ou gneiss, Précambien varié, lavés.	Basaltes Calcaires ou dolomies socle granitique	Formations diverses des bassins sédimentaires récents (sable, argiles, grès, etc)	Idem	Aquifères multicouches des lassis sédimentaires récents.
METHODES OU MATERIEL-TYPE	Méthode habituelle : Cuvelage en ciment coulé en place. Captage par colonne de béton havée de plus petit diamètre.	Excavation par rotation du "bucket". Tubage provisoire. Pose de buses à encoches.	Forage rotary à l'air avec marteau-fond-trou, ou perforatrice-marteau, ou battage (sauf très dur).	Idem (équipement haute pression au delà de 120 m) ou battage (sauf très dur).	Battage ou rotary à la boue ou circulation inverse.	Rotary à la boue ou battage (sauf très profond)	Idem.
CARACTERISTIQUES Type d'exploitation	Puisage à main (multiple) ou traction animale.	Habituellement par pompe à main (Côte d'Ivoire).	Pompe à main ou à pied.	Pompe immergée et groupe électrogène.	Pompe à main.	Pompe immergée et groupe électrogène.	Puisage traditionnel
Profondeur habituelle	celle de la nappe + 3 à 15 m.	Maximum : 30 m	30 à 80 m	100 à 150 m possible jusqu'à 250 m	30 à 60 m	Jusqu'à 400 m ou plus	Forage jusqu'à 400 m Puits jusqu'à 80 m
Diamètre courant	Cuvelage : 1,80m int. Captage : 1,40m int.	Buses : 1 m intérieur	6" - tubage 4" 1/2	8/6" - Tubage 4 à 5"	8/6" - Crèpine 4 à 5"	6/12" - Tubage 4/8"	Puits : 1,80 m
COUT APPROXIMATIF Investissement	60 à 80.000 F le m. (Niger, Haute-Volta) soit 20 m, socle : 1.400.000 F	80.000 F le m. (Côte d'Ivoire) soit 20 m, socle : 1.600.000 F	30 à 45.000 F le m. soit 50 m : 1.800.000 F	Forage 100 m : 3.500.000 F Pompe, groupe, réservoir : 3.500.000 F.	50 à 100.000 F le m.1 suivant profondeur et méthode, soit 2 à 5.000.000 F le forage suivant profondeur	100 à 120.000 F le m.1 soit couramment : 10 à 30.000.000 F le forage	Forage: 100 à 120.000 F/m Puits : 60 à 100.000 F suivant conditions.
Charges récurrentes	Entretien puits : 40.000 F/an (Niger)	Entretien puits 40.000 F/an ou plus (+ entretien pompe)	Entretien pompe : 50.000 F/an (C.Ivoire)	Elevées, suivant débit et organisation de l'entretien.	Entretien pompe : 50.000 F/an	Elevées, suivant débit et organisation de l'entretien	Entretien du puits : 40.000 F/an (Niger)
VARIANTES POSSIBLES	Forage (plus de 30m) Tarière (moins de 30m)	Puits à main.	Puits de 20 à 30 m.	Néant	Puits. Méthodes particulières de forage pour faibles profondeurs.	Puits - forage (éventuellement)	Forage à motopompe.
OBSERVATIONS	Coût très variable avec les conditions locales et l'isolement. Entreprises rares.	(1) Dureté limite : cuirasse latéritique. Rapide. Domaine d'application étroit.	Demande très importante de ce type d'ouvrage.	Coût élevé. Rentabilisation nécessaire par distribution d'un débit relativement important.	Cas assez théorique en Afrique de l'Ouest. Peut être valable en série.	Mise en production délicate. Rentabilisation nécessaire par distribution d'un débit important.	Possible seulement en zone d'élevage sahélienne.

B. Procédés et matériels de forage

1°) Description, coûts, domaine d'application (cf. tableau p.90)

a) Battage au câble

Cette méthode, la plus ancienne, est la seule universelle. Le matériel est simple, robuste, fiable et peu coûteux (35 à 55 M.CFA pour un atelier en état de marche avec pièces de rechange pour 4000 m), de sorte que les immobilisations n'ont pas une forte incidence sur le prix de revient.

Le domaine d'élection de la méthode est le terrain cohérent. Son inconvénient est sa lenteur (0,1 à 1 m/h) : 2 ou 3 forages de 50 m sont réalisables par mois.

L'analyse des coûts (annexe 3) conduit à un prix de revient d'environ 40000 francs le mètre de forage tout compris. Ce prix s'élève rapidement en roche très dure ou, au delà de 100 m, en terrain meuble.

b) Rotary à la boue

Seule méthode permettant en pratique de réaliser des forages profonds dans des terrains sédimentaires variés, elle convient mal aux "terrains anciens", durs. Sa vitesse, normalement de 2 à 5 m/h, y tombe en effet en dessous de 1 m/h.

En terrain meuble, elle est moins bien adaptée que le battage aux faibles profondeurs (moins de 80 m).

Le coût de cette méthode, qui varie beaucoup avec l'importance des chantiers et des programmes, est couramment de l'ordre de 100.000 F le m.l. tout compris.

Le forage rotary est une opération délicate, qui exige le travail en continu.

c) Perforatrice marteau-fond-de-trou

C'est, par excellence, l'outil du "forage villageois unité" de 30 à 80 m de profondeur dans le socle ou les terrains anciens, durs. La perforation est extrêmement rapide (2 à 10 m/h) et le prix de revient du forage très bas (moins de 40.000 F le m.l. t.c.). Un forage demande un à deux jours.

C'est, de plus, un matériel simple et maniable (excepté le compresseur), et peu onéreux (70 à 80 M.CFA), mais il ne peut être employé qu'en terrain cohérent, sauf avec un dispositif spécial de tubage à l'avancement, qui ne dépasse pas 40 m.

d) Rotary à l'air

C'est une méthode extrêmement rapide pour les terrains tendres mais cohérents (jusqu'à 25 m/h). Par l'adjonction d'un marteau-fond-de-trou, on obtient un atelier à peu près universel pour les "terrains anciens", de meilleur rendement que le marteau seul lorsque les altérites sont épaisses.

Ce type d'atelier, relativement complexe, coûte en état de marche de 90 à 130 M.CFA.

L'analyse des coûts (annexe 2) fait ressortir un prix de 37.500 F le m.l. tout compris, pour 8 "forages unités" équipés de 50 m par mois, soit 1.900.000 F le forage.

2°) Choix des matériels et conditions de bonne utilisation

a) Le choix d'un type d'atelier doit être précédé d'une analyse approfondie portant sur :

- la consistance des programmes à moyen terme
- les caractéristiques des formations géologiques intéressées (profondeur à prévoir, qualités mécaniques, épaisseur d'altération, etc...)
- l'infrastructure et le potentiel existants, en personnel et en matériel.

b) Dans les "terrains anciens", où se situent l'essentiel des besoins, le battage doit être préféré pour les chantiers dispersés et discontinus et les conditions d'entretien difficiles. Par contre, les ateliers modernes à l'air comprimé sont irremplaçables pour répondre aux besoins de réalisation en grande série ; mais ils exigent une parfaite organisation de la maintenance et la présence d'un échelon mécanique à proximité.

c) Sauf peut-être pour le battage, qui peut fonctionner avec une certaine autonomie, les ateliers de forage doivent être rattachés à une structure spécialisée capable de constituer un appui logistique efficace.

Une telle structure, dirigée par un ingénieur de forage et comprenant échelon administratif et comptable, échelon mécanique spécialisé, magasin, 2 chefs sondeurs et 4 ateliers modernes, implique la réalisation de projets d'équipement de l'ordre de 500 "forages-unités" (50 m, 1 m³/h), d'un seul tenant.

C. Investissement et fonctionnement. Coût de l'eau

1°) Eléments de base

a) Investissements : pour les faibles profondeurs, les puits à main sont moins chers que les forages mais la situation s'inverse lorsque la profondeur augmente.

Le coût du point d'eau unité (terrain ancien) est de 1.500.000 à 2.000.000 de F.CFA, plus élevé en terrain tendre sans cohérence.

b) Entretien :

- puits : 40.000 F/puits/an au Niger (organisme public)
- forages : il s'agit plutôt de remplacement d'ouvrages détériorés. Coût en principe faible si la qualité des travaux est correcte
- pompes à main : 50.000 F/unité/an en Côte d'Ivoire.

c) Hypothèses de base :

- consommation : 20 l/jour/habitant
- durée de vie : ouvrages : 20 ans, pompes : 5 ans
- taux d'échec courant dans le socle
- intérêt du capital investi : 8 %

2°) Résultats et commentaires (tableau p. 115)

a) En excluant les extrêmes (puits pastoral et, à l'opposé, forage de 120 m avec motopompe pour 10 m³/j) les charges d'investissement par tête vont de 600 à 950 F/an et les charges annuelles de fonctionnement s'élèvent par tête à :

- 120 francs pour l'exhaure traditionnelle (puits villageois, 250 personnes) ;
- 4 à 500 francs avec pompage à main (forage-unité, 300 personnes) ;
- de l'ordre de 900 francs dans le cas d'une motopompe (desserte 1500 personnes).

b) La comparaison de différents modes d'équipement montre que :

- il est sans intérêt d'installer une pompe sur un puits à main. Le forage-unité est plus avantageux dans ce cas. Cette formule constitue l'avenir dans toute la zone de terrains anciens. Le coût global du m³ est de 150 francs. Mais le problème est la maintenance des pompes ;

- pour alimenter 1500 personnes, le remplacement de 5 forages-unités (50 m) par un forage à motopompe n'est économiquement justifié que sans adduction et si le personnel d'entretien est fourni par le village ;

- lorsque l'eau dépasse 50 m de profondeur, la pompe électrique s'impose. Mais on parvient rapidement à des coûts prohibitifs avec des collectivités de 3 à 500 personnes seulement ;

- pour 30 m³/jour (zone pastorale), le puits-forage est toujours plus intéressant que le forage à motopompe.

D. Organisation et structures

a) Le problème de l'entretien et du fonctionnement est le problème central de l'équipement hydraulique des villages. Les types d'ouvrages, l'exhaure, les programmes, les matériels, l'organisation financière et les structures doivent être conçues d'abord en fonction de cet impératif majeur.

b) La cellule-type pour réalisation en série de forages-unités comporte 4 ateliers de forage, capables de réaliser 300 à 350 forages de 50 m (600 M.CFA par an).

c) Pour réaliser un nombre de puits équivalents, il faut un organisme comprenant une centaine de chantiers travaillant simultanément, soit au total environ 500 personnes y compris les services généraux.

Le matériel nécessaire est important et trop souvent sous-estimé. Mais le grand problème de la construction des puits est la coordination des chantiers. L'organisation des transports est également délicate.

d) La participation de la population à la construction des points d'eau n'est possible que dans le cas des puits; encore doit-elle être rigoureusement soumise aux impératifs techniques : les villageois doivent être intégrés aux opérations normales de construction. L'économie correspondante est au Niger de 14 % du coût des puits.

e) Les structures et formules possibles pour la réalisation des travaux sont très diverses, de la régie directe à l'appel d'offres systématique. La création d'un organisme public est nécessaire lorsque les conditions existantes ne permettent pas l'obtenir des soumissions intéressantes de la part des entreprises. Mais le rôle de l'administration est plus de promouvoir et de contrôler que d'entreprendre elle-même. Par contre en ce qui concerne l'entretien, les structures publiques paraissent indispensables dans presque tous les cas.

V - L'EXHAURE ET LES POMPES A MAIN

Le but de ce chapitre, qui présente notamment les caractéristiques d'une trentaine de pompes à main (ou à pied) est de permettre au lecteur d'aborder correctement et avec suffisamment de prudence les problèmes posés par l'équipement en moyen d'exhaure des points d'eau villageois et le choix d'un type de pompe à main.

A. Données de base

1°) Objectifs à viser : les caractéristiques (profondeur, débit) du point d'eau villageois-type correspondent parfaitement à celles des pompes à main. La technique de forage étant seule en mesure de répondre à l'urgence des équipements nécessaires, les états sont "condamnés" à maîtriser à plus ou moins long terme l'utilisation de pompes à main en grande série.

Or cette maîtrise est très difficile à atteindre, d'une part parce que les pompes sont soumises à des conditions d'usage très dures, d'autre part parce qu'elles constituent un bien collectif, dont la population ne réalise pas toujours l'importance.

Les objectifs de base sont donc de deux ordres :

a) pour les états : évaluer et dégager les financements à long terme nécessaires à la maintenance, choisir un matériel adapté, organiser des services d'entretien efficaces tout en visant à terme à la prise en charge de la maintenance par les usagers eux-mêmes.

b) pour les constructeurs et les organismes de financement : développer les recherches, les mises au point et les expérimentations dans le but de construire des matériels fiables, peu coûteux et d'entretien aisé.

2°) Conception et organisation de l'entretien :

L'entretien des pompes est la pierre angulaire de toute politique d'équipement des villages par forage. S'il ne peut être assuré, mieux vaut construire des puits de grand diamètre.

Le coût annuel de maintenance peut être évalué en première approximation à 50.000 F par point d'eau, plus 10 à 30.000 F de provision pour le renouvellement de la pompe.

Les difficultés sont multiples, au niveau de la conception et du financement, au niveau de l'organisation et au niveau de l'exécution quotidienne. L'organisation souhaitable dépend à la fois du rôle que les villageois sont prêts à jouer et des sujétions afférentes au type de pompe (fréquence des visites, matériel nécessaire, etc...), sans parler de la répartition des pompes sur le terrain et d'autres facteurs moins importants.

3°) Points faibles des pompes classiques :

Ce sont essentiellement les axes, les segments d'étanchéité du piston, les guides de tiges et les valves. La qualité du forage et celle du montage de la pompe ont une grande importance.

4°) Critères de sélection des pompes :

Il faut citer les performances, l'accueil par la population, la robustesse, la fiabilité, la simplicité, la légèreté, la sécurité d'approvisionnement en pièces de rechange et le coût. Mais suivant leurs ressources, certains états peuvent avoir intérêt à accroître l'investissement pour diminuer le coût de maintenance, d'autres à prendre en considération le prix de revient effectif, c'est-à-dire le coût réel à long terme tout compris, compte tenu des conditions propres à assurer le fonctionnement permanent de la quasi totalité des pompes installées.

Le prix de revient effectif est en tous cas le critère majeur pour classer les pompes les unes par rapport aux autres. Mais seule la répétition d'expérimentations comparatives de grande ampleur, menées sur le terrain avec rigueur et suffisamment longtemps, pourra permettre de parvenir à cet élément de jugement essentiel.

B. Les différents types de pompes (1)

1°) Généralités :

Une pompe à main se compose des éléments suivants :

- un système de pompage immergé (2) ;
- un système de transmission de l'énergie vers le bas et de l'eau vers le haut ;
- une superstructure comprenant un système de commande.

L'énergie humaine permet théoriquement de pomper 2 m³/h à 10 m et 480 l/h à 80 m. En fait, rares sont les pompes qui permettent d'exploiter l'eau au-delà de 50 m de profondeur. Par ailleurs, le débit pratique (sur plusieurs heures) d'une pompe à main ne dépasse guère 700 l/h, quelle que soit la profondeur de l'eau.

Une série de tableaux et de figures (p. 148-157) présente les caractéristiques de 29 pompes différentes : ils indiquent notamment l'adresse du constructeur, ainsi que le poids et le prix pour 30 m de profondeur, chaque fois qu'ils sont connus.

(1) cf. F.E. Mc JUNKIN : "Handpumps for use in drinking water supplies in developing countries" I.R.C.C.W.A. La Haye 1977.

(2) Nous ne prenons pas en considération ici les pompes aspirantes.

2°) Les pompes à piston

a) La plupart des pompes existant sur le marché sont des pompes classiques à piston, commandées par levier, avec transmission par tringlerie placée dans l'axe de la colonne de refoulement.

Poids : 250 kg environ pour 30 m, dont 50 à 80 kg pour la pompe seule, le reste pour la transmission.

Prix moyen : 150.000 F.CFA pour 30 m.

Le diamètre du cylindre, généralement en laiton, doit être adapté à la profondeur de l'eau.

Les systèmes de commande répondent à 8 types différents, suivant le nombre d'axes et les articulations existant entre le levier et la tringlerie.

La tringlerie peut être remplacée par un câble, ce qui permet parfois de supprimer la colonne de refoulement.

b) Une variante est l'entraînement par volant à manivelles, qui conduit à des pompes de plus grande longévité mais dont le poids atteint souvent 500 kg et le prix 4 à 500.000 F (pour 30 m).

3°) Amélioration des types existants et création de nouveaux modèles.

Des recherches ont été menées dans le cadre de différents projets et par divers constructeurs, en vue d'accroître la robustesse des pompes, de simplifier le mécanisme de commande, de diminuer le poids, de réduire les frottements ou de faciliter la maintenance. Les différents organes des pompes ont été étudiés en détail et de nouveaux matériaux et organes (roulements par exemple) ont été testés et mis au point. Un facteur limitant est évidemment le prix de revient.

Ces recherches ont conduit à un certain nombre de nouveaux modèles de pompes faisant appel à des dispositifs tels que la transmission hydraulique, l'effet de dilatation et de compression d'une enceinte élastique, le pompage au pied, la suppression de la tringlerie, etc...

Le coût de ces pompes est du même ordre que celui des pompes à piston classiques. Certaines semblent ouvrir des voies prometteuses.

CHAPITRE 1

SITUATION DU PROBLEME POSE LES CONTRAINTES HYDROGEOLOGIQUES ET LES AUTRES

Pour bien situer le problème posé, il importe d'analyser les facteurs d'ordre hydrogéologique et leurs implications sur l'équipement, mais aussi leurs limites et leur place parmi les facteurs d'autre nature.

Pour commencer, il est indispensable d'envisager les finalités des programmes d'équipement d'une part, les caractéristiques d'un bon point d'eau villageois d'autre part.

1.1. BUTS ET CONDITIONS DE REUSSITE DES PROGRAMMES D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

1.1.1. Si l'on se place dans une perspective de long terme, on peut assigner comme conditions de réussite d'un programme de création de points d'eau (comme d'ailleurs de toute opération de développement) :

a) que la plus-value dégagée par cet équipement en permette l'entretien et, si possible le renouvellement,

b) que le mouvement créé de l'extérieur, par l'Administration et les organismes financiers, soit progressivement relayé par l'initiative des collectivités et des individus.

En pratique, il est d'observation courante, au moins en Afrique de l'Ouest, qu'un programme de points d'eau, même réussi, s'il diminue la peine des usagers, ne se traduit guère, au moins à court terme, que par un gain de bien-être, et non un gain de production.

Aussi, plus prosaïquement, les 2 critères essentiels de réussite d'un programme d'équipement hydraulique villageois sont-ils, dans l'ordre :

a) que les ouvrages soient utilisés ; nous n'osons pas dire "utilisés exclusivement" car dans la plupart des cas, il y a utilisation partagée du point d'eau "moderne" et des anciens points d'eau, souvent malsains ;

b) qu'ils soient entretenus ; nous n'osons pas dire "entretenus par les intéressés eux-mêmes", car l'expérience montre que sans l'intervention d'un service technique constitué par l'Administration, l'entretien n'est pratiquement jamais effectué.

Il faudrait ajouter un 3ème critère : que les charges récurrentes ne soient pas trop élevées ; nous n'osons pas dire "qu'elles soient supportables et supportées par les utilisateurs", car rares sont les cas où les villageois les acquittent directement ; il s'agit plutôt d'impôts ou de péréquations (1).

1.1.2. En ce qui concerne les buts essentiels que l'on peut assigner aux programmes d'hydraulique villageoise, on peut en citer 2 principaux, à dire vrai interdépendants :

a) Augmenter la quantité d'eau facilement exploitable (sinon effectivement consommée) et ceci essentiellement en réduisant la distance entre les habitations et le point d'eau.

b) Améliorer la qualité des eaux de consommation par la création de points d'eau isolés des sources de pollution, le forage en étant la forme la plus évoluée.

L'expérience montre d'ailleurs que cette mesure ne suffit pas, en général, pour enrayer les maladies hydriques, que l'eau soit polluée entre le puisage et la consommation ou que des points d'eau malsains restent utilisés en même temps (2).

(1) Rappeler ces critères semble enfoncer des portes ouvertes. Il n'y aurait sans doute pas lieu de le faire si les actions de développement étaient globales et élaborées avec la population. Mais du fait qu'elles sont "sectorisées" et technocratiques par la force des choses, leurs résultats restent souvent problématiques.

(2) Une 3ème finalité, occasionnelle celle-là, mérite d'être citée : la restructuration de l'habitat que peuvent permettre certains programmes.

1.1.3. En fait, le problème qualité - quantité - utilisation se déplace lorsqu'on passe des pays arides aux pays à forte pluviosité et à cours d'eau permanents :

- dans les premiers, au mode de vie pastoral, qui sont généralement les plus démunis, le problème est essentiellement quantitatif : créer de nombreux points d'eau avec un débit suffisant pour bêtes et gens, afin de remplacer ou de compléter des puits traditionnels d'une technique déjà élaborée. Ces points d'eau sont toujours utilisés (1) car il n'y a pas d'alternative.

- dans les pays bien arrosés, c'est le plus souvent un problème de qualité, mais de nouveaux puits, entrant en concurrence avec le "marigot" (eau courante ou puisards), risquent de n'être utilisés que dans les contextes d'évolution dynamique et lorsqu'ils offrent des avantages substantiels par rapport aux solutions traditionnelles. Dans ces régions, les risques d'échecs sont très importants et la prise en charge des nouveaux points d'eau par la population demande un ensemble de conditions bien rarement réalisé.

1.2. QU'EST-CE QU'UN POINT D'EAU VILLAGEOIS ?

1.2.1. Orientation souhaitable

En 1978, le problème de l'équipement hydraulique villageois est de rapprocher au maximum la fourniture de l'eau des paysans, y compris dans les zones d'habitat dispersé. Il s'agit de créer dans l'ensemble des pays A.C.P. des points d'eau faciles à exploiter et à entretenir, par dizaine de milliers.

Le point d'eau villageois est par conséquent un ouvrage de petit débit. L'idéal serait qu'il soit assez simple pour pouvoir être construit par (ou avec) les utilisateurs, ou assez peu coûteux pour que ceux-ci puissent le faire construire.

(1) *sauf toutefois en cas de désorganisation avancée de l'économie pastorale traditionnelle.*

1.2.2. Point d'eau standard

a) En pratique, la plupart des programmes d'équipement systématique au moins dans les régions de socle qui, comme on le verra, constituent la plus grande partie des zones étudiées, visent la construction d'un point d'eau pour 250 à 300 habitants.

Cette norme correspond essentiellement à la capacité pratique d'exhaure à la pompe à main : de l'ordre de 500 à 600 l/heure ; ce débit exploité 10 heures par jour, permet d'alimenter 250 à 300 personnes à raison de 20 l/jour (1).

De plus, en pays d'habitat dispersé, les distances de parcours restent généralement modérées à l'intérieur d'un ensemble de 300 personnes.

b) En pays pastoral sahélien (Niger), le point d'eau standard est le puits de 3 à 5 m³/h, débit exploitable par 5 à 10 personnes puisant simultanément, ou à l'aide de la traction animale avec plusieurs poulies, même lorsque le niveau de l'eau est profond (plus de 30 m et souvent plus de 50 m). Ce type d'exhaure est pratiqué jusqu'à 80 m, voire 100 m de profondeur.

c) L'exhaure par pompe à moteur constitue un stade radicalement différent, que les projets d'hydraulique villageoise doivent éviter chaque fois que possible, compte tenu du niveau de développement de la plupart des états, à cause des charges financières et des difficultés pratiques présentées par l'entretien.

Les 2 causes qui contraignent à exploiter par moto-pompe sont :

- une profondeur du niveau d'eau en exploitation entraînant un rendement trop médiocre de l'exhaure à main : au delà de 40 m pour les pompes courantes, 60 m pour les hydromotrices, 80 m environ pour le puisage traditionnel des pasteurs sahéliens ;

- une profondeur du gîte aquifère (elle peut atteindre 5 à 600 mètres) telle que le coût du forage ne puisse être rentabilisé qu'en exploitant et en distribuant des débits importants.

(1) La capacité théorique (ou instantanée) d'une pompe à main, compte tenu de la force humaine et du rendement mécanique, est beaucoup plus élevée lorsque l'eau se trouve à faible profondeur. En pratique, la perte de rendement due à l'inégalité des forces des utilisateurs successifs, et les temps morts ramènent le débit d'exploitation à cet ordre de grandeur, à l'échelle de la journée, sauf cas de grande pénurie, entraînant un pompage forcé.

1.2.3. Conséquences hydrogéologiques et technologiques

a) Le point d'eau villageois-type étant en principe un point d'eau à petit débit, il est presque toujours possible d'en créer un à proximité de tout village, même lorsque les conditions hydrogéologiques sont médiocres. Correctement exploitées, les formations du socle, en particulier, formations qui ne se prêtent ni à l'irrigation, ni à la desserte des agglomérations importantes, offrent de bonnes conditions pour la création des points d'eau villageois.

Par ailleurs, il n'y a jamais (sauf exception locale) de risque de surexploitation des nappes, dans un type d'exploitation aussi décentralisé.

b) Paradoxalement, les grandes nappes puissantes ne sont pas toujours celles qui conviennent le mieux : de petits niveaux aquifères superficiels localisés sont beaucoup mieux adaptés que ces grandes nappes lorsqu'elles sont profondes (1). On peut donc craindre que des programmes systématiques fondés sur des données trop générales négligent des solutions localement bien préférables.

c) Le souci de l'allègement du prix de revient, de la robustesse des installations, de la prise en charge par la population du maximum d'opérations de construction et d'entretien, milite non seulement pour l'exploitation des aquifères les moins profonds, mais aussi en faveur d'une recherche accrue dans le sens de la simplification technique (notamment pour l'exhaure).

Néanmoins il faut se garder de dépasser les limites au-delà desquelles les effets de la simplification deviennent illusoires, puis néfastes ; les exemples sont fréquents :

- inadaptation des puits simplifiés conçus pour le "self-help" en Haute-Volta dans les années 60, ou de ceux que réalisent trop souvent les organisations fondées sur le bénévolat.

- non utilisation de puits "modernes" implantés à côté de puisards traditionnels (marigots) qui sont destinés à les remplacer, etc...

Enfin l'adaptation aux conditions locales se heurte à la nécessité de concevoir des programmes systématiques et standardisés afin d'abaisser les prix.

(1) Cette remarque met en évidence la difficulté de cartographier à petite échelle les aquifères les mieux adaptés à l'hydraulique villageoise, d'autant plus que les aquifères bien connus et décrits dans la littérature sont évidemment les plus productifs et les plus vastes.

1.3. LES PARAMETRES HYDROGEOLOGIQUES ET LEURS CONSEQUENCES POUR L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE.

Ce qui précède nous amène à passer rapidement en revue les paramètres hydrogéologiques essentiels pour l'hydraulique villageoise.

1.3.1. La profondeur du niveau de l'eau (plus précisément du niveau en exploitation) par rapport au sol est le plus fondamental. Elle conditionne directement :

- le coût d'investissement, qui lui est plus ou moins proportionnel ; au-delà d'une certaine profondeur, le puits ne peut plus rivaliser avec le forage.

- la capacité d'exhaure à la main. Au-delà d'un certain seuil de profondeur (page 32), il faut passer à l'exhaure par pompe mécanique et la conception de l'aménagement d'hydraulique villageoise est profondément modifiée.

Il faut citer ensuite :

1.3.2. Les caractéristiques mécaniques du terrain ; aux deux extrêmes :

- les roches de grande dureté, qui exigent des moyens de fonçage (explosif) ou de forage (marteau) puissants, mais donnent en revanche des ouvrages d'une tenue parfaite et d'une longévité assurée (1).

- les terrains bouillants (sables fins, argiles sableuses) qui entraînent à la fois des difficultés de fonçage et de tenue de l'ouvrage, avec un risque de colmatage ultérieur du captage.

Dans ces 2 cas-limites, les techniques de forage s'imposent le plus souvent par rapport aux puits à main. Entre les deux, le choix reste ouvert en fonction des autres paramètres.

1.3.3. La perméabilité du terrain joue un rôle relativement secondaire pour l'hydraulique villageoise, étant donné les faibles débits nécessaires. Mais elle joue sur la profondeur à donner aux ouvrages :

(1) Nous employons les termes : fonçage, pour le creusement des puits de grand diamètre; forage, pour les forages mécaniques de petit diamètre.

l'eau est atteinte à faible profondeur dans les formations peu perméables, où la surface piézométrique suit la surface du sol ; inversement, une faible perméabilité rend nécessaire de donner à l'ouvrage une hauteur de captage importante, et provoque un fort rabattement du niveau en exploitation.

De plus, les terrains de faible perméabilité subissent d'importantes fluctuations piézométriques saisonnières et interannuelles, de sorte que les forages, qui pénètrent plus profondément dans la nappe, y présentent un grand avantage sur les puits. On l'a bien vu lors des grandes sécheresses du Sahel, où de nombreux puits, même bien conçus, mais en fonction de conditions normales, se sont asséchés dans les régions de socle, alors que les forages n'étaient pratiquement pas affectés. Par contre, les grandes nappes sédimentaires sont, sauf particularités locales, beaucoup moins tributaires des variations d'alimentation, et les fluctuations piézométriques y sont habituellement faibles.

1.3.4. La division maintenant classique, mais assez arbitraire, entre "aquifères continus" offrant des conditions homogènes et régulières latéralement et verticalement, et "aquifères discontinus" dans lesquels seules les zones altérées et les fissures donnent de l'eau (sans parler des caractères particuliers des roches carbonatées et des laves récentes), est relativement secondaire par rapport aux critères précédents, sauf en ce qui concerne les études préliminaires, comme on le verra plus loin. Il est à noter que les aquifères discontinus sont contenus dans des roches dures ou compactes, mais altérables.

1.3.5. Aquifères captifs

Il faut préciser que tout ce qui a été dit jusqu'à présent se rapporte aux aquifères à surface libre, et il va de soi que la nappe phréatique (c'est-à-dire la plus superficielle) est dans 9 cas sur 10 la plus intéressante à mettre en oeuvre pour l'hydraulique villageoise.

Néanmoins, dans certaines zones, le seul aquifère utilisable se trouve en position captive sous une couche imperméable. Il faut donc traverser cette couche et pénétrer dans les niveaux perméables, parfois très profonds, pour obtenir l'eau, mais celle-ci remonte naturellement à une cote plus ou moins élevée, en fonction de sa pression au point de forage : dans les conditions les plus favorables, elle jaillit (nappes artésiennes). Lorsqu'elle s'équilibre à une profondeur modérée, on peut accoler au forage un "contre-puits" en communication avec lui, afin d'éviter la pose d'une pompe et de permettre le puisage à la main (régions sahéliennes). Ce genre d'ouvrage étant très onéreux, il faut s'assurer auparavant qu'aucune autre nappe n'offre de meilleures conditions d'exploitation.

1.3.6. L'aquifère idéal pour créer des points d'eau villageois est par conséquent un aquifère :

- peu profond
- contenu dans un terrain :
 - a) de bonne tenue mécanique
 - b) doué d'une perméabilité d'au moins 10^{-4} m/sec.
 - c) assez homogène
- sans fluctuation naturelle.

Un bon exemple est fourni par certains grès continentaux tendres, assez répandus en Afrique de l'Ouest dans les formations dites "Continental Intercalaire" ou "Continental Terminal", dans les zones où l'eau est proche du sol.

Mais ces conditions, très favorables aux puits à main, sont rarement toutes réunies.

On voit clairement en conclusion que les paramètres hydrogéologiques de loin le plus déterminants pour l'équipement villageois sont la profondeur du niveau de la nappe et celle du gîte aquifère (nappes captives). A grande profondeur, on est condamné aux forages et à l'exhaure mécanisée, c'est-à-dire à des conditions d'exploitation onéreuses et contraignantes.

1.4. AUTRES PARAMETRES - LIMITES DES CONTRAINTES HYDROGEOLOGIQUES

Si certaines conditions ou ensembles de conditions hydrogéologiques déterminent de façon pratiquement absolue le type d'ouvrage d'exploitation, le type de matériel de forage ou le moyen d'exhaure à retenir, dans la plupart des cas le contexte hydrogéologique laisse une plus ou moins grande latitude de choix, et ce sont des paramètres d'autre nature qui permettent de trancher.

Aussi est-il utile de rappeler brièvement les plus importants de ces autres paramètres.

1.4.1. Contraintes d'origine physique, autres qu'hydrogéologiques

a) Les effets du climat sur l'abondance ou la rareté des eaux de surface et l'alimentation des nappes souterraines, sur le mode de vie et par conséquent les besoins (pasteurs et agriculteurs) ont, cela va de soi, une importance déterminante sur les modes d'équipement et leur utilisation.

Il faut cependant insister sur le fait qu'en l'absence d'un travail en profondeur dans le cadre d'une action de développement intégrée, les ouvrages modernes construits dans les villages ne sont habituellement utilisés que pendant la période de tarissement des eaux de surface ou des puisards, de sorte que dans les régions pluvieuses ces équipements ne peuvent souvent être rentabilisés que sur quelques mois d'utilisation par an. Ce fait, trop peu pris en considération, met également l'accent sur l'importance de facteurs sociologiques (il indique également la relativité des évaluations du coût de l'eau, cf. 4.3.).

Deux éléments climatiques, jusqu'à présent très peu mis à profit : le rayonnement solaire d'une part, le vent d'autre part, ont sans doute, en tant que sources d'énergie, et d'une énergie décentralisée, un rôle d'avenir essentiel à jouer dans l'exhaure des points d'eau villageois, équipements décentralisés. La baisse des coûts qui ne manquera pas de se produire si la recherche est activement stimulée doit permettre un jour de généraliser dans les zones favorables l'exhaure solaire ou éolienne dans des nappes profondes fort difficiles à exploiter aujourd'hui au bénéfice des villages.

b) Le relief et ses implications sur la forme et la localisation des ressources aquifères (sources d'altitude, nappes de fond de vallée) par rapport à un habitat souvent dispersé à des altitudes très diverses (secteurs montagneux très peuplés de la région des Grands Lacs, îles volcaniques) fait que les conditions de desserte en eau des zones montagneuses d'Afrique (sinon les zones de hauts plateaux) sont très différentes de celles des régions de plaine qui forment l'essentiel du continent, et notamment de l'Ouest Africain.

Dans les montagnes, le système des "standpipes", adductions gravitaires de sources avec des robinets échelonnés sur la conduite, a été largement développé, alors qu'il n'est pas concevable en plaine, sauf parfois dans les zones d'habitat très dense.

c) Il est inutile d'insister sur la situation géographique des secteurs à équiper par rapport aux ports et aux grands axes de communication. Dans les zones reculées, le coût des aménagements et les difficultés d'entretien s'accroissent de telle manière que les équipements et matériels se doivent d'être rustiques et qu'il est généralement indispensable, en l'absence d'entreprises proches, de créer des offices nationaux pour la construction et l'entretien des ouvrages, comme c'est le cas au Soudan, au Tchad et au Niger.

1.4.2. Contraintes d'origine socioéconomiques

Les conditions socioéconomiques sont toutes plus ou moins interdépendantes. On peut toutefois distinguer, en ce qui concerne l'hydraulique villageoise :

a) Facteurs historiques et traditionnels

- La structure de l'habitat a une grande importance. En zone d'habitat dispersé, notamment, il serait souhaitable de multiplier au maximum les points d'eau, ce qui n'est possible que dans des aquifères particulièrement faciles à exploiter. Ces zones exigent des études préliminaires d'implantation beaucoup plus approfondies que dans les zones d'habitat groupé, afin de situer de manière optimale les ouvrages par rapport aux utilisateurs.

- L'existence de techniques traditionnelles de fonçage de puits ou d'exhaure, parfois perfectionnées, comme dans les régions sahéliennes, constituent une raison déterminante d'équiper par puits, alors qu'un tel équipement pourrait rester inutilisé en d'autres régions.

Toutefois, l'héritage de la tradition est difficile à valoriser.

- L'existence de structures coopératives ou d'un artisanat permet d'organiser avec beaucoup plus de chance de succès la participation des villages aux travaux ainsi que l'entretien des ouvrages ou des organes d'exhaure.

b) Facteurs économiques et état de développement

Il va de soi que les pays qui ont des moyens financiers importants et un développement dynamique peuvent se permettre des solutions techniques beaucoup plus élaborées que les autres. C'est par exemple le cas de la Côte d'Ivoire, où le financement du plan d'équipement hydraulique villageoise repose essentiellement sur les plus-values dégagées par la distribution de l'eau dans les villes, et où l'entretien des pompes est assuré dans tous les villages du pays par une société concessionnaire. Ce système ne serait sans doute reproductible que dans peu de pays africains.

Il faudrait encore citer la présence ou l'absence d'entreprises de travaux (de forage notamment), l'esprit d'entreprise, l'existence d'organes institutionnels spécialisés, les priorités politiques (1), etc...

c) Impératifs sanitaires

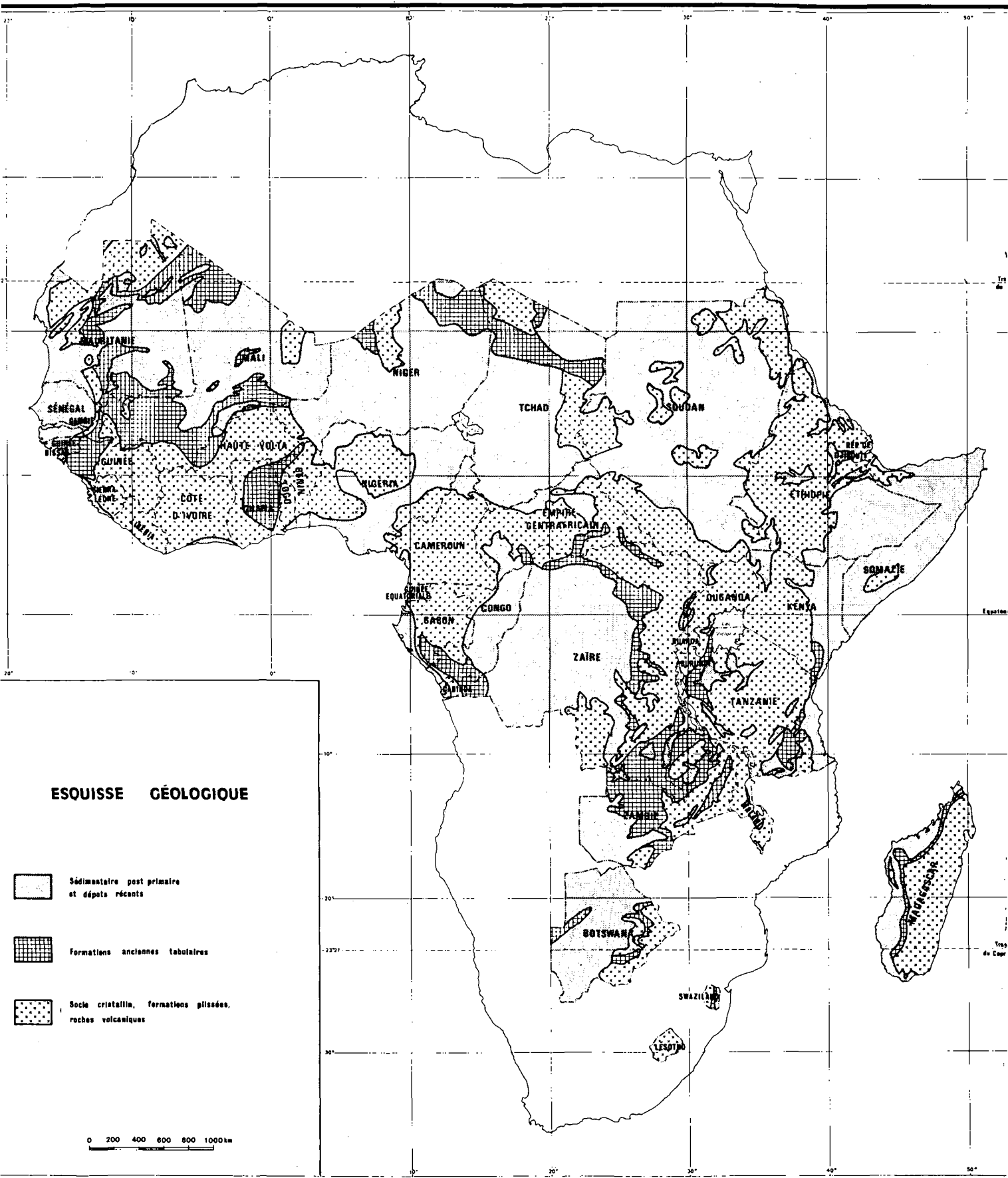
Si le puits maçonné ou cimenté constitue, grâce à sa margelle et à son anti-bourbier notamment, un progrès important par rapport aux meilleurs puits traditionnels, la pollution provoquée par le puisage (surtout à traction animale) reste considérable dans un puits ouvert.

L'étape suivante (non valable dans les régions d'élevage) consiste à fermer le puits et à le munir d'une pompe à main. Mais on introduit ainsi une stricte limitation du débit d'exhaure et des problèmes d'entretien d'une nature nouvelle. Sauf lorsqu'elles sont menées dans le cadre d'une politique systématique (Côte d'Ivoire) les expériences de cet ordre se révèlent souvent négatives.




La seule solution vraiment correcte du point de vue de l'hygiène réside dans le forage, dans lequel on peut même isoler par cimentation, en cas de nécessité, les horizons superficiels du terrain lorsqu'ils sont pollués.

Mais instaurer une politique d'équipement par forage exige un minimum de réceptivité de la part de la population à cette formule et surtout la maîtrise de l'entretien des pompes. C'est un des problèmes les plus fondamentaux que pose actuellement l'équipement hydraulique des villages en Afrique.

(1) *En Tanzanie, le regroupement en villages "Ujama" de 1500 habitants doit faciliter considérablement la desserte en eau par forage équipés de moto-pompes.*



ESQUISSE GÉOLOGIQUE

-  Sédimentaire post primaire et dépôts récents
-  Formations anciennes tabulaires
-  Socle cristallin, formations plissées, roches volcaniques

0 200 400 600 800 1000km

CHAPITRE 2

LES ZONES HYDROGEOLOGIQUES ET

LEUR INTERET POUR L'ALIMENTATION EN EAU DES VILLAGES

Le cadre assigné au présent ouvrage n'ayant pas permis d'y intégrer une étude des aquifères utilisables dans les états considérés (1), et de leur intérêt pour la création de points d'eau villageois, le présent chapitre a du être réduit au strict minimum : il se limite à deux objectifs :

- Définir les bases d'une cartographie de l'aptitude des formations géologiques à l'hydraulique villageoise

- Esquisser, dans le but de faciliter la compréhension du texte, les caractères généraux des principales catégories d'aquifères existant dans les états intéressés.

2.1. BASES D'UNE CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE DES AQUIFERES A L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

2.1.1. Données générales

Le but de telles cartes, qui devraient être entreprises pays par pays, serait de permettre une rationalisation des choix en matière de création de points d'eaux ruraux.

L'établissement de ce type de document exige une démarche d'esprit différente de celle qui préside à la réalisation des cartes hydrogéologiques habituelles. En effet, classiquement on recherche et on étudie les aquifères en fonction de leur productivité, dans le but d'extraire des quantités et des

(1) Cette étude a été réalisée par ailleurs.

débits élevés (irrigation, industrie, villes).

Dans ce cas, les installations sont rentabilisées par l'importance des débits unitaires, des débits de l'ordre du m³/h étant négligés.

Pour l'hydraulique villageoise au contraire, l'ordre des valeurs est renversé et des aquifères tels que ceux du socle cristallin passent au premier rang, leur modeste perméabilité, qui les pénalise normalement, ayant précisément pour contrepartie la faible profondeur de l'eau, ce qui présente un intérêt essentiel pour les villages, puisqu'elle permet de l'extraire à la main.

Lorsqu'il existe plusieurs niveaux aquifères superposés, c'est le premier (nappe phréatique), fut-il local, qui doit en général être préféré.⁽¹⁾

2.1.2. Principes d'une cartographie rationnelle

Les critères à prendre en considération et à représenter ont été indiqués au chapitre 1 :

a) La profondeur de l'eau en exploitation est le principal, et conduit à distinguer deux domaines fondamentalement différents pour l'équipement :

a1) Les zones où l'exploitation est possible à la main par puisage ou pompage, l'eau y étant à moins de 50 m de profondeur (avec les nuances indiquées p. 32); l'extension de ce domaine est heureusement prépondérante. On y trouve notamment l'essentiel du "socle" et des "terrains anciens".

(1) Ceci n'est évidemment pas particulier à l'Afrique. L'implantation des "puits de ferme" dans les nappes phréatiques d'Europe ne doit rien aux grands aquifères.

a2) Les zones où, le niveau de l'eau étant trop profond, l'équipement des ouvrages avec une motopompe est indispensable.

Doivent être figurés de plus, à ce niveau, les aires où des nappes captives, nécessitant des ouvrages profonds et onéreux sont seules exploitables.

b) La distinction suivante, à figurer à l'intérieur de chacun des deux domaines précédents, concerne la dureté de la roche, qui conditionne notamment la technique de l'ouvrage et son coût.

a1-b1) Dans le premier domaine (niveau piézométrique peu profond), les zones de roche dure (essentiellement le socle cristallin et les "terrains anciens") sont celles où l'on peut reproduire en grand nombre, par sondage au marteau fond-de-trou, le forage de 30 à 50 m équipé d'une pompe à main et capable de desservir 300 personnes, que nous appelons plus loin "forage unité" (4.1.1.2.).

Une deuxième subdivision distinguera, à l'intérieur de ce groupe les secteurs où des études préliminaires détaillées doivent être effectuées, des secteurs où l'implantation peut être faite très rapidement avec des chances suffisantes de succès.

a1-b2) Les zones de roche tendre par contre, sont le domaine des forages au battage, mais des puits peuvent également y être réalisés sans grand problème. A l'intérieur de ces zones doivent être distingués, si possible, les secteurs de terrain cohérent autorisant certaines méthodes de fonçage, des secteurs de terrain non cohérent (sables). Les grandes formations continentales (Continental Terminal et Intercalaire) sont de bons exemples de ce type de zone).

a2-b1) Les zones de roche dure à niveau profond (dolomies, basaltes, par exemple, dans certaines positions topographiques) ne peuvent être exploitées que par sondage (de 80 à 200 m) au marteau fond-de-trou, équipé de motopompe, ce qui revient extrêmement cher pour un village moyen.

a2-b2) Dans les roches tendres (sables, grès tendres), il peut s'agir soit de nappes libres à niveau profond (certaines zones de CI ou de CT) plus rarement de nappes captives. L'ouvrage adapté est le forage au rotary classique.

Autres figurés

D'autres éléments ayant une grande importance pour la conception ou l'utilisation des ouvrages, doivent être également figurés, en surimpression :

- La qualité de l'eau (la charge en sels dissous peut être considérée comme prohibitive suivant les régions au-dessus de 1 à 2 g/l)
- Le relief, qui favorise la présence de sources et la profondeur des nappes
- La durée d'écoulement des marigots, qui influe sur l'utilisation effective des ouvrages
- La limite de l'habitat sédentaire ; celle de l'élevage bovin
- La structure de l'habitat (villages groupés ou hameaux dispersés)
- La densité de la population.

2.1.2.2. Echelle et détail de la représentation

Le problème de l'échelle de représentation est complexe. Il va de soi que l'on doit descendre pour traduire correctement les éléments ci-dessus, en dessous du 1/1.000.000. Mais pour certains secteurs, des échelles de l'ordre du 1/200.000, ~~ou~~ moins, peuvent être nécessaires.

Le débit recherché étant très petit, (de l'ordre de 1 m³/h) il peut exister des niveaux aquifères localisés qui conviennent mieux que les aquifères connus (plus profonds) et aient échappé aux investigations hydrogéologiques : cuirasses latéritiques aquifères, nappes perchées, etc...

Dans les zones où les ressources inventoriées ne conviennent pas (c'est souvent le cas au milieu de bassins sédimentaires comportant des niveaux très productifs, mais nécessitant des ouvrages profonds), il importe donc de rechercher une alternative adaptée à la modicité des débits requis par les ouvrages villageois. Le problème a rarement été étudié sous cet angle jusqu'à présent; aucune carte ne figure en général ce genre de possibilité, de sorte que les programmes d'équipement systématique peuvent amener à faire des dépenses inutiles et sans rapport avec leur objectif.

Par ailleurs, on ne représenterait sur une telle carte que le niveau aquifère le mieux adapté (et non le plus productif), dans le cas d'aquifères superposés.

2.2. LES GRANDS TYPES DE FORMATIONS GEOLOGIQUES

L'esquisse géologique au 1/40.000.000 présentée page 40 regroupe en trois termes l'ensemble des formations géologiques africaines.

Nous présentons brièvement dans les lignes qui suivent les caractéristiques dominantes de ces groupes et ce qui en résulte pour l'équipement villageois.

2.2.1. Le socle précambrien

Ce sont les terrains les plus anciens du "bouclier africain". Cet ensemble, plus ou moins granitisé, et appelé complexe de base (basement complex) dans les pays anglophones, regroupe :

- des granites et des gneiss
- des formations plus ou moins métamorphiques à dominante schisteuse et quartzitique.

Ces formations, irrégulièrement aquifères suivant leur altération et leur fracturation, conviennent bien dans l'ensemble à l'hydraulique villageoise : le niveau de l'eau y est habituellement très proche du sol. Enfin ce groupe est composé de roches dures (sauf altération superficielle).

Elles occupent en Afrique des zones très vastes à des latitudes de fort peuplement (Ouest Africain, Golfe de Guinée, Afrique Orientale, du Soudan au Botswana).

On a ajouté à ce groupe les formations volcaniques, qui prennent une importance considérable dans l'Est Africain et surtout en Éthiopie. Ces roches contiennent également des ressources de fractures, abondantes dans les basaltes récents, rares dans les dolérites d'Afrique de l'Ouest et dans les laves acides. Mais le niveau de l'eau y est parfois profond.

2.2.2. Les formations infracambriennes et primaires

Constituées comme les précédentes de roches dures (grès, quartzites, et schistes essentiellement, carbonates accessoirement) contenant une nappe plus ou moins continue mais en général peu profonde, ces formations souvent tabulaires sont largement développées en Afrique de l'Ouest (grès tabulaires du Mali) et en Afrique Orientale (formation du Karoo).

D'un point de vue d'ensemble, et en négligeant les cas particuliers (forts débits dans les assises calcaires ou basaltiques, accompagnées parfois de gisements profonds, conditions spéciales des zones montagneuses, zones stériles etc...), on peut dire que les problèmes d'équipement villageois se posent dans des termes analogues dans ces deux premières catégories, que nous appelons, dans les chapitres suivants "socle au sens large" ou terrains anciens, pour les opposer aux bassins sédimentaires post-primaires, formations plus récentes dont les caractères d'ensemble sont très différents.

L'équipement villageois type de ces immenses régions est le puits à main ou le forage de 30 à 60 m équipé d'une pompe à main et les problèmes posés, et souvent non encore résolus, s'y répètent partout :

- Faut-il réaliser des puits ou des forages ?
- Comment minimiser les taux d'échec par des méthodes d'implantation appropriées ?
- Comment organiser l'équipement sur une vaste échelle ?
- Quelle pompe à main choisir ? Comment financer et organiser leur entretien ?

2.2.3. Les formations sédimentaires post-primaires et les recouvrements récents

Ces formations se différencient essentiellement des précédentes par le fait que les roches tendres (sables, grès tendres) y sont très développées, et qu'elles contiennent des aquifères continus et souvent puissants, pouvant être empilés en niveaux successifs, dont l'eau est retenue captive par les couches intermédiaires, moins perméables.

Ce n'est plus ici le domaine du marteau pneumatique mais celui du forage classique au rotary ou au battage (ou du puits).

Certaines zones de bassins sédimentaires ou de terrains anciens sont recouvertes par les grandes formations du Continental Terminal ou du Continental Intercalaire (grès de Nubie au Soudan, Kalahari en Afrique Orientale) dont la nappe permet en général l'alimentation des villages dans de bonnes conditions.

Il en est de même pour de larges étendues de formations récentes (bassin du Congo, Tchad) et d'alluvions (Nil, Niger).

En fait, on rencontre une grande diversité de cas dans le détail, et la nappe phréatique n'est pas toujours suffisamment superficielle ou d'assez bonne qualité pour pouvoir être exploitée. Or l'exploitation des aquifères plus profonds lorsqu'il en existe, peut être trop onéreuse pour les besoins villageois.

L'analyse des possibilités, conduisant à rationaliser l'équipement de villages et à minimiser les coûts, ne peut être faite que pays par pays, à une échelle suffisamment grande.

CHAPITRE 3

OPÉRATIONS CONDUISANT A L'IMPLANTATION DES OUVRAGES :

ETUDES ET RECONNAISSANCES PRELIMINAIRES

Le but essentiel du présent chapitre est de préciser la démarche à adopter et les opérations de recherche préliminaire à entreprendre dans les principaux contextes hydrogéologiques des états A.C.P. d'Afrique, afin d'implanter correctement les ouvrages de captage d'eaux souterraines destinés à l'équipement des villages.

Il faut rappeler, pour commencer, que dans presque tous les cas, des facteurs d'ordre humain ou pratique doivent également être pris en compte, faute de quoi l'ouvrage pourrait être rejeté par la population : il arrive que les critères hydrogéologiques d'implantation, qui ne traduisent souvent qu'une augmentation des chances de réussite technique, soient beaucoup moins déterminants que certaines raisons extra-techniques.

3.1. INTERET DES ETUDES PRELIMINAIRES

Il est rare aujourd'hui que les études et opérations hydrogéologiques préliminaires soient bien proportionnées aux travaux qui les suivent, certains responsables les estimant superflues alors qu'elles peuvent, dans d'autres cas, être hypertrophiées, voire servir d'alibi à l'absence de réalisation.

Si les études préalables qui s'imposent dans les bassins sédimentaires sont maintenant bien connues, et généralement mises en oeuvre, il faut reconnaître qu'il est très délicat, dans les aquifères discontinus (terrains anciens) d'apprécier l'utilité et la rentabilité des opérations préliminaires, car seules des statistiques de résultats peuvent permettre de juger. Or, il y a peu de statistiques utilisables, d'une part parce que les archives sont rares et de valeur inégale, d'autre part parce que les cas de figure sont multiples et que deux terrains différents sont rarement comparables. Il faut donc des expériences nombreuses, ayant donné lieu à des comptes-rendus précis et rigoureux.

3.1.1. Finalité et buts des études préliminaires

3.1.1.1. La finalité des études préliminaires est de réduire le prix de revient global des équipements qu'elles préparent. Il s'agit donc d'optimiser le coût de l'ensemble : études + réalisations, le problème se posant essentiellement pour les opérations ponctuelles d'implantation dans les "terrains anciens", opérations dont le montant doit évidemment demeurer inférieur à celui des échecs qu'elles permettent d'éviter ; mais la difficulté est d'évaluer le coût des échecs potentiels.

3.1.1.2. Quant aux buts des interventions préliminaires, on peut en retenir 3 principaux :

a) Identifier les formations aquifères et leurs caractéristiques, à commencer par les plus importantes :

- nature géologique, extension et limites, traits géomorphologiques éventuellement ;
- continuité ou discontinuité ;
- profondeur de l'eau par rapport au sol ;
- caractéristiques mécaniques du terrain ;
- qualité de l'eau.

On peut ainsi sélectionner l'aquifère le mieux adapté (s'il en existe plusieurs superposés), définir le type de point d'eau à créer et déterminer la suite des études à entreprendre.

b) Prévoir les caractéristiques des ouvrages à réaliser :

Une étude plus détaillée permettra de préciser, en termes moyens, ou pour chaque ouvrage :

- la profondeur totale, le diamètre, la profondeur de pénétration dans l'aquifère, la hauteur à crépiner, etc...
- le procédé de forage (ou de fonçage s'il s'agit de puits à main), le type de crépine et de filtre, etc...
- le prix de revient.

c) Prévoir les risques d'échecs et les abaisser au maximum.

3.1.2. Choix des méthodes

3.1.2.1. La description rapide des méthodes de prospection sera faite au chapitre 3.2. Il est bon, toutefois, d'en indiquer ici les fondements.

- à la base, les données géologiques et géomorphologiques, qui déterminent la nature des aquifères, doivent faire l'objet d'études sur documents (cartes géologiques et topographiques, photos aériennes, photos de satellite) et, éventuellement, de levés complémentaires sur le terrain ;

- concurremment, l'inventaire des points d'eau, plus ou moins systématique suivant les cas, permet de préciser les conditions de gisement et d'établir des cartes spécifiques ;

- les reconnaissances, par les procédés géophysiques ou/et par forages assortis d'essais de pompage ou autres, suivent s'il y a lieu.

3.1.2.2. Aquifères continus et discontinus

La méthodologie varie grandement suivant qu'on a affaire à des aquifères continus (bassins sédimentaires récents essentiellement) ou discontinus (terrains anciens).

En effet, dans les premiers, les données et mesures ponctuelles peuvent être interpolées. Elles sont donc recueillies sur tous les points où cela est possible ou nécessaire (et non en relation directe avec les sites à équiper) dans le but d'effectuer une synthèse. Lorsque cette synthèse est terminée, et si elle est assez précise, les caractéristiques des points à équiper s'en déduisent directement sans nécessiter d'étude d'implantation ponctuelle (l'examen local ne fournit d'ailleurs souvent aucune donnée utilisable, sauf la cote du sol). Dans le cas des aquifères continus, le point précis de l'implantation peut donc être choisi uniquement ou presque en fonction de critères non hydrogéologiques.

En bref, il y a, dans les terrains sédimentaires récents, un investissement d'étude à réaliser globalement au préalable, après quoi l'équipement en chaque point peut être déterminé, sauf problème particulier, sur la base des documents synthétiques qui ont été élaborés.

Tout différent est le cas des "terrains anciens" où, la production des ouvrages étant fonction des caractères ponctuels du terrain (altération, fractures), l'approche régionale et l'étude des points d'eau existants ne fournissent que des données statistiques sur les caractéristiques hydrogéologiques en un point particulier. Aussi la partie essentielle de l'étude est-elle constituée par les opérations d'implantation qui suivent : étude détaillée du site et éventuellement reconnaissance géophysique ou par sondage au point retenu.

3.1.2.3. Autres facteurs du choix des méthodes et du volume d'études préliminaires.

a) Il est exceptionnel qu'on arrive en terrain vierge : les études et reconnaissances à entreprendre sont évidemment fonction de ce qui existe déjà et, en particulier, des ouvrages en exploitation, qui fournissent des tests essentiels.

b) L'importance et la précision des investigations préliminaires dépend aussi du débit recherché : ceci est particulièrement vrai dans les terrains anciens, où le taux d'échec sans étude fine d'implantation peut par exemple passer de 10 à 50 % lorsque le débit recherché passe de 1 m³/h (village), à 5 m³/h (petit centre) : des prospections détaillées et onéreuses, inutiles dans le premier cas, s'imposeront dans le second (1).

c) Enfin, dans les terrains anciens, les reconnaissances préliminaires sont déterminées par le type d'ouvrage à construire. Par exemple, dans le cadre de l'hydraulique villageoise :

- Des sondages de reconnaissance préalables à la construction de puits seront arrêtés à la profondeur prévisible du puits, et ne donneront pas d'indication sur les niveaux plus profonds exploitables par forage.

- Les tarières à "bucket"(2) employées pour faire des puits en Côte d'Ivoire) réclament des reconnaissances préalables poussées qui leurs sont spécifiques, leur plage d'utilisation étant très étroite (formations tendres et cohérentes).

-Inversement, il n'est pas utile d'effectuer dans certains terrains, des études d'implantation détaillées pour réaliser des forages villageois en petit diamètre ; les forages sont en effet beaucoup plus "universels" et moins sensibles aux aléas du terrain que les puits.

(1) Peut-être sera-t-il en définitive préférable de réaliser 2 forages au lieu d'un pour obtenir les 5 m³/h recherchés.

(2) Bucket : godet cylindrique rotatif à lame hélicoïdale.

3.2. APERCU DES METHODES ET TECHNIQUES DE RECHERCHE HYDROGEOLOGIQUE

3.2.1. Méthodes d'approche générales et régionales

Elles permettent d'identifier les aquifères et leurs limites, et de reconnaître leurs caractères et leurs structures d'ensemble.

3.2.1.1. L'étude de la carte géologique est la première opération à effectuer dans tous les cas. Les cartes, du 1/200.000 au 1/1.000.000, existant dans la plupart des états intéressés suffisent, au moins pour une première orientation. Des levés complémentaires à plus grande échelle peuvent être indispensables. Pour ce faire, la photogéologie est un auxiliaire précieux.

3.2.1.2. L'inventaire des points d'eau est la base de l'identification des aquifères et de toutes les études ultérieures : il permet de déterminer la profondeur du niveau de l'eau et la piézométrie, les qualités mécaniques et hydrauliques des terrains à traverser, le pourcentage de succès, etc... Il doit être systématique dans les formations sédimentaires, lié aux implantations dans les terrains anciens.

Le coût de cette opération est modique vis-à-vis des connaissances qu'elle apporte. Les fiches de points d'eau constituent les archives hydrogéologiques de base. Les services d'inventaire des ressources hydrauliques, généralement chargés aussi du contrôle hydrogéologique des travaux et de la conservation des données, étant des organes essentiels pour l'organisation et le suivi des projets d'aménagement, ils doivent être renforcés au maximum dans tous les états.

3.2.1.3. Les méthodes de télédétection à partir des photos prises par les satellites, méthodes dont la mise au point progresse rapidement, permettent de contrôler ou de préciser les contours géologiques, les grandes lignes tectoniques et certains traits géomorphologiques régionaux (importance de l'altération du socle par exemple). Mais elles ne permettent pas encore de travailler à l'échelle de l'implantation des ouvrages (1).

3.2.1.4. L'analyse géomorphologique des cartes topographiques est une technique extrêmement utile dans les régions de socle où les affleurements font défaut : le modèle et l'allure du réseau hydrographique permettent de préciser la lithologie et l'épaisseur des altérites et de déterminer ainsi le type d'ouvrage le mieux adapté. Cette analyse, effectuée par des spécialistes revient à environ 1 M. CFA par degré carré (soit 100 F par km²).

(1) Les clichés ERTS, d'une dimension de 50 x 50 mm sont disponibles en 7 gammes de longueurs d'onde couvrant toute la largeur du spectre (4 \$ le cliché). Ils supportent l'agrandissement au 1/500.000, et couvrent 3 degré carré. L'interprétation par traitement optique revient à 100.000 f.CFA par cliché. On peut obtenir également par traitement sur ordinateur, des bandes magnétiques, des prises de vue, des "cartes" au 1/100.000 avec amélioration de contraste et correction géométrique, mettant en évidence certains traits géomorphologiques particuliers ; coût par degré carré : environ 500.000 F.CFA.

3.2.1.5. Certains procédés géophysiques, dérivés de la prospection pétrolière ou minière, ont une grande utilité à l'échelle régionale : ils fournissent notamment des données fondamentales sur la structure des bassins sédimentaires.

Il s'agit essentiellement de la gravimétrie et de la prospection électromagnétique par avion, qui conduisent à des cartes d'anomalies, dressées dans des buts multiples, sur l'ensemble d'un territoire national, ou encore de la sismique-réflexion, qui permet de préciser la géométrie des bassins sédimentaires à grande profondeur.

Le coût élevé de ces opérations ne permet généralement pas de les mettre en oeuvre dans un but hydrogéologique exclusif.

3.2.2. Méthodes d'investigation locales ou ponctuelles

Cette seconde catégorie de méthodes sert :

- soit à reconnaître la structure de certaines zones ou limites dans les bassins sédimentaires : prospection électrique, sismique-réfraction par exemple ;

- soit à préciser les paramètres du terrain en un point caractéristique : sondages de reconnaissance, carottage électrique (logging), essais de débit ;

- soit à rechercher un point d'implantation favorable dans les aquifères discontinus : photo-interprétation, géophysique électrique ou sismique, sondages de reconnaissance.

3.2.2.1. L'étude de la couverture photographique aérienne est une des bases de l'implantation d'un point d'eau villageois dans le socle ou les terrains anciens. Indépendamment des données de tous ordres qu'elle apporte à cet égard, elle permet de repérer :

- les structures géomorphologiques locales qui conditionnent dans certaines zones climatiques l'altération ou la présence de cuirasses latéritiques (implantation des puits) ;

- les cassures et zones de broyage tectoniques qui sont, suivant le type de terrain, soit les seules zones productives (pélites infracambriennes d'Afrique de l'Ouest), soit les plus favorables.

Ces "linéaments", généralement soulignés par la végétation, doivent ensuite être retrouvés au sol et éventuellement précisés par géophysique. Dans certains cas, leur largeur ne dépasse pas le mètre.

3.2.2.2. Les principaux procédés géophysiques qui peuvent être directement appliqués à la recherche hydrogéologique sont les suivants :

a) la sismique-réfraction étudie les contrastes des vitesses de propagation d'ondes sismiques créées dans le sol et en déduit la position du contact entre 2 milieux. Cette méthode est souvent employée là où la prospection électrique, moins onéreuse, est inefficace. Elle peut être utilisée dans les terrains anciens concurremment avec elle.

Une journée d'équipe sismique complète revient actuellement à 300.000 F.CFA environ (entreprise spécialisée).

b) L'emploi de la magnétométrie, qui est peu coûteuse, complète utilement la prospection électrique lorsqu'on recherche des épanchements volcaniques liés à des zones de fracture.

c) Les méthodes électriques constituent l'essentiel de la prospection géophysique appliquée à la recherche de l'eau souterraine.

Leur principe est de mesurer la résistivité d'une tranche de terrain dans laquelle on fait passer un courant électrique. Ces résistivités jouent, suivant la nature du terrain, sur une gamme très étendue. Les sables et grès, les terrains non saturés et les roches massives et non altérées apparaissent comme résistants par rapport, respectivement, aux argiles, aux niveaux aquifères et surtout salés et aux altérites, beaucoup plus conducteurs.

Alors que les mesures sont faciles à effectuer, l'interprétation de la plupart des méthodes électriques requiert une grande spécialisation et une collaboration étroite du géophysicien avec l'hydrogéologue.

Les procédés les plus fréquemment employés sont :

- le sondage électrique, exécuté en série ou bien pour l'étalonnage du terrain lorsqu'on utilise une autre méthode, consiste à effectuer en un point une série de mesures correspondant à des profondeurs d'investigation de plus en plus élevées (électrodes d'injection de courant de plus en plus éloignées). On obtient ainsi un profil vertical de résistivité. En grande longueur de ligne (3 à 6000 m), cette technique permet d'étudier le remplissage et le substratum d'un bassin sédimentaire, par exemple. En petite longueur, on peut notamment l'employer à la recherche des zones d'altération du socle cristallin.

- Le traîné de résistivité consiste à effectuer sur une série de points alignés une mesure à profondeur d'investigation constante. On obtient ainsi un profil horizontal sur lequel se marquent les discontinuités électriques résultant des contacts entre couche, ou des fractures ou filons. Cette méthode est la plus utilisée pour l'implantation des ouvrages dans les aquifères discontinus (terrains anciens) notamment pour préciser au sol la position exacte d'une discontinuité repérée sur photo aérienne.

- La carte de résistivité, où l'on trace les courbes d'égale résistivité, est obtenue à partir d'une série de traînés.

La journée d'une équipe électrique complète (société spécialisée) revient actuellement à 250.000 F.CFA environ, interprétation comprise. Une telle équipe, bien entraînée, peut réaliser chaque jour 5 à 20 sondages électriques (S.E.) en petite longueur de ligne, ou 3 S.E. et une cinquantaine de points de traînés.

3.2.2.3. Les sondages de reconnaissance

Des avant-trous de quelques mètres préalables aux puits à main, jusqu'aux forages d'étude profonds des grands bassins sédimentaires, les sondages mécaniques apportent l'élément irremplaçable de la reconnaissance directe du terrain.

Ils constituent soit l'aboutissement d'une recherche, soit un maillon particulier d'une méthodologie complexe (bassins sédimentaires) ; dans certains cas ils peuvent être employés à l'exclusion de toute autre méthode de prospection. Dans d'autres, ces méthodes sont essentiellement destinées à en réduire le nombre. Il est parfois possible et souhaitable de les transformer, lorsqu'ils sont positifs, en forages d'exploitation.

L'objet des sondages de reconnaissance, qui coûtent cher, étant de recueillir des données, il est fondamental d'apporter le plus grand soin à l'établissement des coupes de terrain et des mesures de tous ordres qu'ils permettent, à leur archivage et à leur conservation, afin d'en tirer le maximum de profit pour les travaux qui suivront.

3.2.2.4. Investigations faites dans les sondages et les puits

Parmi ces investigations, il faut citer les suivantes :

- les diagraphies (logging) de toute nature, permettent de préciser, dans les forages rotary, les caractéristiques du terrain. Ces opérations sont effectuées par l'intermédiaire de dispositifs de mesure que l'on fait descendre dans les forages, et se traduisent par des profils graphiques (résistivité, polarisation, radioactivité, etc...).

Les paramètres mesurés permettent :

- soit de repérer exactement les niveaux auxquels doivent être posées les crépines des forages d'exploitation ;

- soit de réaliser des corrélations précises entre les formations en divers points d'un bassin.

Ces opérations concernent essentiellement les bassins sédimentaires. Elles réclament un appareillage spécial, encore trop peu répandu en dehors des recherches pétrolières.

- Les essais de débit

Les essais de débit peuvent servir à mesurer les paramètres d'une formation aquifère (perméabilité, porosité, etc...) dans le cadre d'une étude d'ensemble.

Plus généralement, ils permettent de connaître ou de prévoir le débit exploitable en un point donné, et par conséquent de savoir si l'ouvrage réalisé convient ou non à son objet.

La durée à assigner à un essai de débit dépend des objectifs poursuivis. Pour les forages dans le socle, un test de 4 heures suffit pour l'équipement par pompe à main (1 m³/h). Par contre, il faut pomper à plusieurs paliers, puis effectuer un essai à débit constant d'au minimum 24 heures et mieux 48 à 72 heures dans le cas d'un ouvrage destiné à être équipé d'une pompe électrique (production recherchée de l'ordre de 5 m³/h). Les résultats seront ensuite extrapolés à l'échelle de plusieurs mois ou de l'année.

La détermination du débit dans les puits de grand diamètre des zones de socle est beaucoup plus complexe, notamment à cause de leur faible hauteur d'eau et des fluctuations piézométriques. Une méthode nouvelle a récemment été mise au point à ce sujet dans le cadre du Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques (1).

(1) BURGEAP R.206-E.223 : "Évaluation du débit d'exploitation des puits dans les régions à substratum cristallin d'Afrique tropicale. Rapport de synthèse" (1976).

Au cours des opérations d'équipement hydraulique menées dans les villages , il est indispensable de réaliser sur chaque ouvrage un essai de débit suivant des règles correctes et identiques sur tous les points. Ces données sont en effet de la plus haute importance, non seulement pour les campagnes en question, mais pour la mise au point progressive des normes d'équipement et d'exploitation des nappes dans les zones du même type hydro-géologique.

Ceci est d'autant plus important à rappeler que les essais de débit coûtent cher et sont de ce fait trop souvent négligés.

Dans le cadre d'une campagne de petits forages villageois destinés à être équipés avec des pompes à main (1 m³/h), le coût d'un essai de débit de 4 heures à la pompe électrique est de l'ordre de 80.000 F (en Côte d'Ivoire). L'essai de 48 heures nécessité par des forages destinés à être équipés de motopompes peut être évalué, quant à lui, à plusieurs centaines de milliers de francs, ce qui est loin d'être négligeable par rapport au coût de l'ouvrage.

3.3. LES ETUDES PRELIMINAIRES DANS LES AQUIFERES SEDIMENTAIRES CONTINUS

3.3.1. Méthodologie générale

Il s'agit d'une série d'études enchaînées, reposant sur les bases géologiques et géophysiques qui ont pu être dégagées par les études d'intérêt général ou la prospection pétrolière. Commencant par une phase analytique (inventaire des points d'eau existants), elles aboutissent à une synthèse quantitative appuyée, le cas échéant, sur la simulation mathématique.

Cette méthodologie, appliquée à l'ensemble d'un bassin, et tenant compte de l'interdépendance entre aquifères superposés (systèmes multicouches) est justifiée par la recherche d'importants débits ponctuels et la perspective d'une exploitation intensive des ressources.

Elle dépasse donc de loin l'échelle des besoins villageois, et il est inutile de s'y attarder ici.

Par contre, un certain nombre de problèmes spécifiques des bassins sédimentaires intéressent directement l'hydraulique villageoise, et on doit s'attacher à les régler dès le stade de l'évaluation des projets d'équipement.

3.3.2. Choix de l'aquifère le mieux adapté

Du fait des buts et de l'esprit dans lequel sont habituellement réalisées les études préliminaires, dont profitent les projets villageois, la lumière est portée sur les aquifères les plus importants et les plus productifs, alors que ceux-ci ne sont pas nécessairement les mieux adaptés à la création de nombreux points d'eau à petit débit.

Dans les zones sédimentaires, il est donc indispensable, au niveau préliminaire, de rechercher s'il n'existe pas des nappes superficielles moins productives mais présentant des conditions pratiques et économiques d'exploitation villageoise plus favorables que celles qu'offrent les aquifères d'intérêt majeur.

3.3.3. Reconnaissance complémentaire des zones mal connues

Les études d'ensemble des bassins sédimentaires laissent couramment subsister des indéterminations locales qui doivent être levées avant de lancer des programmes d'équipement villageois dans les zones concernées : il s'agit le plus souvent de déterminer avec précision les limites de zones stériles résultant de variations de la sédimentation ou de "biseaux secs" aux limites de la nappe, ou de "biseaux salés" en bordure de la mer ou des bassins fermés (dans les régions arides).

Des profils de sondages électriques perpendiculaires aux limites présumées, calés sur quelques sondages mécaniques de reconnaissance, et éventuellement complétés par des mesures sismiques, permettent en général de résoudre ces problèmes.

La prospection électrique en grande longueur de ligne constitue d'ailleurs la méthode "au sol" la moins onéreuse pour dégrossir la structure et la nature du remplissage des bassins sédimentaires. Elle a été largement utilisée à cet effet en Afrique Occidentale (bassin sénégal-mauritanien, "détroit soudanais", etc...).

3.3.4. Nature du terrain et caractéristiques des filtres et crépines

La présence d'horizons de sables fins bouillants, difficile à traverser et surtout à capter, ou celle de niveaux indurés dans des formations sans cohérence, doit être prévue à l'avance, dans le choix des méthodes de forage.

Des problèmes de captage délicats peuvent se poser dans les terrains sédimentaires récents, nécessitant de repérer avec précision le ou les niveaux à capter et les matériels (crépines, filtres) et méthodes (développement) à employer.

En fait, ces problèmes se posent surtout pour le captages de gros débits. Néanmoins, dans tous les ouvrages exploitant des formations sans cohérence, des procédures propres à éviter le colmatage ou l'ensablement doivent être mises en oeuvre.

3.4. L'IMPLANTATION DES POINTS D'EAU VILLAGEOIS DANS LES TERRAINS ANCIENS

Rappelons que dans l'appellation "terrains anciens", ou "socle au sens large", nous rassemblons tous les "aquifères discontinus", c'est-à-dire ceux dont la production est liée exclusivement ou essentiellement à l'altération ou à la fracturation locale :

- d'une part, les roches cristallines (éruptives ou métamorphiques): granites, migmatites, gneiss, schistes cristallins ;
- d'autre part, des roches sédimentaires primaires ou antécrotacées, le plus souvent grésos-quartzitiques ou schisteuses, massives en profondeur.

Quoique localement beaucoup plus perméables, les calcaires et dolomies interstratifiés dans les formations précédentes, et également les laves peuvent être assimilés, par certains de leurs caractères, à ce type d'aquifère.

Ce qui distingue fondamentalement cet ensemble est qu'aucune corrélation autre que statistique n'est possible d'un point à l'autre et que par conséquent une étude particulière d'implantation et éventuellement une reconnaissance du terrain s'imposent sur chaque site à équiper.

Schématiquement, le problème posé est de savoir, pour chaque région individualisée, et compte tenu du débit exigé et du type d'équipement prévu, s'il est plus avantageux d'entreprendre des recherches ponctuelles systématiques ou de s'en remettre à la probabilité statistique de réussite. En fait, un minimum d'études d'implantation est toujours nécessaire, mais sa nature, son importance et ses prolongements (reconnaissance) sont à déterminer en fonction des risques d'échec.

3.4.1. Etudes préliminaires d'ensemble

Cette phase d'approche doit intervenir lors de l'évaluation du projet.

Les méthodes ont été décrites au chapitre 3.2.1., mais c'est l'analyse statistique des résultats et caractéristiques des points d'eau existants, et la géomorphologie régionale qui en sont les instruments essentiels.

L'objet de ces études est :

a) de découper le territoire en une série de secteurs présentant des conditions hydrogéologiques statistiquement homogènes, et si possible identifiables à d'autres secteurs déjà bien connus ou testés ;

b) de préciser le type d'ouvrage et le type de matériel le mieux adaptés à chaque secteur (s'ils ne sont pas imposés pour d'autres raisons) et de fixer la procédure d'implantation correspondante ;

c) d'évaluer dans chaque secteur, compte tenu du débit et du type d'ouvrage retenus, la proportion d'échecs à prévoir dans le cas où on planterait au hasard. Cette donnée fondamentale ne peut, en réalité, résulter que des expériences déjà accumulées sur la zone en question ou sur d'autres zones analogues (1).

Ceci démontre une fois de plus l'importance capitale de la qualité des mesures faites sur les ouvrages d'exploitation, de leur archivage et de leur publication, et aussi l'intérêt des évaluations et études hydrogéologiques a posteriori sur les campagnes de travaux terminés.

d) d'établir secteur par secteur un programme chiffré des études et reconnaissances ponctuelles d'une part et des travaux d'autre part.

Pour les études et reconnaissances, doivent être évalués :

- le temps à consacrer aux études "hydrogéomorphologiques" de sites,
- l'opportunité des reconnaissances géophysiques ou/et mécaniques du terrain et, si celles-ci sont décidées, leur nature exacte, leur importance et le nombre de cas où leur emploi sera nécessaire

L'évaluation des travaux reposera sur :

- le type d'ouvrage retenu,
- le taux d'échec prévisible, compte tenu de la prospection fixée,
- la profondeur moyenne à prévoir pour les ouvrages et la nature du terrain à traverser (notamment l'épaisseur moyenne d'altération) ; la profondeur maximale avant abandon du trou.

(1) Par exemple les expériences nigérianes, ghanéennes et maintenant ivoiriennes sont de la plus haute importance pour les autres états de la région, certains secteurs étant assimilables d'un état à l'autre; mais on emprunte encore beaucoup trop peu à ces résultats.

3.4.2. Etudes ponctuelles

3.4.2.1. Nature et organisation

L'étude particulière de chaque village à équiper comprend :

a) une phase, nécessaire dans tous les cas, mais plus ou moins développée, d'étude du site et de ses abords sur le terrain, avec l'aide de la photographie aérienne, dans le but de repérer le ou les points (ou zones) les plus favorables à l'intérieur d'une enveloppe déterminée par une distance maxima aux centres d'habitation. L'hydrogéologue responsable de cette étude est généralement chargé d'examiner en même temps, avec les villageois ou leurs représentants, les contraintes non hydrogéologiques, dont l'importance peut être prépondérante, et de concilier les impératifs de diverses natures.

b) des opérations éventuelles de prospection géophysique, le plus souvent électrique, sur les secteurs retenus à cet effet.

c) des opérations éventuelles de reconnaissance préalable par puits ou forage sur le ou les points d'implantation.

Dans certains cas, comme en Haute-Volta, la phase a) fait l'objet d'études régionales systématiques. Dans d'autres cas, l'ensemble des études ponctuelles sont effectuées dans le cadre et les limites des projets d'équipement villageois, soit sous forme d'une série de phases préliminaires aux travaux, soit sous forme d'une étude d'implantation comprenant éventuellement des mesures géoélectriques, les reconnaissances mécaniques étant intégrées dans les travaux proprement dits (cas d'équipement par forages).

3.4.2.2. Etude du site

En Haute-Volta, les études systématiques de sites en vue de l'équipement des villages par puits ont été intégrées de longue date dans un inventaire général des ressources hydrauliques et des besoins des villages, dont la plus grande partie est aujourd'hui terminée. Les conditions naturelles sont les suivantes :

- formations de socle : granites, gneiss et schistes ou grès-schisteux précambriens (Birrimien) ;
- habitat généralement dispersé (semis de petits hameaux) ;

- l'objectif est autant de connaître l'état des ressources et ouvrages existants, afin de déterminer l'urgence de l'équipement, que les conditions hydrogéologiques.

L'étude du village est faite sur la base des données du recensement et d'un agrandissement au 1/50.000 des photos aériennes, sur lesquelles on repère :

- l'extension des hameaux, la répartition de l'habitat, les accès, les marigots ;

- les affleurements et contacts géologiques, les traits géomorphologiques généraux ;

- les discontinuités tectoniques : failles, fractures etc...

Sur le terrain, on procède aux opérations ci-après :

- enquête auprès des villageois, sur :

. les points d'eau existants, leur production et leur utilisation
 . l'estimation des besoins et des ressources
 . les conditions pratiques et sociologiques de l'équipement, les coutumes et interdits.

- visite des points d'eau existants :

. examen des déblais de puits
 . mesure de la profondeur et des niveaux d'eau et, le cas échéant, du débit
 . enquête sur les fluctuations saisonnières et la pérennité.

- repérage au sol des anomalies ou particularités détectées sur les photos :

. identification des affleurements, des filons, des roches, des cuirasses
 . repérage de la trace au sol des accidents et de leur direction.

- repérage précis avec marquage d'arbres, piquets, bornes en ciment, du ou des emplacements proposés pour la reconnaissance ou l'exécution de l'ouvrage d'exploitation.

- définition des travaux (ou recherches géophysiques) à entreprendre.

Les données et observations recueillies font l'objet d'une fiche monographique de village accompagnée d'un croquis détaillé.

L'ensemble des documents est reproduit et publié par la préfecture, accompagné d'un rapport de synthèse et de listes des travaux à entreprendre, classés par ordre d'urgence.

Le coût de ce travail, effectué par des bureaux spécialisés étrangers, est de l'ordre de 80.000 F.CFA par village, ce qui est élevé à l'échelle de l'ensemble du pays mais modéré par rapport au prix de revient d'un ouvrage d'exploitation : 1 à 2 M. CFA.

En fait, l'intérêt d'une telle étude préliminaire dépasse de loin l'équipement hydraulique, les fiches pouvant être utilisées avec profit pour tout aménagement à entreprendre dans les villages.

Un travail aussi complet ne se justifie pas dans tous les états ni dans tous les contextes. Ramenée à ses éléments hydrogéologiques fondamentaux, l'intervention de base correspond approximativement à 1/2 journée de travail par village pour un technicien expérimenté, plus les temps de préparation et de mise au net des données. Cette intervention est pratiquement indispensable dans tous les cas.

3.4.2.3. Prospection électrique

L'étude électrique détaillée d'un village, avec reconnaissance de plusieurs sites possibles, nécessite d'établir une carte de résistivité et demande 3 à 4 jours de travail d'une équipe, soit 0,7 à 1 M.CFA (société spécialisée). Ce type d'étude est donc trop onéreux pour être souvent justifié, au moins dans les conditions moyennes du socle cristallin.

S'il s'agit par contre de repérer une discontinuité au sol, il suffit d'un à deux jours de travail : une telle intervention est parfaitement justifiée, qu'il s'agisse d'équipement par puits ou par forage, lorsque les ouvrages sont presque toujours stériles en dehors des fractures (pélites infracambriennes d'Afrique de l'Ouest, par exemple).

Certains se bornent à effectuer quelques mesures électriques au cours même de l'étude de site, dans le but d'orienter le diagnostic des points favorables ou le choix entre 2 types d'ouvrages (puits ou forage), mais il ne faut pas oublier que plus on restreint l'intervention, plus l'interprétation devient hasardeuse (1).

En ce qui concerne l'implantation des "forages-unité" (1 m³/h) dans les conditions habituelles du socle cristallin d'Afrique de l'Ouest (granite, Birrimien), l'expérience courante semble montrer que la prospection géophysique systématique ne s'y justifie pas, alors qu'elle est certainement rentable lorsqu'on recherche des points capables de débiter 5 m³/h pour les centres secondaires.

Mais il est difficile d'aller plus loin, en l'absence de données statistiques valables.

De plus, les hydrogéologues doivent reconnaître que l'interprétation des "linéaments" repérés sur photo aérienne d'une part, celle des diagrammes de résistivité, notamment ceux obtenus à partir de trainés recoupant ces discontinuités, d'autre part, mériterait un important travail de recherche dans le but d'accroître leur fiabilité. Malheureusement, de telles recherches, auxquelles devraient collaborer hydrogéologues, géophysiciens et tectoniciens, trouvent difficilement leur financement.

3.4.2.4. Reconnaissance directe du terrain

a) Cas d'une opération de puits à main

Reconnaissance préliminaire par forage

Les quelques campagnes de puits villageois réalisées dans le socle après exécution de sondages de reconnaissance plus ou moins systématiques ne semblent pas avoir donné de résultats bien supérieurs à ceux des autres opérations de puits, mais l'absence d'essais de débit valables et d'études "ex post" ne permet pas d'avancer de conclusions très sûres sur ce point. Par ailleurs, il faut préciser encore une fois que la question se pose de manière différente pour chaque zone différenciée.

(1) A noter qu'en zone granitique, la prospection électrique fournit de bons résultats dans la recherche de la base des altérites susceptibles d'être traversées par les tarières à bucket. Une telle recherche nécessite une journée de travail par site.

D'un point de vue général il faut faire les remarques suivantes à ce sujet :

- le procédé à retenir est le forage à l'air, mais compte tenu de la faible submergence, le débit de jaillissement est peu significatif. Il est donc souhaitable de réaliser un essai de pompage distinct ;
- l'extrapolation du débit d'un forage de 6" à celui d'un puits de 1,80 m n'est pas sûre ;
- le sondage doit être arrêté à la profondeur prévue pour le puits (de l'ordre de 20 m dans le cas de socle granitique). On perd ainsi toute l'information sur les niveaux sous-jacents ;
- dans le cas d'une reconnaissance préliminaire systématique, le coût est élevé alors que le forage ne peut être valorisé par la transformation en ouvrage d'exploitation.

C'est pourquoi, dans les conditions moyennes du socle cristallin, la reconnaissance préliminaire de sites de puits par forage n'est probablement pas rentable. Elle peut cependant se justifier dans certains cas, par exemple :

- à condition de transformer l'ouvrage en puits-forage : cette méthode, qui n'a encore jamais été utilisée, à notre connaissance, dans les terrains anciens, serait probablement intéressante dans certaines formations schisteuses précambriennes (Togo, Haute-Volta), très argileuses en surface et régulièrement fracturées en profondeur ; les sondages devraient être menés à plus de 50 m, les puits ayant une vingtaine de mètres (niveau statique proche du sol) ;
- dans le cas de formations très peu altérées : une recherche des axes d'altération au wagon-drill (atelier léger de perforation à l'air en petit diamètre) peut s'avérer intéressante. Mais la prospection électrique serait sans doute plus rentable encore dans un tel cas.

Reconnaissance par avant-trou

C'est le mode le plus courant de reconnaissance du terrain sur les sites prévus pour les puits, et sans aucun doute le meilleur dans les cas courants : en effet, exécutés par le village ou même par des artisans puisatiers, des puits de 5 à 15 m de profondeur et de 0,80 à 1 m de diamètre, non revêtus, et menés jusqu'à la nappe, ont un coût très bas et, s'ils ne permettent pas de tester le débit, ils permettent au moins de reconnaître le terrain immédiatement au dessus de la tranche à capter, d'éliminer une bonne part d'inconnues et de sélectionner le meilleur emplacement entre plusieurs implantations.

Ces reconnaissances doivent être faites à la saison sèche qui précède les travaux.

b) Cas d'une opération de puits à la tarière (bucket)

L'étroitesse du domaine d'application de ce matériel (aquifère tendre mais non bouillant et assez perméable à moins de 25 m) rend presque obligatoire une reconnaissance, laquelle est tout naturellement exécutée avec la tarière elle-même (en plus petit diamètre), son principal intérêt étant précisément sa rapidité en reconnaissance.

Rappelons qu'une tarière à bucket est en mesure d'exécuter 2 à 3 sondages par jour à un coût de l'ordre de 12.000 F le mètre (Côte d'Ivoire). Un trou de reconnaissance de 20 m coûte donc environ 240.000 F.

En Haute-Volta, ce matériel est parfois utilisé pour effectuer des reconnaissances préliminaires sur des sites de puits à main.

c) Cas d'une opération de forage de petit diamètre

Un des avantages du forage de petit diamètre (6 à 8") utilisé pour l'hydraulique villageoise est qu'il constitue son propre sondage de reconnaissance : il est équipé en ouvrage d'exploitation s'il débite suffisamment, abandonné dans le cas contraire, le débit pouvant être apprécié au jaillissement qui se produit au cours même de l'avancement, lorsqu'il s'agit de forage à l'air comprimé.

Sur la base de 1.800.000 F pour le forage équipé de 50 m (annexe 2) le forage stérile peut être évalué à 1.100.000 F. Un échec sur 10 correspondrait donc à une dépense supplémentaire de 120.000 F par ouvrage, et un échec sur 5 à 275.000 F par ouvrage productif.

3.4.3. Vers une "stratégie" des reconnaissances de site

3.4.3.1. Principes d'action en fonction des chances de succès

Le problème de l'opportunité, de la nature et de l'enchaînement des études et reconnaissances de sites se trouve posé à chaque opération d'équipement systématique dans les terrains anciens, de sorte qu'il y a lieu de déterminer dans chaque cas la "stratégie" qui permettra de réaliser au meilleur coût la totalité du programme fixé.

Cette stratégie dépend de la combinaison de 3 facteurs : le type de terrain auquel on a affaire (dans chaque secteur délimité au cours des études préliminaires d'ensemble), le débit minimum fixé et le type d'ouvrage d'exploitation retenu. Ces 3 facteurs déterminent toute une série de cas, se traduisant par des probabilités de réussite extrêmement variées (compte tenu de l'étude minimale d'implantation standard toujours nécessaire (cf. 3.4.2.1)).

Le plus souvent, on est conduit à employer les stratégies suivantes :

- en cas de très faibles chances de succès : reconnaissance préliminaire systématique ;
- dans les cas moyens : reconnaissance préliminaire limitée aux sites repérés au cours de l'étude d'implantation comme étant particulièrement aléatoires (la proportion de ces sites devrait normalement égaler la proportion d'échecs prévisible) ;
- en cas de très faible risque d'échec : pas de reconnaissance préliminaire ou reconnaissance exécutée a posteriori sur les sites où on a enregistré un échec, pour en éviter un second (la probabilité d'échec est en effet anormalement élevée sur ces sites).

En fait, la démarche à retenir est, bien évidemment, fonction du coût et de la nature de ce que nous appelons ici "la reconnaissance préliminaire", et qui peut être, soit une opération plus ou moins longue de prospection géophysique, soit une reconnaissance mécanique, soit les deux.

3.4.3.2. Exemples

Pour illustrer ce qui précède, nous étudierons le coût, dans divers cas, d'une opération de 100 "forages-unité" d'un prix de revient moyen de 1,8 M.CFA (1,1 MF pour un échec), avec la possibilité d'effectuer, suivant le terrain, en préliminaire :

- une étude systématique d'implantation plus poussée (+ 50.000 F par site) aboutissant à une sélection des sites à reconnaître ;
- une reconnaissance électrique de 2 jours par site (500.000 F) lorsqu'elle est systématique ou de 4 jours (1.000.000 F) lorsqu'elle est limitée aux sites difficiles, sélectionnés à l'avance.

* Terrain à 10 % d'échecs probables en l'absence de reconnaissance

On suppose que sur un point où on a enregistré un échec, parvenir au succès nécessite, en l'absence de reconnaissance électrique, un nouveau forage stérile (coût total sur un point d'échec : $1,1 + 1,1 + 1,8 = 4$ M.).

a) Implantation standard sans reconnaissance

$$\text{Coût : } 90 \times 1,8 + 10 \times 4 = \underline{202 \text{ M.}}$$

Variante : 4 jours de prospection électrique (1.000.000 F) sur chaque site d'échec, permettant d'éviter le 2ème forage stérile (1.100.000 F).

$$\text{Le coût est ramené à} = \underline{201 \text{ M.}}$$

b) 2 jours de géophysique préliminaire systématique (500.000 F) ramenant le taux d'échec de 10 à 3 %.

$$\text{Coût : } 100 \times 0,5 + 97 \times 1,8 + 3 \times 4 = \underline{237 \text{ M.}}$$

c) 4 jours de géophysique préliminaire sur 15 sites sélectionnés à l'aide d'un supplément d'étude préliminaire de site (50.000 F/site) : plus qu'un seul échec (1).

$$\text{Coût : } 100 \times 0,05 + 15 \times 1 + 99 \times 1,8 + 4 = \underline{202,2 \text{ M.}}$$

Nota : La solution a), dont le prix est voisin de c), est en fait plus intéressante car beaucoup plus facile à organiser (sondage uniquement).

* Terrain à 30 % d'échecs probables en l'absence de reconnaissance

Même hypothèse de réussite sur les sites d'échecs que précédemment (coût : 4 M.).

a) Implantation standard sans reconnaissance

$$\text{Coût : } 70 \times 1,8 + 30 \times 4 = \underline{246 \text{ M.}}$$

Variante : 4 jours de prospection électrique (1.000.000 F) sur chaque site d'échec, permettant d'éviter le 2ème forage stérile (1.100.000 F).

$$\text{Le coût est ramené à} = \underline{243 \text{ M.}}$$

(1) *pouvant résulter d'un mauvais choix des sites à étudier par géophysique ou d'insuffisance de la géophysique.*

b) 2 jours de prospection électrique préliminaire systématique (400.000 F) ramenant le taux d'échec de 30 à 10 %.

$$\text{Coût : } 100 \times 0,5 + 90 \times 1,8 + 10 \times 4 = \underline{252 \text{ M.}}$$

c) 4 jours de géophysique préliminaire (1.000.000F) sur 35 sites sélectionnés à l'aide d'un supplément d'étude de site (50.000 F) : plus que 3 échecs.

$$\text{Coût : } 100 \times 0,05 + 35 \times 1 + 97 \times 1,8 + 3 \times 4 = \underline{226,6 \text{ M.}}$$

* Terrain à 70 % d'échecs probables en l'absence de reconnaissance

On suppose que la dépense nécessaire pour parvenir à la réussite sur un site négatif au 1er tour est de 6 M. au total en l'absence de reconnaissance préliminaire.

a) Implantation standard sans reconnaissance

$$\text{Coût : } 30 \times 1,8 + 70 \times 6 = \underline{474 \text{ M.}}$$

b) 4 jours de géophysique préliminaire sur 80 sites après un supplément d'étude de site (50.000 F): plus que 10 échecs.

$$\text{Coût : } 100 \times 0,05 + 80 \times 1 + 90 \times 1,8 + 10 \times 6 = \underline{307 \text{ M.}}$$

Bien entendu les exemples ci-dessus sont donnés à titre d'illustration. Certaines des hypothèses retenues, comme le montant des travaux nécessaires pour parvenir au succès en l'absence de reconnaissance préliminaire, peuvent varier largement d'un cas à l'autre.

Etant donné la variété des choix possibles et la difficulté d'une justification objective de ces choix, une opération-test a été lancée par le Gouvernement Ivoirien dans le cadre du "Projet Coton". La création de 570 "points d'eau-unités" dans les granites et le Birrimien est précédée de procédures d'implantation diverses qui doivent permettre de mieux apprécier l'opportunité et les conditions de rentabilité des opérations de reconnaissance, et notamment de la prospection électrique.

Les méthodes-test mises au point à cette occasion pourront être étendues à d'autres terrains, mais les résultats ne pourront, quant à eux, être extrapolés qu'avec une extrême prudence.

3.4.3.3. Approche mathématique du problème

L'annexe 1 montre qu'il est assez facile de calculer le montant maximum que l'on peut affecter aux reconnaissances, dans le but d'annuler le taux d'échec à meilleur compte que par la répétition des tentatives.

Des hypothèses simplificatrices ont du être introduites mais ce genre d'étude mériterait d'être approfondie de façon à la faire coller étroitement aux cas réels.

3.4.3.4. Conditions d'application

Cette approche met bien en évidence les deux données indispensables à la détermination de la stratégie appropriée à chaque cas :

- le taux d'échec en l'absence de reconnaissance,
- le taux de succès d'une opération de reconnaissance donnée (ou le taux résiduel d'échec après reconnaissance).

Ces taux ne peuvent être évalués qu'à partir de l'analyse a posteriori des résultats des opérations d'équipement. Il faut d'ailleurs noter que ces paramètres sont difficile à déterminer : en effet, il est rare que les implantations soient faites totalement au hasard, et il est très courant que la prospection électrique, par exemple, soit réservée aux cas difficiles ; l'analyse des taux de réussite doit bien entendu en tenir compte.

Quoiqu'il en soit, nous estimons que la seule manière de progresser dans le difficile domaine de l'appréciation des études préliminaires de sites, est de procéder, état par état et opération par opération, à l'analyse des méthodes employées et des résultats obtenus. Il s'agit donc de multiplier les études hydrogéologiques "ex post", dans le but d'identifier un certain nombre de terrains caractéristiques à travers l'Afrique et d'y rationaliser les procédures préliminaires aux opérations d'hydraulique villageoise.

CHAPITRE 4

LES OUVRAGES D'EXPLOITATION

4.1. LES GRANDS TYPES D'OUVRAGES

4.1.1. Présentation

4.1.1.1. Il n'est pas douteux qu'en matière d'hydraulique villageoise l'avenir est au forage, et c'est pourquoi le présent chapitre lui est essentiellement consacré.

Mais le puits de grand diamètre ouvert, permettant le puisage à la main ou à traction animale conserve une importance capitale :

- parce que nulle part ou presque les problèmes d'entretien des pompes ne sont encore résolus ;

- parce que dans la zone d'élevage extensif (au moins celle du Nord de l'Equateur) où le puits répond à une longue tradition, cet équipement reste de loin le mieux sinon le seul vraiment adapté à l'économie pastorale ;

- parce que les charges récurrentes sont très légères.

4.1.1.2. Définition des grands types d'ouvrages

Nous présentons ci-après les types d'ouvrages les plus courants, replacés dans leur contexte hydrogéologique et technique.

La coupure déterminante est introduite par la profondeur de l'eau qui conditionne le moyen d'exhaure et sépare les ouvrages en 3 catégories essentiellement différentes du point de vue de la gestion et des charges :

a) le puits, où certains modes de puisage traditionnel restent efficaces jusqu'à 80 mètres ;

b) le forage à pompe manuelle : capacité pratique d'exhaure (celle du pompage) de 5 à 10 m³/jour lorsque la nappe se trouve à moins de 50 m de profondeur environ (1).

C'est ce type d'ouvrage, profond de 25 à 100 m, dont la demande est de loin la plus importante, s'agissant des zones de terrains anciens, les plus étendues et les plus peuplées sur l'ensemble des pays A.C.P. d'Afrique, que nous appellerons "forage unité". Il permet de desservir le "groupe unité", de 300 personnes en moyenne (250 à 400 personnes).

c) le forage à motopompe, lorsque le niveau de l'eau se trouve à plus de 50 m et que le puits ne constitue pas une solution valable.

(1) En toute rigueur, il faudrait donner, pour l'exploitation par pompe à main, une limite de profondeur du niveau de l'eau en exploitation.

Mais ,

- le rabattement (différence entre le niveau d'équilibre et le niveau en exploitation) est très variable d'un point à l'autre ;

- alors que certains types de pompe à main ne sont guère en mesure d'exploiter l'eau à plus de 40 m, d'autres conservent une production acceptable jusqu'à 60 à 70 m, et il est rare que, pour les quelques centaines de litres/heure correspondants, le rabattement excède 10 m ;

- le niveau statique n'est qu'exceptionnellement à plus de 30 m de profondeur dans le "socle" et les fortes profondeurs de l'eau correspondent généralement aux zones de bonne perméabilité, où le rabattement est faible.

Fixer à 50 m de profondeur la limite moyenne du niveau d'équilibre permettant l'utilisation de la pompe à main est donc parfaitement justifié.

La nature de la roche étant, comme on l'a vu, un paramètre important pour le choix de l'ouvrage, il faut également distinguer le cas des roches tendres et non cohérentes, très fréquent dans les aquifères sédimentaires récents, du cas des roches dures (général dans le "socle", les roches métamorphiques et le sédimentaire ancien).

Ceci nous a amené à présenter ci-après une série de "fiches" comportant des rubriques analogues et correspondant aux types d'ouvrages les plus fréquents ou les plus caractéristiques :

- puits à main avec puisage traditionnel ;
- forage "type socle" peu profond, à pompe à main, et forage en roche dure de plus de 50 m exploité par pompe à moteur ;
- forage peu profond (exhaure manuelle), forage profond (exhaure mécanisée) en terrain tendre et puits-forage, représentatifs des bassins sédimentaires récents.

Un tableau (p. 89) récapitule les éléments principaux des fiches.

Nous étudierons par ailleurs des ouvrages intéressants dans des conditions particulières, comme le puits-tarière ou certains types d'ouvrages adaptés aux nappes très superficielles.

4.1.2. PUITS A MAIN avec puisage traditionnel

A. CONDITIONS NATURELLES

- nappe libre à moins de 80 m de profondeur (1).
- formations de dureté variée sauf très dures ou très bouillantes.

Domaines hydrogéologiques d'élection :

- grès ou schistes tendres (mais non foisonnants)
- sables de bonne tenue
- altérites (frange altérée du socle)
- nappes très proches du sol (cuirasse latéritique aquifère par exemple).

B. DONNEES TECHNIQUES

Cuvelage en béton coulé en place anneau par anneau en descendant jusqu'au toit de la nappe, ou en remontant à partir du niveau de l'eau suivant la nature du terrain (variante : cuvelage havé dans les formations de mauvaise tenue).

Captage formé d'une colonne de buses perforées monolithique de plus petit diamètre, mise en place par havage (2). Gravier-filtre entre captage et terrain.

Le fonçage est effectué à la main, au marteau-piqueur, à la "benne preneuse" dans les terrains bouillants, à l'explosif sous le cuvelage en roche dure.

Variante (puits de moins de 20 m) : cuvelage captant havé depuis la surface (2). Cette technique est particulièrement intéressante dans le "socle".

Temps de construction : 1 à plusieurs mois suivant profondeur.

C. CARACTERISTIQUES

Exploitation par puisage (5 à 10 personnes en même temps).

Profondeur : 3 à 10 m en-dessous du niveau d'équilibre de la nappe (10 m nécessaires dans le socle, en général).

Diamètre le plus courant en Afrique Occidentale : cuvelage : 1,80/2 m.
captage : 1,40/1,60 m.

(1) Limite pratique actuelle ; on connaît des puits traditionnels de plus de 150 mètres.

(2) Havage : descente sous son propre poids d'une colonne à l'intérieur de laquelle le terrain est excavé.

Vulnérabilité : risque de sous-cavage et d'effondrement en terrain bouillant, d'ensablement dans les formations à granulométrie fine. Risque d'assèchement dans le socle lors des grandes sécheresses.

Entretien régulier nécessaire (systématiquement tous les 3 ans au Niger).

D. COÛT ET CHARGES

Coût très variable suivant les états.

De 60 à 80.000 francs le mètre au Niger et en Haute-Volta (1), soit :

- puits "type socle" (20 m) : 1.200.000 à 1.600.000 francs ;
- puits de 30 à 40 m dans des formations meubles : 2.000.000 à 3.000.000 francs.

Coût d'entretien annuel au Niger : environ 40.000 F. Coût probablement moins élevé dans le socle.

E. VARIANTES POSSIBLES

Forages de divers types suivant la nature du terrain. Puits à la tarière mécanique (nappe en équilibre à moins de 20 m en terrain tendre non ébouleux). Puits-forages dans certaines formations schisteuses du socle, à fissuration profonde.

NOTA : Dans le socle, le débit des puits, soumis aux fluctuations de la nappe, est en moyenne inférieur au débit des forages. Les puits sont d'ailleurs beaucoup plus difficiles à implanter que les forages dans les aquifères "discontinus".

(1) Puits réalisés par des organismes nationaux. Les coûts dépasseraient 100.000 F le m.l. au Tchad et au Mali. Il n'y a presque plus d'entreprises spécialisées en Afrique de l'Ouest. Un puits de 20 m à l'entreprise coûte 2.250.000 F au Togo (lot de 125 puits seulement, réalisé en 1976-78).

4.1.3. FORAGE "TYPE SOCLE" EXPLOITE PAR POMPE A MAIN

A. CONDITIONS NATURELLES

- profondeur de la nappe inférieure à 50 mètres (cf. (1) p. 74).
- roche dure.

Domaines géologiques d'élection :

- granites, gneiss, micaschistes
- laves
- Précambrien ou Primaire gréseux, dolomitique ou schisteux.

B. MATERIEL - TYPE

Rotary à l'air équipé d'un marteau-fond-de-trou, avec compresseur débitant 20.000 l/minute à 10 bars.

Vitesse de perforation : 5 à 10 m/heure, (2 m/h en roche très dure).

Capacité : 8 à 12 forages équipés par mois.

Variantes possibles : perforatrice marteau-fond-de-trou genre STENUICK ou AQUADRILL. Battage au câble.

C. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE

Exploitation par pompe à main (ou à pied)

Profondeur habituelle : 30 à 80 m. Moyenne : 40 à 50 m.

Diamètre : 6" (8" dans les altérites); tubé et crépiné en PVC 4" ou 4"1/2. Le trou peut rester non revêtu dans la roche dure.

Vulnérabilité : l'étanchéité de l'espace annulaire à la base des altérites doit être parfaite (cimentation sur ombrelle ou sur massif de gravier).

D. COUT ET CHARGES

Coût du forage : 1.800.000 F.CFA pour 40 à 50 m (échecs non compris).

En principe, pas d'entretien du forage.

Coût d'entretien de la pompe : de l'ordre de 50.000 F.CFA/an
(Côte d'Ivoire).

E. VARIANTES POSSIBLES

Puits à main (essentiellement dans les altérites)

Puits à la tarière mécanique (nappe en équilibre à moins de 20 m en terrain tendre non éboulés).

4.1.4. FORAGE EN ROCHE DURE EXPLOITANT L'EAU A PLUS DE 50 M PAR POMPE A MOTEUR.

A. CONDITIONS NATURELLES

- profondeur de la nappe supérieure à 50 m (*cf. (1) p. 74*).
- roche dure.

Domaines hydrogéologiques d'élection

- basaltes
- roches carbonatées
- "socle" avec niveau profond (cas rare)
(il s'agit en pratique d'aquifères "discontinus" à forte perméabilité).

B. MATERIEL - TYPE

Rotary à l'air équipé d'un marteau-fond-de-trou.

Forage jusqu'à 120 m : marteau "basse pression" alimenté par compresseur de 20.000 l/mn sous 10 bars.

Forage jusqu'à 250 m : marteau "haute pression" alimenté par compresseur de 20.000 l/mn sous 18 bars.

Vitesse de perforation : 5 à 10 m/heure.

Variantes possibles : battage au câble.

C. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE

Profondeur jusqu'à 250 m.

Exploitation obligée par pompe immergée : des pompes d'un diamètre de 93 mm peuvent produire 5 m³/h sous une HMT de 120 m. Limite pratique de ce type de matériel : 150 m.

Diamètre : 6" (8" éventuellement en tête) tubé et crépiné en 4" 1/2 (115 mm intérieur (1)).

(1) Tubage pas forcément nécessaire sur toute la hauteur.

D. INVESTISSEMENTS ET CHARGES

- a) Investissements : forage de 100 m : environ 3.500.000 F
superstructure, pompe, groupe, petit réservoir :
environ 3.000.000 F
(sans compter petit réseau éventuel).
- b) Fonctionnement : suivant débit et organisation de l'entretien.

REMARQUE

Si l'on peut à la rigueur concevoir d'exploiter pour des villages isolés de 3 à 500 habitants, lorsque la nappe est entre 50 et 80 m de profondeur, un forage de ce type sans réservoir, avec mise en marche de la pompe quelques heures matin et soir, le coût d'investissement devient rapidement prohibitif avec la profondeur, de sorte qu'un tel point d'eau ne peut le plus souvent être rentabilisé que par l'alimentation de groupements plus importants (1000 à 2500 habitants) ou de bétail.

Il faut alors construire un réservoir et, éventuellement un embryon de réseau de distribution (cf. 4.3.).

4.1.5. FORAGE EN TERRAIN TENDRE EXPLOITE PAR POMPE A MAIN

A. CONDITIONS NATURELLES

- nappe libre - profondeur inférieure à 50 m (cf. (1) p. 74)
- formations de cohésion et de dureté variées, en général à porosité d'interstice (aquifère continu).

Domaines géologiques d'élection

- sables, argiles, grès ou calcaires tendres, notamment formations de couverture, niveaux supérieurs des grands bassins sédimentaires.

B. MATERIEL - TYPE

Battage, ou rotary à la boue.

Rapidité : un forage de 50 à 80 mètres en 5 à 10 jours.

Variante possible : rotary à l'air, plus rapide, si la tenue du terrain le permet.

C. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE

Exploitation par pompe à main (ou à pied)

Profondeur : 30 à 70 m, suivant le niveau de la nappe et la perméabilité du terrain.

Diamètre : 6 à 8". Tubage et crépine PVC 4" à 5". Crépine et massif filtrant étudiés en fonction de la granulométrie du terrain. Cimentation en tête.

Développement de l'ouvrage souvent indispensable (pistonnage, air-lift en terrain non consolidé ; acidification des formations calcaires).

D. COÛT ET CHARGES

Coût du forage : entre 50 et 100.000 francs le m.l.
soit 2 à 5.000.000 CFA. suivant la profondeur,
et l'importance de la campagne de travaux.

Entretien de la pompe : env. 50.000 F.CFA/par an.

E. VARIANTES POSSIBLES

Puits à main

Puits foré (benne BENOTO) en terrain tendre

Puits instantanés ou well-points dans les nappes très superficielles

REMARQUE

Alors que ce cas est pour l'instant assez théorique en Afrique de l'Ouest, on peut envisager le lancement en série de ce type d'ouvrage dans des aquifères sableux. Compte tenu de la faiblesse du débit nécessaire, on devrait pouvoir atteindre, en travaillant de manière systématique, des prix de revient relativement bas (de l'ordre de 50 à 60.000 francs le mètre).

A noter qu'une opération de ce type va être lancée, en régie, dans le bassin sédimentaire côtier du Togo.

4.1.6. FORAGE PROFOND "TYPE SEDIMENTAIRE" EXPLOITE PAR POMPE A MOTEUR

Descriptif identique au précédent, sauf :

- conditions : nappes libres ou captives avec niveau d'équilibre à plus de 50 m de profondeur.
- profondeur : jusqu'à 400 m ou plus (nappes captives)
- diamètre variable : 6 à 12", avec tubages 4 à 6" ou plus, généralement métalliques au delà de 100 m de profondeur.
- coût : de l'ordre de 100.000 francs et plus le m.l. tout compris.

Variante : aucune.

REMARQUE :

a) La grande différence avec le petit forage à faible débit de la fiche précédente (4.1.5.) est, que compte tenu de la grande profondeur et du débit instantané (20 à 50 m³/h) habituellement exigés, la mise en production de la nappe réclame une série d'opérations préliminaires (carottage électrique, étude de la crépine et du filtre) ou en cours de forage (développement) beaucoup plus délicats, et l'emploi de matériaux et de crépines plus élaborées (métalliques et éventuellement anti-corrosion). Les risques sont également plus importants. Parallèlement, les séries sont moins importantes.

b) Un tel forage doit obligatoirement être rentabilisé par la distribution d'un débit minimum de 50 à 100 m³/jour (bétail, réseau de distribution), ce qui impose, en premier lieu, la construction d'un réservoir équivalant à au moins 1/2 journée de consommation.

4.1.7. PUITS - FORAGE

A. CONDITIONS NATURELLES

- nappe captive. Niveau en pompage à moins de 80 m de profondeur.
- formations suffisamment tendres.

Domaine géologique :

- aquifères multicouches.

B. PROCEDE - TYPE

Forage : rotary à la boue (variante : battage).
 Contre-puits : technique classique du cuvelage. Pas de captage.

C. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE

Exhaure traditionnelle au délou ou par traction animale.
 Profondeur du forage jusqu'à 400 m ou plus.
 Diamètres du forage et du tubage en fonction de la profondeur.
 Diamètre du contre-puits : 1,80 m, en général.
 La communication entre puits et forage est à étudier avec soin.

D. INVESTISSEMENT

Coût du forage : de 100 à 120.000 F.CFA le m.
 Coût du contre-puits : 60 à 100.000 F le mètre (suivant zone).
 Exploitant des aquifères sédimentaires en général profonds, les puits-forages atteignent fréquemment un coût de 15 à 25 millions CFA.

E. REMARQUES

a) Cette solution augmente le coût d'investissement mais limite les charges récurrentes aux dépenses d'entretien. Dans les régions sédimentaires, elle n'est utilisable que dans les zones d'économie pastorale (tradition de puisage, consommation du bétail), où le puisage peut dépasser 50 m³/jour en saison sèche.

b) Dans certaines zones de terrains anciens, elle pourrait constituer un terme de passage utile entre puits et forages. Cette solution est à envisager dans le cas où les puits doivent être précédés de sondages de reconnaissance. (cf. 3424).

4.1.8. Ouvrages de faible profondeur

Parmi ces ouvrages nous distinguerons :

- les puits à la tarière mécanique à "bucket" ; procédé largement employé en Côte d'Ivoire, dont la profondeur maxima est de 30 mètres ;

- les puits forés, avec des machines du genre BENOTO, qui conviennent aux alluvions (celles notamment qui contiennent des galets ou blocs difficiles à forer par les méthodes habituelles) ;

- les ouvrages adaptés aux nappes qui affleurent le sol : cette tranche superficielle est le domaine d'élection des puits à main, mais le battage à main, très rustique, et la technique des pointes filtrantes mises en place à l'air comprimé méritent d'être signalés.

4.1.8.1. PUITS A LA TARIERE MECANIQUE (BUCKET)

A. CONDITIONS NATURELLES

- profondeur de la nappe inférieure à 20 m (limite de profondeur des puits : 25 à 30 m)

- roche tendre mais de tenue suffisante (tubage à l'avancement impossible) (1).

Domaines géologiques d'élection : altérites, grès tendres (là où l'eau est très superficielle).

B. DONNEES TECHNIQUES

Excavation circulaire réalisée par un cylindre à lames hélicoïdales (bucket) au bout d'un train de tiges télescopiques (kelly) entraîné par une table de rotation.

La pose de tubages provisoires permet de réduire le diamètre en cas de nécessité (éboulements). Equipement du trou par colonne de buses en béton à encoches, avec massif de gravier dans l'annulaire (2).

(1) Les cuirasses latéritiques sont normalement traversées, mais ce type de formation correspond à la limite des possibilités d'un bucket.

(2) Des buses en fibre de verre sont à l'étude.

Rendement : Par jour : un puits équipé, ou 3 sondages de reconnaissance,
soit au total : 10 puits par mois, précédés de reconnaissances
systématiques.

C. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE

Profondeur maxima : 30 mètres

Diamètre maximum (avec le matériel utilisé en Côte d'Ivoire) :

puits : 1,50 m

buses : 1,00/1,20 m (1 m intérieur).

Exhaure :

Possibilité de puisage limitée par le petit diamètre

Ces ouvrages sont généralement équipés de pompes à main.

Vulnérabilité :

Risque d'éboulement en cours de travaux.

Déchaussement des buses (non solidaires)

Colmatage (gravillonnage difficile)

Remblaiement (ces 3 derniers risques dans les altérites
"fluantes" essentiellement).

D. COUT ET CHARGES (Côte d'Ivoire)

- Construction : puits de 20 m : 1.600.000 F (80.000 F. le m).

- Reconnaissance : 11.000 F le mètre environ.

- Entretien : normes encore inconnues (expérience trop récente en
Afrique de l'Ouest). On peut s'attendre à des dépenses au moins égales à
celles afférentes aux puits à main.

- Fonctionnement suivant type d'exhaure.

E. OBSERVATIONS

Très intéressant par sa rapidité.

Reconnaisances peu coûteuses.

Diamètre trop petit pour puisage efficace.

Domaine d'application extrêmement restreint

Handicap par rapport au forage : grosses sujétions de transport
des buses.

Les captages risquent d'être peu durables.

4.1.8.2. Autres types

PUITS FORES à la benne preneuse.

Si les bennes-preneuses sont largement utilisées pour le lavage des colonnes de buses dans les puits en béton, les ateliers complets basés sur le principe (genre BENOTO) ne sont plus guère employés à l'heure actuelle, du moins en Afrique de l'Ouest.

La benne preneuse est actionnée par un treuil. L'atelier est complété par une tubeuse.

Les diamètres usuels sont de 0,50 à 0,80 m.

Ce procédé est bien adapté aux grès tendres et cohérents et aux alluvions, comportant notamment des galets et des blocs, que la plupart des procédés habituels ont du mal à traverser. Mais le tubage est souvent difficile.

Ce genre d'atelier est lourd et lent et son prix de revient par conséquent élevé. Il croît avec la profondeur de sorte que la profondeur utile de mise en oeuvre ne dépasse guère 30 à 40 m.

De tels ouvrages demandent à être rentabilisés par des débits relativement importants, nécessitant l'emploi de pompes à moteur.

PUITS INSTANTANES (battage à main)

Il s'agit d'un tube d'acier, en général de 2", crépiné à la base et terminé par une pointe, que l'on enfonce dans le sol à la masse en lui imprimant un mouvement de rotation à la clé à chaînes.

L'aspiration de la pompe (à main ou centrifuge) est branchée directement sur le tube.

Il faut donc que le terrain soit meuble et le niveau de l'eau à moins de 7 m du sol en exploitation, sauf emploi de pompes spéciales.

BATTAGE AU CABLE A LA MAIN

Des machines extrêmement simples, composées d'une chèvre, un treuil à main et un cric forestier (TIRFOR) mettant en oeuvre un trépan et une soupape rudimentaires, permettent d'enfoncer sur 10 à 15 mètres un tubage de travail de 6 à 8" à l'intérieur duquel peut être mis en place un tubage d'exploitation en PVC de 4 à 6" et un massif de gravier. Durée : 3 à 5 jours.

Amélioration possible par treuil léger à moteur 5 à 10 CV.

POINTES FILTRANTES

La technique des pointes filtrantes (well-points) est couramment utilisée dans les travaux publics pour rabattre les nappes dans les terrains à granulométrie fine.

Ces pointes filtrantes de 2", dont les éléments crépinés sont calculés en fonction de la granulométrie du terrain, sont mises en place par injection d'eau ou d'air en quelques minutes jusqu'à 10 à 15 m de profondeur.

On obtient couramment 0,5 à 1 m³/h dans des sables moyens ou fins.

Peu employé jusqu'à présent pour la desserte des villages, ce type d'ouvrage, qui réclame un niveau d'eau à moins de 7 m (pompe extérieure), se trouve valorisé par la création récente de pompes d'un très faible encombrement (chapitre 5).

4.1.9. Conclusions

Avant même d'avoir étudié les charges d'investissement et de fonctionnement relatives à chacun de ces types d'ouvrage, on voit d'après les fiches précédentes que 3 d'entre eux sont bien adaptés à leur objet :

a) le puits dans les zones d'élevage des bassins sédimentaires récents : exploité à plusieurs m³/h par traction animale, il n'a comme alternative que le forage à motopompe.

b) le "forage unité" à pompe à main, des zones de "socle", à nappe peu profonde, où il est peu coûteux. La demande de ce type d'ouvrage est considérable.

c) le forage à motopompe des zones, en général sédimentaires, où la nappe est profonde, lorsqu'il peut être rentabilisé par une distribution d'eau suffisante.

S'il est aujourd'hui bien démontré que dans le "socle" et, en général, les "aquifères discontinus", le forage est plus productif et plus sûr (pas de risque d'assèchement) que le puits, pour un prix de revient comparable, la principale raison qu'ont certains états de continuer à faire des puits est d'éviter ainsi les sujétions de l'entretien des pompes, lesquelles posent des problèmes encore mal maîtrisés.

	PUITS A MAIN avec puisage traditionnel	PUITS A LA TARIERE (bucket)	FORAGE "TYPE SOCLE" exploité par pompe à main	FORAGE EN ROCHE DURE exploitant l'eau à plus de 50 m par pompe à moteur	FORAGE EN TERRAIN TENDRE exploité par pompe à main	FORAGE PROFOND "type sédimentaire" exploité par pompe à moteur	PUITS-FORAGE
<u>CONDITIONS NATURELLES</u>							
a) Conditions nécessaires	- Nappe à moins de 30m	-Nappe à moins de 20m -Roche tendre mais cohérente (1).	-Nappe à moins de 50m -Roche dure	-Nappe à plus de 50 m -Roche dure	-Nappe à moins de 50 m -Terrains tendres à moyens, cohérents ou non	- Idem	-Nappe captive -Niveau en puisage à moins de 80 m.
b) Domaine d'élection	Grès tendres, schistes altérites.	Altérites si tenue suffisante.	Granite ou gneiss, Précambien varié, laves.	Basaltes Calcaires ou dolomies socle granitique	Formations diverses des bassins sédimentaires récents (sable, argiles, grès, etc)	Idem	Aquifères multicouches des bassins sédimentaires récents.
<u>METHODES</u> <u>OU</u> <u>MATERIEL-TYPE</u>	Méthode habituelle : Cuvelage en ciment coulé en place. Captage par colonne de béton hâvée de plus petit diamètre.	Excavation par rota- tion du "bucket". Tubage provisoire. Pose de buses à encoches.	Forage rotary à l'air avec marteau-fond-de- trou, ou perforatrice- marteau, ou battage (sauf très dur).	Idem (équipement haute pression au delà de 120 m) ou battage (sauf très dur).	Battage ou rotary à la boue ou circulation inverse.	Rotary à la boue ou battage (sauf très profond)	Idem.
<u>CARACTERISTIQUES</u>							
Type d'exploitation	Puisage à main (multiple) ou traction animale.	Habituellement par pompe à main (Côte d'Ivoire).	Pompe à main ou à pied.	Pompe immergée et groupe électrogène.	Pompe à main.	Pompe immergée et groupe électrogène.	Puisage traditionnel
Profondeur habituelle	celle de la nappe + 3 à 15 m.	Maximum : 30 m	30 à 80 m	100 à 150 m possible jusqu'à 250 m	30 à 60 m	Jusqu'à 400 m ou plus	Forage jusqu'à 400 m Puits jusqu'à 80 m
Diamètre courant	Cuvelage : 1,80m int. Captage : 1,40m int.	Buses : 1 m intérieur	6" - tubage 4" 1/2	8/6" - Tubage 4 & 5"	8/6" - Crépine 4 à 5"	6/12" - Tubage 4/8"	Puits : 1,80 m
<u>COÛT APPROXIMATIF</u> <u>Investissement</u>	60 à 80.000 F le m. (Niger, Haute-Volta) soit 20 m, socle : 1.400.000 F	80.000 F le m. (Côte d'Ivoire) soit 20 m, socle : 1.600.000 F	30 à 45.000 F le m. soit 50 m : 1.800.000 F	Forage 100 m: 3.500.000 F Pompe, groupe, résér- voir : 3.500.000 F.	50 à 100.000 F le m.1 suivant profondeur et méthode, soit 2 à 5.000.000 F le forage suivant profondeur	100 à 120.000 F le m.1 soit couram- ment : 10 à 30.000.000 F le forage	Forage: 100 à 120.000 F/m Puits : 60 à 100.000 F suivant conditions.
Charges récurrentes	Entretien puits : 40.000 F/an (Niger)	Entretien puits 40.000 F/an ou plus (+ entretien pompe)	Entretien pompe : 50.000 F/an (C.Ivoire)	Elevées, suivant débit et organisation de l'entretien.	Entretien pompe : 50.000 F/an	Elevées, suivant débit et organisa- tion de l'entretien	Entretien du puits : 40.000 F/an (Niger)
<u>VARIANTES</u> <u>POSSIBLES</u>	Forage (plus de 30m) Tarière (moins de 30m)	Puits à main.	Puits de 20 à 30 m.	Néant	Puits. Méthodes particulières de forage pour faibles profondeurs.	Puits - forage (éventuellement)	Forage à motopompe.
<u>OBSERVATIONS</u>	Coût très variable avec les conditions locales et l'isole- ment. Entreprises rares.	(1) Dureté limite : cuirasse latériti- que. Rapide. Domaine d'applica- tion étroit.	Demande très importante de ce type d'ouvrage.	Coût élevé. Rentabi- lisation nécessaire par distribution d'un débit relativement important.	Cas assez théorique en Afrique de l'Ouest. Peut être valable en série.	Mise en production délicate. Rentabi- lisation nécessaire par distribution d'un débit important.	Possible seulement en zone d'élevage sahélienne.

TABLEAU COMPARATIF DES PRINCIPAUX TYPES D'OUVRAGES

TABLEAU COMPARATIF DES MATERIELS DE FORAGE

I - CARACTERISTIQUES GÉNÉRALES	BATTAGE	ROTARY A LA BOUE	PERFORATRICE MARTEAU-FOND-DE-TROU	ROTARY A L'AIR (+ marteau-fond-de-trou)
<u>PRINCIPE DE PERFORATION</u>	Chute répétée d'un outil au bout d'un câble.	Rotation et pression sur l'outil.	Percussion par marteau pneumatique en fond de trou.	Rotation et pression sur l'outil.
<u>DOMAINE D'UTILISATION :</u>	large	large	étroit	étroit (large avec le marteau)
spécifique		Terrain meuble	Roches très dures	Terrain cohérent
d'élection	Terrain moyen, cohérent	Terrain tendre à moyen	Roches dures, très dures	Terrain tendre
impossible	Terrain très dur	Terrain très dur, formations à blocs et galets.	difficile : argile plastique et sable. impossible : plus de 40m en terrain meuble.	(très dur avec marteau) Terrain meuble, sauf dans tubage provisoire (jusqu'à 60 m).
Type d'ouvrage bien adapté	Tous forages jusqu'à 100 m	Forage profond en terrain sédimentaire varié.	Forage de 30 à 80 m dans le socle	Forage 30 à 80 m
<u>COUT DE L'ATELIER (FOB) (1)</u>	(battage en 10")	(pour forage jusqu'à 260 m en 12")	(perforatrice "basse pression" jusqu'à 100m avec tubage avancement jusqu'à 40 m)	(jusqu'à 100 m en 6")
Complet avec accessoires, équipement annexe, porteurs et véhicules.	30 à 50 M.	75 à 100 M.	60 à 70 M.	75 à 110 M.
Pièces de rechange pour 4000 m de forage.	4 à 6 M.	10 à 20 M.	10 à 12 M.	12 à 20 M.
Total	35 à 55 M.	85 à 120 M.	70 à 80 M.	90 à 130 M.
<u>POIDS (atelier sans véhicule d'accompagnement)</u>	10 à 15 T.	20 à 30 T.	15 à 20 T. avec compresseur	20 à 30 T. avec compresseur
<u>COMPLEXITE DU MATERIEL</u>	Très simple	Variable suivant type d'entraînement	Simple quand entraînée par l'air comprimé	Variable suivant type d'entraînement
<u>CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE</u>	Simple	Déliçates (boue)	Faciles à moyennes	Moyennes à délicates
II - CARACTERISTIQUES TECHNIQUES				
Vitesse de rotation	-	40 à 150 t/mn	10 à 40 t/mn	40 à 150 t/mn
Couple	-	700 à 1200 m.kg	moins de 200 m.kg	700 à 1200 m.kg
Poids sur l'outil	Outils de 500 à 1000kg	2 à 10 T et plus	100 à 200 kg	2 à 10 T. et plus
Puissance pour rotation-élévation	30 à 50 CV.	50 à 120 CV.	10 à 15 CV.	50 à 120 CV.
Force de levage	3 à 5 T.	5 à 20 T.	3 à 5 T.	5 à 20 T.
Evacuation déblais (puissance nécessaire)	Soupapage (par moteur de la sondeuse)	boue (parfois eau claire). pompe à boue 4"x5" puissance nécessaire 25 CV.	air (et mousses) 20.000 l/mn à 10 bars pour forage 6 à 8" : moteur 250 CV.	air (et mousses) 20.000 l/mn à 10 bars pour forage 6 à 8" : moteur 250 CV.
<u>DIAMETRE USUEL</u>	6 à 20"	6 à 12" et plus	4 à 8"	6 à 10"
<u>PROFONDEUR MAXIMA</u>	200 m et plus	200 à 300 m et plus	120 m en 6" 200 à 250 m avec haute pression (20.000 l/mn à 18 bars)	120 m en 6" 200 à 250 m avec haute pression (20.000 l/mn à 18 bars)
<u>VITESSE D'AVANCEMENT</u>				
Roches très dures (a)	-	-	2 m/h	-
Roches dures (b)	0,1 à 0,2 m/h	0,2 à 1 m/h	2 à 5 m/h	0,2 à 1 m/h
Roches tendres (c)	0,2 à 0,5 m/h	1 à 3 m/h	5 à 10 m/h	1 à 5 m/h
Terrain peu consolidé (d) mais cohérent.	0,5 à 1,5 m/h	1 à 5 m/h	5 à 10 m/h	10 à 25 m/h
Terrain non consolidé (e)	(avec tubage à l'avancement, télescopés)	1 à 5 m/h	0,5 à 2 m/h (avec tubage à l'avancement jusqu'à 40 m)	(avec tubage provisoire jusqu'à 60 m)

(a)- amphibolites, migmatites quartzites. (b)- granite fissuré, calcaire et grès durs. (c)- granite altéré, schistes, calcaire et grès tendre.

(d)- altérites non bouillantes. (e)- sables et sables argileux.

(1) Ajouter pour 2 à 4 ateliers le matériel nécessaire pour une équipe d'essai de débit et installation de superstructures, ainsi que l'outillage d'un atelier mécanique d'appui, soit au total 20 à 30 M.CFA.

4.2. PROCEDES ET MATERIELS DE FORAGE (1)

4.2.1. Les différentes techniques et leurs domaines d'application

4.2.1.1. Présentation et tableau comparatif général

Délaissant les procédés particuliers auxquels nous avons fait allusion au chapitre précédent, nous nous bornerons à étudier et à comparer ici les 3, ou plutôt 4 procédés et types de matériels de forage avec lesquels sont réalisés la presque totalité des ouvrages de petit diamètre.

Ce sont :

- le plus ancien et le plus universel : le battage (ou percussion) au câble (cabletool) connu depuis l'antiquité ;
- le forage rotatif, dit "rotary", à la boue, largement développé dans le domaine pétrolier, et conçu pour traverser les terrains meubles ;
- son dérivé, le rotary à l'air (air drill), qui substitue à la boue de forage l'air comme fluide de refroidissement et d'évacuation des débris (cuttings) ;
- le marteau fond-de-trou (down-the-hole hammer) enfin, outillage dérivé du marteau-perforateur de carrière, qui peut, monté sur un châssis adapté, constituer une sondeuse pneumatique.

Il existe enfin des ateliers qui combinent les 2 derniers types (rotary à l'air équipé d'un marteau) ou les 3 derniers (le même disposant d'une pompe à boue) et permettent d'élargir la gamme des applications.

Un tableau comparatif général (p. 90) indique, en première partie les caractéristiques générales de ces 4 types de matériels, et en seconde partie leurs caractéristiques techniques.

(1) Pour la construction des puits qui est classique, on pourra se reporter à l'ouvrage publié par le Ministère Français de la Coopération : "la construction des puits en Afrique tropicale et l'investissement humain" - BURGEAP - (1974).

4.2.1.2. Battage au câble

a) le battage est une méthode universelle : une série de tubages télescopés permet de traverser les terrains non consolidés de toute granulométrie; mais cette technique est chère, et le domaine d'élection du battage est le terrain cohérent, même dur ; toutefois, le rendement décroît très vite avec la dureté et le coût devient prohibitif en roche très dure.

b) Le coût du matériel étant modéré et sa longévité plus grande que celle des ateliers complexes, les immobilisations ont relativement peu d'effet sur le prix de revient.

c) Le matériel est très simple et les dépannages peuvent généralement être faits avec les moyens du chantier. Ceux-ci sont donc autonomes et peuvent travailler sur des sites isolés.

d) Le maniement est simple et n'exige qu'un personnel assez peu qualifié. Toutefois il requiert une attention soutenue.

e) Les ouvrages ont une bonne fiabilité, la méthode ne modifiant pas le terrain.

Inconvénients :

L'inconvénient essentiel du battage est la lenteur : 2 ou 3 forages "type socle" (4.1.3.) par mois ; c'est pourquoi le battage n'est une méthode bon marché qu'en terrain cohérent et pas trop dur pour des ouvrages pas trop profonds. Par ailleurs, la réalisation d'importants programmes nécessite de multiplier le nombre d'ateliers.

4.2.1.3. Rotary à la boue

Avantages : cette méthode, conçue pour forer sans tubage dans les terrains meubles, est la seule qui permette de réaliser des forages profonds dans les bassins sédimentaires récents, dont les formations sont variées et souvent sans cohésion. Elle peut être employée également en terrain cohérent jusqu'à une certaine dureté, mais son rendement diminue rapidement, de sorte qu'elle convient mal aux zones de socle.

Difficultés et inconvénients :

a) Le matériel est assez complexe (circuits hydrauliques notamment) et demande à être entretenu par des spécialistes.

b) Son coût est beaucoup plus élevé que celui d'un atelier en battage, et il vieillit plus vite.

c) Le prix de revient du mètre de forage rotary en terrain meuble est très supérieur à celui du mètre de forage au battage à faible profondeur, ou au marteau en terrain cohérent de dureté moyenne.

Ceci s'explique à la fois par les sujétions relatives au captage des formations non consolidées : mise en place de crépines parfois très élaborées au droit d'horizons bien particuliers, "développement" du terrain et du massif filtrant, isolement de certains niveaux, cimentations, et à celles qui résultent du procédé lui-même et notamment de sa relative lenteur.

d) Le rotary réclame un personnel très expérimenté et exige un contrôle d'exécution très attentif, pour le développement des ouvrages comme pour la technique de forage elle-même.

En effet, le rendement du forage et la consommation d'outils (tricotés), poste souvent important du prix de revient, dépendent du réglage de la vitesse de rotation et de celle du poids donné sur l'outil.

Par ailleurs, la viscosité et la densité de la boue de forage doivent être constamment adaptées par le jeu de la dilution et l'emploi d'adjuvants, à la nature du terrain et à la pression de l'eau (nappes captives).

e) On comprend que les risques de colmatage du terrain, soit en cours de forage (roches fissurées), soit ultérieurement (formations meubles non développées) sont importants et peuvent nuire à la fiabilité de l'ouvrage.

Nota : au delà de 300 mètres, on entre dans la catégorie des grands forages, avec des techniques particulières. Mais ce type d'ouvrages n'a en principe, rien à voir avec l'hydraulique villageoise.

Variante : circulation inverse

Dans cette méthode, la boue remonte par les tiges (soit par aspiration, soit par effet de l'injection d'air, d'eau ou de boue pratiquée dans l'annulaire). Les tiges sont alors de plus gros diamètre et la remontée des cuttings est rapide. Souvent, on n'utilise que de l'eau. Cette méthode en consomme beaucoup. Dans l'annulaire, les vitesses sont faibles et ne provoquent pas d'érosion.

Les principaux avantages de cette technique sont :

- une grande rapidité (10 à 25 m/heure) dans les formations tendres. La méthode convient bien aux formations peu cohérentes, qui tiennent par la simple pression de l'eau ;
- la possibilité de forer en gros diamètre (jusqu'à 1 mètre et plus) ;
- la possibilité de traverser des formations à galets et blocs difficiles à franchir par toute autre méthode.

4.2.1.4. Perforatrices marteau-fond-de-trou

L'adaptation au forage d'eau des marteaux-perforateurs de mines et carrières, conçus pour la traversée à grande vitesse des terrains durs et très durs, a non seulement révolutionné les méthodes de réalisation mais également transformé l'image que l'on se faisait des ressources en eau de ces formations ; il est devenu plus économique de forer en roche dure que dans les terrains sédimentaires meubles. Ceci est particulièrement important pour l'hydraulique villageoise dans les pays A.C.P. d'Afrique (et dans le monde entier, par exemple en Inde), étant donné l'extension géographique du "socle".

Principe et maniemnt

Le principe du marteau-fond-de-trou est de transférer directement sur l'outil l'énergie de frappe des marteaux-perforateurs classiques (plus de perte d'énergie par les tiges) en récupérant l'air comprimé nécessaire au fonctionnement du marteau pour l'évacuation des déblais.

L'essentiel de l'énergie nécessaire au forage est concentrée au niveau du marteau, qui est un organe relativement simple (de 600.000 à 2 millions de F.CFA pour forage en 6" et 8") : aucun poids pratiquement sur l'outil (le train de tiges doit au contraire être retenu), et couple de rotation très faible. La technique de forage ne présente pas de difficulté.

Comme support, on a adapté les perforatrices de carrières et mines, qui sont très simples, robustes et peu onéreuses, car construites en très grandes séries.

Le plus complexe et le plus coûteux est la fourniture de l'air comprimé : pour forer en 6" jusqu'à 120 m de profondeur il faut un compresseur de 20.000 l/mn à 10 bars (200 à 250 CV), coût : 15 à 20.000.000 F.CFA.

Pour travailler à plus de 120 m de profondeur (et jusqu'à 250 m), il est nécessaire de passer à la haute pression (18 bars), ce qui peut être réalisé sur la plupart des types de machine, en changeant le compresseur, et en employant des marteaux plus perfectionnés.

Les perforatrices marteau-fond-de-trou sont très maniables, car légères, simples et fiables, les mouvements de la sondeuse étant en général entraînés par le circuit d'air comprimé et évitant la complication des circuits hydrauliques. Le seul matériel sophistiqué est le compresseur, comme dans toutes les méthodes de forage à l'air, mais ce matériel est maintenant classique et très au point.

Adaptation aux forages villageois dans les terrains anciens

La perforatrice marteau-fond-de-trou, dont la capacité en version normale est de 120 m pour un forage en 6", est par excellence l'outil du "forage villageois unité" dans le socle (50 m de profondeur, 1 m³/h).

L'expérience montre que dans la grande majorité des cas, le marteau peut traverser les altérites au-dessus du socle, sans tubage (1). On a ainsi l'outillage le plus simple et le moins coûteux qui conduit, compte tenu de sa grande rapidité, à des coûts d'ouvrage inégalables. Cependant, il est préférable d'adjoindre à ce type de matériel les dispositifs de tubages à l'avancement prévus par les constructeurs (ATLAS COPCO, STENJICK, INGERSOLL RAND), la portée de ces dispositifs (40 m) leur permettant de traverser les altérites bouillantes dans presque tous les cas.

(1) Il est cependant nécessaire de mettre en place, après forage des altérites, un tubage provisoire au droit de cet horizon, afin de permettre de réaliser correctement l'étanchéité de l'espace annulaire à leur base.

Inconvénients :

- Etroitesse de la plage d'utilisation du marteau-fond-de-trou : les roches dures cohérentes (compensée par la large extension géographique de ce type de roches).
- Complexité et poids du compresseur qui accompagne la sondeuse.

4.2.1.5. Rotary à l'air

On a très tôt pensé à remplacer la boue par l'air comme fluide de forage dans les méthodes rotary. Les vitesses d'avancement, notamment en terrain tendre, sont en effet alors beaucoup plus élevées (2 à 5 fois).

L'inconvénient majeur est de ne pouvoir travailler qu'en terrain cohérent, encore que l'emploi de mousses accroisse le domaine d'application du procédé, en évitant le bourrage et en favorisant la remontée des déblais et la tenue du terrain. On utilise un tubage provisoire (jusqu'à 60 m maximum) pour forer plus profond.

Le débit d'air nécessaire est identique à ceux que nécessite le marteau-fond-de-trou : 20.000 l/mn à 10 bars au minimum en forage de 8" jusqu'à 100 m de profondeur, 20 bars et plus au-delà de 100 mètres et en plus gros diamètre.

Le principal intérêt de cette méthode est de permettre l'adaptation sur cet atelier d'un marteau-fond-de-trou, ce qui n'accroît pas sensiblement le coût de l'atelier et lui permet de travailler également en terrain très dur.

En ajoutant à l'ensemble une petite pompe à boue, on obtient un atelier universel pour forage d'eau.

4.2.1.6. Conclusions

Etant donné la spécificité, ou tout au moins la plage relativement limitée de bon rendement de la plupart des matériels que l'on vient d'étudier, le seul qui concurrence véritablement les autres est le battage. Bien qu'étant techniquement dépassée, cette méthode conserve un réel intérêt du fait de son universalité et de sa simplicité, compte tenu des difficultés de gestion et de maintenance qui caractérisent l'Afrique.

Les comparaisons sont donc à effectuer :

- entre rotary et battage dans les formations sédimentaires meubles ;
- entre marteau et battage dans le "socle". C'est l'objet essentiel du chapitre 4.2.2.

4.2.2. Analyse comparative des coûts de forages

4.2.2.1. Analyse et structure du prix de revient d'un atelier de forage moderne adapté au socle (rotary à l'air avec marteau). (annexe 2).

a) Hypothèses

Nous avons pris comme exemple la réalisation d'un "forage unité" de 50 m dans le socle par un organisme public faisant appel à des contractuels expatriés pour les postes hautement qualifiés :

- 1 chef sondeur pour 2 ateliers
- 1 chef mécanicien pour 4 ateliers
- 1 directeur de projet pour 4 ateliers.

Le terrain comporte 30 m d'altérites forés au rotary à l'air, puis 20 m de roche de plus en plus dure, forés au marteau.

Le travail est effectué à 1 seul poste de 8 heures par jour, 25 jours par mois.

L'essai de débit, de 4 heures, est réalisé par une équipe spéciale.

La pompe et sa mise en place ne sont pas incluses.

Le rendement admis est de 8 forages équipés par mois (tous étant supposés productifs (1 m³/h)).

L'atelier est supposé amorti en 4 ans (2,5 % par mois de travail).

b) Conclusions et commentaires du tableau

Le coût du forage s'établit à 1.875.000 francs, soit 37.500 francs le mètre.

Les dépenses extérieures comptent pour 75 % du montant, ce qui résulte notamment de l'importance des amortissements, de l'entretien (pièces et outils) et des fournitures (tubage essentiellement), ces 3 postes représentant globalement 52 % du coût total. Le personnel expatrié compte pour 64 % du poste personnel, qui représente 20 % du coût total.

La partie fixe des dépenses constitue 40 % du coût total, ce qui est considérable. Les 60 % restant, représentent le coût marginal du mètre de forage, soit 22.600 francs, dont 6.000 francs de tubage. Ce faible prix montre qu'en l'absence de statistique précise sur le débit en fonction de la profondeur dans tel ou tel type de roche, on a intérêt à dimensionner assez largement la profondeur des ouvrages (d'autant plus qu'il n'est souvent pas nécessaire de tuber le fond des forages).

La rapidité d'exécution est le facteur qui influence le plus les coûts puisque les dépenses proportionnelles à la durée du chantier (coût des postes) sont de l'ordre de 70 % du prix global (74 %, superstructures et essais non compris).

Mais les temps de forage proprement dits ne représentent en marche normale que le tiers de la durée du chantier, de sorte que s'il est théoriquement justifié de chercher à les réduire par l'emploi de matériel plus onéreux, la limite est rapidement atteinte, car ce raisonnement suppose une organisation à l'abri des aléas, ce qui n'est jamais le cas ; la sophistication du matériel doit porter moins sur l'augmentation du rythme de la perforation que sur la réduction des risques : ceux-ci représentent en effet couramment 25 % du temps global.

4.2.2.2. Analyse et structure du prix de revient d'un atelier de battage (annexe 3).

a) Les hypothèses sont les mêmes que dans le cas précédent. Toutefois le forage réalisé n'a que 40 mètres, considérant que les 10 derniers mètres seraient forés en roche trop dure pour un rendement correct du battage.

Compte tenu de la simplicité du matériel et de la méthode, le personnel étranger est réduit à un ingénieur expatrié pour 8 ateliers.

Le rendement admis est de 2,5 forages équipés par mois.

L'atelier est supposé amorti en 10 ans (1 % par mois de travail).

b) Conclusions, commentaires et comparaison avec le cas précédent.

Le coût du forage s'établit à 1.560.000 francs, soit 39.000 francs le mètre (un peu plus cher que dans le cas précédent).

Compte tenu du faible rendement de la méthode, la part des amortissements est la même (21 %) que dans le cas d'une sondeuse moderne à air comprimé, bien que les amortissements mensuels soient 4 fois moins élevés. Le coût des postes varie en effet dans le même rapport (110.000 à 455.000 avec force motrice).

Le coût du personnel s'élève ici à 24 % au lieu de 20 %, et il s'agit de personnel autochtone pour près des 3/4.

Ainsi la part des dépenses extérieures se réduit-elle de 75 à 60 %.

La partie fixe des dépenses représente 22 % (contre 40 % précédemment), ce qui traduit bien la prépondérance des travaux de terrain par rapport à l'infrastructure. Les temps de forage proprement dits, constituent d'ailleurs 75% du temps total de mise en oeuvre, contre 30 % pour le forage à l'air, et les dépenses variables s'élèvent à 31.000 francs par mètre linéaire (contre 23.000).

Cette différence fondamentale montre bien que l'amélioration du rendement du forage moderne réside dans la réduction des aléas et le perfectionnement de la gestion d'ensemble de l'opération, alors que l'amélioration du rendement du battage doit être recherchée dans la rapidité de la perforation ; autrement dit il faut éviter d'employer un atelier de battage dans des terrains qui ne correspondent pas à son rendement optimum.

La première de ces 2 propositions est bien illustrée par la remarque qu'un mois d'immobilisation (25 postes sans force motrice) de l'atelier moderne décrit ci-dessus coûte 8.600.000 francs alors qu'un mois d'immobilisation de l'atelier de battage se traduit par une perte de 2.500.000 francs seulement. Il faut ajouter à cela qu'avec une organisation médiocre et des techniciens peu expérimentés, le risque d'immobilisation de l'atelier moderne est infiniment plus grand que pour l'atelier au battage.

La seconde proposition est facile à mettre en évidence en étudiant le coût de perforation des 10 derniers mètres de notre forage dans le socle, supposés en roche très dure, avec des vitesses d'avancement de 2 m/heure au marteau et de 0,1 m/heure au battage.

Les dépenses fixes n'intervenant pas, la perforation des 10 mètres au marteau se réduit à :

- 5/8 poste avec force motrice :	284.000 F
- consommation d'outils, environ :	50.000 F
	<hr/>
	334.000 F

soit 33.400 F le mètre linéaire.

Au battage, elle représente :

- 100 heures, soit 12 postes x 110.000	1.320.000 F
- consommation d'outils :	20.000 F
	<hr/>
	1.340.000 F

soit 134.000 F le mètre linéaire.

Ceci montre le grand avantage du marteau dans le socle, compte tenu du fait que la perforation d'une certaine épaisseur de roche dure fissurée accroît sensiblement le pourcentage de succès des ouvrages.

4.2.2.3. Battage et rotary à la boue, en terrain non cohérent

Dans le cas du forage rotary :

Les charges fixes sont lourdes ; le temps d'installation et de mise en route est important. La mise en production du terrain, fixé par la boue de forage, est plus longue et délicate que pour le battage.

Le rendement du forage augmente jusque vers 50 m de profondeur (poids nécessaire sur l'outil) et ne décroît plus ensuite.

Dans le cas du battage :

Le rendement décroît rapidement avec la profondeur, du fait des manoeuvres de câble et de tubages.

En terrain meuble, l'enfoncement des tubages est limité par le frottement ; il est contraint à télescoper les tubages pour descendre profondément.

Mais les opérations présentent moins d'aléas. La mise en production de la nappe est plus simple.

Le battage est donc plus intéressant pour les petites profondeurs (30 à 50 m), pour lesquelles le coût devrait être assez proche du cas du terrain dur. Au delà, ce coût augmente rapidement. Par contre le rotary est mieux adapté aux forages de 100 mètres et plus.

4.2.3. Conclusions concernant le choix des matériels

La nature particulièrement aléatoire des travaux de forage apparaît bien dans les appels d'offres d'entreprises, où l'on enregistre couramment des écarts de prix de 50 %, voire 100 %, qui proviennent essentiellement de différences d'appréciation sur les difficultés du terrain, l'approvisionnement ou les déplacements d'un chantier à l'autre.

Préciser un rendement et un coût de forage n'a donc de sens qu'en référence aux conditions de mise en oeuvre.

Le facteur organisation (lié le plus souvent au potentiel en personnel qualifié à tous les niveaux, depuis l'ingénieur de forage jusqu'au chef de chantier) est de loin prépondérant, et le choix du matériel en vue de créer ou d'équiper un organisme public de forage devrait être essentiellement fonction de la qualité de l'organisation susceptible d'être mise sur pied.

On a vu qu'en matière de socle et, plus généralement de roche dure, le choix se réduit pour l'essentiel à l'alternative battage-sondage à l'air au marteau (1). En ce qui concerne les terrains tendres non cohérents et, plus généralement les formations sédimentaires post-primaires, l'alternative se situe dans la grande majorité des cas entre battage et rotary à la boue, avec des termes de comparaison très semblables.

Nous pensons avoir nettement montré que le battage était sans aucun doute la solution idéale pour des chantiers dispersés et éloignés, dans le cadre de programmes peu importants. La plupart des services et organismes publics de forages en Afrique ont commencé par cette méthode, qui convient parfaitement à la formation du personnel et avec lequel les mécomptes sont limités. Elle constituerait (et constitue peut-être déjà) une excellente solution dans des états où l'initiative privée commence à relayer l'action de l'Administration, et où de petites entreprises privées trouveraient un marché auprès de demandeurs particuliers.

Mais, au moins en Afrique francophone, où les besoins actuels se posent en terme d'urgence et à grande échelle, seuls les procédés modernes semblent en mesure de les satisfaire; il faut par conséquent employer des ateliers de forage modernes mais il faut les employer avec une grande rigueur, et cela impose sans doute, dans la plupart des états, de susciter la création ou l'installation d'entreprises spécialisées, plutôt que d'organiser des structures publiques, dont la gestion risque de poser des problèmes difficiles à surmonter.

4.2.4. Recommandations pour le bon usage des matériels de forage

4.2.4.1. Qualité des réalisations

Le souci du rendement ne peut être le seul, et on s'aperçoit que beaucoup trop d'ouvrages ont été réalisés ces dernières années dans le socle sans un souci suffisant de qualité, ce qui compromet la pérennité de certains d'entre eux.

(1) plus précisément, 3 types d'atelier sont en concurrence :

- le battage, préférable pour des programmes peu importants, dispersés, avec une infrastructure sommaire et des conditions variées ;
- la perforatrice-marteau, la moins chère lorsque les formations superficielles non cohérentes ne dépassent jamais 40 m de profondeur ;
- le rotary à l'air avec marteau, dans les autres cas.

L'utilisation de matériels de plus en plus perfectionnés, fréquemment mis en oeuvre par des mécaniciens plutôt que des sondeurs, et fonctionnant avec une vitesse d'exécution très grande, fait que les phases essentielles de l'ouvrage, son équipement et sa mise en production (développement) sont trop souvent sacrifiées.

Le coût d'un forage et sa durée d'amortissement sont tels qu'aucun risque, aucune économie injustifiée ne doivent être tolérés (comme par exemple l'emploi trop fréquent de tubage PVC inadéquats ou de gravillons latéritiques, ou bien l'absence d'étanchéité au toit des aquifères).

4.2.4.2. Au niveau du chantier

a) l'exécution des forages rotary à la boue exige la présence constante sur le chantier d'un foreur qualifié, voire très expérimenté et, le plus souvent un travail en continu, à 3 postes, pour des raisons techniques (mise en oeuvre de la boue).

Par contre, avec les ateliers à air comprimé, où rien n'impose le travail en continu, il n'est pas forcément préférable de travailler à 2 postes plutôt qu'à un seul, car la légère réduction des coûts des forages qui en résulte exige en contrepartie une organisation très rigoureuse, faute de quoi toute immobilisation devient trop pénalisante.

b) Si les compétences nécessaires sont moins poussées que pour le rotary, il ne faut pas pour autant sous-estimer l'indispensable qualification des sondeurs dans le forage à l'air comprimé, notamment lorsqu'on a affaire à des formations meubles.

Les incidents de forage dus à l'inattention, au manque d'expérience ou à la mauvaise adaptation de l'équipement ont vite fait de majorer de 20 à 50 % le temps de perforation.

c) Les ateliers rotary ou rotary-marteau exigent l'appui d'un échelon mécanique à proximité du chantier, notamment pour le contrôle, l'entretien et la réparation des circuits hydrauliques, des transmissions et du compresseur.

La conduite comme l'entretien des perforatrices-marteau, qui fonctionnent entièrement à l'air comprimé, sont plus simples ; seul le compresseur pose des problèmes spécialisés de maintenance. Un atelier de mécanique automobile suffit en général.

Il en est de même, bien entendu, pour les ateliers de battage, dont la plupart des réparations peuvent être effectuées par l'équipe de forage elle-même.

d) Quelle que soit la complexité du matériel et de son fonctionnement, les sondeurs doivent être astreints à remplir scrupuleusement des cahiers de chantiers où se trouvent mentionnés tous les renseignements et observations concernant l'avancement des travaux. Cette contrainte, aussi indispensable pour le contrôle technique que pour le contrôle hydrogéologique, est de plus très formatrice.

4.2.4.3. Au niveau d'un groupe d'ateliers

a) Un atelier de battage peut à la rigueur n'être pas rattaché à une structure spécialisée. Tous les autres types, à cause de leur complexité ou de leurs performances, nécessitent un appui logistique efficace, et autant que possible spécialisé. L'immobilisation d'un atelier de forage moderne coûtant entre 300 et 400.000 F. CFA par jour, il ne peut être question de laisser un chantier en attente d'approvisionnement ou de dépannage ; la mise en place d'un réseau radio est indispensable, compte tenu de la dispersion et de la mobilité des chantiers.

b) La constitution et la gestion d'un stock largement dimensionné en pièces d'usure est une condition essentielle de bon fonctionnement.

c) L'encadrement technique nécessaire est fonction de la qualification des chefs de chantier. Pour les forages type socle, on peut admettre qu'un ingénieur de forage expérimenté peut diriger 4 ateliers sous réserve de disposer :

- d'un échelon administratif et comptable opérationnel ;
- d'un chef-mécanicien très qualifié connaissant les forages ou au moins les compresseurs et les circuits hydrauliques ;
- d'un chef de parc et de magasin capable de gérer le stock de pièces de rechange et d'organiser les approvisionnements ;
- de 2 chefs-sondeurs supervisant chacun 2 ateliers, pour lesquels ils organisent les transports et les approvisionnements.

Il est généralement nécessaire de mettre sur pied des bases rapprochées ainsi que, le cas échéant, une antenne dans la capitale.

4.2.4.4. Au niveau des programmes

Si l'ampleur des besoins en matière d'équipement hydraulique villageoise est un argument fondamental en faveur du matériel moderne, inversement il n'est pas possible de faire fonctionner des machines du genre rotary-marteau dans de bonnes conditions de rentabilité en l'absence de programmes suffisamment importants et continus.

Une structure logistique valable ne pouvant être justifiée que par la mise en service simultanée d'au moins 2, ou mieux 4 ateliers sur des périodes de l'ordre de 2 ans, le programme standard pour l'équipement des régions de socle (forages-unité de 50 m, 1 m³/h) devrait comporter au minimum 500 ouvrages, qu'ils doivent être exécutés par une entreprise ou un organisme public.

4.2.4.5. Préliminaires en vue du choix d'un type d'équipement

Le choix d'un type d'équipement destiné à un organisme public de forage devrait être précédé d'une analyse approfondie portant sur les points suivants :

a) Consistance des programmes à moyen terme :

- nombre d'ouvrages de chacun des types définis au chapitre 4.1. dans les 5 années à venir au moins ;
- répartition géographique de ces ouvrages.

b) Caractéristiques des formations géologiques concernées :

- dans les régions de socle (au sens large): probabilité de rencontrer une épaisseur donnée d'altérites ; cette étude est à faire zone par zone à partir des ouvrages existants ; il faut en particulier mettre en évidence les zones à altération épaisse (plus de 40 m) et la tenue probable de ces formations ;
- dans les zones sédimentaires à prédominance de roches tendres : le forage à l'air, éventuellement à haute pression, convient-il, notamment pour la traversée des niveaux aquifères ?

c) Infrastructure et potentiel existant :

- "structure d'accueil"
- personnel qualifié (ingénieurs, sondeurs, mécaniciens)
- matériel et véhicules
- parc et atelier mécanique automobile ou général
- possibilité d'installer des bases.

d) Concernant le matériel à choisir :

- il faut éviter, si les programmes le permettent, les ateliers modernes universels, souvent trop lourds et peu maniables ; il est préférable d'utiliser chaque fois que possible des machines spécialisées ;
- il est nécessaire d'unifier le type et la marque des ateliers répondant à un besoin particulier, ceci dans un but évident de simplification de la maintenance.

4.3. INVESTISSEMENTS ET EXPLOITATION - COUTS ET CHARGES

A l'occasion de la présentation des grands types d'ouvrage (chapitre 4.1) on a indiqué les ordres de grandeur des coûts de réalisation et d'entretien. Nous allons les détailler et les comparer dans le présent chapitre.

4.3.1. Coûts d'investissement - comparaison des puits et des forages

4.3.1.1. Puits et "forage-unité" dans les terrains anciens

a) Avantage des puits peu profonds

Pour des raisons relatives au terrain (faible perméabilité, niveau de l'eau généralement proche du sol, fluctuations saisonnières et annuelles, discontinuité des fissures aquifères) et hydrauliques (rapport des diamètres entre les 2 types d'ouvrages), le puits, qui exploite les "poches d'altération" du socle, doit avoir en moyenne une dizaine de mètres d'eau à l'équilibre, alors que le "forage-unité" (1 m³/h), qui constitue l'alternative de ce puits, doit pénétrer de 20 à 30 mètres dans la nappe.

L'ouvrage-type de l'hydraulique villageoise dans de vastes régions du socle, et au moins dans les pénéplaines d'Afrique de l'Ouest, où la nappe se trouve le plus souvent entre 5 et 15 m de profondeur en fin de saison sèche est donc :

- soit le puits à main de 20 mètres (10 m d'eau à l'étiage)
- soit le forage de 30 à 40, voire 50 mètres, exploité par pompe à main.

On a vu que le coût net du forage de ce type était de 1.800.000 F.CFA (pour 40 à 50 m) soit environ 40.000 francs le mètre, sur des bases calculées pour un organisme public correctement géré. Ces chiffres, recoupés par les données du plan d'hydraulique villageoise Tanzanien (1), sont très proches des prix actuellement pratiqués par les entreprises sur les gros marchés de Côte d'Ivoire notamment.

(1) Mais, en Tanzanie, l'essai de débit prolongé (72 heures, il s'agit de forage destiné à être équipé de pompes mécaniques) et les dépenses de "capping and workshop" aboutissent à doubler le prix de base du forage (environ 1.500.000 F.CFA pour 50 m, évaluation de 1975).

En ce qui concerne les puits à main, le coût que nous retiendrons à partir des réalisations voltaïques et nigériennes (régie ou organisme public) est de 60 à 80.000 francs le mètre, ce qui donne pour l'ouvrage de 20 mètres, un coût sensiblement inférieur à celui du "forage-unité" : 1.400.000 francs (1).

b) Avantages des forages lorsque la profondeur augmente

Lorsque les formations sont plus perméables (Birrimien de la Boucle du Cacao en Côte d'Ivoire) et que le relief s'accroît, le niveau de l'eau est plus profond, (on signale en Tanzanie des forages, apparemment dans le socle, de 120 m de profondeur). Ainsi des puits de 30 m seraient à comparer à des forages de 40 à 50 m, des puits de 50 m à des forages de 60 à 70 mètres, etc...

S'agissant de terrain dur, alors que le coût de la prolongation du forage à l'air est marginal (cf. 4.2.2. et annexe 2) le mètre de puits s'alourdit au fur et à mesure que la profondeur et la dureté s'accroissent, de sorte que le puits n'est rapidement plus compétitif.

Il faut ajouter à cela que, pour autant qu'on puisse en juger en l'absence trop fréquente d'essais de débit, la production effective des puits dans le socle est soumise à de nombreux aléas, même postérieurs à leur achèvement : baisses de niveau résultant de séries d'années sèches, colmatage, etc...

c) Cas des puits à la tarière (cf. 4.1.8.1.)

Le prix de revient du mètre de puits à la tarière mécanique (entreprise, Côte d'Ivoire) est actuellement de 80.000 francs, conduisant par conséquent à des coûts d'ouvrage du même ordre que les précédents.

Mais cette technique est pénalisée par le fait qu'elle ne s'applique qu'à des zones de nappe très superficielle dans les altérites. Sauf secteur particulièrement favorable, elle exige donc des reconnaissances préliminaires systématiques. Par ailleurs, elle ne permet guère, vu son diamètre, que l'exploitation par pompe, avec toutefois la possibilité de puiser en cas de panne. Enfin la vulnérabilité des ouvrages est plus grande.

(1) Il faut préciser que les dernières entreprises privées de puits d'Afrique de l'Ouest pratiquent des prix très supérieurs (100.000 francs le mètre ou plus) et que les coûts de régie ou d'organismes publics en Mauritanie au Mali et au Tchad atteignent et dépassent 100.000 francs le mètre, du fait de l'éloignement des chantiers ou des difficultés de gestion.

d) Note sur la profondeur optimale des forages dans les terrains anciens.

Même lorsqu'on fore au marteau, limiter les ouvrages à la plus juste profondeur est une condition évidente d'économie. Il ne faut pas oublier en effet que le débit recherché pour le "forage-unité" est de 1 m³/h seulement. Considérant la petitesse de ce débit, par rapport aux 5 m³/h souhaitables pour les forages destinés aux centres secondaires et équipés de pompes à moteur, on distinguait naguère au Ghana les forages "peu profonds" (objectif 1 m³/h) qui pénétraient de 10 à 15 m dans la nappe, des "forages profonds" (objectif 5 m³/h) qui y pénétraient de 50 mètres.

Lorsqu'on considère la multiplicité des formations géologiques qu'il faut bien englober dans l'appellation "terrains anciens", et l'irrégularité des conditions hydrogéologiques (altération, fracturation) à l'intérieur de chacune d'entre elle, on comprend la complexité du problème posé.

Seules des statistiques portant sur un grand nombre d'ouvrages et mettant en relation la pénétration dans la nappe et le débit, dans chaque état et chaque formation caractérisée, permettront de miser sur une profondeur moyenne pour obtenir un débit donné.

Cas par cas, le jaillissement observé au forage à l'air permet (avec une bonne habitude), d'estimer, plus ou moins précisément, le débit obtenu à chaque moment du forage et par conséquent de l'arrêter à bon escient. Néanmoins, il faut prendre garde de ne pas interpréter comme un accroissement du débit de la formation l'amélioration du rendement de l'air-lift qui résulte de l'augmentation de la submergence.

4.3.1.2. Forages et puits dans les formations tendres

Dans les aquifères peu profonds des formations tendres (sables, grès tendres, etc...), l'alternative puits-forage se pose dans des termes sensiblement différents.

En effet :

- le forage est plus cher qu'en terrain dur ;
- l'accroissement de profondeur pénalise beaucoup moins le puits en terrain tendre qu'en terrain dur ;
- les perméabilités plus fortes et régulières des formations concernées font que, contrairement au cas du socle, la profondeur à donner aux puits et aux forages diffère peu, compte tenu des faibles débits recherchés.

a) Lorsque le niveau de l'eau est très superficiel (0 à 10 m)

(ouvrages de moins de 20 mètres), l'importance des dépenses fixes inhérentes au forage avec des machines classiques l'exclut pratiquement au profit du puits à main ou des procédés particuliers cités au paragraphe 4.1.8.2.

b) Pour des profondeurs plus grandes, par exemple lorsque la nappe est à plus de 30 mètres, les coûts paraissent comparables, au moins au Niger où un puits de 40 mètres ne coûterait que 2,5 M. F/CFA. En fait, le coût du forage dans les formations tendres varie énormément en fonction des états et de l'importance des programmes.

Il convient de rappeler ici que la seule variante possible au puits pastoral exploité à 3 ou 5 m³/h est le forage équipé d'une motopompe.

4.3.2. L'entretien - Nature et coûts

4.3.2.1. Entretien des puits

a) Nature : Les puits sont sujets, par suite de l'exploitation qu'ils subissent, à diverses dégradations auxquelles il est indispensable de remédier régulièrement.

Si les puits creusés en terrain dur, sans revêtement, ont une durée de vie illimitée et n'exigent qu'un curage de temps à autre, les ouvrages foncés dans les formations tendres sont d'autant plus vulnérables que la tenue mécanique des terrains est plus mauvaise. Cependant, même dans des formations très instables, un puits bien construit et régulièrement entretenu dure des dizaines d'années. Mais, dans ces formations, le captage évolue (enfouissement, ensablement, déformations etc...) ce qui rend un contrôle périodique indispensable.

Les opérations d'entretien et de réparation les plus courantes sont les suivantes :

- curage : extraction des débris tombés dans le puits ou de l'ensablement qui a pu se produire par le fond dans le captage ;
- rajout de gravier-filtre derrière le captage ;
- réparation des parties en béton : cuvelage, superstructures ;
- remblaiement ou, à l'inverse, dégagement des abords (puits pastoraux) ou surélévation de la margelle.

Les opérations les plus importantes sont celles qui ont trait au captage : décolmatage mécanique ou chimique, et surtout réfection du captage après extraction ou par rechemisage, opérations auxquelles il faut ajouter le doublage éventuel du cuvelage.

Enfin, il arrive (fréquemment dans le socle) que des puits de débit ou de hauteur d'eau insuffisants doivent être repris et "approfondis" après coup.

b) Organisation et coût

Un organisme, des services ou des équipes spécialisées dans l'entretien devraient exister dans tous les états qui utilisent des puits.

L'OFEDES, office national nigérien, dont c'est la fonction de base, fournit un bon exemple d'organisation de ce type. Il comporte une section spécialisée avec 26 équipes.

Chacun des 4200 puits existants est visité, et réparé s'il y a lieu une fois tous les 3 ans (une équipe entretient donc environ 50 puits par an).

Le coût d'entretien annuel d'un puits se situe autour de 40.000 F.CFA, dépense couverte pour l'essentiel par une contribution de l'arrondissement administratif intéressé.

Ce système fonctionnant bien et paraissant assurer aux puits du Niger l'entretien adéquat, on peut estimer, s'agissant d'une part d'un état très vaste, où les ouvrages sont dispersés, d'autre part de formations sableuses pour l'essentiel, que cette base financière constitue un maximum valable pour tous les états (sous réserve évidemment d'une bonne gestion).

4.3.2.2. Entretien des forages

Les forages peuvent subir dans certaines conditions des altérations dues à l'exploitation, comme la corrosion ou le colmatage des crépines, qui nécessitent des opérations périodiques de régénération par voie mécanique (air comprimé) ou chimique (polyphosphate, acides, etc...), ou le rechemisage de l'ouvrage (doublage de la crépine en diamètre inférieur).

Mais, compte tenu du faible débit d'exploitation des ouvrages d'hydraulique villageoise, et de la possibilité d'employer dans la plupart des cas des tubages et crépines en PVC qui ne s'altèrent pas, les forages villageois, au moins ceux implantés en roche dure, devraient avoir, à condition d'être correctement réalisés, une grande longévité sans nécessiter de réparation (1). Il devrait en être de même, dans la plupart des cas, pour les forages dans les formations sableuses.

Il n'est d'ailleurs pas toujours possible, compte tenu de son diamètre, de remplacer la crépine d'un petit forage, de sorte qu'un nouvel ouvrage peut être nécessaire.

Il n'y a en tous cas aucune raison d'organiser des sections spécialisées pour le contrôle des forages, l'entretien des pompes imposant des visites régulières sur le site.

En ce qui concerne les charges d'entretien à appliquer au cas du "forage unité", on peut faire l'hypothèse qu'un forage sur 10 soit à reprendre tous les 10 ans, avec une intervention d'un coût moyen de 1.000.000 F. La charge annuelle correspondante serait de 10.000 F.CFA par ouvrage.

4.3.2.3. Entretien des pompes

L'exhaure par pompe à main est étudiée ci-après, au chapitre 5. Nous nous bornerons à indiquer ici que le coût d'entretien annuel d'une pompe à main classique par un organisme spécialisé (annexe 9) peut être évalué entre 45.000 et 50.000 F, d'après l'exemple de la Côte d'Ivoire, ce prix supposant une bonne organisation et une densité géographique suffisante des pompes (maille de 10 à 20 km maximum).

Les hydrompompes, beaucoup plus légères et de structure différente, devraient normalement conduire à des coûts d'entretien moins élevés, les déplacements pouvant être souvent faits en vélomoteur et non en auto.

(1) Il faut avouer cependant que l'expérience de ce type d'ouvrage est encore trop récente pour qu'on puisse émettre un jugement assuré.

En ce qui concerne les pompes à moteur, pour lesquelles l'entretien est inséparable du fonctionnement, il est pratiquement impossible d'établir des normes. Il faut en effet d'une part un permanent sur place pour assurer le fonctionnement courant et un service d'entretien-dépannage. Plus encore que pour les pompes à main, on est ici en butte à la complexité du problème posé en Afrique par l'entretien des installations collectives : en termes de service (coût du personnel), la charge est démesurée par rapport aux faibles débits distribués, si l'entretien doit être assuré par un organisme extérieur. Les budgets annuels des organismes d'entretien des forages pastoraux au Niger et au Sénégal (1 à 2 M.CFA par ouvrage) se rapportent à des débits bien supérieurs aux besoins des villages, mais on peut craindre que les charges soient du même ordre pour des petits forages villageois équipés de motopompes tant que les villages ne seront pas en mesure d'en assurer eux-même la maintenance.

4.3.3. Charge globale par m3 et par tête pour quelques ouvrages-type

4.3.3.1. Données de base.

a) Les annexes 4 à 8 donnent les calculs des charges correspondant aux principaux ouvrages-types : puits et "forage unité" dans le socle, (300 personnes, soit 6 m3/j), forage à motopompe alimentant 1500 personnes (30 m3/j), puits pastoral et forage à motopompe en terrain tendre (30 m3/j), forage "profond" en roche dure avec motopompe, alimentant 500 personnes (10m3/j).

b) On a adopté des durées de vie de 20 ans pour les ouvrages et les infrastructures, de 5 ans pour le matériel de pompage. Les amortissements tiennent compte d'un intérêt de 8 % sur le capital.

c) Les coûts et les pourcentages d'échecs sont relatifs à l'expérience courante en Afrique de l'Ouest. En ce qui concerne le "socle", les pourcentages d'échecs correspondent aux granites et schistes birrimiens, les plus répandus dans cette région (1).

d) Nous avons pris pour les ouvrages des hypothèses de consommation très modérées, qui conduisent à des coûts élevés au m3. Pourtant on peut se demander si ces consommations ne sont pas surestimées, dans de nombreux cas.

(1) Les pourcentages d'échecs, et par conséquent les coûts, sont beaucoup plus élevés dans certaines formations infra ou précambriennes (cf. chapitre 2).

Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que :

- La plupart des ouvrages modernes restent inutilisés ou sous-utilisés aussi longtemps qu'il subsiste d'autres ressources (mares, marigots, puisards) ; leurs durées d'utilisation peuvent se réduire à quelques mois par an dans les régions pluvieuses ;

- le pompage à la main est affecté de temps morts et de ruptures de rythme qui lui donnent un rendement pratique très éloigné du rendement théorique ;

- beaucoup de puits dans le socle ne fournissent pas 5 m³/jour en saison sèche.

Les charges par tête sont donc probablement plus valables que les charges au m³.

4.3.3.2. Résultats globaux

Ils sont donnés par le tableau ci-après (p. 115)

On remarque que les coûts d'investissement par tête vont de 4.700 à 16.000 F et les coûts totaux au m³ de 46 F (puits pastoral au Niger) à plus de 400 F dans le cas de desserte d'un petit village par forage avec motopompe. Mais ces coûts (au moins les plus élevés) n'ont pas grande signification en valeur absolue, d'autant plus qu'il nous a pas été possible de les recouper, comme il l'aurait fallu, par des exemples actuels. Leur utilité essentielle est de permettre la comparaison des types d'équipements et de mettre en lumière des limites économiques.

Si on exclut les extrêmes, les charges d'investissement sont assez homogènes : de 80 à 130 F le m³ (ou de 600 à 950 F par an et par tête). Par contre les charges de fonctionnement traduisent bien les 3 modes d'exhaure :

- traditionnel : 5 à 20 F le m³ (max. : 120 F par tête et par an)
- par pompe à main : 50 à 70 F le m³ (ou 4 à 500 F par tête et par an)
- par motopompe : de l'ordre de 125 F le m³ (900 F par tête et par an).

EVALUATION DU
COUT DE L'EAU DANS QUELQUES OUVRAGES-TYPES
D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

en F.CFA

	Investissement			Fonctionnement		Coût total		
	total par tête	charge annuelle par tête	charge par m3	charge annuelle par tête	charge par m3	charge par tête	charge par m3	
A- Puits 20 m. "Socle." Puisage 5 m3/jour (250 personnes)	7.040	720	98	160	22	880	120	Annexe 4
B - Puits 20 m. "Socle." Pompage à main 5 m3/j. (250 personnes)	8.000	750	103	520	71	1.270	174	Annexe 4
C - "Forage- unité"."Socle" 40/50 m. Pom- page à main 6 m3/jour (300 personnes)	7.400	670	92	400	54	1.070	146	Annexe 5
D - Forage "socle" 60m+réservoir Motopompe 30m3/j (1500 personnes)	4.670	600	82	860	117	1.460	200	Annexe 6
E - Idem avec petit réseau distribution	8.000	940	128	860	117	1.800	245	Annexe 6
F - Forage roche dure 120 m + réservoir 10m3 Motopompe 10m3/j (500 personnes) entretien par la collectivité	16.000	2.020	276	930	128	2.950	404	Annexe 7
G - Puits "ter- rain tendre"50m. Puisage 30 m3/j. (usage pastoral)			42		4		46	Annexe 8
H - Forage "ter- rain tendre" 60 m motopompe 30 m3/jour.			86		119		205	Annexe 8
I - TANZANIE (plan de dévelop- pement rural 1976 1980): forage 60 m desserte de 1500 personnes y compris motopom. et réservoir (réseau non compris)	5.800							
J - Forage de 120 m desserte de 1500 personnes.	7.650							

4.3.3.3. Comparaison entre les types d'équipement

a) Puits "type socle" (20 m) équipé ou non d'une pompe à main (cas A et B)

Compte tenu du faible débit (5 m³/j) du puits dans le socle, l'investissement est onéreux (98 F au m³). Il l'est sans doute plus en réalité car nombre de puits de ce type se révèlent après coup d'un débit insuffisant.

L'équipement avec une pompe à main, qui fait passer de 22 à 71 F le m³ les charges récurrentes, retire au puits son intérêt spécifique (réserve d'eau, souplesse du puisage à plusieurs personnes), mais il accroît l'hygiène. Un tel équipement ne se justifie que sur les ouvrages dont le débit en saison sèche est vérifié et suffisant.

b) Puits ou forage "unité" dans le socle (cas B et C) (puits de 20 m et forage de 30 à 50 m)

Le puits est censé alimenter 250 personnes, soit 5 m³/j, ce qui n'est pas toujours possible en saison sèche, le forage : 300 personnes, soit 6 m³/j, ce qui correspond à la capacité pratique de la pompe à main pour des HMT de 20 à 30 mètres, mais il pourrait couramment fournir plus. Le pourcentage d'échec des forages a été ramené à 10 %, selon de récents résultats.

Les charges fixes du forage sont beaucoup plus élevées que les charges récurrentes (respectivement 103 et 71 F par m³). Un abaissement peut être recherché dans la limitation de profondeur des ouvrages (cf. 4311-e).

On note que la charge totale d'exploitation du forage (146 F par m³) se situe entre celle du puits d'exploitation traditionnelle et celle du puits à pompe à main.

c) "Forages-unité" multiples ou forage unique avec motopompe (cas C, D, E)

Nous avons étudié ce cas pour le socle : il permet de poser le problème de l'exhaure par motopompe. L'alternative se situe entre 5 forages de 1 m³/h (cas C) exploités par pompe à main à raison de 6 m³/j (300 personnes) chacun, et un forage de 5 m³/h avec motopompe et réservoir de 30 m³ (cas D) exploité à 30 m³/j (1500 personnes). Compte tenu de la relative importance du débit exigé (5 m³/h dans le socle), le coût de ce forage a été majoré de 30 % pour recherches et échecs.

Les points remarquables sont les suivants :

Coût d'investissement au m³ : il est du même ordre dans les 2 cas ; 92 F pour le "forage-unité" contre 82 F au forage de 5 m³/h, malgré l'équipement supplémentaire (réservoir, pompe, groupe électrogène, etc...). Mais ceci ne vaut que si les 30 m³/j sont distribués au réservoir même ; la pose de 1000 m de canalisations et de bornes-fontaines (cas E) majore en effet de 60 % la charge d'investissement (de 82 F à 128 F). Or, il en faudrait bien plus pour acheminer à proximité immédiate des lieux de consommation l'eau nécessaire à 1500 habitants en habitat dispersé.

Charges de fonctionnement : elles atteignent (D et E) par an et par ouvrage 1280.000 F par forage, soit 117 F par m³. Dans cet ensemble, les charges de personnel interviennent pour 54F, soit près de la moitié, mais en fait, leur montant est très hypothétique. Ceci signifie que si la maintenance de l'installation pouvait être assurée par le village, le coût de fonctionnement au m³ serait du même ordre que pour le forage-unité. Par contre, dans le cas d'un entretien extérieur, ce coût est imprévisible : il doit être évalué dans chaque situation et dépasse sans doute généralement les moyens des états.

Le coût global au m³ : 200 F (avec réservoir, sans adduction) est 40 % plus élevé que pour le forage-unité (146 F). Avec un embryon d'adduction, le rapport passe à 1,7 (245F). Il faudrait donc augmenter largement le volume distribué pour atteindre une rentabilité du même ordre : ceci n'est pas possible en habitat rural ; on se trouve dans les conditions de desserte des centres secondaires (1).

d) "Forage-unité" de 120 mètres à motopompe (cas F)

Cette hypothèse a été étudiée en cas de roche dure. Elle correspond au cas de petites collectivités dispersées, installées dans des zones de relief, où les seules ressources utilisables se trouvent en profondeur dans des roches dures : roches volcaniques basiques, calcaires ou dolomies, certaines roches éruptives très fracturées.

Ce cas, exceptionnel en Afrique de l'Ouest, paraît assez répandu en Afrique Orientale où l'on signale couramment des forages de 80 à 120 mètres.

On a supposé que le pompage desservait 500 personnes seulement soit 10 m³/jour.

L'investissement total, compte tenu d'un réservoir de 10 m³, s'élève à 8 M.CFA, soit 16.000 F par tête, ce qui représente une charge de 276 F par m³, et le fonctionnement à 128 F sans compter la main d'oeuvre, laquelle ferait plus que doubler ce coût en cas de prise en charge par un organisme extérieur.

Il faut noter que l'investissement serait plus élevé encore si le forage était fait en terrain tendre.

Une telle hypothèse conduit donc rapidement à l'impasse et, si de telles situations existent, il est sans doute impossible dans la quasi-totalité des états concernés de les régler de cette manière.

Cet exemple illustre le difficile problème posé par la maintenance d'installations mécanisées dispersées et plus encore la nécessité de choisir avec le plus grand soin la ressource à exploiter, lorsqu'il existe plusieurs options.

(1) A l'inverse, dans les zones périphériques des agglomérations et lorsque les nappes sont peu profondes, une meilleure rentabilité du service d'eau peut être obtenue en implantant des "forages-unité" équipés de pompes à main à la place de bornes-fontaines, exigeant l'extension du réseau de distribution

e) Puits ou forage en terrain tendre (nappes libres) (cas G,H)

Cette comparaison n'est valable qu'en région d'économie pastorale. La seule alternative au puisage traditionnel étant, pour un débit courant de 30 m³/jour, le forage à motopompe, on voit que le choix de cette solution revient à quadrupler le coût du m³ d'eau. Ceci pousse évidemment à augmenter les débits pompés, ce qui n'est en général pas souhaitable pour le pâturage.

Le cas du forage (H), dans lequel on a repris les mêmes bases d'évaluation de l'entretien que dans le cas (D), montre en passant l'accroissement de charge dû au coût plus élevé du forage en terrain tendre non consolidé.

f) Forage ou puits-forage (nappes captives)

Dans le cas, non classique, du "socle", le problème a été abordé au chapitre 3. Mais c'est essentiellement des nappes captives des bassins sédimentaires récents qu'il s'agit, dans les zones pastorales sahéliennes.

Si on suppose que la consommation est la même, qu'il s'agisse de puisage à la main dans le contre-puits ou d'exhaure mécanique dans le forage (30 m³/jour en moyenne par exemple), il suffit de remarquer que le coût d'un puits-citerne de 70 m (environ 5,5 M.CFA) est du même ordre que celui de l'équipement d'un forage en vue du pompage mécanique pour démontrer que le puits-forage, qui économise les frais de fonctionnement, est dans tous les cas plus intéressant (1).

Mais pour cette consommation, l'amortissement de l'ouvrage est très élevé : 150 à 300 F par m³ pour des profondeurs de forage de 100 à 400 m (coût de 10 à 30M), quelle que soit la profondeur du puits (entre 20 et 80 m). Parallèlement, le fonctionnement du forage coûte au minimum 120 F le m³ pour ce débit (p. 114).

(1) Charge annuelle (sur 20 ans) d'un contre-puits de 70 m : (5,5 M) : 560.000 F
idem pour l'équipement supplémentaire de pompage (annexe 6) : 570.000 F.

Si l'on tire un débit plus important du forage, il va de soi que les charges décroissent : les 2.000.000 annuels du coût moyen de fonctionnement des stations pastorales du Niger se rapportent à une production moyenne de 46.000 m³/an (125 m³/jour) soit 43 F par m³ (1). Mais la rentabilité de tels aménagements est à étudier du point de vue pastoral et non plus du point de vue de la population.

4.3.3.4. Conclusions

Les points importants qui se dégagent de cette analyse sont les suivants :

1°) Aucun équipement n'approche la rentabilité du puits dans les zones sédimentaires à tradition pastorale (charge totale de l'ordre de 50 F/m³). Mais ce type d'ouvrage n'est pas transposable à d'autres conditions.

En regard, le puits à puisage traditionnel dans le "socle" revient relativement cher (plus de 100 F par m³) à cause de ses performances médiocres et irrégulières.

2°) Dans les roches dures (aquifères discontinus) qui prédominent dans le "socle" cristallin et les formations anciennes, et qui concernent la plus grande partie des populations intéressées, le "forage-unité", de 30 à 80 m (50 m en moyenne) exploitable à la pompe à main et pouvant desservir en moyenne 300 personnes, est le prototype de l'ouvrage qui doit être construit à des dizaines de milliers d'exemplaires dans les années qui viennent.

Les charges correspondantes s'élèvent à 150 F par m³, dont le tiers environ pour le fonctionnement. Le grand problème reste l'organisation de la maintenance des pompes.

(1) *Il n'est pas certain que cette somme, qui est donnée depuis de longues années comme dépense moyenne de fonctionnement par l'OFEDS, soit parfaitement représentative des coûts actuels.*

3°) Lorsque les nappes dépassent 50 m de profondeur, l'exhaure n'est plus possible qu'à la pompe électrique. Cet équipement ne semble pouvoir être envisagé pour desservir la "population unité" (3 à 500 personnes) que si la maintenance des installations est effectuée par le village lui-même. Même dans ce cas, le coût global atteint 3 à 400 F par m³.

Cet équipement est beaucoup mieux rentabilisé par la desserte d'une population de 1500 personnes, à condition qu'aucun transport notable de l'eau ne soit nécessaire. Le prix de l'eau serait ainsi compris entre 200 et 250 F/m³.

Mais les problèmes posés par l'entretien et le fonctionnement de telles installations en dehors des centres urbains restent généralement à résoudre.

4.4. ELEMENTS CONCERNANT LES STRUCTURES ET L'ORGANISATION

Les questions d'organisation ont déjà été abordées pour les forages, au chapitre 4.2. Nous nous bornerons à les compléter ici, plus particulièrement en ce qui concerne les puits.

Délaissant les forages profonds en terrain sédimentaire, nous nous limiterons au cas des ouvrages dont la réalisation peut être standardisée : "puits ou forage unité" de 50 mètres ou moins, dont le type se trouve dans les "terrains anciens".

4.4.1. Réalisation de forages villageois

Le chapitre 4.2.4. étudie les conditions de bon fonctionnement des matériels de forage, et les annexes 2 et 3 décomposent les prix de revient d'un organisme de type administratif avec appui technique de contractuels expatriés.

Il en ressort que dans le cas où on utilise les matériels modernes en vue de réaliser des "forages unité" en grande série, la cellule de base comporte 4 ateliers, avec leur infrastructure (garage, magasin, administration) et leurs techniciens (une cinquantaine de personnes au total).

Sur la base de 3 jours tout compris par ouvrage (à un seul poste de 8 h par jour) un tel ensemble est en mesure de réaliser 300 à 350 forages de 50 m par an.

Le budget annuel s'élève à environ 600 M.CFA par an approximativement répartis comme suit (annexe 2) :

- Personnel :	20 %
- Amortissements :	21 %
- Carburants, fournitures, consommables :	39 %
- Fonctionnement, frais généraux et divers :	20 %

Les points délicats d'une telle organisation sont habituellement :

- la qualification des sondeurs et mécaniciens
- l'organisation du magasin, la mise à disposition en temps utile des pièces de rechange nécessaires et la réparation des organes complexes. Comme on l'a vu, en effet, le risque de panne et le coût élevé des temps morts sont la rançon de la grande vitesse d'exécution. La logistique doit donc être rigoureusement organisée.

4.4.2. Réalisation de puits à main

4.4.2.1. Organisation générale des chantiers

Elle diffère presque en tous points de l'organisation nécessaire au forage.

La construction d'un puits de 20 à 30 m demande en effet 2 à 3 mois (3 jours pour un forage de 50 m) à une équipe de 4 à 5 personnes. Suivant la méthode classique, il s'agit d'abord d'une équipe de fonçage et cuvelage, peu spécialisée, sous la direction du puisatier, puis d'une équipe de mise en eau, qui effectue le captage, et se compose habituellement d'un puisatier et de son aide, d'un machiniste pour la grue-derrick et de deux manoeuvres. Cette opération est beaucoup plus brève mais beaucoup plus complexe. Si l'on utilise la méthode du "cuvelage captant", tout le travail est effectué par la même équipe.

Une "brigade" comporte 4 à 10 équipes, suivant la nature des travaux, et correspondant à autant de chantiers. Compte tenu de la durée des chantiers, la réalisation de 300 à 350 points d'eau par an (comme précédemment avec 4 ateliers de forages modernes) nécessite le fonctionnement simultané d'une centaine de chantiers. Il s'agit par conséquent d'un organisme très lourd, utilisant les services d'environ 500 personnes, la majeure partie étant des manoeuvres peu spécialisés.

Un tel organisme réclame :

- 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 exemples de Haute-Volta et du Niger permettent de donner la répartition suivante des dépenses :

- Personnel :	20 à 30 %
- Amortissements, matériel et véhicules :	20 à 25 %
- Matériaux et entretien :	30 à 40 %
- Fonctionnement et frais généraux :	15 à 20 %

En ce qui concerne le poste "personnel", dont le volume financier est du même ordre que pour les forages, il s'applique à un groupe environ 10 fois plus important (500 personnes au lieu de 50 environ) mais où les expatriés sont en nombre plus restreint et les spécialistes moins nombreux.

4.4.2.2. Points délicats de l'organisation

a) La technique des puits est lente et à base de travail manuel. Elle n'utilise que des matériels simples, contrairement au forage (moderne) (1).

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.

Du point de vue du matériel, la réalisation de captages, assez profonds en tous terrains, réclame un matériel important : grues-derricks, bennes preneuses, compresseurs, pompes à air comprimé, marteaux-piqueurs, moules à buses soignés, etc... La benne preneuse notamment, est indispensable pour les terrains fluants.

Du point de vue du personnel, il faut noter la disparition progressive des puisatiers qualifiés, qu'ils soient nationaux ou expatriés, et l'insuffisance des tentatives de formation, généralement trop théoriques. Les entreprises spécialisées sont d'ailleurs en voie de disparition, et les réalisations en régie administrative se heurtent fréquemment à des difficultés de ce fait.

(1) Dans le cas le plus favorable (terrain tendre et suffisamment cohérent) un puits peut être entièrement foncé à la main et ne pas nécessiter de revêtement, mais c'est exceptionnel.

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. Dans le cas inverse, il en résulte une immobilisation des chantiers et du matériel.

Par ailleurs, le grand nombre de personnes employées et la décentralisation des travaux entraîne des risques certains de gaspillage de carburant (transports) et de matériaux (ciment).

Organiser rigoureusement les transports pose des problèmes difficiles, et le nombre des véhicules est rarement bien proportionné aux travaux. La construction d'un puits nécessite des transports très importants, tant pour l'approvisionnement des chantiers (1) que pour les tournées du chef de brigade ; cependant une mauvaise organisation peut entraîner un surdimensionnement du parc de véhicules.

La fabrication des buses doit être étudiée en fonction de la dispersion des chantiers (une buse de captage de Ø 140 pèse 1200 kg). Elle peut être effectuée sur le chantier, mais il est souvent préférable de monter un atelier central et de transporter les buses jusqu'à chacun d'entre eux.

4.4.2.3. La participation de la population

Appelée "self help" dans les pays anglophones, "investissement humain" dans les pays francophones, la participation de la population aux travaux de captage des nappes ne peut être envisagée que pour la réalisation de puits, qui comprend des tâches non spécialisées, non pour celle des forages.

a) Principe et avantages

En Haute-Volta, où les populations participent de longue date à la construction des puits, ceux-ci n'étaient à l'origine réalisés par l'administration que dans le cas où les villageois avaient préalablement entrepris la fouille jusqu'au niveau de l'eau. Ceci n'est évidemment possible que dans des régions où il y a pénurie.

(1) La construction d'un puits de 35 m, dont 5 m de captage, met en oeuvre 110 m³ de déblais (165 après foisonnement), 20 m³ de graviers, 10 m³ de sable, 1 tonne de fer, 8 tonnes de ciment.

Plus généralement, on attend de cette participation des usagers non seulement une économie de main d'oeuvre, mais encore et surtout que leur adhésion les amène à prendre en charge l'entretien de leurs puits.

b) Limites

Sans sous-estimer aucunement les éléments psychologiques très positifs de la participation des villageois, il faut reconnaître que son intérêt est rapidement limité par deux contraintes :

- contrainte technique :

L'adaptation de la technique des puits aux possibilités de la main d'oeuvre non spécialisée des villages, que l'on avait tentée en Haute-Volta, a conduit à l'échec. En fait, la main d'oeuvre villageoise ne doit être employée, comme c'est le cas au Niger, qu'à des tâches simples et bien délimitées dans le respect des règles techniques de construction.

- contrainte d'organisation :

La bonne organisation d'un programme est peu compatible avec la fixation au dernier moment des villages où opérer. Il est souhaitable au contraire que les avant-travaux de reconnaissance, s'il y a lieu d'en faire, aient été réalisés pendant la saison sèche précédant les travaux.

Dans le cas d'un programme de réalisation systématique dans une région donnée, les villageois n'ont d'ailleurs plus intérêt à creuser la fouille eux-mêmes.

La coordination des chantiers, qui est une difficulté des opérations de puits, ainsi qu'on l'a vu ci-dessus, est grandement compliquée par l'intervention des villages, si celle-ci est prépondérante dans la première phase de la construction (fonçage et cuvelage).

c) Nature de la participation

La participation de la population doit donc être intégrée aux travaux du chantier, dirigée par le puisatier et limitée aux tâches suivantes :

- tâches de préparation : pistes d'accès, ramassage et tamisage du gravier et du sable, éventuellement approvisionnement en eau ;

- fonçage du puits et extraction des déblais, sauf en terrain instable ou trop dur ; préparation du béton ; participation au cuvelage du puits.

d) Bénéfices de l'opération

Au Niger, où la population des villages participe à la construction, on estime que le coût du puits est abaissé de 14 % environ par économie sur le personnel.

Concernant l'entretien ultérieur des ouvrages (§ 4.3.2.), le bénéfice attendu est assez illusoire car la seule tâche effectivement réalisable par les villageois est le curage ; les réparations exigent de toutes manières l'intervention régulière d'un service spécialisé disposant du matériel nécessaire.

4.4.3. Types de structures opérationnelles

4.4.3.1. Pour les travaux

De l'exécution des travaux par l'Administration elle-même à l'appel systématique aux entreprises privées, on rencontre en Afrique des types de structures divers pour la réalisation des ouvrages d'hydraulique villageoise :

- la régie administrative directe, très rigide, tend à céder le pas à des formules plus souples ;
- les projets autonomes, exécutés par les moyens de l'Administration mais gérés par des organismes distincts, non soumis aux règles administratives, constituent parfois des compromis intéressants ;
- des offices publics, normalement contrôlés par l'Administration, ont été créés dans divers pays où les problèmes d'équipement hydraulique constituaient une priorité nationale, à une époque où les entreprises privées étaient rares ou mal adaptées ;
- D'autres pays ont créé des sociétés nationales de travaux dans le but de briser les situations établies des firmes étrangères et d'acquérir un savoir-faire.

Enfin, certains états pratiquent systématiquement l'appel d'offres.

Même indépendamment de la philosophie politique qui sous-tend parfois le choix des états, il serait vain de privilégier telle ou telle solution. Il va de soi en effet qu'il n'y a pas de formule standard et que les facteurs de choix varient très largement d'un Etat à l'autre.

Tout au plus peut-on faire quelques remarques à ce sujet :

a) Le problème se pose assez différemment pour les puits (il n'existe plus guère d'entreprises spécialisées) et pour les forages, où les entreprises ont au contraire tendance à se multiplier avec l'accroissement de la demande.

b) L'importance et l'homogénéité des programmes de forage (réalisation en série de "forages-unité") permet d'établir des cahiers des charges stricts, de les contrôler facilement, et d'obtenir par la concurrence des prix avantageux des firmes privées.

Inversement, la conduite de réalisations au coup par coup, disséminées ou de nature disparate, ne laissent généralement pas d'autres solutions valables que l'intervention d'un organisme national. Il en est de même lorsque les états sont situés à l'écart des grands axes commerciaux.

c) L'alternative se situe presque toujours, au moins dans les états francophones, entre organisme (ou entreprise publique) national et entreprise privée étrangère. On peut se demander si, dans certains états au moins, des entreprises privées nationales ne pourraient être suscitées avec profit (§ 4.2.3.).

4.4.3.2. Pour l'entretien

Les problèmes de structure posés par l'entretien sont très différents, parce qu'il s'agit par nature d'une activité de service public. Ils sont aussi, à notre avis, encore plus importants que les problèmes de construction car ils sont moins évidents et ont été assez négligés jusqu'à présent.

Rappelons ici que le problème de l'entretien des points d'eau villageois concerne essentiellement les puits, d'une part, les pompes qui équipent les forages, d'autre part, et beaucoup moins, les forages eux-mêmes.

Pour les puits, la plupart des états qui en construisent ayant leurs propres services ou offices réalisateurs nationaux, ceux-ci effectuent eux-mêmes l'entretien. Le Niger peut être donné en exemple (§ 4.3.2.1.).

Dans les états francophones, l'entretien des pompes a surtout été organisé jusqu'à présent pour les pompes à moteur des forages pastoraux (régie administrative au Sénégal, office national au Niger). Pour les pompes à main, des sections spécialisées sont en voie de constitution dans différents Etats dans le cadre de l'Administration. La Côte d'Ivoire a pour sa part innové en confiant à la société qui distribue l'eau dans les centres la concession d'entretien de toutes les pompes des forages ruraux, mais cette solution n'est sans doute pas à la portée de tous les états.

L'expérience des états anglophones, dont la politique de forage est en général beaucoup plus ancienne, est certainement très importante, et il paraît souhaitable d'y enquêter sur les procédures et organismes créés à cet effet.

Enfin aucune solution en voie d'élaboration ne devrait ignorer que l'entretien des pompes à main a vocation à être assurée dans l'avenir par des artisans décentralisés dans les villages, sinon par les villageois eux-mêmes.

4.4.3.3. Rôle de l'Administration

Il est bon de rappeler ici que le rôle fondamental d'une Administration est moins de réaliser elle-même que de faire réaliser suivant l'intérêt public.

Ses tâches les plus évidentes sont par conséquent non pas les travaux mais la conception des ouvrages, le choix des villages, les études préliminaires, l'élaboration des spécifications, le contrôle des travaux, l'exploitation des résultats, le suivi de l'utilisation et la tenue à jour d'archives techniques permettant d'assurer la continuité dans l'effort d'équipement et la progression de la qualité des réalisations.

CHAPITRE 5

L'EXHAURE ET LES POMPES A MAIN

Le souhait des promoteurs de la présente étude était de présenter une analyse comparative des pompes existant sur le marché, du point de vue technologie, risques de panne et coût d'investissement et d'entretien, de façon à guider le choix des responsables des projets d'équipement.

Pour des raisons de fond (manque de tests suffisamment approfondis, ou non diffusion de leurs résultats) plus encore que faute de moyens financiers, ce programme n'a pu être que partiellement réalisé. L'aperçu qui suit doit cependant permettre au lecteur d'aborder correctement et avec suffisamment de prudence les problèmes posés par l'équipement en moyens d'exhaure des points d'eau villageois et le choix d'un type de pompe à main. On trouvera in fine l'analyse des caractéristiques principales d'une trentaine de modèles de ces pompes, d'après les notices des constructeurs essentiellement.

Dans ce domaine, il est indispensable de se reporter au Technical Paper n° 10 publié en juillet 1977 par l'International Reference Center for Community Water Supply (1). Ce document de base, dans lequel nous avons beaucoup puisé, décrit avec précision de nombreux modèles de pompes à main, étudie les organes qui les composent et analyse leur fonctionnement. Il donne également les bases de calcul des prix de revient, expose les modalités d'organisation de l'entretien et présente les conditions de fabrication dans les états intéressés.

(1) IRCCWA (F.E. Mc JUNKIN) : "Handpumps for use in drinking water supplies in developing countries". La Haye juillet 1977 ; publié sous l'égide du P.N.U.E. et de l'O.M.S.

5.1. DONNEES DE BASE

5.1.1. Situation du problème

5.1.1.1. Nécessité de la pompe à main

On a vu que la très grande majorité des dizaines de milliers de points d'eau villageois à construire dans les états A.C.P. d'Afrique sont des ouvrages de quelques dizaines de mètres de profondeur et d'un débit de l'ordre du m³/heure, destinés à desservir des groupes de 200 à 500 habitants, ce qui correspond précisément au domaine d'utilisation des pompes à main.

Même si les conditions sociologiques ou économiques de certaines régions militent pour un équipement par puits de grand diamètre, dont la souplesse d'utilisation (débit de puisage) et la sécurité (absence de panne) sont bien supérieures, il est de plus en plus évident que l'avenir est dans la plupart des états et à plus ou moins long terme au forage, seule technique en mesure de répondre à l'urgence et à l'ampleur des besoins, et de fournir une eau parfaitement salubre.

Or un forage est entièrement tributaire de l'entretien de sa pompe.

5.1.1.2. Conditions d'usage en Afrique

La pompe à main est un appareil classique qui a été très largement utilisé en Europe et en Amérique depuis le siècle dernier et jusqu'à la création systématique d'adductions d'eau dans les campagnes.

Mais, outre que la technique de ce type de pompe n'avait jamais fait, il y a 15 ans encore, l'objet de recherches poussées, les modèles qui donnaient satisfaction dans les fermes européennes se sont révélés mal adaptés à l'Afrique, pour deux raisons essentielles :

- les pompes y sont soumises, au moins à certaines époques, à une utilisation intensive, par des dizaines ou des centaines de personnes différentes, d'où une usure sans commune mesure avec celle résultant de leur utilisation ancienne ;

- le point d'eau villageois et sa pompe constituent un bien collectif, créé par l'Administration, et non plus un bien particulier ou coutumier ; dès lors, le problème de l'entretien change de nature ; ses contraintes ne sont d'ailleurs pas tant d'ordre technique (1) que du domaine de l'organisation. En outre, les utilisateurs, qui disposent généralement d'autres sources d'eau, ne perçoivent pas toujours l'importance de l'enjeu.

(1) Il existe dans pratiquement tous les villages une ou plusieurs personnes qui font fonctionner et entretiennent des machines beaucoup plus complexes, par exemple véhicules, broyeurs etc... équipés de moteurs à explosion.

5.1.1.3. Objectifs à viser

a) Les deux objectifs à poursuivre sont : la prise en charge du fonctionnement des pompes par les villageois eux-mêmes, d'une part, la construction de pompes ne nécessitant pas d'entretien, d'autre part.

Il va de soi que ces deux objectifs sont pour l'instant du domaine de l'idéal, mais ils mettent bien en lumière les deux voies à creuser :

- l'organisation de services d'entretien dans lesquels les intéressés soient partie prenante ;

- le développement de recherches sur la technologie des pompes à main, permettant de simplifier et d'alléger au maximum les opérations de maintenance. Des résultats substantiels ont déjà été obtenus dans cette direction. Mais cet objectif doit nécessairement, pour prendre tout son intérêt, aller de pair avec la recherche d'un bas prix de revient et, si possible, de conditions de fabrication susceptibles d'être mises en oeuvre dans les pays utilisateurs eux-mêmes (1).

b) Dans l'immédiat, il s'agit, plus prosaïquement, dans tous les états qui entreprennent des programmes d'équipement villageois par forage :

- de choisir un modèle de pompe à main robuste, fiable et bien accepté par la population ;

- d'organiser efficacement la maintenance de ces pompes.

De plus, ces opérations doivent être placées dans le cadre d'une politique de long terme assurant la pérennité et le développement de ce type d'équipement, et visant notamment un prix de revient supportable par le pays (devises étrangères en particulier) et une reprise en main, à terme, par les communautés villageoises.

Faute de réaliser ces conditions, les pompes tombent rapidement en panne, condamnant les points d'eau et stérilisant l'investissement : force est de reconnaître que cette situation est courante dans de nombreux états.

(1) Le Projet le plus important de ce domaine a été mené entre 1966 et 1976 par le BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE de Columbus (Ohio) sur financement USAID. Il a notamment comporté des tests de laboratoire rigoureux sur des dispositifs et des matériaux variés, et conduit à la mise au point de 2 pompes, qui ont été construites en petit nombre dans plusieurs pays en développement (Nigéria notamment). L'expérimentation sur le terrain est malheureusement restée modeste, contrairement aux projets initiaux.

5.1.2. Conception et organisation de l'entretien

L'entretien des pompes à main ne doit pas être considéré comme le prolongement des projets d'hydraulique villageoise, mais comme la pierre angulaire, la condition sine qua non d'une politique d'équipement par forage.

5.1.2.1. Coût et financement

La question fondamentale à poser à la base est celle de savoir si les conditions permettant la maintenance des pompes sont réunies, notamment à terme : possibilité de créer et de faire fonctionner une organisation efficace, coût supportable, financement assuré.

Dans la négative, mieux vaut sans doute se limiter à un équipement par puits de grand diamètre, voire remettre en cause les investissements prévus (1).

Sur la base des données de Côte d'Ivoire, où l'entretien des pompes à main est réalisé à grande échelle par une société concessionnaire, on peut évaluer l'ordre de grandeur du coût annuel de maintenance à 50.000 F, auquel il faut ajouter, évidemment l'amortissement du matériel, qui peut être évalué entre 20 et 40.000 F par an suivant le prix d'achat de la pompe et sa longévité.

(1) A noter que les puits exigent, eux aussi, un entretien, dont le coût est comparable à celui des pompes à main. Mais d'une part les travaux nécessaires sont en général effectués par le service qui construit les puits ; d'autre part le manque d'entretien d'un puits ne produit ses effets qu'à plus ou moins long terme, alors que la sanction est presque immédiate pour les pompes.

Par ailleurs, nous estimons que la pose de pompes à main dans les puits, couramment considérée comme un progrès, n'est le plus souvent qu'un leurre : les conditions pratiques de succès d'une telle opération sont rarement réunies et la lutte contre les maladies hydriques réclame un ensemble de mesures bien autrement fondamentales. Ce n'est guère que dans le cadre d'opérations de développement particulières ou d'une politique d'ensemble tournée vers le forage et l'exhaure par pompe à main que des puits peuvent être ainsi équipés avec profit.

L'annexe 9 analyse ce coût pour des pompes à pistons classiques, dont la réparation exige un camion et du matériel de levage, l'entretien étant entièrement effectué par du personnel étranger au village : le personnel compte pour 25 %, le matériel et son fonctionnement pour autant, les pièces détachées pour 37,5 % et les frais généraux pour 12,5 %.

Parfois couvert par une taxe sur les distributions d'eau urbaines (Côte d'Ivoire), le financement de l'entretien des pompes est exceptionnellement supporté directement par les utilisateurs (1). Le plus souvent il est budgétaire. L'essentiel est qu'il soit assuré pour un nombre d'années suffisant dès le démarrage du Projet d'équipement. Il est d'ailleurs souhaitable dans presque tous les cas que le stock de pièces de rechange nécessaire pour 5 ans au moins soit compris dans le devis du Projet.

5.1.2.2. Conditions pratiques d'un entretien satisfaisant

Il ne faut pas se dissimuler que l'entretien et la réparation, jour après jour, d'un ensemble de pompes à main présente des difficultés de toutes sortes et que toute une série de facteurs doivent être réunis pour en assurer le succès :

a) au niveau de la conception : financement garanti à long terme ; volonté soutenue de l'Administration ; structure adaptée ; répartition suffisamment dense des pompes (et non pas "saupoudrage" sur l'ensemble d'un territoire) ; uniformisation du type de pompe (choix d'un modèle de bonne qualité et d'entretien simple) ;

b) Au niveau de l'organisation : adaptation du personnel et du matériel d'entretien au type de pompe ; répartition des tâches et coordination bien étudiée entre la structure nationale (ou régionale), qui dispose du personnel spécialisé, des moyens matériels et des ateliers, et la communauté villageoise ;

c) Au niveau de l'exécution : régularité des visites de contrôle, des opérations systématiques, et de l'approvisionnement en pièces de rechange.

Il faut bien faire la différence entre les réparations, qui ne doivent intervenir qu'exceptionnellement, et la maintenance, dont le but est précisément de prévenir les réparations, en accomplissant régulièrement une série d'opérations d'entretien et de contrôle.

(1) A noter que ceux-ci supportent des dépenses non négligeables pour exploiter les puits par puisage traditionnel : seaux, cordes, etc...

5.1.2.3. Éléments concernant l'organisation de l'entretien

Il est presque impossible de faire des recommandations précises dans ce domaine. L'organisation adéquate, qu'il est évidemment souhaitable de décentraliser autant que possible, est fonction de divers facteurs, eux-mêmes plus ou moins interdépendants, dont les principaux sont :

- la capacité de prise en charge de certaines opérations par la communauté villageoise ;
- le type de pompe, la nature et la fréquence des opérations de contrôle et d'entretien systématique à exécuter.

Suivant les cas, la fréquence souhaitable des visites à effectuer par les équipes spécialisées peut varier entre 1 et 6 mois.

Ainsi le coût de l'entretien et la répartition des dépenses peuvent varier largement d'un cas à l'autre, suivant l'incidence des pièces de rechange, fonction de la rapidité de leur usure, l'incidence du matériel roulant et de son fonctionnement (du cyclomoteur au camion), fonction du poids des éléments à manipuler, etc...

5.1.3. Les points faibles des pompes à main

Tout ce qui suit se rapporte aux pompes à piston classiques, qui constituent la très grande majorité des pompes à main actuellement en service. Il s'agit d'un levier attaquant un train de tiges qui actionne un piston coulissant à l'intérieur d'un cylindre immergé.

5.1.3.1. Il faut noter en premier lieu l'influence de la qualité du forage et de la superstructure et celle du montage de la pompe sur l'usure : par exemple un défaut de verticalité de l'ouvrage entraîne une usure accrue de la tringlerie ou des guides, la pénétration de sable par la crépine provoque la détérioration de l'ensemble cylindre-piston, etc...

Il va de soi que les imperfections dues à la fabrication (assemblages défectueux, jeu trop important entre les pièces en mouvement, dimensionnement mal étudié de certains organes,) jouent également un rôle capital.

5.1.3.2. Les points faibles des pompes à main classiques sont essentiellement liées à l'usure des pièces en mouvement :

a) Axes de rotation

Les axes qui relient le levier au bâti et au train de tige supportent une forte usure et doivent être régulièrement lubrifiés. Les paliers lisses restent très utilisés, mais on a tendance à accroître les surfaces de contact et à employer des matériaux anti-friction. La pose de roulements à bille étanches à bain d'huile a considérablement amélioré les conditions d'utilisation de diverses pompes mais aussi accru leur prix.

b) Segments d'étanchéité du piston

Habituellement en cuir, ils doivent être régulièrement changés, ce qui nécessite d'extraire le piston et par conséquent de démonter toute la tuyauterie de refoulement et le train de tige.

Certains modèles de pompe, utilisant le refoulement, ou même le tubage du forage comme cylindre, permettent de réaliser cette opération en remontant simplement la tringlerie.

Des recherches sont en cours pour restreindre l'usure des segments. Elles portent en fait sur l'ensemble cylindre-piston-segments, dont les matériaux doivent être parfaitement compatibles. De nouveaux matériaux sont essayés, notamment des matières plastiques diverses, dans le but de réduire les frottements. Les manchons-guides de la tringlerie posent des problèmes analogues.

c) Valves ou clapets de cylindre

Ils constituent également des points délicats, les sièges de valves étant sujets à des déformations. Leurs types sont variés.

d) Divers

On enregistre en outre des ruptures de trains de tige, de boulons, ou même du levier de commande. Enfin, dans des modèles de pompe différents (à entraînement par rotation, ou à rotor), les mécanismes de tête sont complexes et parfois fragiles, et on a intérêt à les enfermer dans des carters étanches à bain d'huile.

5.1.4. Critères de sélection des pompes à main

5.1.4.1. Les différents critères

Indépendamment d'une bonne adaptation aux conditions hydrogéologiques (profondeur et fluctuations du niveau de l'eau), les critères suivants doivent être pris en considération :

- performances satisfaisantes, ce qui suppose : bon accueil de la part des utilisateurs, commodité de maniement et bon rendement mécanique, compte tenu de la hauteur d'élévation de l'eau ;
- robustesse et fiabilité, ayant pour conséquence un faible risque de panne, même à terme ; incidences réduites des défauts éventuels du forage ;
- simplicité de conception et de réalisation, permettant d'envisager une fabrication au moins partielle sur place ;
- simplicité d'entretien et de réparation (bonne accessibilité des pièces d'usure) permettant de déléguer une part de la maintenance à la communauté villageoise ; poids faible, d'où un transport et un montage aisés ;
- sécurité d'approvisionnement en pièces de rechange ;
- coût d'investissement et d'entretien réduit.

Certains de ces critères sont évidemment antinomiques, comme par exemple, légèreté et robustesse. Plus encore, la recherche de la fiabilité, qui conduit à l'emploi de matériaux et de dispositifs souvent onéreux, est difficile à concilier avec l'exigence d'un coût modéré.

En fait, les critères de choix d'une pompe à main ne sont pas nécessairement identiques pour tous les états. Si certains d'entre eux peuvent tenir pour essentiel de parvenir à un bas prix de revient, et à la fabrication sur place, d'autres, moins avancés, peuvent très bien chercher à réduire au maximum les opérations et le coût de la maintenance, en surdimensionnant l'investissement, celui-ci étant supporté par des financements extérieurs.

5.1.4.2. Prix de revient effectif

Quoiqu'il en soit, il faudrait parvenir à une évaluation assez précise du prix de revient effectif, c'est-à-dire à long terme, de la desserte par pompe à main tenant compte d'un fonctionnement assuré de la quasi totalité des pompes installées.

Le classement des différents types de pompes suivant ce critère serait du plus haut intérêt. Mais si le prix d'achat de la pompe et des pièces est bien connu, ce prix de revient effectif est fort difficile à évaluer en l'absence d'expérience de longue durée. Il repose en effet, pour chaque modèle, sur deux inconnues :

- la durée de vie utile de la pompe, c'est-à-dire la durée pendant laquelle la réparation reste moins onéreuse que le remplacement ;

- le coût du dispositif de maintenance nécessaire en pièces, main d'oeuvre et matériel, sur une longue période.

5.1.4.3. Intérêt des expérimentations approfondies sur le terrain

Le seul moyen de lever ces inconnues est d'entreprendre des expérimentations approfondies. Le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques a sans doute été un des premiers organismes à prendre conscience et à en organiser (1), mais ses moyens sont limités.

Dans le cadre d'un important Projet de desserte en eau par forage de la Upper Region du Ghana, financé par l'ACDI, la Ghana Water and Sewerage Corporation et les experts canadiens ont lancé une expérimentation de grande ampleur sur le terrain.

Ce Projet, qui a débuté en 1973, comporte la réalisation de plus de 2000 forages de 20 à 40 m équipés de pompes à main, et l'organisation d'un service d'entretien.

Soucieux de sélectionner le type de pompe convenant le mieux au Projet, les responsables ont lancé en 1976 une expérimentation portant sur 50 modèles, qui se poursuit encore actuellement.

(1) Le rapport de synthèse qui rendra compte des expérimentations du CIEH doit paraître prochainement.

Le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, B.P. 369 - Ouagadougou (Haute-Volta), regroupe 12 états francophones d'Afrique.

Cette expérimentation a comporté notamment :

- une observation régulière et fréquente des pompes installées ;
- un démontage des pompes chaque trimestre, assorti de mesures de chaque point d'usure ;
- des mesures et observations connexes sur le débit, les réactions des usagers, etc... ;
- une évaluation du coût d'entretien des pompes les plus intéressantes reposant sur l'analyse prévisionnelle de chacun des postes de dépenses.

On peut attendre d'une telle expérimentation, lorsque les résultats seront publiés, des éléments de jugement très précieux pour tous les états ACP, et souhaiter que d'autres opérations du même type soient entreprises.

5.2. LES DIFFERENTS TYPES DE POMPES A MAIN (OU A PIED)

5.2.1. Généralités

5.2.1.1. Données de base

a) Il s'agit de transmettre l'énergie humaine à un système de pompage installé dans un forage, ou un puits, afin de faire monter l'eau à la surface.

Une pompe à main se compose par conséquent de 3 parties :

- un dispositif de pompage immergé, ou monté au niveau de l'eau, qui l'aspire et la refoule vers la surface ;
- un dispositif de transmission de l'énergie de la surface vers le système de pompage, et d'évacuation de l'eau en sens inverse ;
- une superstructure, qui supporte les éléments précédents, reçoit et transmet l'énergie humaine, et assure l'écoulement de l'eau.

b) Il ne sera question, dans les pages qui suivent, que de pompes dont le corps est immergé, et non des pompes purement aspirantes, dont le système de pompage est placé au-dessus du niveau de l'eau et habituellement au-dessus du sol et qui ne permettent pas d'élever l'eau de plus de 7 mètres.

c) Débit pratique des pompes à main.

La puissance fournie par l'homme moyen est évaluée à 0,08 CV, ce qui correspond, avec un rendement mécanique de 1/1 à la pompe, à l'exhaure d'un débit de 2,2 m³/h si la nappe est à 10 m de profondeur, de 760 l/h à 30 m, de 430 l/h à 50 m et de 280 l/h à 80 m.

En pratique, compte tenu du rendement décroissant de la plupart des pompes avec la profondeur d'une part, des discontinuités du puisage (et de l'inégalité des forces des usagers successifs) d'autre part, il est d'observation courante que le débit d'exhaure pratique d'une pompe à main dépasse exceptionnellement 700 l/h sur une période de plusieurs heures. Par ailleurs, rares sont les pompes qui permettent d'exploiter correctement un point d'eau lorsque le niveau dynamique est à plus de 50 m de profondeur.

5.2.1.2. Présentation des tableaux et planches

a) Les tableaux qui suivent le texte (p.148 à 157) et les planches 3, 4 et 5, qui les illustrent, donnent les caractéristiques principales de 29 types de pompes fabriquées par 23 constructeurs, dont 18 appartiennent à des états membres de la C.E.E. ou A.C.P.

Ces notices succinctes ont été rédigées essentiellement à partir des documents adressés par les fabricants. Elles présentent des lacunes et des approximations et, sans aucun doute quelques erreurs que nous prions le lecteur d'excuser. Les adresses des constructeurs ont été mentionnées, pour permettre aux utilisateurs intéressés d'entrer en relation avec eux.

Ces tableaux ne sont évidemment pas exhaustifs. Néanmoins, nous avons cherché à décrire les types de pompe les plus répandus dans les états A.C.P. d'Afrique ainsi qu'un certain nombre de matériels nouveaux, fruits de recherches qui ouvrent des perspectives intéressantes.

b) Les tableaux sont divisés en 7 colonnes. La première, qui mentionne la marque et le type, différencie également les pompes créées autrefois pour les besoins ruraux d'Europe ou d'Amérique du Nord (pompes parfois perfectionnées depuis) des pompes conçues depuis 20 ans pour les besoins spécifiques du pays en développement. L'année de création est indiquée chaque fois que possible.

Les 3 colonnes suivantes sont consacrées aux 3 éléments constitutifs des pompes : système de pompage, transmission et superstructure, chacune de ces rubriques étant subdivisée à son tour suivant les nécessités.

Les 2 colonnes qui suivent indiquent respectivement, lorsque nous en avons eu connaissance, le poids et le prix approximatif d'une pompe permettant d'élever l'eau de 30 mètres, hauteur manométrique courante dans les forages villageois.

La dernière colonne indique les références et l'adresse du constructeur ainsi que des observations complémentaires.

5.2.2. Les grandes catégories de pompes

Les tableaux ci-après répartissent les 29 pompes étudiées en plusieurs groupes :

5.2.2.1. Pompes à piston

Elles constituent le plus grand nombre. Le système de pompage se compose d'un cylindre où l'eau est aspirée puis refoulée par le jeu alternatif d'un piston placé entre une valve d'admission (ou de pied) et une valve de refoulement (ou de tête).

a) Le dispositif de commande est habituellement un levier à main, parfois équilibré par un contrepoids, qui transmet son action au piston par l'intermédiaire d'un train de tiges (tringlerie) maintenu par une série de centreurs dans l'axe de la conduite de refoulement.

Les pompes à piston classiques de ce type coûtent couramment 150.000 F.CFA départ usine pour 30 mètres, le prix de la pompe elle-même (corps de pompe et superstructure) intervenant pour moitié, et la transmission pour l'autre moitié. Les prix varient en fait entre 50.000 F (pompes indiennes) et 200.000 F départ usine.

Le poids de ces pompes (corps de pompe et superstructure) est de 50 à 80 kg, mais 30 m de transmission en acier pèsent environ 190 kg (tringlerie de \varnothing 14 et refoulement 40/49), d'où un poids total de l'ordre de 250 kg pour 30 m.

Sur quelques modèles récents, la tringlerie est remplacée par un câble, maintenu en tension par une masse-tige ou un ressort de rappel.

b) Le mouvement alternatif du levier étant à l'origine d'usure ou de détériorations difficiles à éliminer, l'entraînement rotatif par manivelles, généralement montées sur un ou deux volants, et transmis à la tringlerie par l'intermédiaire de pignons et d'une bielle, présente un très gros avantage.

Les matériels construits sur ce principe sont généralement très robustes et doués d'une grande longévité, mais ils sont lourds et onéreux : 4 à 600 kg (2 à 400 sans la transmission) et 3 à 600.000 F, pour 30 mètres.

5.2.2.2. Pompes d'autres types

Outre une pompe à axe vertical d'un modèle courant adapté à la commande par manivelles, les tableaux présentent plusieurs systèmes nouveaux faisant appel à des dispositifs particuliers comme la transmission hydraulique, l'effet de dilatation et de compression d'une enceinte élastique, le pompage au pied ou l'utilisation de la colonne de refoulement comme tringlerie de commande.

Certaines de ces pompes sont particulièrement légères (50 à 100 kg pour 30 m). Leur prix est du même ordre que celui des pompes à piston et levier classiques.

5.2.3. Les constituants de pompes à piston classique

La planche 2, page 143, schématise les éléments constitutifs d'une pompe à piston de modèle courant.

5.2.3.1. Système de pompage

a) Cylindre : habituellement en laiton, parfois chemisé de résines ou matière plastique. Son diamètre (et le diamètre intérieur du piston) est compris entre 100 et 40 mm pour des hauteurs de refoulement de 5 à 50 m, et les constructeurs proposent 3 ou 4 tailles adaptées à diverses profondeurs du niveau de l'eau. Sa longueur est fonction de la course de levier. Elle varie entre 0,30 et 1 m.

Le cylindre est dit ouvert lorsque le diamètre de la colonne de refoulement est égal ou supérieur à celui du cylindre, ce qui permet d'extraire le piston et les valves sans la démonter.

b) Piston : généralement en laiton ou en bronze, parfois en fonte. Le gros problème est celui de l'usure des segments d'étanchéité. Il semble qu'aucun matériau n'ait pu jusqu'à présent supplanter le cuir, mais celui-ci doit être d'une qualité tout à fait spéciale.

Le poli de la face intérieure du cylindre est essentiel pour la longévité des segments.

c) Valves : les valves sont de types divers : clapets, soupapes, valves à billes. Le matériau et l'usinage des sièges (généralement en laiton ou en bronze) sont essentiels.

5.2.3.2. Superstructures

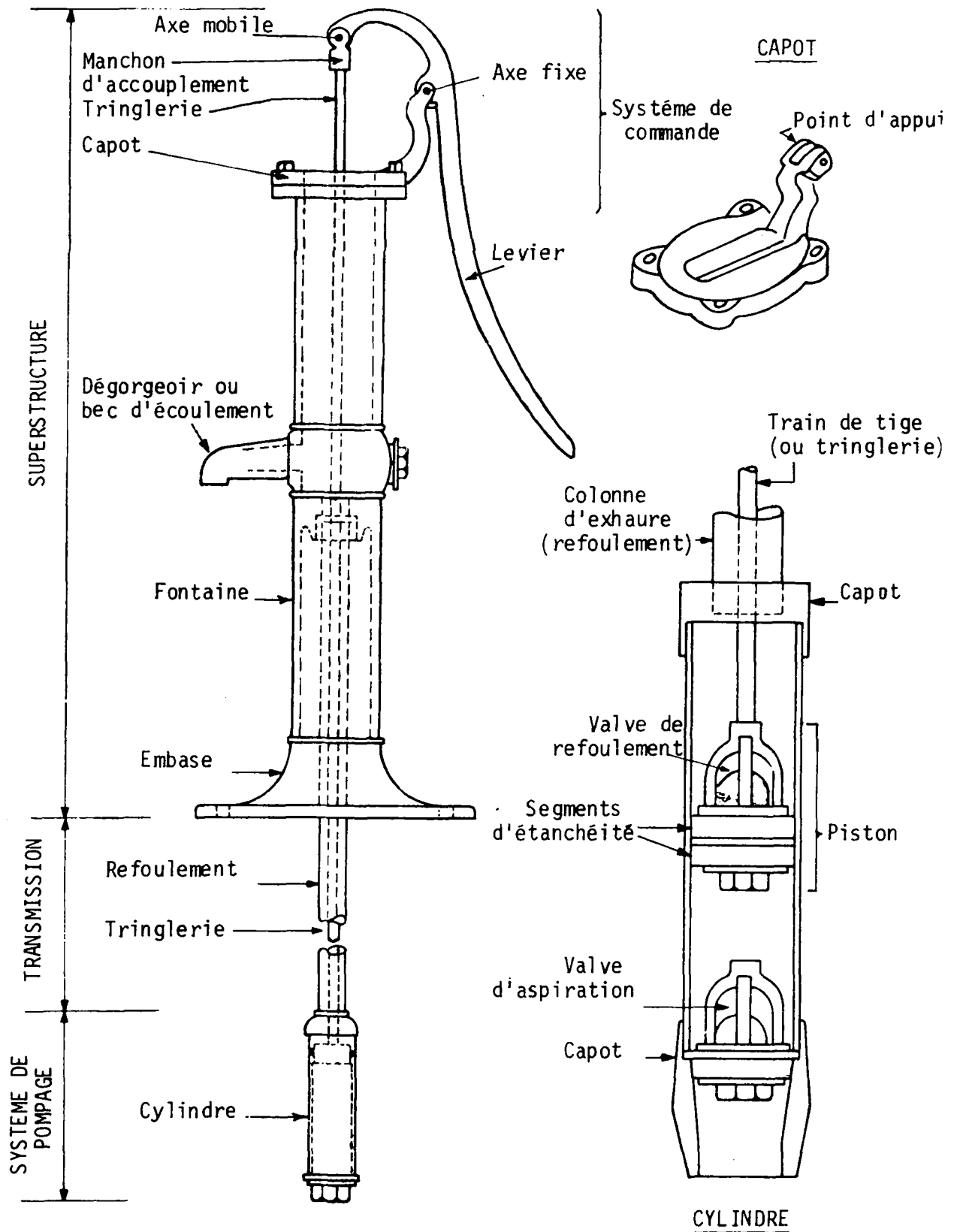
a) Support (pl.3) : on a affaire soit à un bâti très simple supportant le tuyau d'exhaure, coudé en forme de té, et le mécanisme de commande, soit, le plus souvent, à une fontaine cylindrique dont le dégorgeoir constitue le trop-plein.

Le mécanisme, qui surmonte cette fontaine, est extérieur ou bien logé dans un boîtier de protection.

b) Commande :

- on rencontre plusieurs types de leviers. Certains, à double montant ou à 2 bras en opposition, permettent à deux personnes de pomper simultanément. Dans certains modèles, les leviers sont munis de contrepoids équilibrant le poids de la tringlerie.

SCHEMA D'UNE POMPE A MAIN CLASSIQUE
A PISTON, TRINGLERIE ET COMMANDE PAR LEVIER



D'après F. Eugene Mc. JUNKIN : "HAND PUMPS" for use in drinking water supplies in developing countries. International Reference Centre for Community Water Supply - La Haye 1977.

- l'élément le plus important est le mécanisme de commande, et la planche 3 représente 8 types courants (p. 151) :

Le type 1, qui ne comporte qu'un axe fixe et un axe mobile, est rarement utilisé pour les pompes de profondeur. En effet, ce montage donne au mouvement de la tête de tringlerie (axe mobile) une composante horizontale qui accroît l'usure des guides de tringlerie.

Le type 2, le plus courant, élimine la composante horizontale résultant du jeu du levier, par l'intercalation d'un bras mobile. Il y a donc 3 axes, dont 2 mobiles. Le guidage de la tringlerie se fait par le presse-étoupe.

Les types 3 et 4 sont analogues au type 2 et de principe identique : le bras mobile est suspendu au levier, en tête de tringlerie.

Les types 5 et 6, qui ont également 3 axes et un bras mobile comme le type 2, sont équipés en plus d'un guide supplémentaire fixé au bâti, guide par l'intermédiaire duquel coulisse une tige profilée qui termine la tringlerie.

Ce dispositif diminue sensiblement les facteurs d'usure dus au jeu de la tringlerie.

Grâce au montage, en tête de tringlerie, d'une chaîne de motocyclette guidée par un secteur de cercle solidaire du levier, le type 7 fait l'économie de 2 axes sur 3, tout en éliminant la composante horizontale du mouvement. Ce principe, employé dans les pompes indiennes, l'est également dans les modèles où la tringlerie est remplacé par un câble.

Le type 8 obtient le même effet en utilisant une crémaillère actionnée par un secteur denté solidaire du levier.

Il est très important de réduire le nombre des axes car, comme on l'a vu, ce sont des points d'usure privilégiés et le montage de paliers antifricition à grandes surfaces de contact et plus encore de roulements à bille étanches, grève le prix de revient des pompes.

5.2.3.3. Transmission

Il s'agit de l'ensemble : tringlerie et colonne de refoulement, la première étant maintenue dans l'axe de la seconde par des dispositifs de centrage échelonnés. Ceux-ci introduisent évidemment un certain frottement.

La tringlerie est généralement en acier galvanisé de \varnothing 12 à 16 mm, en éléments de 3 m assemblés par manchons, plus rarement en bois, exceptionnellement en matière synthétique.

La colonne d'exhaure est le plus souvent faite de tuyaux de \varnothing 40/49 ou voisin en galvanisé. Quelques constructeurs utilisent des matières synthétiques.

Un mètre de transmission dans les diamètres courants pèse environ 6 kg dont près de 5 pour la colonne de refoulement ; d'où l'intérêt de la solution "cylindre ouvert", qui permet de remonter le piston par la colonne d'exhaure. Mais dans ce cas, celle-ci peut dépasser les 10 kg au mètre, son diamètre devant être au moins égal à celui du cylindre.

Le remplacement du train de tiges par un câble, maintenu en tension par une masse-tige ou un ressort de rappel, diminue les pertes mécaniques et permet, si la partie supérieure du forage est étanche, de supprimer la colonne de refoulement.

5.2.4. Les voies de recherche et les nouveaux types de pompes

Les nouveaux modèles de pompe dont nous avons connaissance sont décrits dans le tableau qui suit. Nous nous bornerons ici à présenter rapidement, suivant 5 rubriques, les principaux objectifs poursuivis dans les recherches récentes, et les solutions apportées par les constructeurs. Certains de ces objectifs sont d'ailleurs plus ou moins liés :

a) Augmentation de la robustesse

But : accroître la longévité et pallier les effets d'un entretien irrégulier.

Solutions :

- étude poussée du travail de chaque pièce et améliorations en conséquence ;

- recours à des solutions plus techniques telles que : roulements à billes étanches, emploi de matériaux spéciaux. Cette voie est rapidement limitée par l'augmentation du prix de revient ;

- entraînement rotatif : cette solution a conduit aux pompes à volant, lourdes et onéreuses mais aussi à la pompe à axe vertical à manivelles (MONO) qui constitue une solution intéressante.

b) Simplification du mécanisme de commande

Buts : simplifier l'entretien et augmenter la fiabilité, diminuer le prix.

Solutions :

- diminution du nombre d'axes : pompes à câble ou chaîne en tête sur secteur circulaire ;

- suppression de tout axe par l'utilisation d'une pédale solidaire de la tringlerie (KANGAROO et VERGNET). Mais cette solution crée des problèmes d'usure difficiles à résoudre au niveau des guides de tige.

c) Diminution du poids des pompes

Buts : abaisser le coût et les sujétions de transport, faciliter montage, démontage et transport à l'atelier, tout en supprimant les camions et les engins de levage.

Solutions :

- transmission par câble permettant de supprimer la colonne de refoulement (NEPTA) ;

- utilisations d'enceintes élastiques permettant d'éliminer la tringlerie (PETRO, VERGNET) ;

- utilisation de la transmission hydraulique par l'intermédiaire de tuyaux souples (VERGNET).

d) Accès facile aux pièces d'usure

But : simplifier la maintenance.

Solutions :

- "cylindre ouvert" des pompes classiques ;

- substitution d'enceintes élastiques aux cylindres et pistons classiques. L'essentiel de la maintenance est ramené en tête (PETRO, VERGNET).

e) Réduction des frottements

But : réduction des pertes mécaniques.

Solutions : les pompes à câble et surtout les pompes à transmission hydraulique vont dans ce sens, particulièrement la pompe VERGNET, où les seules pièces en frottement se trouvent dans le système de commande : le rendement ne diminue pas avec l'augmentation de la profondeur d'exhaure.

CARACTERISTIQUES DE POMPES A MAIN
OU A PIED DE DIFFERENTS TYPES

1. POMPES A PISTON

MARQUE ET TYPE Origine (1) Année de création	SYSTEME DE POMPAGE			TRANSMISSION		SUPERSTRUCTURE		Poids approximatif en kg pour 30 m	Prix approximatif en F.CFA départ usine pour 30 m	OBSERVATIONS
	Cylindre	Piston	Valves	Tringlerie	Refoulement	Support	Commande			
1.1. POMPES A COMMANDE PAR LEVIER A MAIN										
1.1.1. Transmission par tringlerie										
A.B.I. M ou MR (**) 1970 ?	Laiton Ø 60 à 80	Laiton 1 segment cuir	Ogives plastique. 2 valves de pied	Acier Ø 14 avec peinture anti- rouille	Galvanisé Ø 40/49	Boitier de protection en fonte fixé sur 4 cornières soudées sur l'embase.	Type 1 . 2 axes : un à RBE(2) l'autre inox avec bagues au- tolubrifiées		200.000	Références: Côte d'Ivoire, Haute-Volta essentiellement (plusieurs milliers). Modèle très robuste. Le constructeur compte produire 6000 pompes en 1978. <hr/> ABIDJAN-INDUSTRIE-B.P.343 ABIDJAN (COTE D'IVOIRE).
BALAJI "à double guide" (**) 1960	Laiton	Laiton et bronze 4 segments cuir.	2 valves cylindri- ques + clapet de pied en cuir.	Ø 12	Ø 32	Fontaine en fonte	Type 5 : (double guide). 3 axes à paliers lisses.		(50.000) (3)	Type de pompe créé en 1960. Très répandu. Prix de la pompe sans transmission : 25.000 F environ. Capacité de production : 3 à 400 unités par mois. <hr/> BALAJI Industrial and Agricultural Castings : B.P. 1634 SECUNDERABAD - INDIA.
BALAJI JALNA type I (**) 1974	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Té entouré, par colonne surmontée d'un boitier de protec- tion.	Type 7 : liaison à la tringle- rie par chaîne de motocyclette guidée par un arc métal- lique. Un seul axe, avec R.B.		(50.000) (3)	Comprend toute une ligne de pompe en développement depuis 1974 (JALNA, BANGALORE, INDIA MARK II), montées par différents constructeurs et largement diffusées en Inde. Prix de la pompe sans transmission : 30.000 F environ. Modèles voisins : SHOLAPUR, LIFETIME, etc...
BATTELLE A.I.D. (**) 1966	Acier ou laiton chemisé epoxy ou PVC	Essais avec divers matériaux			Ø 32/38	Fontaine	Type 6 : avec bloc de guidage en tête. 3 paliers lisses.			Etudiée par le BATTELLE INSTI- TUTE dans le cadre d'un Projet de recherche USAID (depuis 1966) orienté vers la fabrication dans les états intéressés. Encore peu expérimentée. Production en petit nombre : Nigéria, Bangla- desh, Thaïland. <hr/> BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE - 505 King Avenue. COLOMBUS Ohio - 43201 U.S.A.

BEYER H52 - D 47 (*)	Laiton Ø 70 à 90		Laiton	Ø 9,5	Ø 38	Fontaine	Type 3 (D 47) Boîtier de protection (H 52)			Références: Ghana notamment <hr/> BEYER Pumpenfabrik - Niels Bohr Ring 12 a 2400 LUBECK 1 - R.F.A.
BODIN SOLO SL 2 (*)	Cuivre Ø 50 à 90	Cuivre segments cuir	ped : soupape à queue	Galvanisé Ø 12	Galvanisé Ø 40/49	Fontaine en fonte	Double guide. Paliers lisses		150.000	Références : Afrique francophone Entretien bimensuel. <hr/> Ets A. BODIN 37150-BLÈRE-FRANCE-
BRIAU ROYALE (*) 1901	Laiton Ø 50 à 100	Fonte et laiton, segments cuir	de pied : soupape en bronze. Sièges en laiton, garniture caoutchouc	Galvanisé Ø 14, guides caoutchouc	Galvanisé 40/49 ou 33/42	Fontaine en fonte chemisée laiton	Type 6 : Tringlerie protégée par boîtier. 3 paliers lisses, acier, graisseurs à pression	260	150.000	Références: Afrique francophone. Graissage mensuel. <hr/> Pompe sans transmission : poids 75 kg, prix : 80.000 F. <hr/> BRIAU S.A. - B.P. 903 37009 TOURS Cédex - FRANCE
CONSALLEN L.D. (**)	Acier inox Ø 50 à 75	Inox, laiton et bronze (?)	avec joints néoprène	Inox Ø 9,5, à manchons laiton	Plastique (A.B.S.) Ø 32	Corps en acier formant boîtier de pro- tection	Type 3. Axe prin- cipal avec R.B.E. (2)		150.000	Références: Nigéria, Ghana. Pompe sans transmission : poids 50 kg, prix 75.000 F. <hr/> CONSALLEN Structures Ltd - 291 High Street - EPPING-Essex CM 16 4 8Y - UNITED KINGDOM -
DEMPSTER 23 F (*)	Laiton ou PVC Ø 70	Modèles variés		Galvanisé Ø 15	Galvanisé Ø 51	Fontaine en fonte	Type 2 . Axes à manchon de nylon, pivots acier pla- qué de cadmium		100.000 ?	Modèle très répandu (UNICEF). Bloc de protection antichoc du capot, en uréthane. Prix de la pompe seule : inférieur à 50.000 F. <hr/> DEMPSTER INDUSTRIES Inc. BEATRICE Nebraska- 68310-U.S.A.
EDECO	Ouvert. Laiton et bronze Ø 64 à 89	Segments cuirs	à bille	Bois	Plastique (BST) Ø 69 à 102	Colonne acier soudé formant fontaine à la base et boîtier de protec- tion au sommet.	Type 3. les 2 axes principaux avec RBE.(2) Lever à contrepois.			Effort réduit par le contre- pois. Piston extractible sans démonter le refoulement. <hr/> English Drilling Equipment Company Ltd - Lindley Moor Road - HUDDERSFIELD HD 3 RW U.K.

Nota : Les diamètres sont exprimés en mm.

(1) : Modèle conçu à l'origine pour les fermes d'Europe ou d'Amérique : (*) Modèle créé récemment pour les besoins des états en développement : (**)

(2) : R.B.: roulement à billes. R.B.E. : roulement à billes étanche, lubrifié à vie.

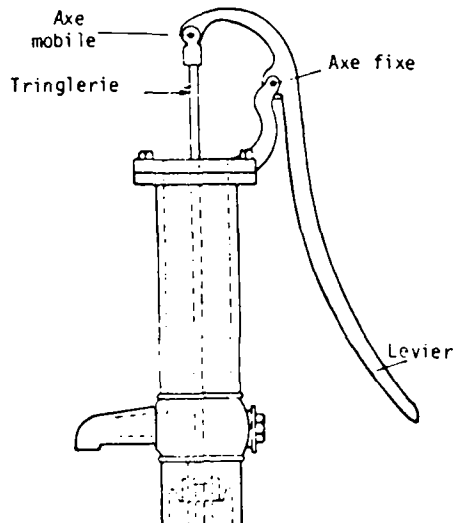
(3) : Prix difficilement comparable aux autres, la transmission (galvanisé) ayant en Inde un prix de vente très bas.

1.1.1. (suite) : Pompes à piston, commande par levier à main, transmission par tringlerie.

MARQUE ET TYPE Origine (1) Année de création	SYSTEME DE POMPAGE			TRANSMISSION		SUPERSTRUCTURE		Poids approximatif en kg pour 30 m	Prix approximatif en F.CFA départ usine pour 30 m	OBSERVATIONS
	Cylindre	Piston	Valves	Tringlerie	Refoulement	Support	Commande			
GODWIN Série HLD	Bronze et laiton Ø 51 à 70 Ouvert en option	Extrac- tible en option. A 2 ou 3 cuirs	A bille, Acier inox, sièges en bronze	Acier galvanisé ou bois (cylindre ouvert)	Galvanisé, Ø supérieur de 6 mm à Ø du cylin- dre (si ouvert)	Fontaine acier soudée sur embase en fonte	Type 2 . 3 axes acier dur. Mécanisme extérieur		200.000 à 300.000	Références: Nigéria, Ghana. Nombreuses pompes en service. Nombreux modèles différents. <hr/> H.G. GODWIN Ltd. QUENINGTON Glos. GL 7 5BX - U.K.
KUMASI (*) 1972	Ouvert Ø 76	Laiton, segments cuir			Ø 76 continuité avec le cylindre	Colonne Ø 76 surmontée d'un boitier de pro- tection	Type 1 : 2 axes, dont 1 à R.B.(2)			La pompe est constituée d'une colonne de Ø 3", de la crépine au sommet de la fontaine. Cette colonne sert de cylindre. En cours d'expérimentation. <hr/> UNIVERSITY of Sciences a.Techno- logy - KUMASI - GHANA -
LEE HOWL (*)	Fonte et laiton	Laiton		Galvanisé	Diamètre supérieur au cylindre	Fontaine en fonte	Type 2 à 3 axes. Paliers lisses			Références: Nigéria essentiel- lement. Piston extractible par l'inter- médiaire de la colonne de refoulement. <hr/> LEE, HOWL a.C° Ltd, Alexandra road TIPTON-West Midlands DY4 8TA - U.K. -
MONARCH P3 (*)	Fonte ou bronze			Galvanisé Ø 11	Galvanisé Ø 40	Fontaine acier, mécanisme extérieur	Levier ar- ticulé at- taquant la tringlerie au-dessus du guide (type 4). 2 R.B.(2) Manche en bois avec butée sur le corps de pompe.			Nouveau modèle de pompe, créé pour l'exportation. <hr/> MONARCH INDUSTRIES Ltd. P.O Box 429 - WINNIPEG - R 3C 3E4 - CANADA -
SHINYANGA (*) 1974	P.V.C.	Caoutchouc âme en acier inox	Billes de néoprène	Acier galvanisé du commerce local		Bâti en bois, simplifié Tè. Pas de fontaine	Type 4. Lever en bois. Paliers lisses.			Modèle très voisin de la pompe UGANDA, fabriqué dans le cadre d'un Projet d'hydraulique villageoise. <hr/> Shallow Wells Programme. P.O. Box 168 SHINYANGA - TANZANIA.
UGANDA (*)	Laiton Ø 45 à 76			Ø 13 à 16	Ø 51 à 76	id.	id.			Recherche de simplicité et de bas prix de revient. <hr/> CRAELIUS East African Drilling C° Ltd. P.O. Box 52 - SOROTI - UGANDA -

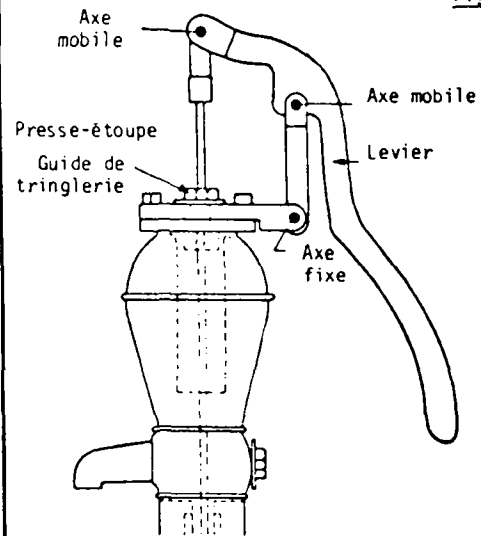
Pl.3 - POMPES A MAIN CLASSIQUES : DIFFERENTS TYPES DE COMMANDE PAR LEVIER

Fig. 1



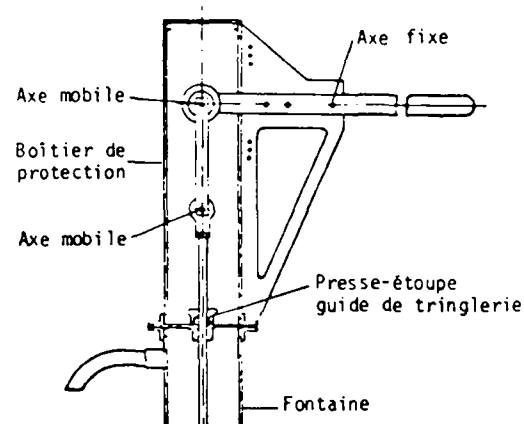
TYPE 1 : 2 axes ; pas de guidage en tête.

Fig. 2



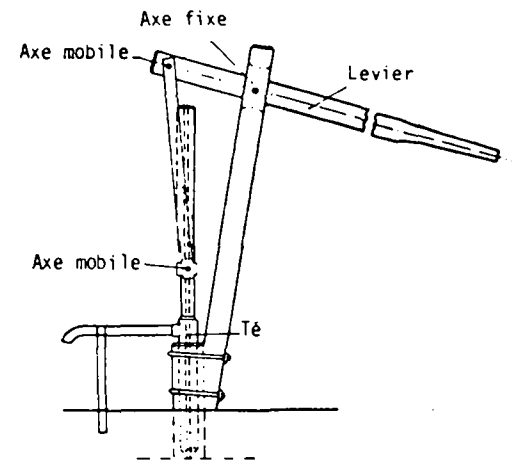
TYPE 2 : 3 axes ; guidage de la tringlerie par le presse-étoupe.

Fig. 3



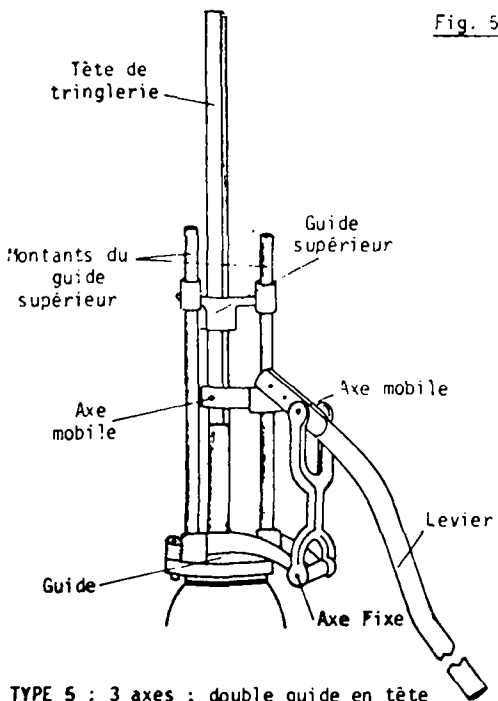
TYPE 3 : 3 axes ; bras mobile entre levier et tringlerie

Fig. 4



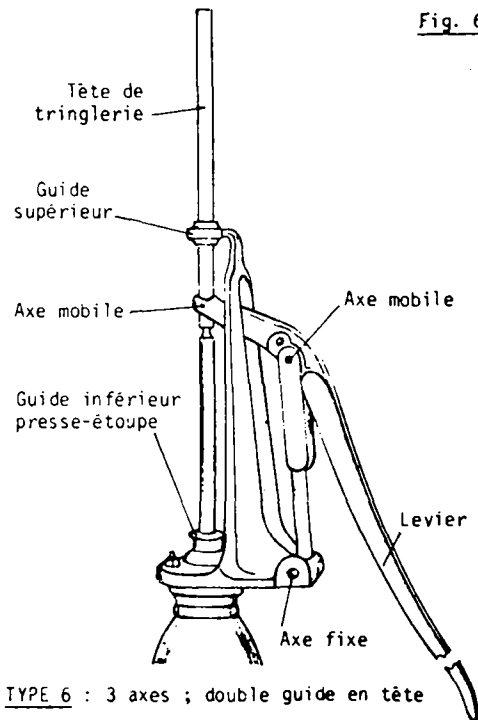
TYPE 4 : 3 axes ; bras mobile entre levier et tringlerie

Fig. 5



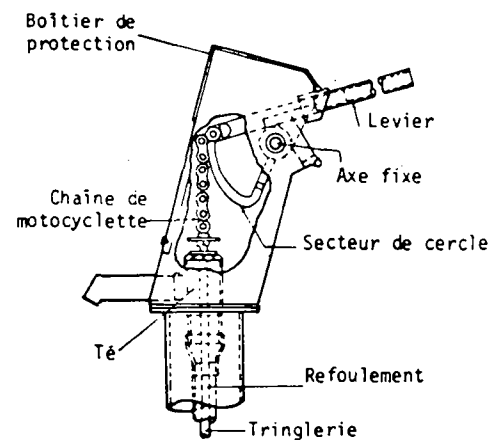
TYPE 5 : 3 axes ; double guide en tête

Fig. 6



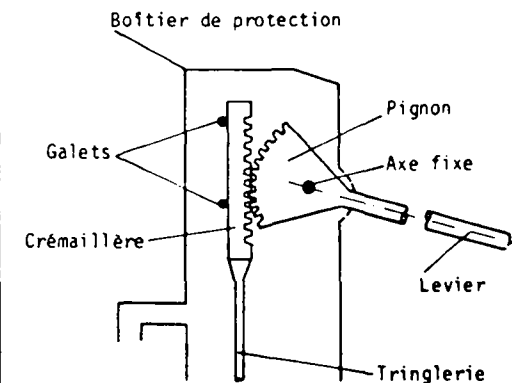
TYPE 6 : 3 axes ; double guide en tête

Fig. 7



TYPE 7 : 1 seul axe ; liaison par chaîne sur secteur de cercle

Fig. 8



TYPE 8 : 1 seul axe ; transmission par crémaillère

1.1. (suite) : POMPES A PISTON, COMMANDE PAR LEVIER A MAIN

MARQUE ET TYPE Origine (??) Année de création	SYSTEME DE POMPAGE			TRANSMISSION		SUPERSTRUCTURE		Poids approximatif en kg pour 30 m	Prix approximatif en F.CFA départ usine pour 30 m	OBSERVATIONS
	Cylindre	Piston	Valves	Tringlerie	Refoulement	Support	Commande			
1.1.2. Transmission par câble										
BRIAU Type Nepta (**) 1977	Bronze Ø 40 à 140	Bronze à 2 segments teflon. Ressort de rappel inox à la base.		Câble acier inox relié au piston par tige- guide.	Galvanisé Peut être supprimé.	Fontaine en tôle formant boîtier de pro- tection.	Type 7 : un seul axe à REE. (2) Levier double.	190	180.000	Encore en cours de développe- ment. Type F sans refoulement (simple tube-guide à la base), le tubage du forage en tenant lieu. Poids sans transmission: 70 kg ; prix : 125.000 F. <hr/> BRIAU S.A. - B.P. 903 37009 TOURS Cédex - FRANCE
GUEROULT "à balancier" (**) 1974	Ouvert. Chemise PVC armée fibre de verre. Ø 47 ou 76.	Bronze, un seg- ment plastique	Clapet de pied à joint plastique. Clapet de piston bronze.	Câble termi- né par masse tige reliée au piston.	Galvanisé Ø 52 ou 81	Bâti fers profilés supportant un ba- lancier en acier plié avec contre- poids, prolongé par bras de levier dou- ble, longueur ré- glable. Mécanisme type 7 : un seul axe à R.B.E.			Références: Sénégal Superstructure en dehors du forage, permettant le pompage par plusieurs personnes ensemble. Variantes : commande par pédales, manège à traction animale. <hr/> SISCOMA - B.P. 3214 DAKAR - SENEGAL -	
1.2. POMPES A PISTON, ENTRAINEMENT PAR VOLANT A MANIVELLE										
BRIAU Africa (**) 1960	Laiton Ø 70 ou 120	Fonte et laiton, à segments cuir.	type soupape	Galvanisé Ø 16 à ailettes de guidage	Galvanisé Ø 50 - 60	Boîtier acier renfer- mant carter en fonte à bain d'huile.	Entraîne- ment par 2 volants à contre- poids et manivelles. Engrenage, démultiplicat. et bielle. Paliers à cousinets en bronze autolubri- fiants.	650	630.000	Environ 700 exemplaires sur- tout Afrique francophone. Grande robustesse et possi- bilités d'entraînement mul- tiples, notamment manège à traction animale. Poids sans transmission : 400 kg - prix : 525.000 F. <hr/> BRIAU S.A. - B.P. 903 37009 TOURS Cédex - FRANCE
CLIMAX (*)	Ouvert (en op- tion) Laiton Ø 64 à 95	Laiton segments cuir		Bois ou galvanisé, diamètres variables	Galvanisé	Fontaine surmontée d'un boîtier contenant le mécanisme	Entraîne- ment par 1 ou 2 volants de fonte. Mécanisme dans carter à bain d'huile. Axes princi- paux à R.B.		400.000 (2 volants)	Références: Afrique anglo- phone. <hr/> BARNABY CLIMAX Ltd - White Ladies Close. LITTLE LONDON - WORCESTER WR 1 1 P2 - U.K.

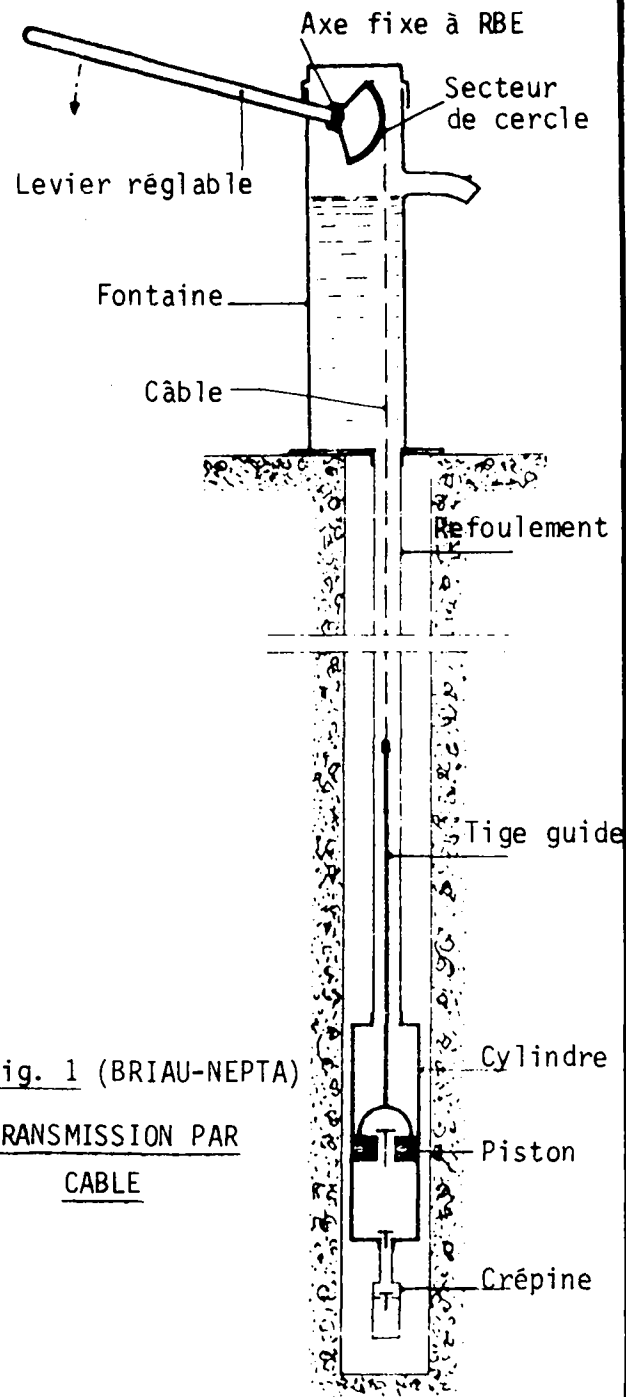


Fig. 1 (BRIAU-NEPTA)
TRANSMISSION PAR
CABLE

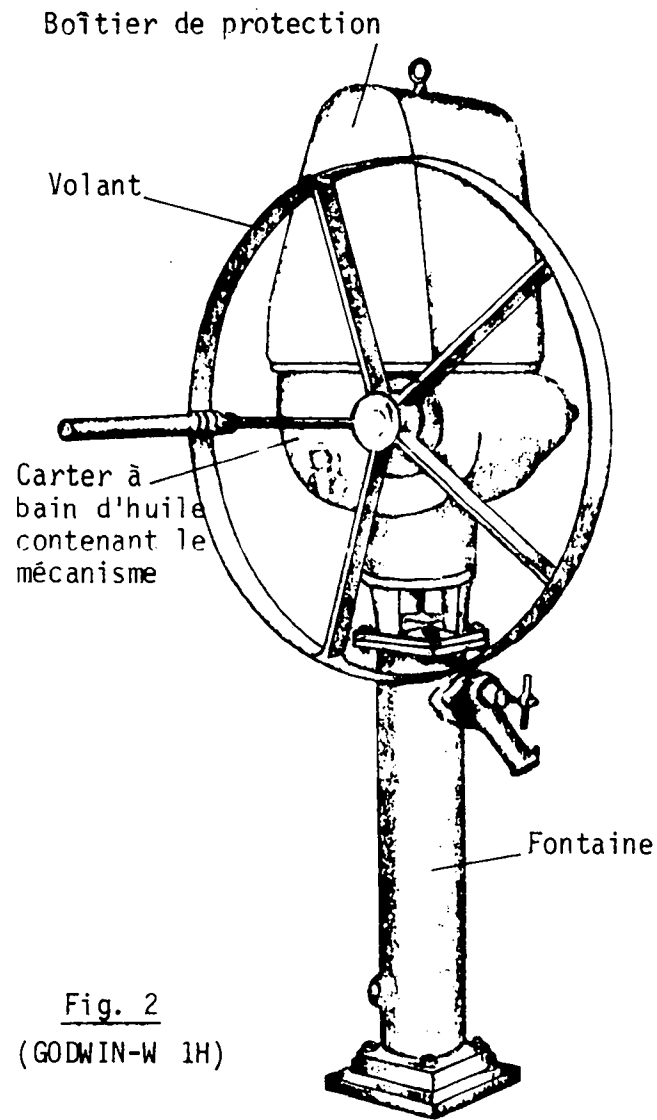


Fig. 2
(GODWIN-W 1H)

ENTRAINEMENT PAR VOLANT ET MANIVELLE

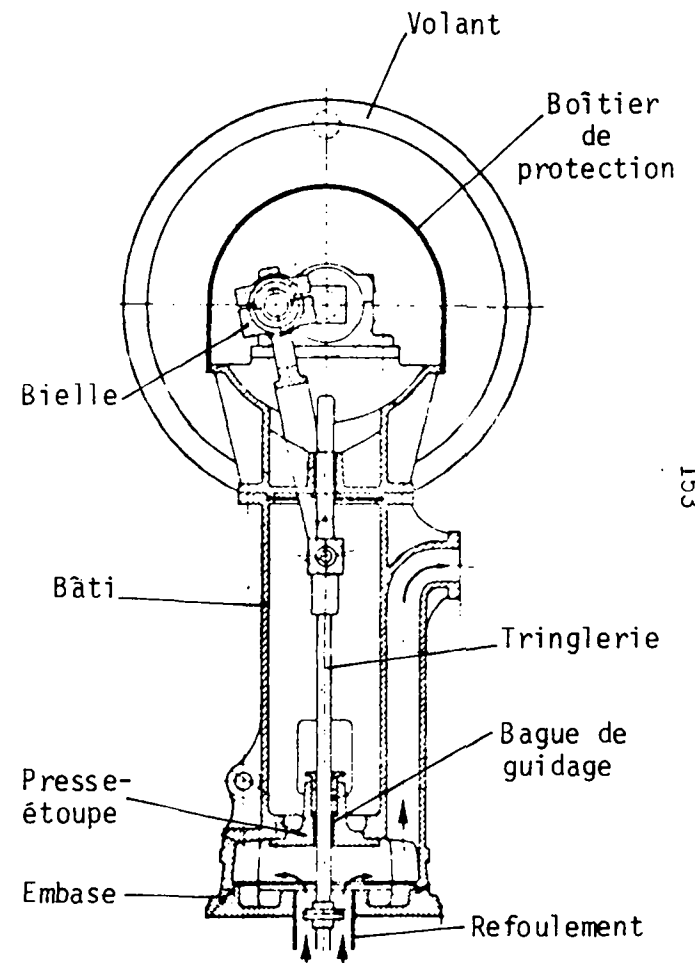


Fig. 3 (DUBA TYPE III)

1.2. (suite) : POMPES A PISTON, ENTRAINEMENT PAR VOLANT A MANIVELLE

MARQUE ET TYPE Origine (1) Année de création	SYSTEME DE POMPAGE			TRANSMISSION		SUPERSTRUCTURE		Poids approximatif en kg pour 30 m	Prix approximatif en F.CFA départ usine pour 30 m	OBSERVATIONS
	Cylindre	Piston	Valves	Tringlerie	Refoulement	Support	Commande			
DEPLECHIN Type II (**) 1950	Ouvert. Laiton Ø 50 à 125	2 segments Piston extrac- tible par le refou- lement.	Type soupape		Diamètre supérieur au cylindre	Fontaine surmontée d'un boîtier contenant le mécanisme	2 volants à manivel- les. Méca- nisme dans carter étanche. R.B.E. et cousinets auto-lubri- fiants.		550.000	Références : Zaire essentiel- lement. Ne nécessite d'après le constructeur, ni entretien, ni graissage. Prix sans transmission : 450.000 F.CFA - Autres types : pompes à levier. <hr/> Pompes DEPLECHIN - 28 avenue de Maire - 7500 TOURNAI - BELGIQUE -
DUBA Tropic (**) 1947	Ouvert. Bronze et laiton Ø 50 à 70	id.	à ressort		id.	Fontaine accolée à un bâti surmonté par un boîtier.	2 volants. Mécanisme dans car- ter à bain d'huile. Axes à R.B.			Références : Zaire essentiellement. <hr/> DUBA S.A. - Nieuwstraat, 31 9200 WETTEREN - BELGIQUE -
GODWIN X et WI H	Bronze et laiton Ø 60 à 95 Ouvert en option	Extrac- tible par le refou- lement en option. 2 ou 3 cuirs.	Billes d'acier sur siège en bronze.	Bois ou galvanisé.	Galvanisé Ø 32 à 102	Fontaine suppor- tant un boîtier contenant le mécanisme	1 ou 2 volants. Type WIH : démulti- plication. Pignons tournant dans bain d'huile (carter étanche).		300.000 à 500.000	Références : Afrique anglo- phone. Nombreuses pompes en service. Prix sans transmission : 2 à 300.000 F. <hr/> H.G. GODWIN Ltd QUENINGTON - Glos. GL7 5 BX - U.K. -
LEE HOWL Casts	Ouvert Laiton Ø 38 à 95	Extracti- ble par le refou- lement. 2 cuirs.		Bois	Galvanisé Ø 51 à 102	id.	1 ou 2 volants. Embrayage sans démul- tiplica- tion dans carter à bain d'huile. Paliers autolubri- fiants.	550		Références : Nigéria Poids pompe seule : 220 kg (2 volants). <hr/> LEE, HOWL & Co Ltd, Alexandra Road-TIPTON-WEST MIDLANDS - DY4 - 8TA - U.K.
KANGAROD (**)	Ø 40 à 100			PVC Ø 19	PVC Ø 51	La colonne de refoulement est coiffée, au- dessus du sol, par une autre colonne concen- trique solidaire de la tringlerie, et reliée à la première par un ressort de rappel. La colonne extérieure porte une plateforme cir- culaire servant de pédale et pouvant être managée par 2 personnes prenant appui à des poignées.				Type de pompe nouveau, suppri- mant tout axe mais non encore éprouvé. Poids de la super- structure : 80 kg. Prix de la pompe sans transmission : 100.000 F. <hr/> INTERNATIONAL WATER SUPPLY - P.O. Box 138 - NIJKERK - NETHERLANDS -

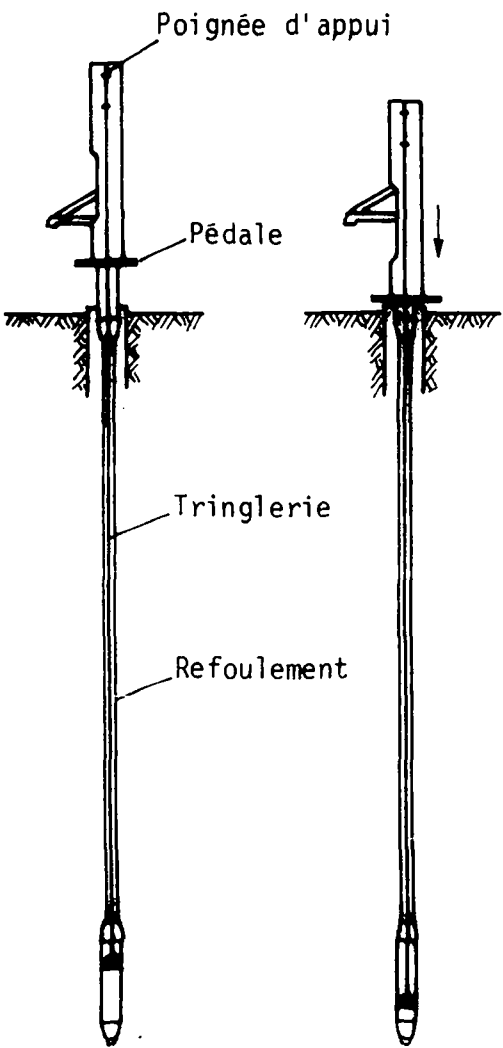


Fig 1 : Pompe à piston commande directe au pied (KANGAROO)

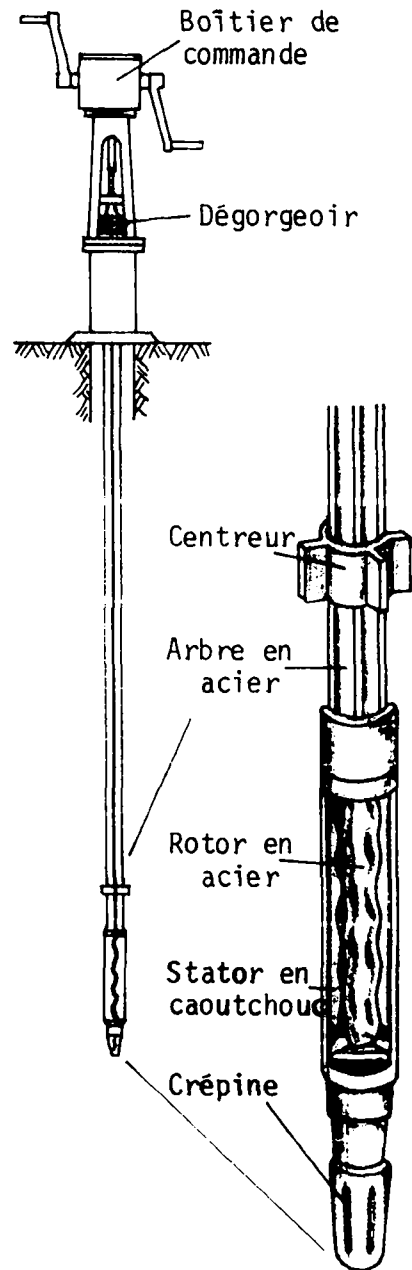


Fig 2 : Pompe rotative à axe vertical (MONO)

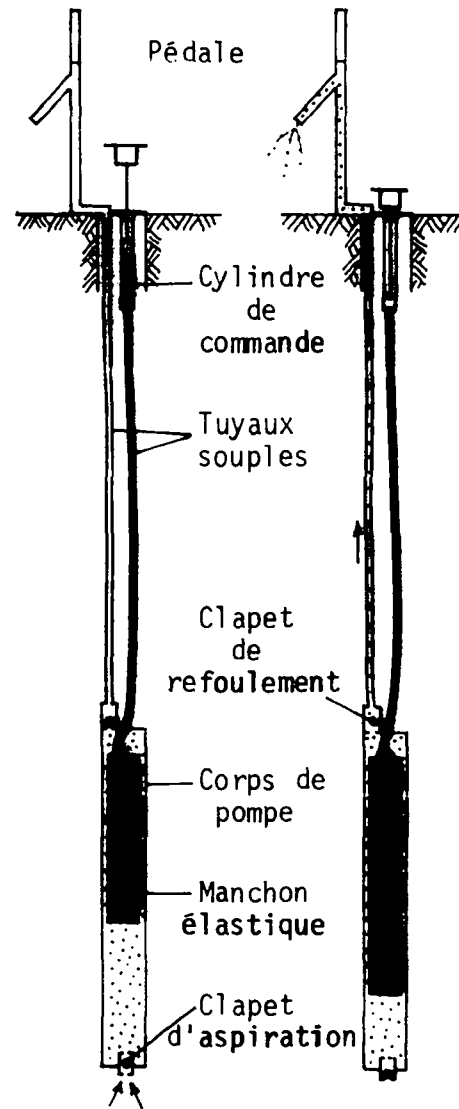


Fig 3 : Pompe à transmission hydraulique (VERGNET)

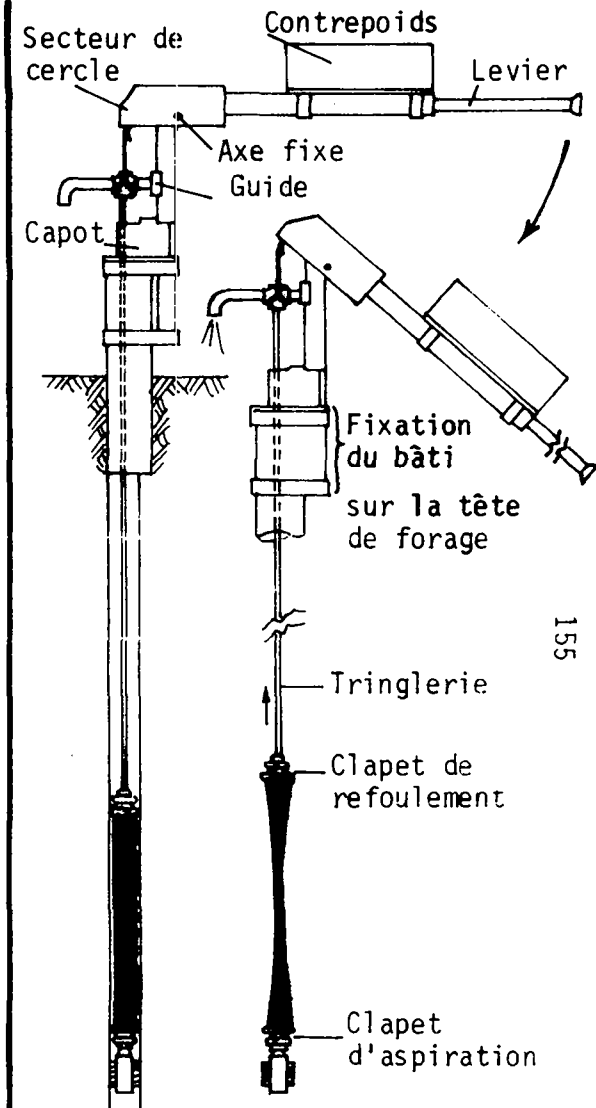


Fig 4 : Pompe à compression élastique (PETRO)

2. POMPES D'AUTRES TYPES

MARQUE ET TYPE Origine (1) Année de création	SYSTEME DE POMPAGE	TRANSMISSION	SUPERSTRUCTURE		Poids approximatif en kg pour 30 m	Prix approximatif en F.CFA départ usine pour 30 m	OBSERVATIONS
			Support	Commande			
2.1. POMPES ROTATIVES A AXE VERTICAL							
MONO "Monolift hand operated pump"	Pompe à axe vertical adaptée à la commande manuelle, composée de : - corps de pompe ou stator : cylindre garni d'un revêtement hélicoïdal de gomme naturelle. Valve à bille à la base. - rotor hélicoïdal en acier chromé solidaire d'un arbre flexible en acier inox centré dans la colonne de refoulement.	Arbre en acier Ø 12 tournant dans une colonne d'exhaure en galvanisé Ø 40/49.	Bâti en fonte fixé sur le tubage de forage et supportant le boîtier de commande.	Pignons renvoi d'angle dans un boîtier étanche à bain d'huile. Commande par 2 manivelles en opposition.		220.000	Représentation de la marque dans la plupart des états anglophones. Entretien réduit. MONO PUMPS-Sekford Street - Clerkenwell Green - LONDON EC1R 0HE (U.K.)
2.2. POMPES A TRANSMISSION HYDRAULIQUE							
BRIAU Omega (*) 1977	Cylindre en bronze. Piston en bronze à 2 segments de téflon et tige-guide, actionné par la charge hydraulique exercée en tête, et comprimant un ressort de rappel : l'eau est chassée dans le refoulement. La détente du ressort entraîne l'aspiration et la remontée du piston de tête.	Conduite de commande et conduite de refoulement : PVC ou galvanisé, respectivement Ø 26 ou 33 int.	Fontaine acier galvanisé contenant le système de commande et protégeant le mécanisme	Cylindre de tête en bronze logé dans la fontaine. Piston bronze à segments téflon, commandé par levier double, type 1, à longueur réglable. 2 axes Ø 45 avec P.B.E. Courte tige de liaison.	140 (transmission PVC)	190.000	Nouveau type de pompe en cours de perfectionnement. Poids : - sans transmission PVC : 80 kg (40 + 40) ; - avec 30 m transmission PVC : 140 kg ; - avec 30 m transmission acier : 230 kg. Prix sans transmission : 160.000 F. BRIAU S.A. - B.P. 43 - 37009 TOURS CEDEX - FRANCE -

<p>Hydropompe VERGIET (* *) 1974 ?</p>	<p>Corps de pompe cylindrique de L = 1,30 m avec valves & bille plastique sur sièges laiton à chaque extrémité, renfermant un manchon élastique nylon et caoutchouc relié au cylindre de tête. L'extension du manchon refoule l'eau vers l'extérieur, sa rétraction entraînant le remplissage du corps de pompe par aspiration.</p>	<p>Tuyaux souples en polyéthylène Ø 23/32 ou 26/32 pour commande et recullement.</p>	<p>Plaque de base supportant le conduit d'exhaure protégé, et le manchon-guide de la commande du piston.</p>	<p>Cylindre de tête en laiton Ø 30 ou 40 placé dans le forage sous la plaque de base. Piston à segments polyuréthane. Commande directe par pédale ronde en inox montée dans l'axe en tête de la tige de piston.</p>	<p>54</p>	<p>180.000</p>	<p>Pompe conçue pour simplifier montage et entretien. Nombreuses pompes en Afrique francophone (Côte d'Ivoire - Mali). Poids sans transmission: 28 kg. Prix : 160.000 F. Entretien limité au remplacement des segments de piston et du guide de pédale (en tête). Le rendement ne diminue pas avec la profondeur, d'où pompage possible jusqu'à 65 m. Encore en cours de perfectionnement. Etude d'un modèle avec manchon élastique au lieu du piston de tête. A noter la possibilité de monter plusieurs pompes en série dans le même forage.</p> <hr/> <p>Pompes MENGIN - B.P. 163 - 45203 - MONTARGIS - FRANCE -</p>
<p><u>2.3. POMPES A COMPRESSION ELASTIQUE</u></p>							
<p>PETRO (* *) 1975 ?</p>	<p>Manchon de caoutchouc renforcé par une spirale en fil d'acier et comportant une valve à chaque extrémité. Ce manchon, ancré en fond de forage, est solidaire de la colonne de refoulement, qui sert aussi de tringlerie. A chaque traction, le manchon s'allonge et se rétracte en refoulant 0,5 l d'eau vers la surface. Il se remplit par aspiration à la détente.</p>	<p>La colonne de refoulement, en acier galvanisé de Ø 19 int., sert de tringlerie. Elle est suspendue au levier de commande par un câble et guidée en tête seulement.</p>	<p>Un longeron d'acier fixé latéralement à la tête du forage supporte l'axe du levier et sert de guide de tringlerie.</p>	<p>Commande type 7 à un seul axe et câble sur secteur circulaire. Levier à contre-poids longueur réglable.</p>	<p>90</p>	<p>120.000</p>	<p>Principe, montage et entretien très simples. Production en série depuis 1977. Poids sans transmission : 32 kg. Prix sans transmission: 100.000 F. Rendement constant malgré la profondeur. Le type 48 permet de pomper dans des tubages de 2". Le constructeur propose également un appareil simple et peu coûteux permettant de battre des pointes filtrantes de 2".</p> <hr/> <p>PETRO PUMP - Carl Westmans Väg 5 13300 SALTSJOBADEN - SWEDEN -</p>

A N N E X E S

QUELQUES SCHEMAS SIMPLES D'OPTIMISATION
D'UNE METHODE DE RECONNAISSANCE

Soit : P = le coût de réalisation moyen d'un ouvrage de captage,
 R = le coût unitaire moyen d'une éventuelle reconnaissance (1).

Admettons que les reconnaissances permettent d'aboutir à un taux d'échec nul.

1. RECONNAISSANCE SYSTEMATIQUE

Dans le cas d'application systématique de cette méthode de reconnaissance, le coût d'un ouvrage d'exploitation, c'est-à-dire productif, est :

$$P_{p1} = P + R$$

2. TRAITEMENT DES ECHECS

Admettons qu'on n'applique cette méthode de reconnaissance qu'aux seuls échecs.

Soit "e" le taux d'échec, défini comme étant le rapport du nombre d'ouvrages négatifs au nombre d'ouvrages productifs.

Le coût d'un ouvrage d'exploitation est alors de :

$$P_{p2} = P (1 + e) + e R$$

La reconnaissance systématique n'est justifiée que si :

$$P_{p1} < P_{p2}$$

c'est-à-dire : $\frac{R}{P} < \frac{e}{1 - e}$

(1) Il s'agit des coûts moyens obtenus sur une campagne en divisant le coût total des reconnaissances (RCT) ou des travaux (PCT) par le nombre de ces reconnaissances ou travaux :

$$R = \frac{RCT}{n(R)} \qquad P = \frac{PCT}{n'(P)}$$

Le courbe 1 de la planche ci-jointe délimite le domaine d'application de chacune des 2 stratégies.

Par exemple, si le taux d'échec par implantation directe atteint 40 %, on peut se permettre, pour le réduire à zéro, d'effectuer des reconnaissances systématiques pour une valeur atteignant au maximum 66 % de la valeur de l'ouvrage de captage (exemple 1).

3. MULTIPLICATION DES TENTATIVES

Les échecs peuvent être repris à nouveau par des implantations directes successives.

Admettons que dans un même village chacun des sites soit indépendant, c'est-à-dire que la probabilité de succès pour un forage dans un village donné soit indépendante du nombre d'échecs déjà rencontré (ce qui est généralement faux).

Si on renouvelait les tentatives théoriquement à l'infini pour obtenir un taux d'échec nul), le coût de chaque ouvrage d'exploitation serait :

$$P_{P3} = P (1 + e + e^2 + e^3 + e^4 + \dots)$$

Or, la série $e + e^2 + e^3 + \dots + e^n$, on a pour limite, quand "n" tend vers l'infini :

$$\frac{e}{1-e}$$

soit :
$$P_{P3} = P \left(1 + \frac{e}{1-e}\right)$$

Cette stratégie conduit à un coût plus élevé que la reconnaissance systématique, seulement si :

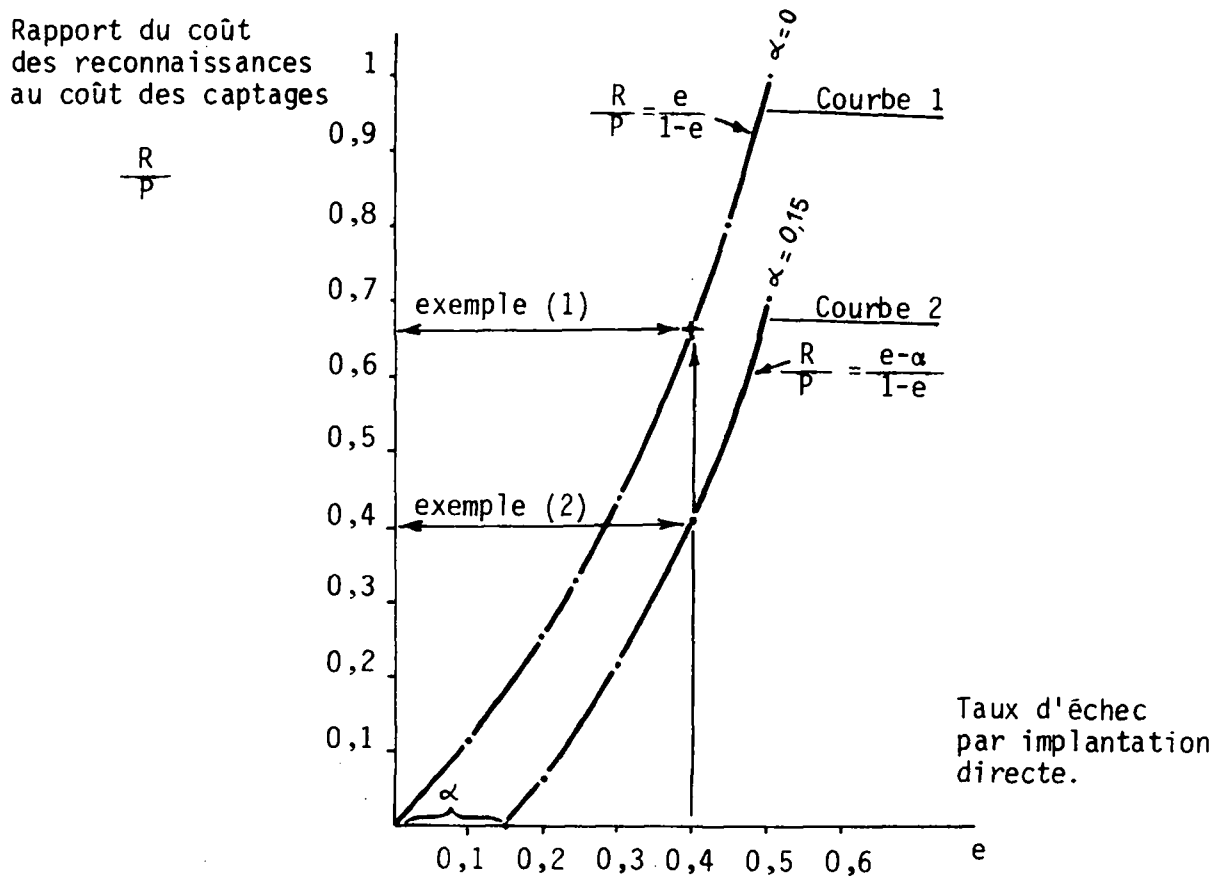
$$P_{P1} < P_{P3}$$

soit :
$$\frac{R}{P} < \frac{e}{1-e}$$

On obtient donc la même condition que précédemment.

On obtiendrait également la même condition si on faisait intervenir les reconnaissances après un échec de rang quelconque.

La courbe est en quelque sorte une courbe caractéristique du principe de toute reconnaissance dans un système aléatoire.



4. CAS OU LA RECONNAISSANCE LAISSE UN TAUX D'ÉCHEC RESIDUEL α

Dans le cas, plus réaliste, où la reconnaissance préalable diminue le taux d'échec sans l'annuler, il faut renouveler les tentatives théoriquement jusqu'à l'infini pour atteindre l'objectif.

Le coût du forage d'exploitation avec reconnaissance systématique à chaque tentative devient alors, en appelant α la probabilité d'échec après reconnaissance :

$$P_{P4} = (P + R) (1 + \alpha + \alpha^2 + \dots)$$

soit :
$$P_{P4} = (P + R) \left(\frac{1}{1 - \alpha} \right) ,$$

le coût du forage productif sans reconnaissance étant :

$$P_{P3} = P \left(\frac{1}{1 - e} \right) \quad (\S 3),$$

la reconnaissance systématique n'est justifiée que si :

$$P_{P4} < P_{P3}$$

soit :
$$(P + R) \left(\frac{1}{1 - \alpha} \right) < P \left(\frac{1}{1 - e} \right)$$

soit :
$$\frac{R}{P} < \frac{e - \alpha}{1 - e}$$

Si on calcule le coût du forage d'exploitation en ayant effectué la reconnaissance sur les seuls sites ayant donné un échec, on obtient alors un coût P_{P5} :

$$P_{P5} = P + e (P + R) \left(\frac{1}{1 - \alpha} \right)$$

C'est la même relation que précédemment qui justifie la reconnaissance systématique par rapport à la reconnaissance sur les échecs :

$$\frac{R}{P} < \frac{e - \alpha}{1 - e}$$

La courbe 2 de la planche 1 montre le coût des reconnaissances admissibles avec un taux résiduel d'échec α , de 0,15 après reconnaissance.

A titre d'exemple (2), si l'on considère comme précédemment un taux d'échec initial de 40 % par implantation directe, le coût des reconnaissances ne doit pas dépasser 40 % du coût des captages s'il reste 15 % d'échecs résiduels.

ESTIMATION DU COUT D'UN FORAGE
EN ZONE DE SOCLE (F.C.F.A.)

(Forage de 6" tubé en 4" 1/2, effectué au rotary à l'air + marteau fond de trou)

Cas d'un service public renforcé par personnel expatrié détaché de sociétés privées.
Travail à 1 poste de 8 heures, 25 jours par mois.

<u>A. C O U T D U P E R S O N N E L</u>	Par mois	Par poste	Part des dépenses extérieures (par poste)
1. CHANTIER			
1.1. <u>Contractuel expatrié (pour 2 chantiers)</u> 1/2 chef-sondeur x 1.500.000	750.000	30.000	22.500
1.2. <u>Salariés</u>			
1 chef de poste	80.000		
1 technicien pointeur	60.000		
2 manoeuvres	60.000		
1 aide-mécanicien	40.000		
1 chauffeur	40.000		
Charges : congés 1/12 + 30 %	110.000		
Indemnités	<u>160.000</u>		
	550.000	22.000	
2. BASE POUR 4 ATELIERS			
2.1. <u>Contractuel expatrié</u> 1/4 chef mécanicien x 1.500.000	375.000	15.000	11.250
2.2. <u>Salariés</u>			
1 chef de base	80.000		
2 mécaniciens	120.000		
2 aides-mécaniciens	80.000		
1 magasinier	50.000		
2 manoeuvres	60.000		
1 gardien	30.000		
2 chauffeurs	80.000		
Charges : congés 1/12 + 30 %	190.000		
Indemnités	<u>110.000</u>		
1/4 de.....	800.000		
	200.000	8.000	
3. DIRECTION POUR 4 ATELIERS			
3.1. <u>Contractuel expatrié</u> 1/4 ingénieur forage x 2.000.000	500.000	20.000	15.000
3.2. <u>Salariés</u>			
Ingénieur	160.000		
1 technicien dessinateur	70.000		
Comptable	80.000		
Secrétaire	60.000		
1 chauffeur	40.000		
1 planton	35.000		
Charges : congés 1/12 + 30 %	170.000		
Indemnités	<u>85.000</u>		
1/4 de.....	700.000		
	175.000	7.000	
TOTAL.....	<u>2.550.000</u>	<u>102.000</u>	<u>48.750</u>

B - C O U T D ' U N P O S T E	COUT TOTAL		PART DES DEPENSES EXTERIEURES	
	sans force motrice	avec force motrice	sans force motrice	avec force motrice
1. <u>PERSONNEL</u>	102.000	102.000	48.750	48.750
2. <u>AMORTISSEMENTS</u>				
2.1. Matériel (sondeuse + porteur + matériel annexe):				
2,5% par mois de 100.000.000	100.000	100.000	100.000	100.000
2.2. Véhicules :				
3 % par mois de 10.000.000	12.000	12.000	12.000	12.000
3. <u>CARBURANTS</u>				
3.1. Sondeuse: 100 CV + 250 CV = 350 CV x 0,2 l/h x 8h x 75% = 420 l/poste x 100 F.CFA		42.000		29.400
3.2. Véhicules :				
VL et camion : 100 l/jour x 100	10.000	10.000	7.000	7.000
4. <u>LUBRIFIANTS</u> : 10 % de 3	1.000	5.200	700	3.600
<u>Total DEPENSES CHANTIER (1 à 4)</u>	225.000	271.200	168.450	200.750
5. <u>ENTRETIEN</u> :				
5.1. Matériel : 50 % de 2.1.		50.000		50.000
5.2. Véhicules : 50 % de 2.2.	6.000	6.000	6.000	6.000
6. <u>BASE</u> : 1/4 de :				
6.1. Amortissement matériel 2,5 % par mois de 25.000.000	6.250	6.250	6.250	6.250
6.2. Amortissement base et magasin 1 % par mois de 25.000.000	2.500	2.500	2.500	2.500
6.3. Amortissement de véhicules 3 % par mois de 15.000.000	4.500	4.500	4.500	4.500
6.4. Carburant - Lubrifiant 200 km/jour VL+200 km/jour PL	4.000	4.000	2.800	2.800
6.5. Entretien véhicules 50% de 6.3	2.250	2.250	2.250	2.250
6.6. Divers, électricité, télécom- munications, transports.	10.000	10.000	5.000	5.000
<u>Total CHANTIER + BASE (1 à 6)</u>	260.500	356.700	197.750	280.050
7. <u>CHARGES DIVERSES</u>				
7.1. Immobilisation période des pluies. 2/10 de 1 et 6	26.300	26.300	14.400	14.400
7.2. Démarrage de la mission 50 % de 7.1.	13.150	18.150	7.200	7.200
7.3. Frais généraux, financiers et divers ; environ 15 % de 1 à 7.2	45.050	58.850	30.650	43.350
<u>TOTAL DE 1 à 7.</u>	<u>345.000</u>	<u>455.000</u>	<u>250.000</u>	<u>345.000</u>

C. COUT D'UN FORAGE VILLAGEOIS

HYPOTHESES

Débit horaire cherché
Profondeur

1 m³/heure
50 mètres

Vitesse de perforation :

- altérites : 0 à 20 m - rotary à l'air
- socle altéré : 20 à 50 m - marteau

10 m/heure
5 m/heure

HEURES DE TRAVAIL NECESSAIRES

Déplacement entre chantier
Installation, repli
Forage altérites
Forage socle
Pose tubage provisoire
Pose tubage définitif
Développement

sans force
motrice

avec force
motrice

2

2

2

6

1

1

1

2

Total :

5

12

Incidents forage

Incidents mécaniques, attente

1

4

2

Total, risques compris (40 %)

Heures.....

6

18

postes.....

0,75

2,25

COUT DU FORAGE

1. Postes

sans force motrice : 0,75 x 345.000

258.750

avec force motrice : 2,25 x 455.000

1.023.750

2. Outils

- tricones (rotary)

20 m à 400 m par outil à 250.000 F pièce

12.500

- travaillants (marteau) :

30 m à 150 m par outil à 300.000 F pièce

60.000

- marteau et divers

50.000

3. Tubages PVC filetés de 4" 1/2

50 m à 6.000 F le mètre.

300.000

4. Graviers siliceux

25.000

5. Superstructure (Équipe indépendante)

60.000

6. Essai de pompage (4 heures) (Équipe indépendante)

85.000

PRIX DU FORAGE

1.875.000

TOTAL

PRIX DU METRE DE FORAGE

37.500

D. E L E M E N T S D I V E R S

<p>1. <u>VENTILATION</u></p> <p>Personnel 20 % Amortissement matériel (18 %) et véhicules(3 %) 21 % Carburants et lubrifiants 8 % Fournitures (tubages) 17 % Entretien (pièces rechange) et outils 14 % Fonctionnement, frais généraux et divers 20 %</p> <hr/> <p>100 %</p>	
<p>2. <u>DEPENSES EXTERIEURES</u></p> <p>Postes sans force motrice 0,75 x 250.000 187.500 " avec force motrice 2,25 x 345.000 776.250</p> <p>Outils et tubage 422.500 Superstructure et essai de pompage 26.250</p> <hr/> <p>1.412.500</p> <p>% dépenses extérieures..... 75 %</p>	
<p>3. <u>PARTIE FIXE ET PARTIE VARIABLE</u></p> <p>- <u>Partie fixe</u> : 0,75 poste sans force motrice 258.750 0,75 poste avec force motrice 341.250 Superstructure et essai 145.000</p> <hr/> <p>745.000 soit 40 %</p> <p>- <u>Partie variable</u> : 1.130.000</p> <p>soit environ 22.600 F le m. (dont 6.000 F de tubage)</p>	

ESTIMATION DU COUT D'UN FORAGE
AU BATTAGE
EN ZONE DE SOCLE
(F.C.F.A.)

Cas d'un service public renforcé par personnel expatrié détaché de sociétés privées.

Travail à un poste, 25 jours par mois.

A. <u>COUT DU PERSONNEL</u> (par poste)		
1. Chantier	: salariés	20.000
2. Base	: salariés	4.000
3. Direction	: expatrié (1 pour 8 ateliers)	10.000
	: salariés	<u>4.000</u>
		38.000
B. <u>COUT D'UN POSTE</u>		
1. Personnel	:	38.000
2. Amortissement du matériel		
2.1. Sondeuse: 1 % par mois de 25.000.000		14.000
2.2. Véhicules 2,5 % par mois de 10.000.000		<u>10.000</u>
Total amortissement		24.000
3. Carburant		
3.1. Sondeuse:		
40 CV x 0,2 l/h x 8 h x 50 % x 80 F		3.200
3.2. Véhicules 10 l/jour x 80 F		1.000
4. Lubrifiants		500
5. Entretien : 25 % de 2.1. et 50 % de 2.2.		<u>8.500</u>
Total fonctionnement et entretien		13.200
6. Base		15.400
7. Charges diverses		<u>19.400</u>
TOTAL COUT D'UN POSTE		<u><u>110.000</u></u>

C. DECOMPOSITION DES TEMPS, POUR UN FORAGEDE 40 mNb. de
postes

Installation, repli, déplacement	0,5
Forage : altérites 20 m à 10 m/poste	2
: socle 15 m à 5 m/poste	3
5 m à 2 m/poste	2,5
Equipement, développement	1
Incidents forage et mécaniques	1
	<hr/>
Total	10 postes
soit environ 2,5 forages par mois.	

D. COUT D'UN FORAGE

1. Postes : 10 x 110.000	1.100.000
2. Outils, soudure et divers	50.000
3. Tubages : 40 m x 6.000	240.000
4. Gravier siliceux	25.000
5. Superstructure	60.000
6. Essai de pompage (4 h)	85.000
	<hr/>
PRIX D'UN FORAGE DE 40 M	1.560.000
	<hr/>
PRIX DU METRE DE FORAGE	<u>39.000 F</u>

E. ELEMENTS DIVERS

1. <u>Ventilation des dépenses</u>	
Personnel	24 %
Amortissement matériel et véhicules	21 %
Carburant, lubrifiant	4 %
Fournitures	17 %
Entretien et outils	9 %
Divers et frais généraux	25 %
2. <u>Dépenses extérieures</u>	
Personnel expatrié (0,75)	75.000
Amortissement (1)	310.000
Carburant (0,7)	47.000
Entretien (1) et pièces (1)	94.000
Divers (0,5)	125.000
Outils, tubages (0,85)	250.000
Superstructure et essai (0,2)	29.000
	<hr/>
	930.000 soit 60%
3. <u>Partie fixe et partie variable</u>	
<u>Partie fixe</u> 2 postes, pour l'essentiel sans force motrice : 2 x 100.000	200.000
Superstructure et essai	145.000
	<hr/>
	345.000.....soit 22 %
<u>Partie variable</u>	1.215.000.....soit 78 %
	<hr/>
	<u>soit 30.400 F le m</u>

ESTIMATION DU COUT DE L'EAU
DANS UN Puits A MAIN
(F.C.F.A)

Hypothèses : Débit consommé $5 \text{ m}^3/\text{j}$, soit $20 \text{ l/j} \times 250 \text{ personnes}$ (1825 m^3 par an)
: Profondeur : 20 m
: Prix au ml (tout compris) : 70.000 F

RUBRIQUE	INVESTIS- SEMENTS	N AN	CHARGES ANNUELLES PAR Puits	COUT DU M3	CHARGES ANNUELLES PAR TETE
1. Etudes préliminaires	80.000	20	8.200	4,5	
2. Coût de l'ouvrage	1.400.000	20	142.000	78	
3. Majoration pour 20% d'échecs	280.000	20	28.600	15,5	
4. Contrôle et entretien du puits			40.000	22	
<u>Charges avec exhaure traditionnelle</u> (1 à 4)	1.760.000		219.600	120	880
5. Superstructure pour pompe et première installation	80.000	20	8.200	4,5	
6. Fourniture de la pompe	160.000	5	40.000	22	
7. Entretien			50.000	27	
<u>Charges supplémentaires pour pompe</u> (5 à 7)	240.000		98.200	54	
<u>Total avec pompe à main</u> (1 à 7)	2.000.000		317.000	174	1270
<u>Investissements (1.2.3.5.)</u>	1.840.000		187.800	103	750
<u>Frais récurrents (4.6.7.)</u> (pompe et entretien)			130.000	71	520
<u>Total avec puisage tradi- tionnel (1 à 4)</u>					
<u>Investissements (1.2.3.)</u>	1.760.000	20	179.600	98	720
<u>Frais récurrents (4.)</u> (entretien)			40.000	22	160
			219.600	120	880

ESTIMATION DU COUT DE L'EAU
DANS UN "FORAGE UNITE" (TYPE SOCLE)
EXPLOITE PAR POMPE A MAIN
(F.C.F.A.)

Hypothèses : Forage de 40 à 50 m exploité à 5 m³/jour (2200 m³/an) soit 300 personnes x 20 l/jour
: Coût de l'ouvrage : 1.800.000 F implantation comprise.

RUBRIQUE	INVESTIS- SEMENTS	N AN	CHARGE PAR FORAGE	COUT DU M3	CHARGE ANNUELLE PAR TETE
1. Coût de l'ouvrage	1.800.000	20	183.600	83	
2. Entretien du forage			10.000	4,5	
3. Majoration pour échecs : 10%	180.000	20	18.400	8,5	
4. Coût de la pompe installée	240.000	5	60.000	27	
5. Entretien de la pompe			50.000	23	
TOTAL	2.220.000		322.000	146	1.070
dont <u>Investissements</u> (1. + 3.)	1.980.000		202.000	92	670
<u>Frais récurrents</u> (2. + 4. + 5.)			120.000	54	400

ESTIMATION DU COUT DE L'EAU
DANS UN FORAGE "TYPE SOCLE" EXPLOITE A
30 m³/j PAR POMPE A MOTEUR
(F.C.F.A.)

Hypothèses : Forage de 60 m à 38.000 F le ml
: Débit d'exhaure : 5 m³/h x 6 h = 30 m³/j, soit 1500 personnes x
20 l/j (11000 m³/an)
: Réservoir + réseau de distribution embryonnaire éventuel

RUBRIQUES	INVESTIS- SEMENTS	N AN	CHARGE ANNUELLE PAR FORAGE	COUT DU m ³	CHARGE ANNUELLE PAR TETE
1. INVESTISSEMENTS					
1.1. Coût du forage	2.280.000	20	284.000	20	
1.2. Majoration pour reconnaissance et échecs : 30 %	650.000	20	66.000	6	
1.3. Electropompe 5 m ³ /h, 40 m HMT	600.000	5	150.000	14	
1.4. Groupe électrogène	700.000	5	175.000	16	
1.5. Génie civil, réservoir 30 m ³	2.400.000	20	245.000	22	
1.5.bis 5 bornes, 1000 m de canalisation (facultatif)	5.000.000	20	510.000	46	
1.6. Divers, études, contrôle	450.000	20	46.000	4	
<u>TOTAL Investissement</u>					
a) sauf 1.5. bis	7.000.000		906.000	82	600
b) avec 1.5. bis	12.000.000		1.416.000	128	940
2. FONCTIONNEMENT					
2.1. Carburant : 0,2 l x 3 CV x 6 h x 365 j x 100 F			131.000	12	
2.2. Lubrifiant : 10 % de 2.1.			13.000	1	
2.3. Entretien : 100 % de 1.3. et de 1.4.			325.000	30	
2.4. Personnel			600.000	54	
2.5. Divers, exploitation et gestion : 20 % 2.1. à 2.4.			215.000	20	
<u>TOTAL Fonctionnement</u>			1.284.000	117	860
<u>TOTAL DES CHARGES</u>					
sans réseau			2.190.000	200	1.460
avec réseau			2.700.000	245	1.800

ANNEXE 7

ESTIMATION DU COUT DE L'EAU
DANS UN FORAGE EN ROCHE DURE DE 120 m
EXPLOITE A 10 m³/JOUR PAR POMPE A MOTEUR
(F.C.F.A)

Hypothèses : Forage de 120 m à 35.000 F le m. !.

Exhaure : 2 m³/h x 5 h = 10 m³/jour, soit 500 personnes x 20 l (3650 m³/an).

Réservoir de 10 m³.

Entretien par la collectivité.

	Investis- sement	N an	Charges annuelles par forage	Coût du m ³	Charges annuelles par tête
1. INVESTISSEMENT					
1.1. Coût du forage	4.200.000	20	428.000	117	
1.2. Majoration pour reconnaissance et échecs: 20%	840.000	20	86.000	24	
1.3. Electropompe 2 m ³ /h 100 m HMT	600.000	5	150.000	41	
1.4. Groupe électrogène	700.000	5	175.000	48	
1.5. Génie civil, réservoir 10 m ³	1.200.000	20	122.000	33	
1.6. Divers, études, contrôle	460.000	20	47.000	13	
TOTAL INVESTISSEMENT	8.000.000		1.008.000	276	2.020
par tête	16.000				
2. FONCTIONNEMENT					
2.1. Carburant : 0,2 l x 2,5CV x 5 h x 365 j x 100 F			93.000	25	
2.2. Lubrifiant : 10 %			9.000	2	
2.3. Entretien : 100 % de 1.3. et 1.4.			325.000	89	
2.4. Personnel			p.m.		
2.5. Divers, exploitation et gestion : 10 % de 2.1. à 2.4.			42.000	12	
TOTAL FONCTIONNEMENT			467.000	128	930
TOTAL DES CHARGES			1.475.000	404	2.950

A- ESTIMATION DU COUT DE L'EAU
DANS UN PUIITS DE 50 m EN ZONE PASTORALE
AVEC PUISAGE TRADITIONNEL DE 30 m3/JOUR

Hypothèses : Puits de 50 m en terrain tendre sédimentaire à 80.000 F le mètre.
Puisage avec délus multiples ou traction animale: 3 m3/h x 10 h,
alimentant habitants et bétail (11.000 m3/an).

	Investis- sment	N an	Charges annuelles par ouvrage	Coût du m3
1. Coût puits et abreuvoirs	4.500.000	20	460.000	42
2. Entretien (base Niger)			40.000	4
<u>TOTAL DES CHARGES</u>			<u>500.000</u>	<u>46</u>

B- ESTIMATION DU COUT DE L'EAU
DANS UN FORAGE DE 60 m EN TERRAIN TENDPE, NON COHERENT
EXPLOITE A 30 m3/JOUR PAR MOTOPOMPE

Hypothèses : Forage de 60 m au battage à 50.000 F le mètre.
Exhaure 5 m3/h x 6 h/jour. Réservoir de 30 m3. (11.000 m3/an)

1. <u>Investissements</u>				
1.1. Forage	3.000.000	20	310.000	28
1.2. Pompe - groupe	1.300.000	5	325.000	30
1.3. Génie civil, réservoir, abreuvoir .	3.000.000	20	305.000	28
<u>TOTAL</u>	<u>7.300.000</u>		<u>940.000</u>	<u>86</u>
2. <u>Fonctionnement</u>				
2.1. Carburant, lubrifiant			150.000	14
2.2. Entretien, personnel, divers.			<u>1.160.000</u>	<u>105</u>
<u>TOTAL</u>			<u>1.310.000</u>	<u>119</u>
<u>TOTAL DES CHARGES</u>			<u>2.250.000</u>	<u>205</u>

ESTIMATION DU COUT D'ENTRETIEN DES POMPES A MAIN

Entretien de 500 pompes à piston et tringlerie (dans un rayon de 200 km)

Une équipe d'entretien et contrôle (véhicule léger - 4 visites par an)

Une équipe de réparation et substitution (1 camion)

		Par an	TOTAL par an
<u>1. PERSONNEL</u>			
1	chef de brigade	12 x 60.000	720.000
2	mécanicien chefs d'équipe	2 x 12 x 40.000	960.000
2	chauffeurs	2 x 12 x 30.000	720.000
3	manoeuvres	3 x 12 x 25.000	900.000
1	maçon (superstructures)	12 x 30.000	360.000
1	administratif	12 x 40.000	480.000
	charges		1.200.000
	indemnités		800.000
			<u>6.140.000</u>
<u>2. AMORTISSEMENT ET EQUIPEMENT</u>			
1	camion 4 T	30 % x 4.000.000	1.200.000
1	véhicule léger	30 % x 1.600.000	480.000
	palan et outillage	30 % x 600.000	180.000
	divers	30 % x 1.200.000	360.000
			<u>2.120.000</u>
<u>3. FONCTIONNEMENT</u>			
	Entretien camion et véhicule léger:100 % amortissement		1.680.000
	Carburant :15.000 litres x 100		1.500.000
	Pièces détachées pour pompes 500 x 20.000		10.000.000
	Divers		560.000
			<u>13.740.000</u>
<u>4. FRAIS GENERAUX - GESTION</u> 15 % environ			<u>3.300.000</u>
		<u>TOTAL</u>	<u>25.400.000</u>
	<u>soit 50.000 F par pompe</u>		

B U R G E A P

70, rue Mademoiselle
75015 - PARIS

Tél. 734.06.65

1978