

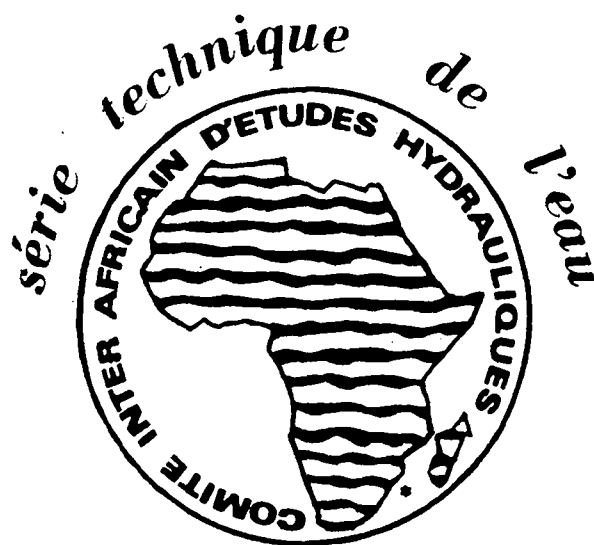
LE MATERIEL DE FORAGE
ADAPTE AU CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES
ET L'EQUIPEMENT DES OUVRAGES
DANS LES ETATS MEMBRES
DU C.I.E.H.

C. DILUCA

par
et

E. DE REYNIES

CIEH



BURGEAP

LE MATERIEL DE FORAGE
ADAPTE AU CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES
ET L'EQUIPEMENT DES OUVRAGES
DANS LES ETATS MEMBRES
DU C.I.E.H.

C. DILUCA

Chef du Département
Hydrogéologie
du CIEH

par

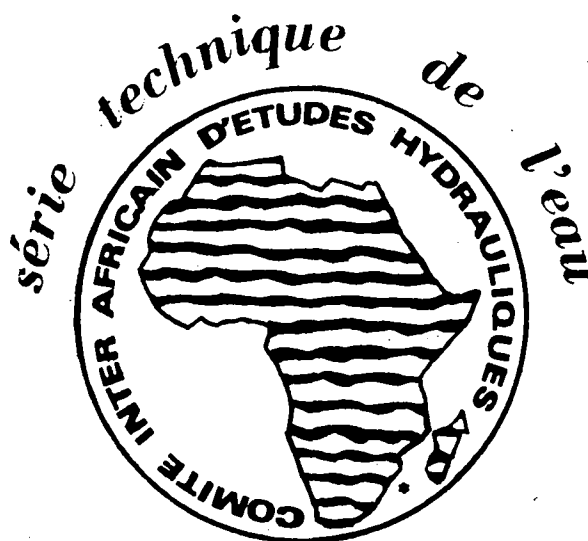
et

E. DE REYNIES

Hydrogéologue
du BURGEAP

LIBRARY
International Reference Centre
for Community Water Supply

CIEH
B.P. 369
OUAGADOUGOU
Haute-Volta



BURGEAP
70 Rue Mademoiselle
75015 PARIS

SOMMAIRE

avant propos	1
<u>1ÈRE PARTIE : LES OUVRAGES À REALISER</u>	3
1. <u>CHOIX DU TYPE DE POINTS D'EAU</u>	3
1.1. <u>Les données hydrogéologiques</u>	3
1.1.1. Le socle précambrien	4
1. Le bouclier libérien, ivoirien, voltaïque	
2. Togo, Bénin	
3. Mauritanie	
1.1.2. Les formations infracambriennes et primaires	6
1.1.3. Les formations post-primaires et les recouvrements récents	7
1. Le bassin sénégal-mauritanien	
2. Le bassin du Taoudéni et le delta central du fleuve Niger	
3. Le bassin nigérien	
4. Le bassin du Tchad	
5. Les bassins sédimentaires côtiers	
1.2. <u>Les besoins en eau</u>	14
1.2.1. Structure de l'habitat	14
1.2.2. Consommations unitaires	15
1.2.3. Conclusion : nature des besoins	15
1.3. <u>Les moyens d'exhaure</u>	16
1.3.1. Influence sur le choix du type de point d'eau	
1.3.2. Caractéristiques et limites d'utilisation des principaux types d'exhaure	
1.4. <u>Définition et choix des ouvrages-types</u>	18
1.4.1. Hydraulique villageoise	
1.4.2. Hydraulique pastorale	
1.4.3. Hydraulique urbaine et centres secondaires	

2. DESCRIPTION ET DISCUSSION SUR LE MODE DE REALISATION DES OUVRAGES 23

- 2.1. Forages villageois dans le socle
- 2.2. Forages villageois en terrains sédimentaires
- 2.3. Puits fait à la main
- 2.4. Puits foré
- 2.5. Forage type "centre secondaire" dans le socle
- 2.6. Forages profonds dans le Sédimentaire

3. POLITIQUE DE L'EAU DANS LES ETATS ET OBJECTIFS DE REALISATION DE POINTS D'EAU 41

- 3.1. Détermination des besoins unitaires 41
- 3.2. Objectifs de création de points d'eau 42
 - 3.2.1. En hydraulique villageoise
 - 3.2.2. En hydraulique pastorale
 - 3.2.3. En hydraulique urbaine
- 3.3. Structures de réalisation 44
- 3.4. Capacités actuelles de réalisation 46
- 3.5. Le cout des ouvrages 47
- 3.6. Examen critique des conditions de réalisation dans quelques pays membres du CIEH 48
 - 3.6.1. Côte-d'Ivoire
 - 3.6.2. Haute-Volta
 - 3.6.3. Mali
 - 3.6.4. Mauritanie
 - 3.6.5. Niger
 - 3.6.6. Sénégal

2EME PARTIE LE MATERIEL 51

1. LES MACHINES UTILISANT LE MARTEAU FOND-DE-TRou 51

1.1. Définitions 51

1.2. Les différents constituants de la machine 52

- 1.2.1. Force motrice
- 1.2.2. Transmission
- 1.2.3. Circuit hydraulique
- 1.2.4. Rotation
- 1.2.5. Translation
- 1.2.6. Mat
- 1.2.7. Régulateur de poussée
- 1.2.8. Air comprimé
- 1.2.9. Injection d'eau-mousse
- 1.2.10. Huilier de ligne
- 1.2.11. Outil de forage
- 1.2.12. Tiges
- 1.2.13. Force motrice; différents montages possibles

1.3. <u>Les différentes options</u>	66
1.3.1. Intérêt de la haute pression	
1.3.2. Forage à la boue	
1.3.3. Forage à la mousse	
1.3.4. Tubage à l'avancement	
1.3.5. Circulation inverse à l'air	
1.4. <u>Rappel des paramètres de forage</u>	76
2. <u>LES MACHINES ROTARY</u>	78
2.1. <u>Domaine d'application</u>	
2.2. <u>Les contraintes</u>	
2.3. <u>Composition et cout d'un atelier</u>	
3. <u>LES MACHINES DE BATTAGE</u>	79
3.1. <u>Domaine d'application</u>	
3.2. <u>Caractéristiques</u>	
3.3. <u>Composition et cout d'un atelier</u>	
3.4. <u>Rotary ou battage</u>	
4. <u>LES MACHINES PERMETTANT DE FORER DES PUIITS</u>	82
4.1. <u>Forage a la tarière-bucket</u>	
4.2. <u>Forage au battage-havage</u>	
4.3. <u>Forage au battage</u>	
4.4. <u>Forage a la boue en circulation inverse</u>	
5. <u>ENTRETIEN ET CONSOMMATION</u>	97
6. <u>CONCLUSIONS SUR LE CHOIX D'UNE METHODE DE FORAGE</u>	99
 <u>3EME PARTIE DONNEES SUR LES COUTS DES ATELIERS ET LA REDACTION DES MARCHES DE TRAVAUX</u>	

cf, Annexes 8 et 9

A N N E X E S

ANNEXE 1 : DONNEES GEOLOGIQUES

- 1.1. Extension des aquifères continus et discontinus dans les différents Etats.
- 1.2. Données sur les épaisseurs d'altération.

ANNEXE 2 : DONNEES DEMOGRAPHIQUES ET PERSPECTIVES DE CREATION DE POINTS D'EAU

- 2.1. Répartition de la population à l'intérieur des pays membres du C.I.E.H.
- 2.2. Politique actuelle en matière de création de points d'eau. Proportion puits/forages.
- 2.3. option nationale sur le mode de réalisation des points d'eau
- 2.4. Objectifs de création de points d'eau d'ici 1990.
- 2.5. Types de structures intervenant dans la réalisation des ouvrages.
- 2.6. Situation du parc de machines ; capacité actuelle de réalisation.
- 2.7 Différents types d'exhaure et limites d'utilisation.

ANNEXE 3 : MACHINES UTILISANT LE MARTEAU FOND-DE-TROU

- 3.1. Force motrice : choix entre les montages possibles.
- 3.2. Transmission : type de transmission existant sur quelques machines.
- 3.3. Transmission hydraulique : schémas de principe.
- 3.4. Transmission hydraulique : centrales hydrauliques.
- 3.5. Air comprimé : débit d'air nécessaire à la remontée des cuttings.
- 3.6. Air comprimé : consommation d'air des marteaux et dimensions des taillants.
- 3.7. Air comprimé : caractéristiques des compresseurs.
- 3.8. Air comprimé : comparaison des coûts d'utilisation de la haute pression et de la basse pression.
- 3.9. Boue : vitesse de remontée dans l'espace annulaire en fonction des diamètres.
- 3.10. Boue : débit et pression de refoulement de quelques pompes à boue utilisées en forage villageois.
- 3.11. Tiges de forage.
- 3.12. Données sur l'entretien et les consommations.
- 3.13. Fiches techniques et schémas de quelques machines.

ANNEXE 4 : MACHINES DE FORAGE AU ROTARY A LA BOUE

174

ANNEXE 5 : MACHINES DE BATTAGE

175

ANNEXE 6 : MACHINES PERMETTANT DE FORER DES PUITES

177

- 6.1. Tarière-Bucket.
- 6.2. Foreuses au battage-havage (benne-preneuse).
- 6.3. Machines de battage pour forages en grand diamètre.

ANNEXE 7 : DONNEES SUR L'EXECUTION DES FORAGES VILLAGEOIS

186

- 7.1. Forages villageois : décomposition du temps d'exécution.
- 7.2. Forages villageois : décomposition du prix de revient.
- 7.3. Caractéristiques du PVC employé en forages.
- 7.4. Dimensions et caractéristiques des tubages PVC.

ANNEXE 8 : DONNES SUR LES COUTS

191

- 8.1. Coût d'un atelier type rotary-marteau fond de trou.
- 8.2. Coût d'ateliers types de forage rotary à la boue.
- 8.3. Coût d'un atelier type de battage.
- 8.4. Coût d'un atelier de battage de grande puissance pour forage en grands diamètres.
- 8.5. Coût d'un atelier de battage-havage pour l'exécution de puits forés.
- 8.6. Comparaison du coût d'un poste au rotary et au battage.

ANNEXE 9 : CAHIER DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES POUR L'EXECUTION DE FORAGES VILLAGEOIS.

206

ANNEXE 10 : LISTE DES CONSTRUCTEURS.

226

ANNEXE 11 : OUVRAGES CONSULTES - BIBLIOGRAPHIE.

228

FIGURES DANS LE TEXTE

1. Coupes techniques de forage villageois dans le socle.	27
2. Coupes techniques de forage villageois en terrain sédimentaire.	30
3. Coupes techniques de forage type "centre secondaire" dans le socle.	36
4. Coupes techniques de forages "profonds" dans le sédimentaire.	39
5. Abaque pour le calcul des pertes de charge.	53
6. Pompe hydraulique à engrenages.	56
7. Pompe hydraulique à palettes.	56
8. Pompe hydraulique à pistons : principe.	56
9. Pompe hydraulique à pistons à débit variable.	56
10. Table de rotation et tête de rotation.	57
11. Régulateur de poussée : principe du régulateur Stenuick.	57
12. Consommation d'air des marteaux fond-de-trou en fonction de la pression.	60
13. Marteau fond-de-trou à piston autodistributeur.	63
14. Accroissement de la vitesse de pénétration en fonction de la pression d'air comprimé.	68
15. Tubage à l'avancement : systèmes Saturne (Stenuick) et Odex (Atlas Copco).	73
16. Forage en circulation inverse à l'air.	75
17. Tarière-Bucket : principe de forage.	84

FIGURES HORS TEXTE

18. Coupes schématiques à travers les principaux bassins sédimentaires.	102
19 à 26. Cartes de la profondeur de l'eau sous le sol :	
19. Bassin sénégal-mauritanien : nappes phréatiques.	103
20. Bassin sénégal-mauritanien : nappe profonde maestrichienne.	104
21. Plaine du Gondo : nappe du Continental Terminal.	105
22. Bassin nigérien : nappe du Continental Terminal.	106
23. Bassin nigérien : nappe profonde du Continental intercalaire.	107
24. Est nigérien et bordure du Lac Tchad : Séries du Crétacé et du Continental Terminal de l'Est nigérien; formations plio-quaternaires du lac Tchad.	108

25. Zone Est du Bassin du Lac Tchad : Séries du Plio-quaternaire et du Continental Terminal.	107
26. Bassin du Lac Tchad : Nappe moyenne sous pression des formations du Tchad.	110
27. Bassin sénégal-mauritanien : Isobathes du toit de la nappe profonde maestrichienne.	111
28. Tarière-Bucket : Schéma de la sondeuse CALWELD 250 B.	112
29. Tarière-Bucket : Bucket et accessoires.	113
30. Battage-havage : benne hémisphérique articulée.	114
31. Battage-havage : benne à trépan.	115

PLANCHES SOUS POCHETTE

Planche 1. : Les grands ensembles géologiques de l'Afrique de l'Ouest.

Planche 2. : Répartition des régions à aquifères continus et à aquifères discontinus.

AVANT-PROPOS

Dans un passé récent, alors que les programmes de forages étaient d'une ampleur limitée, on s'est contenté d'utiliser des matériels et techniques classiques. Mais ces dernières années, avec l'extension des programmes on a fait appel à des méthodes nouvelles (Tarière bucket, marteau fond de trou) sans doute plus rapides mais aussi plus complexes et plus onéreuses nécessitant l'emploi d'un personnel hautement qualifié.

Les diverses évaluations effectuées, dans le cadre de la Décennie de l'Eau, fixent un minimum de 50.000 points d'eau à réaliser dans le seul domaine de l'Hydraulique villageoise (qui représente 70 % des besoins) 150 machines de forage sont recensées actuellement dans les Etats Membres Ce parc de machines dont la capacité théorique est de l'ordre de 8300 ouvrages apparaît, en fait, insuffisant pour atteindre les objectifs fixés par la Décennie et les Etats seront amenés à acquérir ou à faire intervenir de nouveaux matériels.

Compte tenu de la diversité des matériels qui sont actuellement utilisés et disponibles sur le marché international, il apparaît nécessaire d'élaborer un document qui puisse servir d'élément de base à un dialogue entre les maîtres d'ouvrages, les entrepreneurs et les fabricants de matériel. Ce dialogue devrait aboutir à une uniformisation des matériels et la définition des schémas type d'exécution d'ouvrages..

Le présent document est élaboré dans ce sens et fournit au lecteur les principaux éléments intervenants dans le choix d'un matériel de forage et de l'équipement d'un ouvrage de captage des eaux souterraines.

La première partie du rapport expose les grands traits de l'hydrogéologie des pays Membres, les caractéristiques des différents moyens d'exhaure qui doivent équiper les forages et définit, en tenant compte de l'expérience des Etats, les différents schémas types d'ouvrages.

En admettant que ce parc puisse être pleinement opérationnel on est conduit à constater que les Etats ne pourront pas respecter les objectifs fixés dans le cadre de la Décennie. On est alors conduit à réfléchir sur l'efficacité des structures de réalisation mises en place dans nos Etats et, dans le cas de constat négatif d'envisager la création d'entreprises privées installées sur place. Dans ce sens nous avons entrepris une analyse de ces types de structures de réalisation et un examen critique des conditions de réalisation des ouvrages dans la majorité de nos Etats Membres.

La deuxième partie du rapport est réservée à la description et à l'analyse des différents constituants d'une machine de forage. (force motrice, transmission, rotation,...). Cette deuxième partie aborde la comparaison des différentes options de fonctionnement et d'équipement de ces machines. (utilisation de la haute pression lors de forage à l'air, utilisation des procédés de tubages à l'avancement,...) et aboutit à la définition des domaines d'utilisation de ces différents matériels en fonction de leur limite technique. Les caractéristiques et schémas cinématiques des principales machines utilisées dans nos Pays Membres sont annexés au rapport.

La troisième partie est consacrée à l'estimation des coûts des différents ateliers et la présentation d'un modèle Cahier des Prescriptions Techniques relatives à l'exécution d'un forage villageois en zone cristalline.

PREMIERE PARTIE : LES OUVRAGES A REALISER

1. CHOIX DU TYPE DE POINT D'EAU

1.1. LES DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

Sur le plan des conditions de gisement des eaux souterraines, les territoires de l'Afrique de l'Ouest se partagent en deux grands ensembles distincts :

- Le socle précambrien, constitué de terrains les plus anciens du "bouclier africain" : granites, gneiss et formations plus ou moins métamorphiques à dominante schisteuse ou quartzitique.

Il s'agit de roches dures, dans lesquelles les niveaux aquifères sont discontinus et sont liés à la fracturation ou à l'altération de la roche.

Les niveaux statiques sont généralement proches du sol.

Les débits exploitables sont faibles ponctuellement, mais conviennent bien aux besoins de l'hydraulique villageoise qui, nous le verrons, sont très dispersés. En dessous des altérites, la roche dure ne peut être traversée économiquement qu'au moyen du marteau fond de trou.

A cet ensemble, on peut rattacher les formations infracambriennes et primaires, souvent tabulaires, constituées également de roches dures (grès, quartzites et schistes essentiellement, carbonates accessoirement). Elles renferment des nappes le plus souvent discontinues, et peu profondes : l'équipement en points d'eau villageois s'y pose en des termes analogues à ceux du socle précambrien.

Dans la suite de l'étude, nous grouperons les ensembles précédents sous le terme de "socle" au sens large pour l'opposer aux terrains sédimentaires récents.

- Les formations sédimentaires postprimaires et les recouvrements récents : elles se différencient en tous points des précédentes.

Elles sont constituées en majeure partie de roches tendres (sables, grès tendres) et renferment des nappes continues, parfois de grande extension, pouvant être empilées en niveaux superposés séparés par des horizons moins perméables.

Le niveau statique y est à une profondeur variable, parfois assez grande sous le sol. Les nappes captives nécessitent pour être atteintes d'aller trouver leur toit parfois à grande profondeur.

Les débits des forages peuvent aller d'une dizaine de m³/h à 200 m³/h ou plus.

Les ouvrages sont soit des puits à main, soit des forage effectués au battage ou au rotary. Paradoxalement, ces aquifères plus productifs conviennent parfois moins aux besoins de l'hydraulique villageoise en raison des niveaux qui peuvent être trop profonds.

Le socle précambrien occupe une très grande partie de la Côte d'Ivoire (97 % de la superficie du pays), de la Haute Volta (95 %), du Togo (94 %), du Bénin (83 %), du Cameroun (89 %) et du Gabon (80 %), et correspond relativement à des régions à fort peuplement. Dans ces zones, les conditions pluviométriques sont suffisantes (1) pour que le problème des points d'eau villageois ne s'y pose pas en termes de ressources. Plus au Nord, le socle affleure en massifs isolés (Nord de la Mauritanie, Adrar, Aïr) ; il s'agit de zones désertiques où les roches cristallines sont faiblement altérées et où les conditions d'alimentation des aquifères sont beaucoup plus incertaines.

Les formations infracambriennes et primaires occupent de très larges surfaces en Mauritanie et au Mali et une partie du Nord du Togo et du Bénin.

Les formations sédimentaires post-primaires se répartissent en grands bassins situés pour la plupart aux latitudes sahéliennes et qui sont d'ouest en est : le bassin sénégal-mauritanien, le delta central du fleuve Niger et le bassin de Taoudeni, le bassin nigérien, le bassin du Tchad. A côté de ces grands ensembles sédimentaires existe un bassin côtier étroit qui occupe une faible partie de la Côte d'Ivoire, du Togo, du Bénin, du Gabon, du Congo et du Cameroun. Ces régions d'aquifères continus représentent 85 % de la superficie du Sénégal, 65 % de la Mauritanie, 75 % du Niger, 64 % du Mali, 65 % du Congo, 52 % du Tchad.

1.1.1. LE SOCLE PRECAMBRIEN

1.1.1.1. LE BOUCLIER LIBERIEN, IVOIRIEN, VOLTAÏQUE

Les formations du socle présentent une physionomie identique sur la majeure partie de la Côte d'Ivoire, du Mali et le Liptako nigérien.

On y retrouve l'alternance de deux familles de roches :

- les formations métamorphiques du Birrimien (Précambrien moyen) et, dans une mesure bien moindre, celles du Tarkwaïen (Précambrien supérieur) ;
- des roches cristallines : granites, gneiss, migmatites, constituées en fait pour la majeure partie de granites syntectoniques associés aux formations birrimiennes.

Le Birrimien est constitué de roches métamorphiques généralement d'origine sédimentaire : schistes essentiellement, grès et conglomérats, plus rarement volcanosédimentaire : tufs, brèches, roches vertes et schistes.

En Côte d'Ivoire, le Birrimien revêt une extension assez large et représente environ un tiers des affleurements du socle. En Haute Volta, les granites dominent largement; ailleurs, les deux types de formation se partagent à peu près également.

Dans les roches schisteuses du Birrimien, la couverture d'altération argileuse est habituellement peu perméable et les débits les plus intéressants sont

(1) Du moins là où la pluviométrie annuelle est supérieure à 650 mm.

obtenus dans la partie supérieure, fissurée, de la roche saine. L'épaisseur d'altération est en moyenne d'une trentaine de mètres (voir Annexe 1.2), mais peut localement atteindre des valeurs beaucoup plus importantes.

Dans les roches grenues, l'eau est emmagasinée dans les fissures de la roche saine ou dans les arènes à la base de la couche d'altération. L'épaisseur de celle-ci est en moyenne de 15 à 30 m en Côte d'Ivoire, avec des valeurs extrêmes autour de 10 et 60 m. En Haute Volta, les épaisseurs moyennes d'altération se situent entre 15 et 25 m (voir Annexe ci-dessus).

Les débits qu'il est possible d'obtenir ponctuellement dans ces formations varient entre 1 et 5 m³/h et ne dépassent qu'exceptionnellement 10 m³/h.

1.1.1.2 TOGO

Au Togo et au Bénin, le socle, qui occupe la plus grande partie des deux pays, se divise en deux ensembles distincts :

- Les terrains cristallins anciens (anté-birrimiens) : ils comprennent une grande variété de roches grenues et métamorphiques (granites, gneiss, magmatites etc...) et sont caractérisés par une faible épaisseur d'altération.
- Le bassin voltaïen qui occupe le Nord et l'Ouest de ces pays et prend une grande extension au Ghana. On y distingue deux ensembles :
 - . l'un, formé de roches métamorphiques anciennes (précambrien moyen et supérieur) à dominante schisto-gréseuse : Atacorien, série de Kandé, Buem ;
 - . l'autre, formé de roches d'âge infracambrien à ordovicien : grès de Dapango, grès de Bombouaka et schistes de l'Oti.

Dans toutes ces roches, les conditions de gisement des aquifères sont semblables, c'est-à-dire discontinues et liées à l'altération ou à la fracturation des roches. Les schistes de l'Oti et les schistes marneux du Buem se sont révélés jusqu'à présent les moins favorables à la production d'eau souterraine.

1.1.1.3. MAURITANIE

Le socle apparaît le long de la bordure orientale du bassin sénégalomauritanien. Il s'agit d'une série fortement tectonisée à prédominance schisteuse, injectée de granites, de dolérite et de roches basiques. On tire localement quelques ressources de la frange d'altération, principalement sous le réseau hydrographique à écoulement temporaire. Cette série s'étend sur 58 000 km².

Le Nord de la Mauritanie est occupé par de très larges affleurements de roches cristallines, dans lesquelles les granites prédominent.

1.1.2 LES FORMATIONS INFRACAMBRIENNES ET PRIMAIRES

Au Mali, ces formations comprennent :

- . la séquence sédimentaire infracambrienne du Gourma
- . les grès de l'Infracambrien
- . les schistes cambriens de Nara
- . le bassin de Taoudeni (Cambrien au Carbonifère)

Les formations du Gourma (60 000 km²) sont caractérisées par une alternance rapide de schistes argileux, grès, quartzites, calcaires et calcaires dolomiques; ces formations non métamorphiques à l'Ouest et au centre du Gourma, sont atteintes par le métamorphisme dans la partie Est. Les forages qui y ont été exécutés jusqu'à présent ont connu un fort taux d'échecs, mais la plupart avaient été implantés sans géophysique; les forages ou puits positifs profonds d'une centaine de mètres, ont donné aux essais des débits de 1 à 8 m³/h; les niveaux statiques se situent en moyenne entre 50 et 60 m mais peuvent atteindre 100 m de profondeur. Les calcaires et dolomies karstiques de la base du groupe d'Ydouban sont susceptibles de donner localement des débits élevés (100 m³/h au forage Christine). Les aquifères du Gourma sont réalimentés en certains endroits par le Niger.

Grès infracambriens (198 000 km²) : les grès tabulaires, qui s'étendent depuis la région de Bandiagara jusqu'à la frontière de la Guinée et du Sénégal, et en Haute Volta dans la région de Bobo Dioulasso, n'ont de chance d'être productifs qu'à la faveur de fissuration. Les grès de Koutiala, San, Tominian sont, semble-t-il, assez régulièrement productifs grâce à un réseau très développé de fractures et de fissures. Les niveaux statiques se situent entre 3 et 15 m de profondeur. Les grès de Bandiagara, plus mal connus, présentent sans doute des caractéristiques analogues. Dans les grès de Bafoulabé-Kenieba, il est possible d'obtenir des débits de 1 à 10 m³/h dans des forages de 50 à 60 m de profondeur avec un taux de réussite de 60 à 70 %.

Les schistes cambriens de Nara (57 000 km²) sont également imperméables dans leur masse et ne sont aquifères que là où ils sont fracturés. Sur 183 forages implantés avec géophysique (1), on a obtenu 43 % de réussite (forages débitant plus de 1 m³/h pendant 3 heures d'essais).

Les formations primaires du bassin de Taoudeni sont, quant à elles, très mal connues sur le plan hydrogéologique.

En Mauritanie, les formations infracambriennes et primaires comprennent :

- . les grès infracambriens et primaires
- . les pélites du Hodh

Les grès couvrent 78 000 km². Ils présentent des faciès très variés avec

Nota : (1) Forages P.N.U.D.

localement des intercalations de calcaires et de dolomies. Les réservoirs traditionnellement exploités sont les franges d'altération superficielle et les alluvions, mais il existe probablement des nappes relativement productives liées aux réseaux de fractures ou à des faciès particuliers.

Les pélites du Hodh (51 000 km²) sont perméables dans les 15 à 20 premiers mètres, du fait de leur fracturation.

1.1.3. LES FORMATIONS SEDIMENTAIRES POST-PRIMAIRES ET LES RECOUVREMENTS RECENTS

1.1.3.1. LE BASSIN SENEGALO-MAURITANIEN

. Sénégal

Le bassin sédimentaire occupe la majeure partie (83 %) de la superficie du pays, le socle n'affleurant que dans l'angle sud-est du territoire. Il est constitué d'un empilement monotone de couches qui recèle quatre aquifères (voir coupe schématique, figure 19) ; ceux-ci sont de bas en haut :

- les sables et grès du Maestrichien (crétacé supérieur)
- les calcaires paléocènes
- les calcaires et dolomies du Lutétien (Eocène)
- le Continental terminal

Deux autres aquifères généralisés, celui contenu dans les sables dunaires du littoral et celui des alluvions du fleuve Sénégal, sont susceptibles de fournir des ressources importantes.

Le Maestrichien recèle la nappe la plus importante du Sénégal. Il est bien connu grâce aux nombreux forages qui exploitent cette nappe (1). Son extension correspond à peu près à celle du bassin sédimentaire, mais il est surtout exploité dans les deux tiers nord du pays. Il est formé de sables avec intercalations argilomarneuses ou grésocalcaires, sur une épaisseur de 200 à 250 m. Le toit de l'aquifère (voir figure 21) est situé à une profondeur de 300 à 500 m dans la région de Tambacounda et de la Gambie, et de 100 à 300 m dans le reste du pays. Le niveau statique est plus élevé que celui de la nappe phréatique, ce qui conduit parfois à exploiter cette nappe par forage + contrepuits, là où la profondeur de la nappe phréatique ne se prête pas à l'exploitation par puits. La cote piézométrique est à 35 à 50 m sous le sol dans tout le centre du pays et à 15 à 35 m en bordure. Elle peut localement être abaissée par des prélèvements (Thiès). Les débits unitaires sont de l'ordre de 150 à 200 m³/h par forage et la productivité est maximum au centre du bassin (N.E. de Diourbel).

Les calcaires Paléocènes très karstifiés, localisés dans la presqu'île du Cap Vert, renferment une nappe généralement libre fortement productive (200 à 500 m³/h par forage). Les niveaux statiques s'échelonnent entre 20 et plus de 50 m de profondeur dans la zone où la nappe est exploitée.

Nota : (1) 328 forages répertoriés en 1978.

Les calcaires et dolomies karstifiés du Lutétien (Eocène), localisés dans l'Ouest et le Nord du pays sont partiellement recouverts par le Continental terminal ou des dépôts récents; ils renferment une nappe généralisée dans laquelle les débits peuvent aller jusqu'à 100 m³/h par ouvrage. La surface utile est de 1900 km².

Le Continental Terminal recouvre les 4/5 de la surface du bassin sénégalais (105 000 km²). Il renferme une nappe libre, qui la plupart du temps constitue la nappe phréatique de la région. Les sédiments (sables et grès argileux) ont une épaisseur de quelques dizaines de mètres à 100 ou 200 m. La cote de la nappe sous le sol varie entre une vingtaine de mètres sur la bordure du bassin et 80 à 90 m au centre (voir figure 20). Les ouvrages qui captent cette nappe ont une profondeur variant autour de 100 m et les débits spécifiques vont de 130 m³/j/m au Sénégal à 30 à 50 m³/j/m en Mauritanie.

Sables dunaires : ils sont développés le long d'une étroite bande entre Dakar et Saint Louis (5 000 km²). Les débits d'exploitation peuvent être importants, mais doivent être modulés en fonction des risques d'invasion d'eau salée.

Alluvions du fleuve Sénégal (4 000 km²) : elles sont localement très perméables et peuvent donner jusqu'à 30 m³/h avec 2 m de rabattement. La nappe est salée et inutilisée en aval de Boghé.

. Mauritanie

On retrouve en Mauritanie les aquifères précédents, à l'exception du Maestrichien et du Paléocène.

Le Continental Terminal (sables et grès plus ou moins argileux) est exploitable dans la partie Ouest du bassin (54 000 km²). Son épaisseur passe d'Est en Ouest de quelques dizaines de mètres à 100 ou 200 m. La nappe est libre ou semi-captive; plus à l'Est sa surface piézométrique est située dans l'Eocène. La profondeur de la nappe dans ces deux formations va d'une dizaine de mètres en bordure de la côte est du fleuve Sénégal à plus de 100 m au centre du bassin (voir figure 20).

L'Eocène, sous-jacent au Continental Terminal, renferme une nappe libre dans les sables et grès du Lutétien de la bordure orientale du bassin. La surface d'alimentation de cet aquifère représente 40 000 km².

Les sables dunaires de la dépression d'Aouker et, plus au Nord, de la bordure du grès primaire (129 000 km²) renferment une nappe qui peut être atteinte par des puits à 20 ou 30 m sous le sol.

1.1.3.1. LE BASSIN DE TAOUDENI ET LE DELTA CENTRAL DU FLEUVE NIGER

Au Mali, les aquifères continus sont localisés dans :

- . le bassin de Ségou, la plaine du Gondo, le détroit soudanais et l'Ouest de l'Adrar des Iforas : ces régions sont occupées principalement par le Continental Terminal superposé par endroits au crétacé et au Continental intercalaire,
- . l'immense bassin de Taoudéni qui s'étend à la fois en Mauritanie et au Niger.

Le Continental intercalaire existe dans le Fossé de Nara et sur le pourtour de l'Adrar.

Fossé de Nara : les sédiments s'étendent sur 50 à 80 km de large et atteignent 200 m d'épaisseur au centre du fossé; l'épaisseur des formations aquifères ne dépasse pas, quant à elle, 25 m. Les débits sont de 10 à 15 m³/h par forage pour un rabattement de 20 à 30 m.

Pourtour de l'Adrar : la nappe du Continental intercalaire peut être atteinte vers 120 à 150 m de profondeur à la latitude de Menaka. Le niveau statique se situe entre 35 et 60 m sous le sol. On obtient des débits de l'ordre d'une dizaine de m³/h pour 3 à 10 m de rabattement avec des forages de 150 à 200 m de profondeur.

Le Crétacé et l'éocène inférieur occupent le détroit soudanais et reposent sur le socle. Les sédiments sont constitués de sables, argiles et calcaires et l'on peut exploiter des débits de l'ordre d'une dizaine de m³/h pour des rabattements très variables (10 à 30 m).

Le Continental Terminal présente une grande extension et se répartit en trois zones :

- Delta central : la nappe du Continental Terminal est alimentée directement par les alluvions du fleuve Niger et constitue la plus grande réserve d'eau souterraine du Mali. Sa cote, en équilibre avec celle du fleuve au voisinage de celui-ci, s'approfondit au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. Elle est exploitée par des puits de 20 à 35 m dans la région de Ségou, de 50 à 60 m au nord de Macina, du lac Faguibine et dans les cercles de Tombouctou et Gao. Les forages assurant l'alimentation des principaux centres situés sur les rives du fleuve ont une profondeur de l'ordre de 75 m et donnent des débits de quelques dizaines de m³/h pour 3 à 6 m de rabattement.
- Azaouad et bassin de Taoudeni : Le Continental Terminal, formé d'argiles gréseuses bariolées, recouvre tantôt les grès et schistes primaires, tantôt le Continental intercalaire ou le Crétacé et l'Eocène du détroit soudanais. La nappe phréatique du Continental Terminal est la plupart du temps accessible sous une couverture dunaire de 10 à 50 m par des puits d'une profondeur de 40 à 60 m. La surface prise en compte pour le calcul des ressources est de 193 000 km².

- Plaine du Gondo (22 000 km²) : le Continental Terminal, dont l'épaisseur est de l'ordre de 50 m (exceptionnellement 120 m) contient à sa base une nappe continue à faible débit, drainée par les fractures des calcaires sous-jacents. Le niveau de cette nappe en creux s'équilibre entre 20 à 40 m de profondeur sur la bordure du bassin et 80 m au centre de celui-ci (voir figure 21).

Alluvions quaternaires

Ces alluvions argileuses de la cuvette du Niger, reconnues sur une dizaine de mètres d'épaisseur s'étendraient sur 90 000 km². Elles recouvrent le Continental Terminal.

1.1.3.3. LE BASSIN NIGERIE

Les aquifères continus sont localisés dans les formations suivantes :

- . Le Continental Terminal recouvre 56 000 km² dans la partie occidentale du bassin. Il est constitué de grès argileux et d'argiles dans lesquels s'individualisent des sables bien classés. Il contient une nappe supérieure libre (nappe phréatique) qui s'étend sur tout le bassin; dans la partie Est, il recèle 2 nappes captives sous-jacentes.

La nappe supérieure libre est celle qui est captée le plus généralement. Son niveau statique, assez proche de la surface du sol dans les vallées des Dallols, se trouve à une profondeur de 30 à 60 m et plus sous les plateaux (voir figure 22). Cette nappe est captée par des puits, dont la profondeur moyenne ne dépasse pas 45 m, grâce à leur implantation dans les points bas du relief. On obtient facilement 5 m³/h par puits avec une hauteur captée de 4 à 5 mètres.

- . Le Continental intercalaire est une épaisse série formée de sables, grès et argiles, qui affleure au centre du bassin et est recouverte à l'Ouest par le Crétacé, le Paléocène et le Continental Terminal, l'épaisseur du recouvrement pouvant atteindre 600 m. Dans ce secteur, la nappe est en charge et est localement artésienne dans les vallées des Dallols. Les grès de Tégama, encore mal reconnus, recèleraient des réserves très importantes. La surface correspondant à la nappe libre est de 222 000 km²; celle correspondant à la nappe captive de 165 000 km². (voir figure 23).
- . Les formations du Crétacé supérieur au Continental Terminal de l'Est nigérien sont encore mal connues, mais contiennent probablement des nappes généralisées.
- . Le plioquaternaire affleure sur de très grandes surfaces tout autour du lac Tchad. Il renferme une nappe libre dans les dunes et les horizons de surface. Les niveaux inférieurs renferment une nappe captive appelée "nappe moyenne sous pression des formations du Tchad", qui offre d'excellentes ressources autour du lac Tchad où elle est artésienne. La profondeur du toit de l'aquifère est de 250 à 300 m. Il existerait une nappe plus profonde, rencontrée à une profondeur de plus de 500 m. La surface concernée par la partie exploitable de la nappe libre est de 104 000 km²; celle de la nappe moyenne 26 000 km².

Il existe de nombreux autres aquifères de moins grande extension sur lesquels les données sont malheureusement moins nombreuses :

- . grès d'Agadès : nappe captive, parfois artésienne (27 000 km)
- . grès de Têloua : nappe généralement captive; niveau entre 30 et 90 m sous le sol; surface concernée 26 000 km²
- . grès primaires : ils contiennent 4 aquifères principaux séparés par de puissantes séries argileuses.

La nappe de l'Ordovicien, malgré des ressources importantes, n'est pas exploitée en raison de sa grande profondeur (> 800 m); celle du Viséen inférieur, très largement captive, donne des débits de 3 à 30 m³/h.

- . Ténéré du Tafassasset : remplissage sédimentaire sableux.
- . bassin des Koromas : silts et sables argileux.
- . Continental Terminal des Pays Bas : sables.
- . Cambrien-Viséen : grès grossiers et grès Kaoliniques.

1.1.3.4. LE BASSIN DU TCHAD

- . Le plioquaternaire, qui s'étend sur le Niger et sur le Tchad, présente ici les mêmes caractéristiques (voir figure 24). La nappe libre concerne ici une surface de 235 000 km². La nappe moyenne sous pression intéresse 130 000 km².
- . Le crétacé renferme probablement une nappe captive sous un épais recouvrement marnoschisteux. La présence d'eaux superficielles et de nappes locales peu profondes a jusqu'ici fait négliger leur reconnaissance.
- . Le Continental Terminal affleure sur de très vastes étendues : 130 000 km² au Nord, 160 000 km² au Sud du pays. Au Nord, depuis les Pays Bas jusqu'à Batha, les puits traditionnels descendent parfois jusqu'à 80 m pour atteindre la nappe; au sud, la nappe est en relation directe avec les cours d'eau, mais sa profondeur sous le sol peut cependant dépasser 90 m dans les interfluves.
- . Le cambrien-viséen (115 000 km²) donne par forage des débits de l'ordre de 1 000 m³/jour, mais les exploitations traditionnelles se font par puits captant le plus souvent les ressources des nappes alluviales.

1.1.3.5. LES BASSINS SEDIMENTAIRES COTIERS

Les données concernant la profondeur du niveau piézométrique sous le sol et les caractéristiques moyennes des ouvrages pourront, dans chaque cas particulier être obtenues à partir des synthèses hydrogéologiques locales. Les éléments ci-dessous, extraits pour la plupart de la notice sur la planification des ressources en eau (8), bien que non exhaustifs, donneront une idée approchée des caractéristiques des différentes nappes.

Côte d'Ivoire

Le bassin sédimentaire n'occupe que 9 500 km², soit 3 % de la superficie du pays. On y trouve deux aquifères :

- la nappe des formations quaternaires littorales : le débit des ouvrages captant cet aquifère est de quelques m³/h à quelques dizaines de m³/h (localement jusqu'à 200 m³/h). L'exploitation de ces ouvrages doit être modulée en fonction du risque d'invasion d'eau salée.
- Le Continental Terminal recouvre la quasi totalité du bassin sédimentaire en arrière des formations récentes littorales. En général, il repose directement sur le socle précambrien, sauf au sud du bassin où il recouvre le crétacé supérieur, l'éocène ou le miocène. Il est constitué de sables dans la partie supérieure et d'argiles sableuses dans la partie inférieure; son épaisseur totale ne dépasserait pas 150 m.

Sur 60 forages recensés dans l'ouvrage sur la planification des ressources en eau (8), 90 % ont une profondeur inférieure à 100 m (et 40 % inférieure à 50 m), 72 % ont un niveau statique à moins de 40 m (et 90 % un niveau statique inférieur à 60 m). Les débits des ouvrages vont de 10 à 20 m³/h à plus de 200 m³/h.

Togo

Le bassin sédimentaire occupe 3 450 km², soit 6 % de la surface du pays. Il contient plusieurs aquifères superposés, qui sont, du plus ancien au plus récent :

- . le Crétacé supérieur (Maestrichien) sableux
- . le Paléocène (aquifère dans les calcaires et marnes sableuses)
- . le Continental Terminal
- . les sédiments récents, en bordure du littoral.

Le Crétacé supérieur n'affleure pas au Togo. D'après les éléments de la notice (8), il est recoupé par forage à des profondeurs variant entre 75 m et 405 m. La profondeur des forages est inférieure à 160 m sur 13 des 14 forages recensés. Les niveaux statiques sont inférieurs à 50 m dans 9 forages et supérieurs à 50 m dans les 5 autres. Les débits sont de quelques dizaines de m³/h en général (et sont supérieurs à 100 m³/h sur deux forages).

Le Paléocène a été bien reconnu à l'Ouest de Lomé. Sur les 8 forages cités (8), les profondeurs varient entre 50 et 300 m. Le niveau statique est généralement inférieur à 50 m. Les débits sont compris entre 15 et 60 m³/h.

Le Continental terminal, constitué de sables et argiles rouges, parfois assez mince, recouvre 80 % de la surface du bassin. Sauf exception (forage d'Attitogon 390 m), la nappe peut être captée par des ouvrages de moins de 100 m de profondeur. Le niveau statique est relativement proche du sol : moins de 40 m sur 13 des 14 forages recensés.

Les débits vont de quelques dizaines de m³/h à 200 m³/h.

Les dépôts sédimentaires récents s'étalent sur 220 km² en bordure de la côte. Ils sont constitués de sables littoraux et d'argiles sur environ 40 mètres d'épaisseur. Un certain nombre d'ouvrages à l'Ouest d'Anécho y prélèvent 2 millions de m³/an à raison de 5 à 15 m³/h par ouvrage.

Bénin

Au Bénin, le bassin côtier représente 12 200 km², soit un peu moins de 11 % de la superficie du pays. On y retrouve quatre aquifères comme au Togo :

- Le Crétacé supérieur (Maestrichien) sableux : la superficie connue et exploitable de cet aquifère couvre 6 200 km². La productivité y est très bonne et serait de l'ordre de 5 000 m³/jour par forage sur 70 % de cette surface. Les 22 forages recensés ont une profondeur variant entre moins de 100 m et plus de 600 m et donnent quant à eux 20 à 40 m³/h; en ce qui concerne les niveaux statiques, on trouve :

6 forages artésiens

8 forages avec un NS inférieur à 30 m

8 forages avec un NS supérieur à 30 m (1 niveau exceptionnel à 110 m de profondeur).

- Le Paléocène calcaire est moins bien connu, mais recèle probablement des possibilités intéressantes. Les 4 forages cités ont une profondeur de 300 à 500 m et leur débit s'étage entre 7 et 75 m³/h; celui-ci n'est pas forcément représentatif de la productivité réelle de la formation et serait sans doute meilleur dans des forages acidifiés. Deux des forages sont artésiens; les autres ont un niveau statique à 44 et 65 m.
- Le Continental Terminal recouvre une grande partie des terrains précédents et affleure sur 6 610 km². Ici encore, il est constitué de sables et argiles sableuses. Sur 14 forages recensés, 11 ont une profondeur inférieure à 150 m. Le niveau est artésien dans 4 forages et inférieur à 30 m dans 8 autres.

Les débits sont dans l'ensemble de 10 à 30 m³/h ; 4 forages ont un débit compris entre 100 et 200 m³/h.

- Les sédiments récents de la plaine littorale s'étendent sur 850 km² et sont essentiellement constitués par des sables à la partie supérieure et par des argiles avec intercalations sableuses en dessous; leur épaisseur est de 20 à 40 m en moyenne, mais peut aller jusqu'à 80 m. La transmissivité des sables peut être très bonne localement, mais l'exploitation doit tenir compte des risques d'invasion d'eau salée.

1.2. LES BESOINS EN EAU

La nature des besoins conditionne le choix du type d'ouvrage. Elle est elle-même fonction de la structure de l'habitat et des consommations unitaires.

1.2.1. STRUCTURE DE L'HABITAT

La population des Etats membres du CIEH est essentiellement rurale et à habitat dispersé : plus de 75 % de la population totale est rurale, cette proportion allant selon les pays de 50 % (Congo) à 90 % (Tchad). Dans les pays sahéliens, cette proportion se situe généralement entre 80 et 90 %.

La dimension des agglomérations est très petite :

Au Niger, on compte 9 500 villages administratifs, auxquels sont rattachés 15 600 hameaux; sur ces 9 500 villages, 7 400 (78 %) ont moins de 500 habitants (recensement 1977).

Au Mali, 5 963 des 10 802 villages (55 %) ont moins de 300 habitants (recensement 1976).

Encore la dénomination "village" masque-t-elle souvent un éclatement encore plus important : En Haute Volta, en pays Mossi, il n'est pas rare qu'un "village" de 1 000 habitants comporte une cinquantaine de hameaux répartis sur plus de 10 km² [biblio (1)].

Parallèlement, le nombre de centres secondaires, correspondant à une population concentrée supérieure à environ 5 000 habitants (et justifiant éventuellement un réseau et des forages d'un débit plus élevé) est faible : moins d'une quarantaine par pays en moyenne.

1.2.2. CONSOMMATIONS UNITAIRES

Au stade actuel de l'équipement, et eu égard aux possibilités pratiques de réalisation, les Etats se sont fixé comme objectif à moyen terme la fourniture de 25 litres d'eau par jour et par habitant dans les villages. Dans l'immédiat, les programmes visent à assurer 10 l/j/habitant là où cet objectif n'est pas encore atteint.

Dans les villes, les besoins vont croissant en fonction de la dimension de l'agglomération; nous citerons, à titre d'exemple, les objectifs fixés par le plan quinquennal au Niger :

30 l/j/habitant dans les centres secondaires pourvus d'un réseau d'adduction

75 à 100 l/j/habitant dans les grands centres urbains

En hydraulique pastorale, on ne recherche des débits ponctuels élevés que dans les cas, peu nombreux, d'élevage intensif ou semi-intensif ou pour des aménagements particuliers. Dans le cas général, l'exigence du débit est commandée soit par la capacité d'exhaure (dont nous reparlerons), soit par l'espace pâturable autour du point d'eau. A titre d'exemple, si la surface "commandée" par des points d'eau équidistants de 20 km, soit 30 000 hectares par point d'eau, permet de nourrir 3 750 U.B.T. (1) à raison de 8 hectares par bête, le débit utile recherché sera $3\,750 \times 40 \text{ l/j/UBT} = 150 \text{ m}^3/\text{jour}$. Avec une équidistance entre points d'eau de 10 km, ce débit utile tombe à 40 m³/jour.

1.2.3. CONCLUSION : NATURE DES BESOINS

Le tableau de l'annexe 2.4., sur lequel on a tenté de récapituler les besoins en points d'eau par Etats et les objectifs pour la décennie en cours, fait apparaître le nombre très important des besoins en points d'eau villageois : plus de 50 000 à réaliser d'ici 1990, parmi lesquels on compte réaliser 47 % de puits et 53 % de forages.

Les forages adductions destinés à l'alimentation des centres secondaires représentent, quant à eux, quelques 200 points d'eau à créer.

Enfin, les forages à gros débit en terrain sédimentaire à créer au cours de la même période sont au nombre de quelques dizaines seulement.

Certains des chiffres donnés dans ce tableau sont probablement très approximatifs, car nous n'avons pu enquêter dans tous les Etats concernés et même dans certains Etats visités, les prévisions n'étaient pas encore établies avec beaucoup de certitude.

On peut cependant se fonder, sans trop de crainte de se tromper, sur l'ordre de grandeur des chiffres annoncés, ce qui nous conduira à mettre l'accent, dans la suite de ce rapport, sur le matériel destiné à la réalisation des points d'eau villageois, ceux-ci représentant 80 % de la demande.

Nota : (1) Unité de bétail tropical.

1.3 MOYENS D'EXHAURE

1.3.1 Influence sur le choix du type de point d'eau

Dans la mesure où le problème de l'entretien des moyens d'exhaure mécaniques ne peut être considéré, dans bien des cas encore, comme durablement résolu, cette considération intervient dans le choix du type d'ouvrage.

En hydraulique villageoise dans les régions de socle, les avantages déterminants du forage à l'air comprimé ont imposé cette méthode seule capable de permettre la réalisation de vastes programmes de manière suffisamment rapide et économique. Ces ouvrages sont équipés de pompes à main ou à pied, mais l'entretien de celles-ci, malgré l'attention qu'il retient dorénavant, ne trouvera probablement une solution durable qu'au terme d'une évolution assez lente.

Pour cette raison, le puits dont l'avantage est d'être affranchi de ces problèmes de maintenance, garde encore la faveur de nombreux Etats, là où il peut se substituer au forage. C'est le cas du captage des arènes dans les régions de socle et des nappes les moins profondes en zone sédimentaire.

Dans le domaine de l'hydraulique pastorale, où l'on recherche avant tout une simplicité d'entretien en raison de l'isolement et des conditions sévères d'utilisation, le puits et l'exhaure traditionnelle gardent un avantage déterminant. Il se trouve en outre que les régions à activité pastorale dominante, situées dans les zones où la culture sans pluie devient impossible (moins de 350 mm) correspondent pour la plupart aux latitudes des grands bassins sédimentaires. Dans ceux-ci, la construction des puits est possible économiquement tant que le niveau de l'eau n'est pas trop profond.

L'alternative au puits, dans les zones pastorales, est le forage équipé d'une motopompe, d'une éolienne ou d'une pompe solaire. L'avenir est sans nul doute à cette dernière, qui cumule à la fois les avantages d'un entretien très réduit et d'une énergie gratuite et permettra de libérer le pasteur du travail considérable de l'exhaure; pour l'heure, si la fiabilité des capteurs progresse, semble-t-il, de jour en jour, les coûts d'investissements élevés constituent encore un frein au développement de ce type d'exhaure.

L'exhaure par moto pompe, en raison des problèmes d'entretien et des charges d'exploitation, devrait être réservé à la desserte des agglomérations ou de certains aménagements nécessitant un débit élevé (ranchs, périmètres irrigués etc...). Hors de ces cas, les conditions qui peuvent imposer l'usage d'une moto pompe sont les profondeurs trop importantes du niveau de l'eau ou du gîte aquifère.

1.3.2. Caractéristiques et limites d'utilisation des principaux types d'exhaure

Nous avons regroupé en Annexe 2.7 quelques-unes des données essentielles concernant le débit, la profondeur maximum d'utilisation et la dimension des parties immergées pour les différents types d'exhaure.

La profondeur maximum d'utilisation des pompes à main (environ 40 m) autorise son emploi dans les régions du socle où la nappe est généralement proche du sol, mais peut l'interdire dans les zones sédimentaires où le niveau piézométrique est trop profond.

Les pompes à transmission hydraulique constituent en cela une amélioration puisqu'elles peuvent être utilisées jusqu'à 60 m de profondeur.

En ce qui concerne l'exhaure par traction animale, on considère que la profondeur de 80 m est une limite pratique à ne pas dépasser, bien qu'il existe des puits traditionnels plus profonds. On évite donc, dans la mesure du possible, de creuser des puits dans les zones où la nappe phréatique est plus profonde. Dans ces cas, relativement rares heureusement, la solution peut être l'exécution d'un forage à côté du puits pour capter une nappe plus profonde en charge.

Sur le plan des débits, l'exploitation effective d'une pompe à main reste habituellement comprise entre 5 et 8 m³/jour (1), ce qui permet d'alimenter avec une pompe de petites communautés de 200 à 300 personnes, à raison de 25 l/j/habitant.

Si un puits de 1,80 m de diamètre en zone sédimentaire peut donner assez couramment au moins 5 m³/h, la capacité d'exhaure par les moyens traditionnels y est limitée le plus souvent autour de 2 à 3 m³/h.

Nota : (1) Débit horaire compris entre 700 et 900 l/h.

1.4 DEFINITION ET CHOIX DES OUVRAGES TYPES

1.4.1. Hydraulique villageoise

L'objectif est l'ouvrage de petit débit exploitable sans moteur, donnant une eau de bonne qualité bactériologique et suffisamment économique pour pouvoir être réalisé en grande série.

. Régions du socle

Les conditions de gisement des eaux souterraines dans les régions du socle cristallin, où l'on obtient les meilleurs débits dans la partie fissurée de la roche saine et beaucoup plus rarement à la base des altérites, imposent le forage de préférence au puits, malgré les contraintes que cela entraîne pour l'entretien des pompes. Les forages sont exécutés au marteau fond de trou à l'air comprimé, seule méthode qui soit vraiment adaptée pour forer rapidement et économiquement dans la roche dure. L'amélioration constante du matériel (notamment la tendance aux pressions de plus en plus élevées) permet des vitesses d'avancement de plus en plus grandes (jusqu'à 20 m/h dans un granite moyen), mais, notons-le, cela ne se traduira par une diminution du coût des ouvrages que si l'atelier de forage est géré de manière très rigoureuse.

Les niveaux statiques dans le socle sont situés généralement entre 5 et 15 m de profondeur, la partie fissurée et productive se trouvant, elle, le plus souvent dans les 30 premiers mètres de la roche saine en dessous des altérites (1). Une profondeur de forage comprise entre 40 et 60 m suffit donc dans la plupart des cas et l'on doit lutter contre la tentation de forer au-delà de la profondeur optimum, ce qui accroît inutilement le prix du mètre cube d'eau extrait et annule les avantages de la vitesse de perforation. Il n'en demeura pas moins que l'on peut être amené à forer jusqu'à 100 mètres dans les cas relativement rares d'altérites épaisses, ce qui peut se produire notamment dans les schistes birrimiens.

La probabilité d'obtenir un débit de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ pour une profondeur totale de forage donnée est directement fonction de l'épaisseur d'altération (car celle-ci est liée au degré de fracturation du socle).

Le taux d'échecs enregistré (pour un débit recherché effectif de $1 \text{ m}^3/\text{h}$) est très variable d'une zone à l'autre et dépend essentiellement de l'épaisseur moyenne d'altération de la zone :

- 10 à 20 % pour une épaisseur d'altération supérieure à 20 mètres
- 40 % et plus pour une épaisseur inférieure à 10 mètres

Le taux d'échecs varie, bien sûr, en fonction de la profondeur moyenne des ouvrages qui doit être déterminée dans l'objectif d'obtenir le coût minimum d'investissement (optimum à rechercher entre la profondeur moyenne et le taux d'échecs).

Nota : (1) Sur 209 forages productifs dans les granitogneiss en Côte d'Ivoire, 50 % ont obtenu $1 \text{ m}^3/\text{h}$ à moins de 10 m dans le socle.

Il varie également suivant la stratégie qui prévaut dans la direction de la campagne :

- recherche du meilleur service, qui amène à sélectionner pour les premières tentatives des sites peu favorables mais situés à proximité des utilisateurs;
- recherche du meilleur taux de succès et du moindre coût d'investissement qui amène trop souvent à s'éloigner inconsidérément des villages.

Le puits exécuté à la main, beaucoup moins apte à aller chercher en profondeur les parties fissurées et productives dans la roche saine, et d'un coût plus élevé, notamment en roche dure, est de plus en plus délaissé au profit du forage. D'autres arguments importants conduisent à son abandon: la lenteur de réalisation (20 à 30 cm par jour en roche dure) et la qualité de l'eau sujette à toutes les pollutions depuis la surface, ce qui ne se produit pas avec les forages.

Le puits foré à la tarière présente un intérêt véritable s'il permet de s'affranchir de l'exhaure par pompe, donc s'il est exécuté dans un diamètre tel qu'il puisse encore être utilisé de manière rentable par puisage à la main : pour qu'il en soit ainsi, il faut qu'on puisse y introduire simultanément au moins 3 delous et donc que le diamètre au niveau de la nappe en exploitation soit supérieur ou égal à 1 mètre environ.

Une tarière permet de forer habituellement jusqu'à 25 m de profondeur et seulement en terrains tendres, d'où l'importance du choix du site : les niveaux que l'on souhaite capter étant ceux de la base des altérites, le socle ne doit être ni trop profond, auquel cas le puits serait arrêté dans les altérites argileuses peu perméables, ni trop proche de la surface, auquel cas les couches suffisamment altérées et perméables risquent de faire défaut. Heureusement, la vitesse de perforation de la tarière permet d'exécuter rapidement des puits de reconnaissance (jusqu'à 3 puits : une vingtaine de mètres dans la journée) et donc de palier dans une certaine mesure ces limites étroites d'adaptation. En définitive, le domaine d'élection du puits foré en zone de socle granito-gneissique est celui où le niveau statique est compris entre 5 et 10 m et le socle entre 15 et 25 m.

. Zone sédimentaire

Aucune méthode spécifiquement adaptée aux besoins villageois ne s'est imposée jusqu'ici.

Les conditions de gisement des eaux souterraines dans la zone sédimentaire sont paradoxalement moins propices à ce type de point d'eau. La profondeur de l'eau sous le sol devient un critère de sélection important : l'usage des pompes à main courantes s'arrête à 40 m; celui de certaines autres et des pompes hydrauliques à 60 m; quant au puisage à la main, il n'est guère acceptable au-delà. Bien que le rabattement causé par le pompage

et les fluctuations saisonnières de la nappe y soient généralement très faibles, une profondeur de niveau statique de 50 m à 60 m constitue une limite d'application du point d'eau villageois standard.

Le puits est actuellement le point d'eau le plus répandu, mais, sauf dans les secteurs où la nappe est très proche du sol, il correspond mal aux exigences du point d'eau villageois, en raison de son coût et de sa lenteur de réalisation; en outre, il est vulnérable à la pollution.

L'alternative au puits à main est le forage ou le puits foré mécaniquement. Les forages pratiqués jusqu'ici, réalisés au battage ou au rotary à la boue, sont généralement des ouvrages de débit important exploités par motopompes. La tendance a été trop souvent, en effet, d'adapter le gabarit des ouvrages plus aux possibilités de la nappe qu'aux besoins réels, d'où il résultait un surdimensionnement des ouvrages.

Un forage au battage adapté aux besoins villageois devrait être réalisé dans un diamètre final de 250 à 300 mm permettant de mettre en place un tubage PVC 110/125 ou 124/140 avec un massif de gravier suffisant. Un forage de 70 m de profondeur dans des formations comme le Continental Terminal peut être réalisé en dix jours.

L'avantage du battage est la simplicité, la robustesse et le coût relativement peu élevé du matériel permettant de multiplier les chantiers.

Le forage au rotary à la boue, pour un ouvrage de même type, réclamerait environ une semaine, le temps de forage étant plus court, mais la durée du développement plus longue.

Le forage à l'air est sans aucun doute la méthode la plus rapide, mais n'a guère connu de développement jusqu'ici en raison probablement des problèmes posés par la tenue des terrains. Elle mériterait cependant d'être étudiée plus à fond, car c'est la seule méthode permettant des cadences d'équipement élevées du type de celle du forage au marteau fond de trou dans le socle.

Les principes sur lesquels devrait s'appuyer cette recherche sont :

- . Profondeur de pénétration dans la nappe relativement faible (de l'ordre de 5 à 10 m), compte tenu de la bonne perméabilité des terrains en moyenne, des faibles rabattements prévisibles, des faibles fluctuations de la nappe.
- . Hauteur crépinée relativement faible (2 à 5 m devraient suffire) et choix d'une ouverture correspondant à la granulométrie des terrains mais en général fine (de l'ordre de 0,5 mm), puisqu'on ne craint pas trop les pertes de charge.
- . Diamètre du tubage PVC réduit (100/113, à la rigueur 110/125) pour laisser un espace suffisant au massif filtrant.
- . Massif filtrant plus réduit que dans les forages classiques et de granulométrie assez fine : sables 0,7-1 ou 1-2 mm, épaisseur 40 mm parfois moins.

Sur ces principes, la méthode de forage pourrait être :

- . soit le forage au rotary à l'air dans la zone non saturée avec, si nécessaire, pose d'un tubage provisoire et poursuite sur 5 à 10 m dans la nappe selon une méthode à déterminer,
- . soit le forage au rotary à l'air avec tubage à l'avancement,
- . soit le forage en circulation inverse à l'air avec tubage à l'avancement sur le principe de la VPRH (FORACO) : avec cette machine, il est possible de forer dans un diamètre légèrement supérieur à 8" et de mettre en place par l'intérieur des tiges un tubage PVC 100/113 mm avec en principe suffisamment de place (le diamètre intérieur des doubles tiges est de 150 mm) pour pouvoir mettre en place un massif filtrant simultanément au retrait des tiges.

Le puits foré n'apparaît pas comme une solution concurrente des ouvrages précédents, dans la mesure où l'argument de l'exhaure à la main n'est pas considéré comme décisif : si l'on ne tient pas compte de ce problème, cette méthode apparaît en effet dans tous les cas plus chère et plus lourde à mettre en oeuvre.

1.4.2. Hydraulique pastorale

L'objectif est l'ouvrage de 2 à 5 m³/h (parfois plus) qui s'accompagne d'une maintenance et d'un coût de fonctionnement minimum. La simplicité de l'exhaure est ici un critère fondamental, qui prévaut sur le coût d'investissement et les cadences de réalisation.

. Zone sédimentaire

Le puits à la main de 1,80 m de diamètre correspond à ces exigences et constitue encore dans ce domaine l'ouvrage le plus économique (1). On construit actuellement des puits jusqu'à 80 mètres de profondeur, ce qui permet d'atteindre la majorité des nappes phréatiques, mais au-delà de 60 m, la durée de construction et le prix de revient au mètre cube deviennent très élevés.

Le puits effectué au battage-havage peut théoriquement être construit en un temps dix fois plus court. Mais outre qu'il pose un problème non encore résolu de tenue des parois en cours de forage (qui en limite actuellement la profondeur pratique à une quarantaine de mètres), il ne peut donner avec l'exhaure traditionnelle que 500 à 1 000 l/h au maximum, en raison de son petit diamètre. Cette méthode mériterait d'être testée sur un ou deux programmes, de façon à tenter de mettre au point une méthode de tubage efficace et économique.

Nota (1) Au mètre cube d'eau produit. Cf. Bibliographie (2).

En ce qui concerne les forages, ils sont effectués soit au battage (pour des profondeurs inférieures à 150 m environ) soit au rotary à la boue. Les expériences passées ont bien souvent montré l'inefficacité des moyens d'exhaure mécanisés : éoliennes, pompes à manège, pompes à moteur. Les pompes solaires constituent un pas en avant très important et permettront certainement dans un avenir assez proche de réaliser des ouvrages suffisamment économiques pour relayer les puits, notamment dans les secteurs où la nappe est relativement profonde. Actuellement, le forage ne s'impose à la place du puits que là où le niveau piézométrique dépasse 70 m de profondeur environ.

Le puits-forage (forage + contrepuits) permet de capter une nappe profonde en charge, tout en conservant l'exhaure traditionnelle là où la nappe phréatique est trop profonde. C'est un ouvrage cher mais qui peut s'imposer dans ces cas-là, si l'on veut s'affranchir des problèmes de l'exhaure mécanisée.

. Zone du socle

La possibilité d'admettre pour les points d'eau pastoraux des coûts d'investissement élevés devrait permettre dans bien des cas :

- soit d'abaisser à 10 ou même 5 m³/jour les débits unitaires recherchés, que peuvent alors fournir des puits à main (si possible limités aux zones d'arènes) ;
- soit de retenir la solution du puits-forage, permettant d'exploiter, par exhaure traditionnelle, des forages réalisés au marteau fond-de-trou et captant des niveaux profonds plus productifs (fractures du socle en zone de faible épaisseur d'altération).

Ces ouvrages, bien qu'onéreux, sont souvent préférables aux aménagements conçus à partir des eaux de surface dès que la pérennité du point d'eau en fin de saison sèche est impérative.

1.4.3. Hydraulique urbaine et centres secondaires

Le point d'eau unique est le forage équipé de motopompe. Nous décrivons ci-après le forage type adduction dans le socle. En terrains sédimentaires, il existe une grande variété d'ouvrages selon la profondeur, le débit et la nature de l'aquifère capté.

2. DESCRIPTION ET DISCUSSION SUR LE MODE DE REALISATION DES OUVRAGES

2.1. FORAGE VILLAGEOIS DANS LE SOCLE

1. Conditions naturelles

 Roche dure, ou tout au moins consolidée sous des altérites dénoyées ou non.
 Niveau statique à moins de 50 m de profondeur.

2. Caractéristiques essentielles

 Profondeur : 40 à 60 m en moyenne (maximum 100 m)
 Diamètre de forage : 8 1/2" à 8 3/4" dans les altérites
 6" à 6 1/2" dans le socle

Tubage PVC 110/125 mm
 Exploitation par pompe à main ou à pied.

3. Matériel

 Atelier marteau fond de trou ou rotary-marteau fond de trou.
 Compresseur 20 m³/mn, de préférence à 17,5 bars.

4. Méthode de réalisation

- Principe de base

Il est peut-être concevable d'accepter de prendre certains risques pour la réalisation d'ouvrages en grande série. Cependant, les solutions économiques (souvent proposées en variante en réponse à des appels d'offres par exemple) peuvent se révéler, à plus ou moins long terme, n'être qu'un mauvais choix pour des ouvrages dont la longévité devrait être supérieure à 20 ans (période minimale d'amortissement retenue) (1).

Il appartient au maître d'oeuvre de fixer les normes de qualité recherchées, sur le plan de l'équipement notamment. Il revient par contre à l'Entreprise de proposer des modalités d'exécution adaptées à ces normes.

- Choix du tubage

Le choix du tubage en PVC s'impose pour des raisons de coût (importance des économies sur le transport et la mise en place) et de résistance à la corrosion (les eaux du socle sont très acides).

L'adoption de tubes PVC en éléments vissés s'impose également le plus souvent :

- conçus spécialement pour le forage, ces tubes, en PVC rigide (sans plastifiant), résistent mieux aux pressions externes que les tubes classiques de canalisation (conçus pour des pressions internes), et donnent des colonnes plus rectilignes (importance pour le gravillonnage) ;

Nota : (1) Le coût de nouveaux ouvrages, réalisés d'urgence en remplacement d'anciens forages défaillants, peut être 2 fois plus élevés que celui obtenu dans des programmes importants et concentrés.

- . démontables, la colonne pourra être aisément remontée et récupérée si elle n'a pu être descendue à la cote voulue (sans tentative de mise en place par force).

Le filetage de 5 à 6 filets/pouce est préférable à celui à 11 filets/pouce plus fragile (voir normes en annexe. 7.3.). Les tubages doivent être stockés à l'abri du soleil, pour éviter une altération de leurs caractéristiques mécaniques. Le filetage à mi-épaisseur (sans manchons) est presque toujours préférable et souvent indispensable (gravillonnage).

Un diamètre de 110 mm intérieur est nécessaire (105 mm minimum). L'expérience montre que, par suite de déformation (écrasement, colonne non rectiligne), un diamètre de 100 mm est parfois insuffisant pour introduire une pompe immergée de 4" (diamètre habituel 96 mm), pompe nécessaire aux essais de débit (1), ou dont la pose peut être envisagée pour un équipement ultérieur de l'ouvrage.

Notons que l'adoption d'un tubage 124/140 mm de diamètre permet la pose de 2 pompes à transmission hydraulique sur un même forage.

Les crépines ont en général des fentes de 1 mm d'ouverture. Une fabrication d'usine est préférable au façonnage à la scie sur le chantier (fragilité, risques de rupture).

- Isolation à la base des altérites

C'est le point vulnérable des forages du socle. Si l'étanchéité de l'espace annulaire, entre socle et tubage, n'est pas obtenue à ce niveau, sous l'effet d'une pression qui peut atteindre une dizaine de mètres d'eau ou plus, les matériaux fins issus des horizons d'altération envahissent peu à peu le forage, accélèrent l'usure des pompes et peuvent mettre l'ouvrage hors d'usage.

Cette étanchéité peut être obtenue :

- . soit par gravillonnage de l'espace annulaire (gravier filtre) ;
- . soit par obturation de l'annulaire, avec ou sans packer.

Sauf dans les cas où elles sont dénoyées, les altérites doivent être, sauf exception, tubées provisoirement avant que le forage puisse être poursuivi dans le socle.

Nota : (1) Ces essais sont généralement nécessaires pour déterminer la cote optimale d'installation des pompes et la capacité maximale de production de l'ouvrage.

La traversée de la base des altérites, souvent aquifère et hétérogène, généralement peu consolidée, parfois constituée d'argile gonflante, constitue la principale difficulté de ce type de forages et le principal risque pour l'Entreprise :

- . le forage à la boue est parfois nécessaire, quoique dans la plupart des cas difficiles, l'usage de produit moussant doit être un palliatif suffisant ;
- . la pose et le retrait de tubage provisoire reste une opération délicate (avantage du tubage à l'avancement)

Principaux schémas-types

Nous comparons ci-dessous les trois modes d'équipement les plus usuels :

- Schéma 1 : forage tubé intégralement et gravillonné (fig. 1a)

- . forage des altérites en rotary à l'air, en 8"1/2 ou 8"3/4, (avec mousse éventuellement, plus rarement à la boue) ou au marteau fond-de-trou avec tubage à l'avancement ;
- . pose d'un tubage provisoire de 7" (impératif si les altérites ne sont pas dénoyées) ou de 6" dans le cas d'un tubage à l'avancement ;
- . poursuite du forage au marteau fond-de-trou en 6" ou 6 1/2" dans le socle ;
- . pose d'un tubage PVC 110/125 sur toute la hauteur, avec bouchon de pied, comportant 6 à 12 m de crépines au droit des niveaux productifs ;
- . mise en place d'un massif de gravier de quartz roulé de 2-4 mm (ou même 1-2 mm) jusqu'à 3 m au dessus de la partie supérieure des crépines, puis d'un bouchon de sable sur 1 à 2 m. Comblement final avec du tout-venant. Cimentation en tête sur 3 à 6 mètres.

Nota :

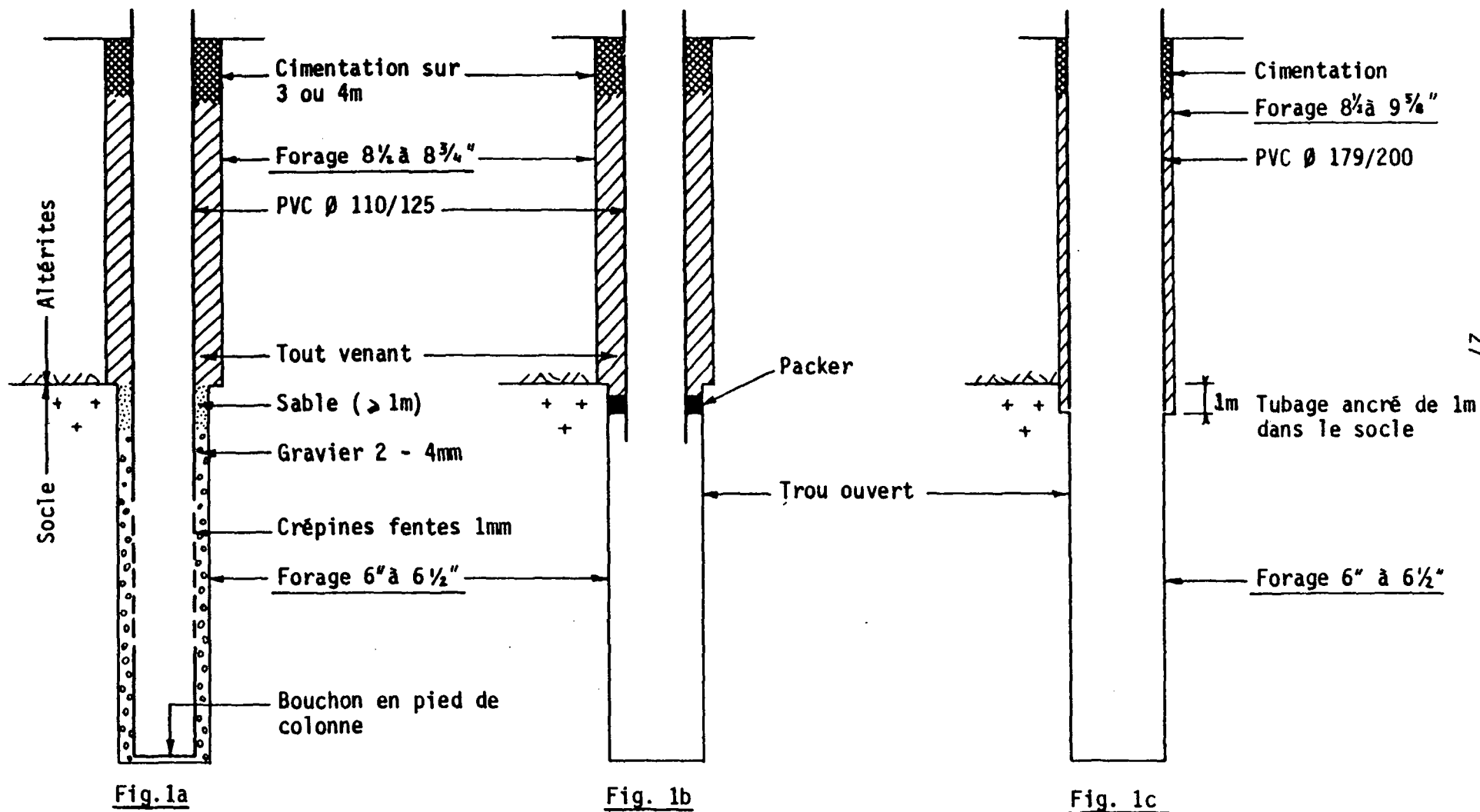
- Si les diamètres de l'espace annulaire le permettent (entre tubes PVC, paroi du forage et tubage provisoire) un gravier concassé 2-5 mm peut être utilisé, mais avec beaucoup de soin (les pertes de charge introduites sont négligeables, comme l'ont montré des essais réalisés par le C.I.E.H.) ;

- le gravier de latérite doit être proscrit (la latérite sera peu à peu dissoute en milieu réducteur) ;
 - dans certains cas (arènes grenues), la base des altérations peut être captée (une crépine sur 1 à 2 m).
- Schéma 2 : utilisation d'un packer (fig. 1b)
- . forage et tubage provisoire comme précédemment ;
 - . pose d'un tubage PVC pénétrant de quelques mètres dans le socle, et obturation de l'espace annulaire par un packer, pouvant être :
 - soit souple (type ombrelle), pouvant être descendu dans un espace annulaire réduit,
 - soit épais en caoutchouc moulé, utilisé alors de préférence après une réduction de diamètre,
 - soit constitué par un simple manchon de raccordement de tubage, appuyé sur un changement de diamètre,
 - soit constitué par un élément de tube PVC collé extérieurement sur la colonne ;
 - . le packer est surmonté par 1 m de gravier et 1 m de sable.

Nota :

- le packer doit impérativement être mis en place au droit d'un niveau très consolidé, non fracturé ;
- le trou est généralement laissé nu sous le packer. Toutefois, si le niveau en pompage risque de s'abaisser en dessous du packer (ou de la base de l'élément de tubage qui le supporte) ou si les roches du socle ont une mauvaise tenue, la totalité du forage peut être tubé sous le packer ;
- la cimentation en pied de colonne, sur le packer est à proscrire, car illusoire (compte tenu des diamètres et des cadences d'exécution) ;
- la base des altérations peut, comme précédemment, être captée (crépine sur 1 à 2 m, au dessus du packer et gravillonnage).

COUPES TYPES DE FORAGES VILLAGEOIS DANS LE SOCLE



- Schéma 3 : pose d'un tubage PVC à la place du tubage provisoire

- . forage en rotary à l'air, jusqu'au socle et poursuivi si possible sur 1 à 2 mètres dans le socle ;
- . pose d'un tubage PVC en général 179/200 mm ;
- . poursuite du forage au marteau fond-de-trou à l'intérieur du tubage PVC :
 - si la tenue de la roche est bonne et si le niveau en pompage ne risque pas de s'abaisser au-delà de la base du tubage PVC, le forage est laissé tel quel (après comblement et cimentation en tête) ;
 - sinon le forage est intégralement tubé en 110/125 ; le tubage 179/200 est généralement laissé sur place et perdu.

Nota :

- le captage de la base des altérites, lorsqu'il est souhaitable, est impossible (sauf retrait du tubage 179/200, mais cette opération est souvent aléatoire ;
- le tubage 179/200, doit être de bonne qualité (épaisseur et rigidité). La perte de ce tubage sur les forages secs ou nécessitant un deuxième tubage 110/125 doit être cependant compensée par des économies sur les temps de forage (suppression du tubage provisoire) et sur le métrage total de tubage.

Comparaison des schémas

Le schéma 1, universel, est celui offrant le plus de garantie (sous réserve d'un bon choix de granulométrie de gravier et d'un choix judicieux de diamètre de tubages).

Le schéma 2 permet de faire une économie de tubage mais présente des risques non négligeables :

- . packer inefficace si le trou est irrégulier (fractures) ou les parois instables (intérêt des packers longs ou doubles) ;
- . risque de destruction lors du développement, en particulier avec des packers souples.

Le schéma 3 assure un gain de temps important lors de la réalisation, mais présente des inconvénients majeurs :

- . il ne permet pas de capter la base des altérites et ne peut donc être admis dans les zones où le captage de cet horizon peut se révéler nécessaire ;
- . on ne voit pas bien comment l'étanchéité à la base des altérites peut être garantie : le tubage 179/200 risque d'être simplement posé sur un socle qui peut être irrégulier (cimentation ou packer n'étant guère envisageables).

2.2. FORAGE VILLAGEOIS EN TERRAINS SEDIMENTAIRES

1. Conditions naturelles

Terrains tendres consolidés ou non.
Nappe à moins de 50 mètres de profondeur.

2. Caractéristiques essentielles

Profondeur : 40 à 60 m en moyenne.
Diapètre de forage : 8" à 10".
Tubage PVC 100/113 ou 115/125 mm.
Exploitation par pompe à main ou à pied.

3. Matériel

Rotary à l'air (avec tubage à l'avancement).
Rotary à la boue.
Variante : battage.

4. Méthodes de réalisation (cf. fig. 2)

Pour l'instant, à notre connaissance, aucune méthode rapide et peu onéreuse n'a encore été mise au point (probablement du fait de la tendance à rechercher le débit maximum sur chaque site, ce qui conduit à réaliser des ouvrages en rotary à la boue ou au battage).

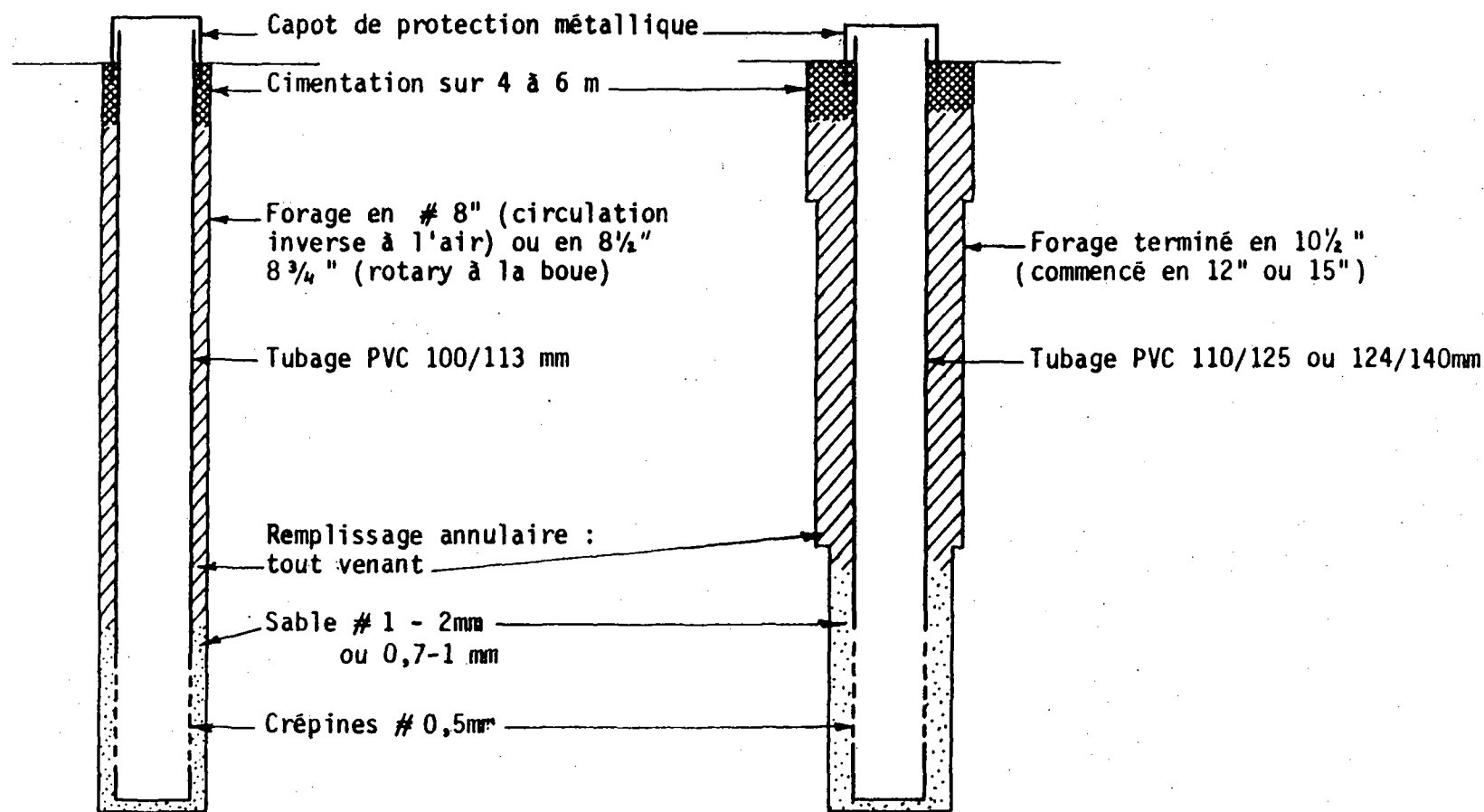
Le rotary à l'air devrait permettre de franchir la partie hors d'eau dans la plupart des cas (en tubant provisoirement le cas échéant les horizons supérieurs non consolidés, sableux ou pouvant comporter des petites nappes perchées).

Lorsque les niveaux productifs généralement à forte perméabilité sont situés immédiatement sous le niveau statique, une pénétration de 5 à 10 m doit suffire pour obtenir le m³/heure recherché. Le forage sous l'eau et le maintien des parois pendant le tubage doivent pouvoir être obtenu :

- parfois à la mousse (eau + air + mousse), en terrain légèrement consolidé (sables gréseux) ;
- parfois à l'eau claire (la pression d'eau tenant les terrains) ;
- dans tous les cas avec une boue légère.

Un tubage PVC 110/125, crépiné sur une hauteur de 4 m doit être suffisant. Une ouverture des crépines de 0,5 mm et une mise en place d'un gravier 1-2 mm doivent être adaptés à la plupart des granulométries des aquifères.

FORAGES VILLAGEOIS EN TERRAINS SÉDIMENTAIRES



Au rotary (air ou boue)

FIGURE 2a

Au battage

FIGURE 2b

Le développement ne pourra pas dans tous les cas être effectué à l'air lift et pourra alors nécessiter l'emploi de soupape.

Diverses variantes peuvent s'envisager :

- le rotary à l'air en circulation inverse avec doubles-tiges 8"/6" (doubles-tubes utilisés avec l'atelier FORACO-VPRH). Si le gravillonnage à l'intérieur de ces doubles-tiges, autour d'un tubage PVC 100/113 mm était possible (après chaque retrait des tiges), cette méthode serait extrêmement rapide ;
- le fonçage sous la nappe à l'air lift d'un tubage de travail (rotary à l'air à l'intérieur de ce tubage), mais les risques de coincement de ce tubage (ou de remontée du tubage PVC) sont importants ;
- le forage rotary à la boue classique. Le Choix d'un diamètre de forage de 10" peut être nécessaire pour la mise en place du tubage (à cause du cake). Avant tubage, la boue devra être allégée et le diamètre du forage contrôlé (passage d'outil) ;
- le battage bien évidemment ; le forage pourrait être terminé en 10".

2.3. PUIITS FAITS A LA MAIN

Nous ne ferons que rappeler brièvement les données essentielles concernant cet ouvrage, qui est par ailleurs abondamment décrit dans la littérature (22 et 23).

1. Conditions naturelles

Terrains tendres (formations sédimentaires et altérations du socle); fonçage possible mais très cher en roche dure.
Niveaux statiques jusqu'à 70 m environ.

2. Caractéristiques

. Diamètre :

Le plus courant est le puits de 1,80 m : cuvelage Ø 1,80/2 m; captage Ø 1,40/1,60 m (ou 1,20/1,40 m).

Le puits de 1,40 m (cuvelage Ø 1,40/1,60; captage Ø 1/1,20 m) se rencontre dans certains secteurs où l'aquifère est peu productif et où la fréquentation du puits est faible.

. Profondeur :

En moyenne 20 m dans les régions du socle,

" " 40 m (et jusqu'à 80 m) dans les formations sédimentaires; actuellement on fonce très rarement des puits au-delà de 80 m, car on considère que la

rentabilité (capacité de puisage / coût de la construction) devient trop faible au-delà.

- . Débit de réception : en zone de socle, 1 m³/h ou 10 mètres sous le niveau statique en fin de saison sèche.
Dans les grandes nappes des formations sédimentaires, 5 m³/h.
- . Débit d'exploitation par l'exhaure traditionnelle (voir Annexe 2.7) :
 - à la main : 1 à 3 m³/h (selon la profondeur et le diamètre)
 - par traction animale : 2 à 4 m³/h (pour un puits de 1,80 m).

3. Coûts

En terrains sédimentaires (terrains tendres, implantation et échecs inclus) : de 100 000 à 180 000 F CFA/ml selon l'éloignement de la base et la profondeur du puits (1).

Dans le socle : nous citerons le cas des puits effectués au Togo entre 1976 et 1978 : puits de 17 m de profondeur en moyenne, effectués pour les trois quarts en roche dure ou très dure : 200.000 F.CFA/ml.

2.4. PUIITS FORES

a) A la tarière-bucket

1. Conditions naturelles

Roches tendres (sans passages indurés tels que blocs de dolérite, grès durs etc.) mais de tenue suffisante.

Niveau statique à moins de 20 m de profondeur.

Domaine d'élection : altérites (avec socle entre 20 et 30 m de profondeur); grès tendres (là où la nappe est très proche du sol).

2. Caractéristiques

Profondeur : maximum 29 m.

Diamètre maximum : puits : 1,50 m
buses : 1/1,20 m.

Equipement : buses emboîtées en béton armé (+ massif de gravier).

Exhaure : puisage à la main possible (2 ou 3 cordes soit en principe 500 à 750 l/h), mais peu efficace en raison de l'étroitesse du puits.

Les puits sont en général équipés de pompe à main (il est possible de mettre en place 2 pompes tout en laissant un regard de 0,30 x 0,60 m pour un puisage de secours).

Nota : (1) Prix OFEDES novembre 1980, réactualisé de 7 %.

(2) Prix avril 1978 réactualisé de 40 %. Cf. BURGEAP R.292.

3. Observations

Méthode très rapide.
Reconnaissances peu coûteuses.
Domaine d'application très restreint.
Handicap par rapport au forage : grosse sujétion du transport des buses.

b) Au battage-havage (benne preneuse)

1. Conditions naturelles

Terrains tendres pouvant comporter des passages durs (qui seront forés au trépan).
Nappe pas trop profonde : niveau piézométrique n'excédant pas une quarantaine de mètres (1).

2. Caractéristiques

Si le principe de la benne preneuse est utilisé couramment pour la mise en place des colonnes de captage dans les puits classiques, son utilisation pour la construction de puits forés n'a pas encore été testée suffisamment en Afrique.

Les grandes inconnues sont le soutènement des parois pendant le forage et par la suite la tenue de la colonne de buses emboîtées.

- . Profondeur : maximum 50 mètres, compte tenu des connaissances actuelles.
- . Diamètres :
Forage : jusqu'à 1,50 m.
Buses en béton : au maximum : 1/1,20 m.
- . Equipement définitif : Buses en béton armé emboîtées (ou PRV, à tester : voir page 88).
- . Exhaure : En usage pastoral, la dimension du puits ne permet pas une exhaure efficace par traction animale : probablement 1 dellou, soit 500 l/h (et au grand maximum 2, soit 1 m³/h).
En usage villageois, puisage avec 2 ou 3 cordes au maximum (soit 500 à 700 l/h).

3. Observations

Atelier lourd et moins rapide que le précédent.
Problème du tubage pendant le forage non résolu.
Sujétion du transport des buses, si on utilise des buses en béton.

Nota : (1) du moins tant qu'une méthode efficace de tubage n'aura pas été mise au point.

2.5. FORAGE ADDUCTION DANS LE SOCLE

1. Définition

Forage destiné à alimenter un centre secondaire au moyen d'un réseau d'adduction.

L'aquifère capté est en général la partie fissurée du socle, plus rarement l'altération sablo-argileuse.

Débit recherché au moins égal à 5 m³/h, généralement inférieur à 10 m³/h, pouvant aller exceptionnellement jusqu'à 30 m³/h.

Implantation généralement par géophysique.

Bien que peu de forages atteignent ces caractéristiques (5 m³/h minimum), on aura généralement intérêt à réaliser les forages directement en diamètre permettant leur équipement en ouvrage d'exploitation, les forages ne donnant pas les 5 m³/h minimum recherchés étant abandonnés (et considérés comme sondages de reconnaissance).

2. Caractéristiques essentielles

Profondeur : inférieure à 100 m, sauf exception, en moyenne 40 à 80 m.

Diamètre : Tubage PVC 150/165 pour une pompe 4" (pouvant débiter jusqu'à 12 m³/h sous une HMT de 120 m).(1)

Tubage PVC 179/200 pour une pompe 6" (pouvant débiter jusqu'à 50 m³/h sous une HMT de 80 m)

Exploitation par pompe immergée ou pompe à axe vertical.

3. Réalisation

La chambre de pompage doit avoir les diamètres indiqués ci-dessus; en dessous, le forage peut être tubé dans un diamètre égal ou inférieur, ou laissé tel quel, si la tenue de la roche est bonne, d'où différentes solutions possibles. La solution la plus sûre, aussi bien pour la longévité du forage que pour se prémunir contre les conséquences d'une baisse du niveau dynamique, est cependant de tuber le forage sur toute sa hauteur. Nous décrivons ci-dessous deux cas-types :

- Forage captant la partie fissurée du socle, tubé en 150/165 mm sur toute sa hauteur (fig.3a) :

Perforation en 12 1/4" dans les altérites (rotary à la boue ou à l'air).

Pose d'un tubage provisoire 9 5/8".

Perforation au marteau fond de trou en 8 5/8" dans le socle (ou perforation en 6" + réalésage en 8 5/8").

Pose du tubage PVC, fermé à sa partie inférieure, crépiné au droit des horizons productifs (ouvertures 1 mm).

Remplissage de l'espace annulaire :

gravier 2-4 mm (ou plus si possible) au droit des crépines (+ 3 m)

sable au-dessus sur 1 ou 2 m

bouchon de ciment éventuellement (voir ci-dessous) sur 2 à 5 m tout-venant

cimentation en tête sur 4 à 6 m.

Cimentation : la pose du premier bouchon de ciment peut être effectuée par tube plongeur, si l'on s'arrange pour que celui-ci soit à la base des altérites (espace annulaire 12 1/4"/6 1/2", laissant près de 3" de chaque

Nota : (1) Une pompe 4" peut rentrer dans un tubage 110/125 mais il est préférable de conserver une marge pour les facilités de manoeuvre et de mesure.

côté). La durée de prise peut être réduite à 12 h (accélérateur de prise).

Pose d'un capot métallique de protection en surface.

Développement : à l'air lift jusqu'à l'obtention d'eau claire.

Essai à la pompe immergée : plusieurs paliers de débit croissant de courte durée, suivis d'un pompage à débit constant de 24 h.

- Variantes :

- . pose d'un packer au toit du socle (avec ou sans tubage au delà). Le packer doit être consolidé par une cimentation efficace (après introduction de gravier et sable sur 2 m au dessus du packer, par exemple) (1) ;
- . utilisation d'un tubage de protection perdu en PVC en 8", doublé par un tubage 150/165 sur les seuls ouvrages productifs (+ de 5 m³/h) isolation par packer et cimentation.

- Forage captant la partie fissurée du socle, tubé seulement au droit des altérites (tubage 179/200mm) (fig. 3b) :

Si la tenue de la roche est bonne, la partie inférieure du forage peut être laissé en trou ouvert. Le tubage doit cependant descendre jusqu'à au moins 5 m en dessous de la cote de la pompe.

Perforation en 12 1/4" dans les altérites, prolongée sur les premiers mètres de la roche consolidée, (afin d'être sûr qu'il ne s'agit pas d'un bloc isolé dans les altérites).

Descente de la colonne de tubage 179/200mm(2).

Cimentation sur 5 mètres par tube plongeur et attente de prise (12 h avec accélérateur de prise).

Poursuite du forage au marteau fond-de-trou 6 1/2" dans le socle.

L'espace annulaire au-dessus du bouchon de ciment est rempli avec du tout-venant.

Cimentation en tête sur 4 à 6 m.

Développement et essai comme précédemment.

4. Matériel nécessaire

Atelier rotary + marteau fond-de-trou.

Capacité de traction suffisante pour extraire sans problème la colonne de tubage provisoire.

Pompe à boue nécessaire (3).

-
- Nota : (1) Pour les forages donnant plus de 5 ou de 10 m³/h, l'utilisation de gravier peut introduire des pertes de charges non négligeables (obturation partielle de fissures) et peut rendre préférable de conserver un trou nu.
- (2) Tubage perdu si le forage n'est pas exploitable.
- (3) Le forage en 12 1/4" avec des tiges de 4 1/2" exige des débits d'air élevés ; il pourra dans certains cas être effectué à la mousse, mais il est prudent de disposer d'une pompe à boue.

FORAGES ADDUCTION DANS LE SOCLE

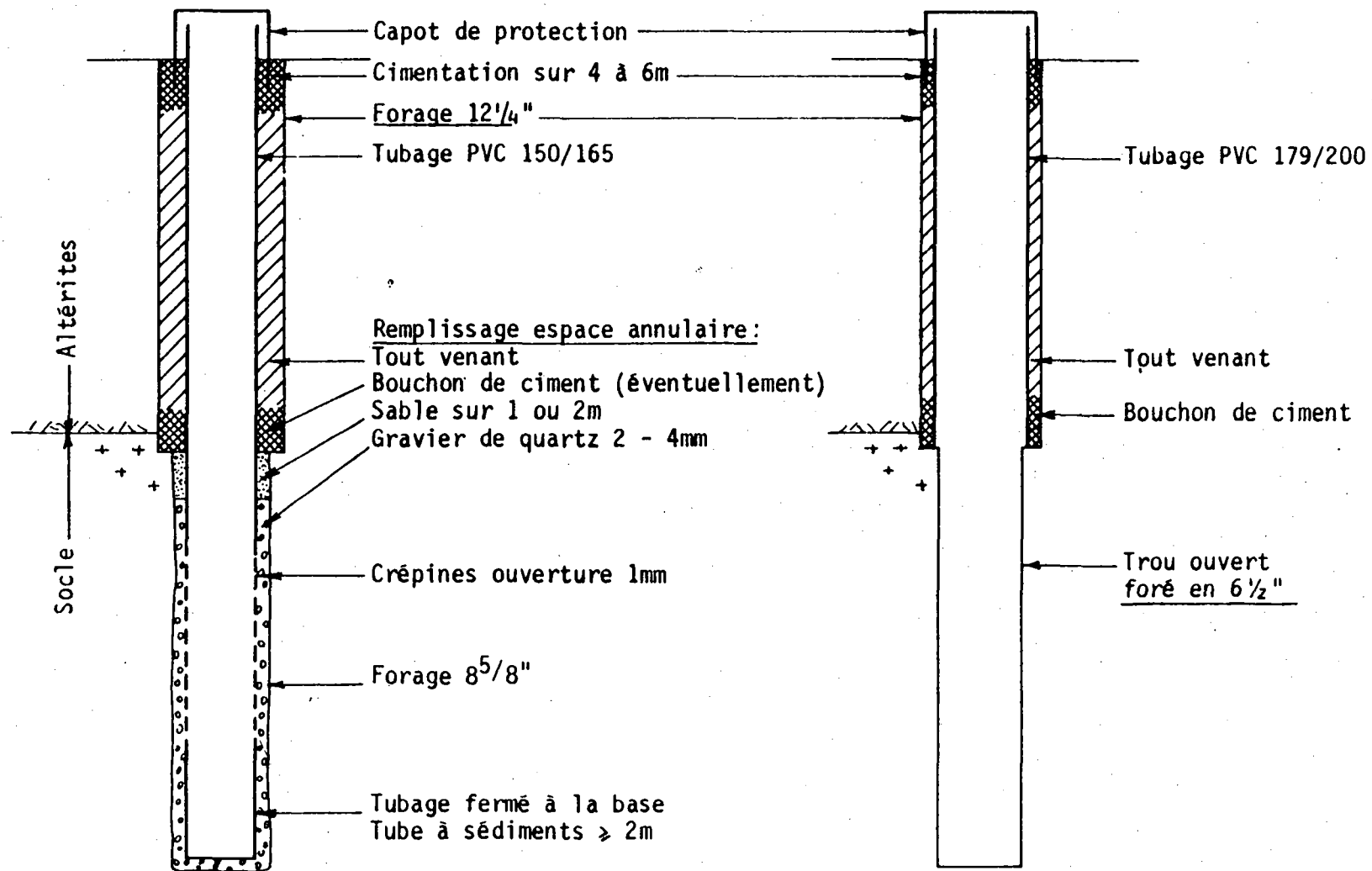


FIGURE 3a

FIGURE 3b

2.6. FORAGES "PROFONDS" DANS LE SEDIMENTAIRE

1. Conditions naturelles

Terrains tendres en majorité (argiles, sables) ou mi-durs (grès, calcaire). Nappe libre à plus de 50 m du sol, ou nappe captive.

2. Matériel

Jusqu'à 150 m de profondeur environ, rotary à la boue ou battage. Les coûts sont sensiblement identiques. Le battage, bien que plus lent, est avantageux dans les formations qui occasionnent des pertes de boue, puisqu'on peut se passer de fluide de circulation et il simplifie en outre le développement du forage.

Au-delà de 150 m, rotary à la boue uniquement.

3. Techniques mises en oeuvre

Les techniques mises en oeuvre sont plus complexes que dans les forages de type villageois, notamment pour les cimentations, forages avec pertes de boue, mise en place des crépines (diagraphies), développement etc... Les risques sont également plus importants. Compte tenu des débits et des profondeurs, on utilise des tubages et crépines métalliques (parfois anticorrosion).

4. Caractéristiques

Elles sont très variables en fonction de la profondeur et des débits captés. Les profondeurs des ouvrages se situent le plus fréquemment entre 100 et 400 m.

Les débits vont de 20 à 200 m³/h (et jusqu'à 500 m³/h). Le diamètre de la chambre de pompage est en principe égal à celui de la pompe plus quelques centimètres de chaque côté (voir correspondance diamètre/débit des pompes en annexe 2.7.).

Le diamètre de la colonne d'exhaure est calculé de façon à limiter les pertes de charge, en tenant compte de la longueur de cette colonne (voir figure 5). Le diamètre du forage, quant à lui, doit permettre la mise en place, dans les aquifères sableux, d'un massif filtrant d'au moins 2 1/2" à 3" autour des crépines.

Nous décrivons ci-dessous quelques ouvrages caractéristiques :

. Forage dans le Continental Terminal du Sénégal

- . Profondeur : environ 100 à 150 m.
- . Débit exploitable : variable de 20 à 200 m³/h.
- . Diamètres : en fonction des débits on aura, en ordre de grandeur, les diamètres suivants :

Débit	Ø chambre de pompage	Ø colonne d'exhaure	Ø minimum du forage au niveau des cré- pines
30-50 m ³ /h	6"5/8	4"1/2	9"7/8
50-100 -	8"5/8	6"5/8	12"1/4
100-150 -	10"3/8	8"5/8	15"

- . Tubages : tubages métalliques API.
- . Crépines : habituellement crépines à nervures repoussées, ouverture 1 mm.
- . Massif filtrant : sable roulé basaltique 1-2 mm (parfois 0,7-1 mm).
- . Réalisation : Rotary à la boue (durée 10 à 15 jours) ou battage (durée 20 à 30 jours).
Au rotary, il est possible en général de forer l'ensemble du forage dans le même diamètre. Cela permet de mettre en place une colonne monolithique (voir fig. 4a).
- . Développement : traitement à l'hexamétaphosphate, en utilisant un sabot laveur (si le forage a été fait au rotary), airlift, puis développement au moyen d'une pompe à axe vertical (surpompage et pompage alternatif). L'ensemble peut durer une dizaine de jours.
- . Essai de sable : les conditions de réception imposent une tâche de sable n'excédant pas 4 mm quinze minutes après la mise en marche de la pompe et l'absence totale de sable après trois quarts d'heure de pompage.

Forage dans le Maestrichien du Sénégal (fig.4b).

- . Profondeur: autour de 300 mètres.
- . Débit exploitable : 150 à 200 m³/h.
- . Diamètres les plus couramment rencontrés :

chambre de pompage	: 13 3/8 "
colonne d'exhaure	: 8 5/8 "
forage au niveau des crépines	: 15 "
- . Tubages métalliques API
- . Crépines et massif filtrant : comme pour le CT.
- . Réalisation : rotary à la boue (durée d'exécution \neq 1 mois).
Généralement, on fore en 17 1/2 " jusqu'au bas de la chambre de pompage (environ 100 m), puis en 15" jusqu'au fond. Il est souvent possible de forer jusqu'à la profondeur finale sans être obligé de tuber, ce qui incite à poser ensuite une colonne monolithique. Ceci est à proscrire, car il est impossible de poser des bouchons de ciment dans l'espace annulaire et l'on met ainsi la nappe du Maestrichien en communication avec les nappes supérieures dans lesquelles elle se vidange. Il est même parfois nécessaire d'isoler chaque aquifère, donc d'utiliser un tubage télescopé permettant une cimentation avant chaque changement de diamètre.
- . Développement : comme pour le cas précédent.

EXEMPLE DE FORAGES "PROFONDS" DANS LE SEDIMENTAIRE

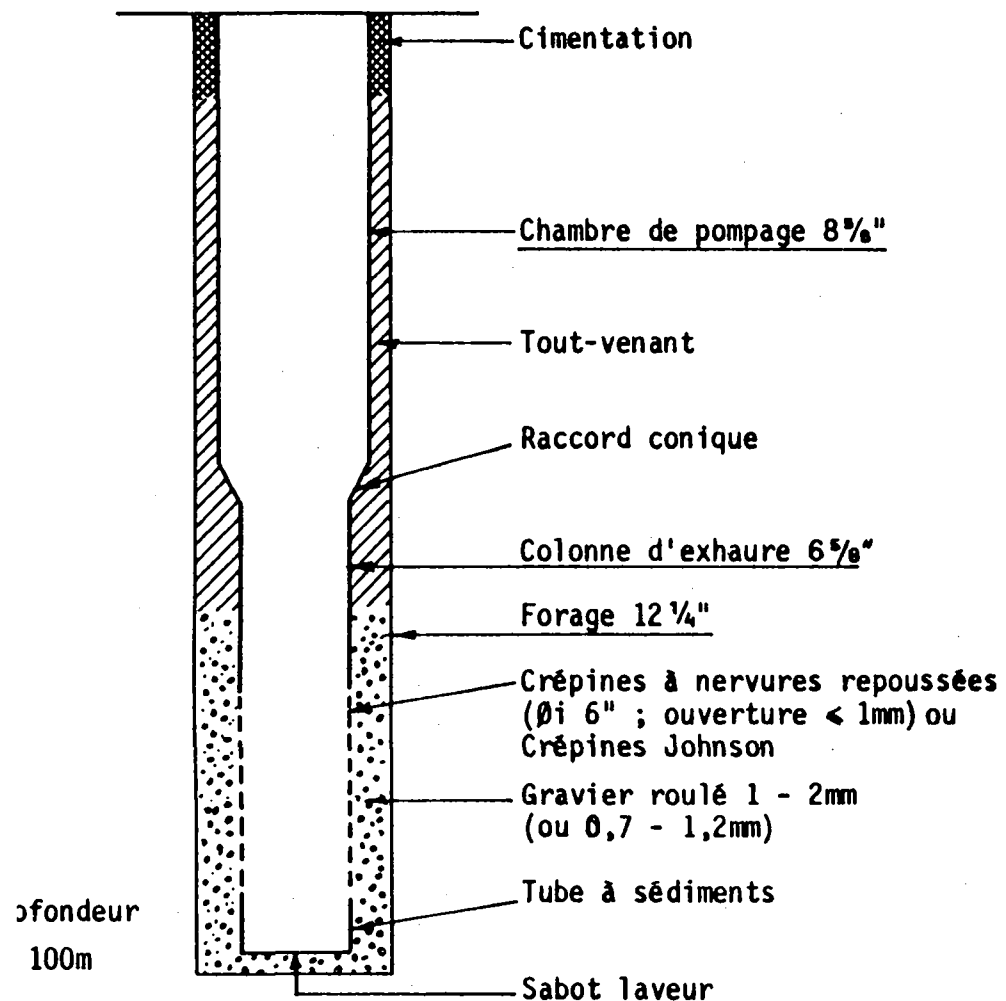


Fig. 4a : Forage de 50 à 100 m³/h dans le Continental Terminal (nappe phréatique)

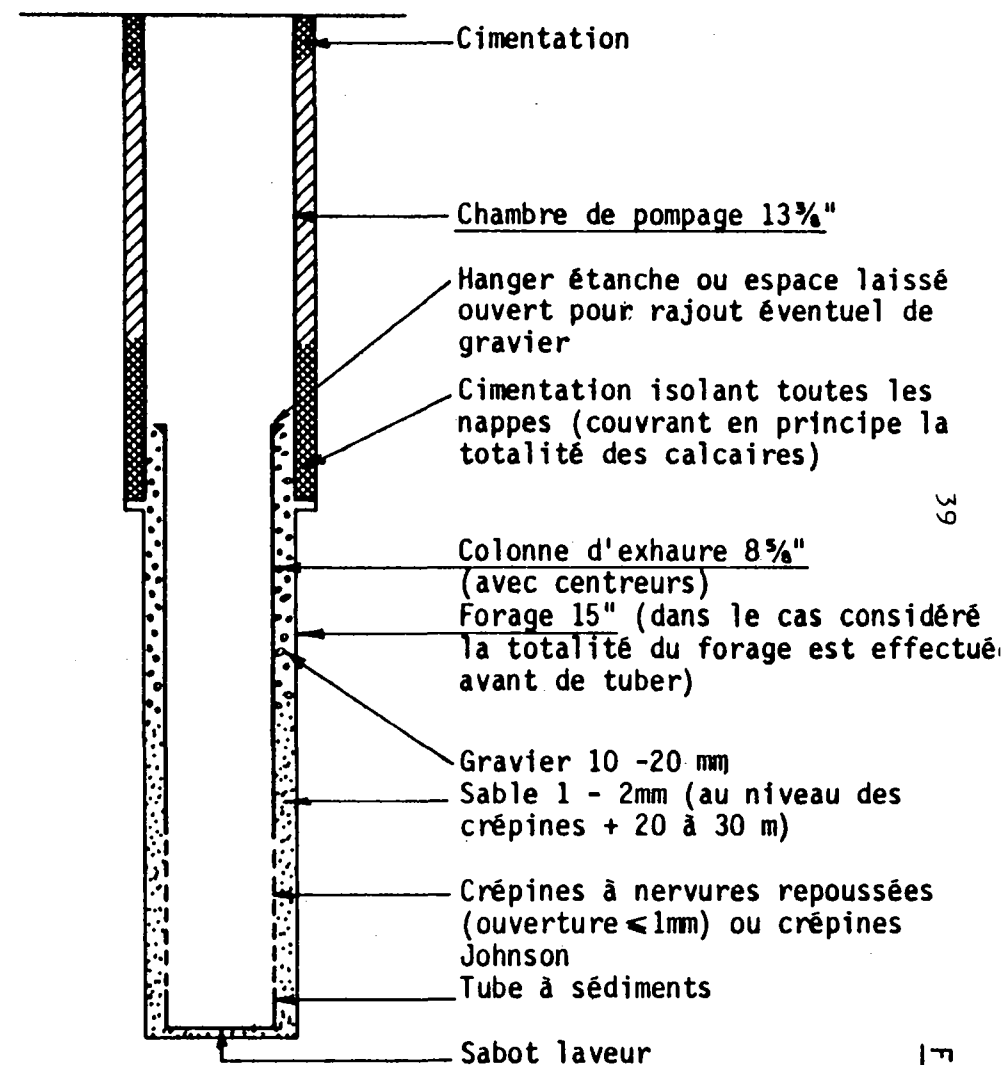


Fig. 4b : Forage d'environ 150 m³/h dans le Maestrichien

. Forages à fort débit dans les calcaires paléocènes (Sénégal)

- . Profondeur : 150 m environ.
- . Débit : 200 à 500 m³/h.
- . Diamètres :
 - forage en 30" puis 24"
 - chambre de pompage 26"
 - colonne d'exhaure 18"
- . Crépines inox.
- . Gravier : basalte roulé 5-15 ou 10-25 mm.
- . Réalisation : battage ou rotary à la boue (dans ce cas, risques de pertes de boue).

. Forage exploité par un contre-puits

Compte tenu du faible débit d'exploitation, on peut se contenter d'un diamètre réduit : par exemple, pour un forage de 300 m (Maestrichien Sénégal) :

Forage terminé en 9 7/8"

Colonne d'exhaure 4 1/2" (éventuellement chambre de pompage de 6 5/8" si l'on veut se ménager la possibilité d'installer une pompe de moins de 20 m³/h.

Massif filtrant: 0,7 - 1 ou 1 - 2 mm.

3. POLITIQUE DE L'EAU DANS LES ETATS ET OBJECTIFS DE REALISATION DE POINTS D EAU.

Si l'on se refere aux statistiques établies en 1976 par l'OMS 80% de la population rurale des pays d Afrique ne disposent pas d'eau en quantite suffisante. Depuis ces dernières années , les Etats concernés ont consenti d'importants efforts pour améliorer cette situation en mettant en oeuvre un grand nombre de programmes de création de points d eau.

Malgré les efforts réalisés jusqu'à ce jour , les besoins sont encore immenses pour la plupart des Etats. Afin de pouvoir apporter une aide rapide aux populations les plus défavorisées les gouvernements ont , d'une manière générale , adopté des programmes prioritaires tenant compte des capacités de réalisation des structures d'exécution et basés sur des normes de consommations modestes.

3.1. DETERMINATION DES BESOINS UNITAIRES.

L'objectif adopté par les gouvernements , à l'horizon 1990 , est la fourniture de 25 litres par personne et par jour en zone rurale. Dans le cadre de programme d'urgence ou prioritaire , les objectifs sont plus modestes et fixes à 10l / j / ha. Cette stratégie a été adoptée par la plupart des Etats nous citerons en exemple le cas de la Haute-Volta de la Cote d'Ivoire et du Mali.

Haute-Volta : 1ère phase : fourniture de 10l / j / ha. 1 point d'eau permanent par village.

2ème phase : fourniture de 25l / j / ha , soit un point d'eau supplémentaire pour les villages de plus de 500 ha.

Cote d'Ivoire : 1ère phase : 1 point d'eau potable par agglomération de plus de 100 ha , avec une moyenne d'un point d eau pour 600 ha , Soit environ 10l / j / ha.

2ème phase : A partir de 1982 , l'objectif est fixé a 20l / j / ha.

Mali : 1ère phase 1980-1990 : 1 point d'eau par village de facon a assurer une fourniture de 10l / j / ha.

2ème phase 1990-2000 : fourniture de 25l / j / ha.

On peut se demander si ces besoins fixés , selon l'urgence , entre 10l et 25l / j / ha correspondent a la consommation réelle villageoise.

Des enquêtes menées sur différents points d'eau en Haute-Volta , Niger montrent que plusieurs facteurs interviennent sur la consommation réelle (profondeur de puisage , distance du point d eau au village , présence de petit bétail). Cette consommation est de l'ordre de :

- Consommation humaine : 10 à 30l / j / h.

- Consommation totale (y compris l'abreuvement du petit bétail, lessive , rincage de récipient) : 20 a 50l / j / ha.

Ces observations démontrent que les objectifs fixés (10l / j / ha) à court terme , sont inférieurs aux besoins réels et que le critère de 25l / j / ha semble être le minimum à prendre comme base dans toute programmation.

En ce qui concerne les centres secondaires constitués par des agglomérations de plus de 5000 ha et nécessitant un réseau d'adduction les besoins unitaires sont fixés généralement entre 30 et 40 l/j/ha.

En hydraulique pastorale, la consommation admise est l'ordre de 40 l/UBT.

3.2. OBJECTIFS DE CREATION DE POINTS D EAU D ICI 1990

3.2.1. EN HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

- Les objectifs

Le tableau établi en annexe 2.1. montre que la population rurale constitue environ 80% de la population totale et qu'elle va représenter l'essentiel des besoins en points d'eau.

Si l'on se réfère aux rapports nationaux élaborés dans le cadre de la préparation de la Décennie de l'Eau, les réalisations recensées dans les pays membres du CIEH, à la fin de l'année 1980, dans le domaine de l'hydraulique villageoise sont d'environ 27500 points d'eau modernes, les besoins évalués selon les objectifs cités précédemment, sont de l'ordre de 72000 points d'eau.

Dans le seul domaine de l'hydraulique villageoise, on devrait donc d'ici 1990, réaliser environ 50.000 points d'eau. (cf annexe 2.4.)

- Le type d'ouvrage à réaliser

Les avantages et inconvénients des options "Puits" ou "forages" sont connus et traités dans différents ouvrages, il n'est pas utile ici de les énumérer. Rappelons que ce choix est néanmoins influencé par des contraintes d'ordre hydrogéologique (faible épaisseur d'altération) et technique (dureté des terrains qui peuvent imposer l'option "forage." Ce choix peut être aussi influencé par la prudence des Etats devant le problème de l'entretien des moyens d'exhaure de sorte que certains pays adoptent une politique de création de points d'eau mixte 50% de puits et 50% de forages.

Nous donnons, en annexe 2.2., un aperçu des politiques nationales adoptées par les Etats membres qui conduisent aux objectifs suivants :

- 23750 puits
- 26350 forages.

En admettant que la population est uniformément répartie sur les territoires nationaux et en tenant compte de la répartition des formations géologiques (cf annexe 1.1.) les besoins en forages de type villageois sont estimés à :

- 17500 forages "socle"
- 8850 forages "sédimentaire."

3.2.2. EN HYDRAULIQUE PASTORALE

Les zones à vocation pastorale sont localisées dans les régions où la pluviométrie permet pas le développement de l'agriculture sous pluie. Ce qui correspond grossièrement aux zones situées au Nord de l'isohyète 350 mm.

Les besoins communément admis en hydraulique pastorale sont de l'ordre de 401 / j / UBT.*

Si l'on se réfère au recensement de 78/79, le cheptel de nos pays membres est évalué à 3,92 10⁷ UBT. Son alimentation est assurée par les points d'eau superficiels (barrages, mares, marigots permanents et par des ouvrages captant les eaux souterraines. En admettant que les eaux souterraines contribuent à la satisfaction des besoins pastoraux et tenant compte des possibilités hydrauliques des formations géologiques, on aboutit à un nombre d'ouvrages à réaliser de l'ordre de 23000 points d'eau répartis en puits ou forage-puits. (cf paragraphe 1.4.2.). Ce chiffre représente un minimum théorique qui doit en fait être confirmé par d'autres méthodes d'approche faisant intervenir l'aptitude des sols à l'élevage, les phénomènes de transhumance, les politiques adoptées par les Etats et qui devrait à lui seul nécessiter une étude particulière.

Si la satisfaction des besoins pastoraux fait l'objet, de la part de certains pays à vocation pastorale confirmée, de programmes spécifiques d'hydraulique pastorale (Programmes FED, KFW, Iran, au Senegal; Stations pastorales de l'OFEDS, au Niger) et que les besoins sont clairement exprimés (1400 points d'eau évalués pour le Mali, 200 points d'eau pour le Niger) la majorité des Etats relèguent au second plan les problèmes d'hydraulique pastorale de sorte que l'on assiste à une utilisation d'un point d'eau villageois à des fins humains et pastorales (c'est le cas de la Haute Volta ou aucun programme d'hydraulique pastorale n'est envisagé et où sont réalisés ponctuellement quelques forages sur des axes de transhumance).

3.2.3. EN HYDRAULIQUE URBAINE

Nous nous limitons ici aux centres secondaires dont la population est supérieure à 5000 ha. Environ 450 centres secondaires sont recensés dans les Etats membres du CIEH. (cf annexe 2.1.). La satisfaction des besoins de ces centres secondaires fait l'objet de programmes spécifiques (programmes KFW, FED, en Haute Volta; programmes de petites adductions FORACO II, en Côte d'Ivoire; stations OFEDS au Niger.).

* UBT: Unité de bétail tropical (1 camelin, 25 bovins, 10 ovins ou caprins)

Il n'a pas été possible, dans le cadre de notre étude, d'évaluer le degré de satisfaction des besoins en eau des centres secondaires dans nos pays Membres. Néanmoins, nous pouvons citer, les exemples de la Haute-Volta et Côte-d'Ivoire par lesquels ont été respectivement assurés l'adduction de 40 et 36 centres secondaires et conduisant à des degrés de satisfaction des besoins nationaux de l'ordre de 80% et 30%. (cf annexe 2.1.) . Se basant sur ces 2 cas, on peut estimer, qu'approximativement, les forages "adduction" représentent environ 200 ouvrages à créer.

3.3. LES STRUCTURES DE REALISATION.

Actuellement, dans l'ensemble des pays membres du CIEH, les travaux sont réalisés par cinq types de structures.

- La régie administrative.
- Les structures parapubliques.
- Les entreprises privées.
- Les sociétés nationales.
- Les agences d'exécution installées au sein des Directions de l'hydraulique.

La répartition de ces différents types de structures dans ces Etats Membres est donnée en annexe 2.5.

Les formules "Entreprise" ou de type "Entreprise" constituent des modes de fonctionnement dont les capacités de réalisation sont proches des capacités théoriques. La régie administrative est, par contre, trop rigide et mal adaptée à l'exécution d'un programme de grande envergure. Cette formule conduit, en outre, l'Administration, à négliger son rôle essentiel de conception et de programmation dans le domaine de l'hydraulique. Sur la base d'une capacité théorique, mais réaliste, de réalisation de 10 forages par mois et par machine en zone de socle cristallin (forage de 6" d'une profondeur moyenne de 50m, nous donnons ci-après un aperçu de l'efficacité de ces différents types de structures choisies dans nos pays membres.

- Régie administrative : Direction de l'Hydraulique-Haute-Volta.

Campagnes	Nombre de forages	Nombre de machines	Cadence /an/machine	Efficacité %
74 a 78	340	2	42	42
78 a 79	70	2	35	35

- Structures parapubliques : AVV - Haute-Volta.

Campagnes	Nombre de forages	Nombre de machines	Cadence /an/machine	Efficacité %
77 a 80	705	2	88	88
79 a 80	116	2	58	58

- Société nationale - FOREXI - Côte-d'Ivoire.

Campagnes	Nombre de forages	Nombre de machines	Cadence /an/machine	Efficacité %
78 a 79	580	10	58	58
79 a 80	870	10	87	87

- Agence d'exécution : PNUD/UNICEF/DGME - Mali.
350 forages/2ans/2 machines
87% de la capacité théorique

- Société privée AFORCOM - Haute-Volta.
200 forages/an/2 machines
100% de la capacité théorique.

Si l'on se réfère aux récents programmes réalisés ou prévus, dont le financement est assuré, sur un échantillon de quelques pays membres du CIEH, il apparaît que les orientations adoptées par les gouvernements sont les suivantes;

- Sur l'ensemble des forages : 58% sont attribués à l'entreprise.
- Sur l'ensemble des puits : 69% sont réalisés en régie administrative.

La régie administrative est ici prise au sens large du terme et inclue les agences d'exécution rattachées à l'Administration.

Nous donnons, en annexe 2.3., le bilan des orientations Entreprise/Régie adoptées par quelques pays membres du CIEH.

3.4. LES CAPACITES ACTUELLES DE REALISATION.

Le parc de machines pour l'exécution de forages ou de puits mécanisés dans les Etats Membres est le suivant :

- 85 machines de forage de type FMFT ou mixtes adaptées à la réalisation de forages d'une centaine de mètres en terrains cristallins. A raison d'une cadence de réalisation de 8f/mois/machine, la capacité totale est de l'ordre de 6800 forages/an.

- 53 machines de forage pour la réalisation d'ouvrages de moyenne profondeur (300m) en zone sédimentaire. A raison d'une cadence de réalisation de 10 forages/an/machine, la capacité de ce parc est de l'ordre de 530 forages/an.

- 11 machines pour l'exécution de puits forés. La capacité annuelle est de l'ordre de 1100 puits /an.

Nous donnons en annexe 2.6, la situation du parc de machines et sa capacité de réalisation pour chaque pays membre du CIEH.

La capacité théorique de ce parc est d'environ 8300 ouvrages par an. Si l'on considère les objectifs fixés par les Etats et estimés à 50,000 points d'eau, le parc de machines apparaît insuffisant pour satisfaire l'ampleur des besoins, d'autant plus que dans certains cas, notamment lorsque ce matériel est utilisé par une structure de type "régie administrative", ses capacités réelles sont réduites à 50% de la capacité théorique de réalisation.

Devant cette situation les Etats seront sans doute amenés à renforcer leur parc de machines et à rechercher l'efficacité de leurs structures de réalisation. Une solution envisageable pourrait consister à favoriser la création d'entreprises privées.

3.5. LE COUT DES OUVRAGES

Le cout des ouvrages varie en fonction du volume des travaux d'un programme, de la dispersion des ouvrages et des conditions d'approvisionnement des chantiers.

. Sur l'ensemble d'un programme d'hydraulique l'exécution des ouvrages constitue environ 70% du montant global. Le reste étant réservé à l'implantation des ouvrages le contrôle des travaux la fourniture et pose de la pompe ainsi que les actions de formation et animation.

. Le cout d'exécution d'un forage marteau "fond de trou" de type socle évalué sur une moyenne de trois offres les moins disantes et effectué par une entreprise est de l'ordre de :

- Haute-Volta : Programme ORD Sahel. Forage de 54m .
Cout : 1,9 million de FCFA.
- Togo : Programme 4eme .FED .Forage de 48m
Cout : 2,19 millions de FCFA.
- Côte-d'Ivoire: Programme Caisse Centrale .Forage de 60m
Cout : 1,57 million de FCFA
- Niger : Programme FAC Liptako . Forage de 50m
Cout : 1,9 million de FCFA.

Soit un cout actuel de 2 millions de FCFA.

- . Forage au battage réalisé en zone de socle. Profondeur de 40m.
Cout : 1.560.000 FCFA.
- . Forage profond : 300m en moyenne , réalisé en zone sédimentaire, en rotation à la boue ou au battage :
Cout : 15.000.000 FCFA.

La réalisation d'un contre puits effectué à proximité du forage revient à 3,6 millions de FCFA.

- . Puits foré "Calweld" réalisé en zone de socle.
profondeur de 25m.
Cout : 27 millions FCFA.
- . Puits réalisé en zone sédimentaire : Profondeur de 40m
(puits "OFEDES" au Niger)
Cout : 3 millions de FCFA.

. Les forages socle "Adduction".

Si l'on se réfère au programme de réalisation de forages "Adduction" pour l'alimentation des centres secondaires réalisés en Côte-d'Ivoire, le cout d'une adduction, comprenant la réalisation d'un forage tubé en 179/200mm et équipé d'une pompe électrique immergée et d'un réseau très simplifié (dont un château d'eau) est de l'ordre de 44 millions par centre secondaire 18% étant réservé à la réalisation du forage, soit 7,9 millions par forage "adduction".

3.6. EXAMEN CRITIQUE DES CONDITIONS DE REALISATION DES PROGRAMMES DANS QUELQUES PAYS MEMBRES DU CIEH.

3.6.1. LA COTE-D'IVOIRE

La Direction Centrale de l'Hydraulique est l'organe de réflexion d'exécution et de contrôle du Ministère des Travaux Publics, des Transports de la Construction et de l'Urbanisme.

La réalisation des travaux est assurée par la FOREXI, Société Nationale qui dispose actuellement d'un parc de 19 machines pour l'exécution de forages et puits forés. Le bilan des campagnes de forages et de puits forés de la FOREXI permet de constater que sa cadence de réalisation a régulièrement augmenté. Cela est certainement dû à l'introduction de la haute pression lors de la réalisation de forage dans le socle et à une meilleure utilisation du matériel et une meilleure organisation des chantiers. Actuellement les capacités de réalisation de la FOREXI sont de l'ordre de 10 forages de type socle, de 25 puits forés, par mois et par machine.

3.6.2. LA HAUTE-VOLTA

La Direction de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural, DHER, a la tutelle de la gestion des ressources en eau, elle est chargée de la préparation de tous les programmes.

Du fait de l'insuffisance des personnels techniques, la DHER ne peut assurer les implantations classiques d'ouvrages et doit adopter des procédures simplifiées, conduisant parfois à des taux d'échec élevés 30% pour les puits, 40% pour les forages. Réalisant la plupart des travaux, elle ne peut assurer convenablement son rôle de contrôle et de supervision. En Haute-Volta (cf annexe 2.4.) les travaux de forage sont réalisés par :

- Une structure administrative (service de puits et forages de la DHER) qui réalise les travaux en régie un investissement humain pour les puits à des cadences réelles de l'ordre de 42 % pour les forages, par rapport aux capacités théoriques et dans des conditions techniques critiquées, notamment pour les puits où les hauteurs d'eau sont très faibles.

- Des structures parapubliques, telles que l'AVV et le BUVOGMI disposant d'une certaine autonomie leur permettant d'atteindre des cadences de travail élevées comparables à celles des entreprises privées.

- Une entreprise privée installée en Haute-Volta: AFORCOM.

3.6.3. LE MALI

Au Mali, tous les problèmes d'hydraulique sont du ressort de la Direction Générale de l'Hydraulique et de l'électricité (DGME).

Sur le plan de la réalisation des projets d'hydraulique, trois grands types de structures interviennent :

- Une structure parapublique, à gestion autonome :

l'Opération Puits. Cet organisme, créé en 1974, est placé sous la tutelle de la DGME dont l'objectif était la réalisation de 420 puits, en 4 ans. Malgré les dispositions gouvernementales, pour rendre cet organisme particulièrement efficace (modification des statuts, décentralisation), l'opération Puits n'a réalisé que 30% des objectifs qui lui étaient assignés (120 puits réalisés jusqu'à fin 1978) à des coûts particulièrement élevés (9,5 millions de F maliens par puits).

Ces résultats fort modestes sont dus au manque d'encadrement technique, de surveillance de chantiers et de contrôle par l'autorité de tutelle.

- Une agence d'exécution PNUD/UNICEF renforçant le service hydrogéologique de la Direction de l'hydraulique. Ses capacités réelles sont de l'ordre de 87% par rapport à la capacité théorique. Une évaluation de ce projet PNUD/UNICEF, réalisée en 1979 a proposé des mesures correctives, afin d'augmenter son efficacité et basées sur un renforcement du service expatrié et une reprogrammation des points d'eau.

- Une structure non gouvernementale, fonctionnant sur le principe d'une entreprise privée: MALI AQUA VIVA. La réussite de ce projet, attestée par une cadence de travail élevée (80 forages par campagne et par machine) et un respect des objectifs (600 forages réalisés fin 1980 sur 800 prévus) est essentiellement due à la rigueur dans l'organisation des chantiers et à l'autonomie financière du projet.

3.6.4. LA MAURITANIE

La Direction de l'Hydraulique est chargée de la programmation, réalisation et contrôle des travaux d'hydraulique. Le manque de formation du personnel, les crédits de fonctionnement très réduits ne lui permettent pas d'exécuter des travaux à une cadence convenable. La formule de réalisation de travaux en régie directe adoptée par la Mauritanie n'est donc pas sans soulever des réflexions sur la nécessité de modifications organisationnelles et financières importantes, d'autant plus que la Direction de l'Hydraulique vient d'acquérir 4 ateliers de forage très performants.

3.6.5. LE NIGER

Le Ministère de l'Hydraulique est en charge des programmes de points d'eau par le biais de ses deux directions:

- Infrastructures Hydrauliques
- Ressources en eau.

La réalisation des points d'eau est essentiellement assurée par l'OFEDS, structure rattachée au Ministère de l'Hydraulique, créée en 1963, pour assurer, à l'origine, l'entretien des puits et des stations de pompage situées en zone pastorale. L'OFEDS a été transformée, en 1974, en établissement public disposant d'une autonomie financière dont la tâche a été d'assurer le forage de puits en investissement humain puis en régie. Le service forage de l'OFEDS a été créé en 1975 et comprend un parc de machines dont la variété (7 types en provenance de 4 pays différents) pose le problème de son entretien.

Sur le plan du contrôle des réalisations, la Direction des Infrastructures Hydrauliques ne dispose pas suffisamment de moyens pour assurer une tutelle réelle de l'OFEDS. Si les réalisations de l'OFEDS sont jugées satisfaisantes sur le plan technique en matière de puits, l'expérience de l'OFEDS est très limitée en matière de forages.

(car plus récente] de sorte que ses capacités réelles en forages sont de l'ordre de 5 forages profonds (300m) par an.

3.6.6. LE SENEGAL

Le Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique est chargé des problèmes d'eau au Sénégal.

La réalisation des ouvrages d'hydraulique est assuré par la SONAFOR, société nationale.

La politique de "saupoudrage" des ouvrages, adoptée par le gouvernement sénégalais, crée une situation de multiplication des chantiers qui n'est sans incidence sur les problèmes d'organisation et de suivi des chantiers mis en place par la SONAFOR. les conséquences de cette situation conduisent à des retards dans l'exécution des travaux et des imperfections techniques.

Si l'on se réfère au bilan des réalisations faits au cours du VI plan (73,77), les travaux de forage de la SONAFOR ont été de l'ordre de 20 forages profonds, 70 forages-puits en 5 ans alors que ses capacités théoriques de réalisation sont estimées à 160 forages par an, (40 forages profonds, 40 forages puits, 80 forages Marteau fond de trou).

DEUXIEME PARTIE : LE MATERIEL

1. LES MACHINES UTILISANT LE MARTEAU FOND DE TROU

1.1. DEFINITIONS

La réalisation de forages dans le socle exige de traverser les altérites et de pénétrer de quelques dizaines de mètres dans la roche dure, afin de capter les niveaux fissurés.

Le forage en roche dure ne peut se faire économiquement qu'au moyen du marteau fond de trou ; la traversée des altérites, quant à elle, peut être réalisée selon les cas soit au marteau fond de trou, soit au rotary à l'air, soit au rotary à la boue.

La traversée des altérites au marteau fond de trou, n'est habituellement réalisable qu'en tubant à l'avancement. En terrain nu, en effet, et en particulier sous le niveau statique, des éboulements peuvent se produire et entraîner le bourrage du marteau, voire son coincement. L'enfoncement dans les terrains tendres provient de l'action simultanée du marteau (dont la fonction soufflage est en fait prépondérante sur la frappe) et du tubage qui progresse soit sous l'action d'un moteur autonome (Stenuick), soit sous celle du marteau (Atlas Copco).

La méthode la plus couramment employée pour traverser les altérites est le rotary à l'air ; elle est possible tant que celles-ci n'ont pas une épaisseur excessive, conservent une certaine cohésion et ne contiennent pas de niveaux d'argiles gonflantes. Le forage à l'air peut d'ailleurs être facilité par l'usage de mousse qui améliore la remontée des déblais et aide à maintenir les parois du trou en diminuant la vitesse de l'air dans l'espace annulaire.

Le rotary à l'air exige une vitesse de rotation, un couple et un poids sur l'outil plus élevés que le marteau fond-de-trou. Les ateliers "rotary à l'air" utilise donc des tiges de forage plus épaisses, mais peuvent tous mettre en oeuvre le marteau fond-de-trou (sous réserve d'un contrôle des paramètres de forage).

Ce n'est généralement qu'en dernier recours, en terrain particulièrement instable, que l'on passe au rotary à la boue. La nécessité de disposer d'une quantité d'eau appréciable, la perte de temps due à la mise en oeuvre de la boue et au forage lui-même augmentent les difficultés et renchérissent le prix du forage.

Dans les pages qui suivent, nous distinguerons :

- les machines travaillant uniquement à l'air : MFT ou MFT + rotary à l'air
- les machines pouvant travailler en outre à la boue, ou machines mixtes.

1.2. LES ELEMENTS COMPOSANT LA MACHINE

Une machine fonctionnant au marteau fond de trou comprend schématiquement les éléments suivants :

- un élément de fond : le marteau, entraîné depuis la surface par l'air comprimé délivré par le compresseur,
- un ensemble d'éléments de surface assurant :
 - . la rotation du train de tiges
 - . son mouvement de translation
 - . la production d'air comprimé (ou la circulation de boue)
 - . la circulation d'eau et de mousse
 - . des fonctions annexes : manutention, relevage du mât, mise en station de la machine, calage et desserrage des tiges, etc...

L'énergie fournie par le (ou les) moteur(s) thermique(s) est distribuée soit par une transmission mécanique, hydraulique ou pneumatique.

1.2.1. Force motrice

La force motrice assure l'entraînement :

- du compresseur
- de la sondeuse
- du camion porteur.

Elle peut être prise à partir d'un seul moteur (celui du camion porteur) ou de plusieurs; nous discuterons plus loin des avantages et inconvénients de différents montages possibles.

La puissance nécessaire est de l'ordre de :

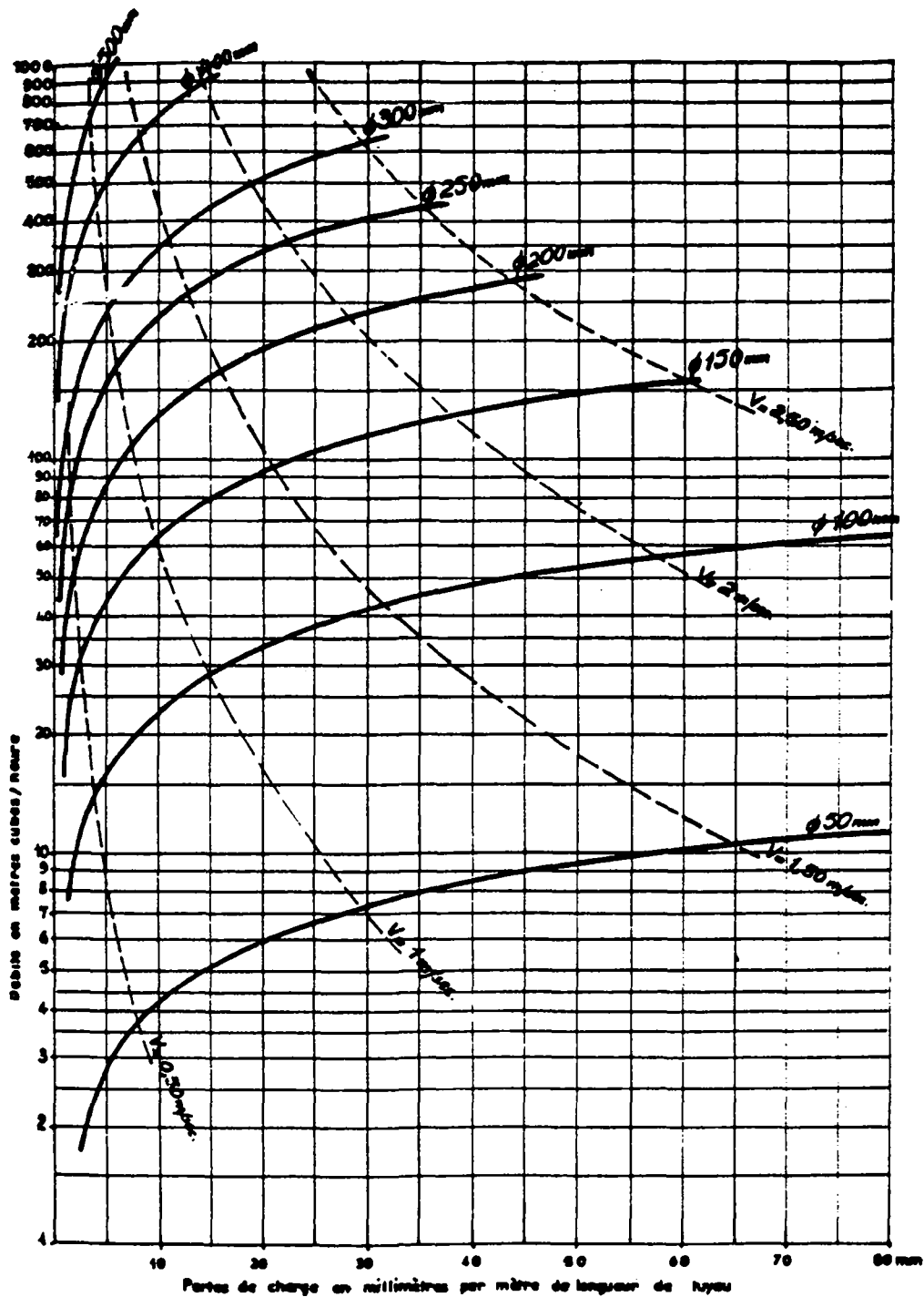
- | | |
|----------------|---|
| . 200 à 230 CV | pour un compresseur de 21 m ³ /mn à 10-12 bars |
| . 300 CV | pour un compresseur de 21 m ³ /mn à 17,5 bars |
| . 80 à 100 CV | pour la sondeuse sans la pompe à boue |
| . 30 à 90 CV | pour la pompe à boue. |

1.2.2. Transmission

Dans la gamme des petites machines adaptées au forage villageois, la transmission hydraulique s'est imposée très largement, suivant en cela une tendance qui prévaut désormais dans le matériel de travaux publics. Elle a remplacé la transmission mécanique, qui ne demeure que sur les machines plus puissantes. La transmission pneumatique, quant à elle, n'est possible que sur les machines de puissance assez faible en raison de son rendement peu élevé.

CALCUL DES PERTES DE CHARGE

d'après la formule de "de PRONY"



Transmission hydraulique :

La souplesse est certainement l'atout majeur de la transmission hydraulique : liberté dans la disposition des organes, affranchis de toutes dispositions "en ligne" facilitant une conception rationnelle et modulaire de la machine ; souplesse d'utilisation, car elle permet de faire varier les vitesses et les forces de manière continue et progressive, ce qui autorise une grande précision dans les manoeuvres.

La visualisation de tous les paramètres utiles au forage (vitesses de rotation, couples, poussée sur l'outil) est obtenue aisément. En outre ce mode de transmission se prête bien à la mise en oeuvre des fonctions annexes (calage de la machine, relevage du mât, etc...) et à une automatisation des manoeuvres.

Le rendement du moteur thermique est meilleur car il tourne à vitesse fixe et à son régime optimum, ce qui n'est pas le cas avec une transmission mécanique où l'on doit faire varier sa vitesse pour élargir la gamme des vitesses données par la boîte.

Le rendement de la transmission hydraulique est variable selon la complexité du circuit : il atteint normalement 90 % dans un circuit simple, mais peut descendre à 50 ou 60 %, avec des circuits de laminage et systèmes de régulation diverses.

Sous réserve d'assurer une maintenance régulière la fiabilité est meilleure que sur les machines à transmission mécanique et les réparations se révèlent plus rapides.

Transmission mécanique :

La transmission du mouvement est faite par l'intermédiaire d'arbres, pignons, chaînes, etc... Le rendement est très bon mais le système est contraignant par sa rigidité, en ce qui concerne l'emplacement des différents organes de la machine et la sélection des vitesses et des couples que l'on peut obtenir. Ce système est de moins en moins employé sur les petites machines du type "forage villageois".

Transmission pneumatique :

Aussi souple que la transmission hydraulique, ce mode de transmission est plus rustique et souffre moins d'un entretien précaire. Par contre son rendement très faible (de l'ordre de 10 %) limite rapidement la puissance de la machine, à moins d'augmenter démesurément la taille du compresseur. Il donne entière satisfaction dans les petites machines fonctionnant uniquement au marteau fond de trou (Stenuick, Atlas), mais paraît exclu pour les machines rotary + MFT, le rotary exigeant des couples, donc des puissances plus élevées.

1.2.3. Circuit hydraulique

La centrale hydraulique est l'organe destiné à produire de l'huile sous pression. Elle est composée d'une boîte d'entraînement et d'une ou plusieurs pompes hydrauliques. Les organes récepteurs sont des vérins ou des moteurs hydrauliques. Les schémas des annexes 3.3 et 3.4, extraits du livre de J. FAISANDIER (18), illustrent le principe des circuits habituels.

L'entraînement par pompe à débit variable permet de faire varier de manière continue la vitesse du moteur ou le déplacement du vérin; la pression du circuit varie avec le couple résistant. Ce système permet la transmission de puissances élevées avec un bon rendement et une grande souplesse de marche.

La distribution d'huile à pression constante permet d'entraîner plusieurs récepteurs avec une seule pompe à débit variable; le rendement est moins bon et ce système ne convient que lorsque le travail à effectuer est relativement faible.

L'entraînement par pompes à cylindrée fixe refoulant dans un collecteur commun permet également d'alimenter plusieurs récepteurs. Ce système est plus rustique et meilleur marché que le précédent.

Dans le matériel de forage, on rencontre trois types de pompes hydrauliques :

- Pompes à engrenages (fig.6) : Ce sont, par nature, des pompes à cylindrée fixe (débit fixe à une vitesse de rotation donnée). Ce sont les pompes les plus répandues et les moins chères; elles ne permettent pas des pressions élevées, mais conviennent en général pour les asservissements et fonctions annexes.
- Pompes à pistons (fig.8) : elles sont utilisées pour les pressions élevées.
- Pompes à pistons à débit variable (fig. 9) : elles permettent de faire varier le débit (donc la vitesse d'entraînement) en agissant sur l'inclinaison du plateau, sur lequel appuient les tiges de pistons.

On appelle circuit hydrostatique un circuit dans lequel l'entraînement est réalisé par une pompe à débit variable, la pression étant maintenue constante par un régulateur de pression.

1.2.4. Rotation :

La table de rotation est un organe d'entraînement fixe, dans lequel coulisse la tige carrée. La garniture de forage est suspendue par l'intermédiaire d'un moufflage actionné par un treuil, qui commande les mouvements de montée et de descente. La tige carrée doit être déposée à chaque changement de tige. (fig. 10).

Le poids appliqué sur l'outil provient du poids de la garniture de forage; ceci est un handicap en début de forage où le poids du train de tiges est faible. Pour combler ce handicap, certaines machines légères sont équipées d'un système de poussée retenue qui s'applique sur la tête d'injection.

La table de rotation est le système employé classiquement en rotary; il s'impose dès que l'on a des garnitures lourdes, que la tête de rotation ne pourrait supporter.

Avec la tête de rotation, l'organe d'entraînement de la rotation est mobile et supporte tout le poids des tiges. Ce système permet donc à chaque instant

FIGURE 6

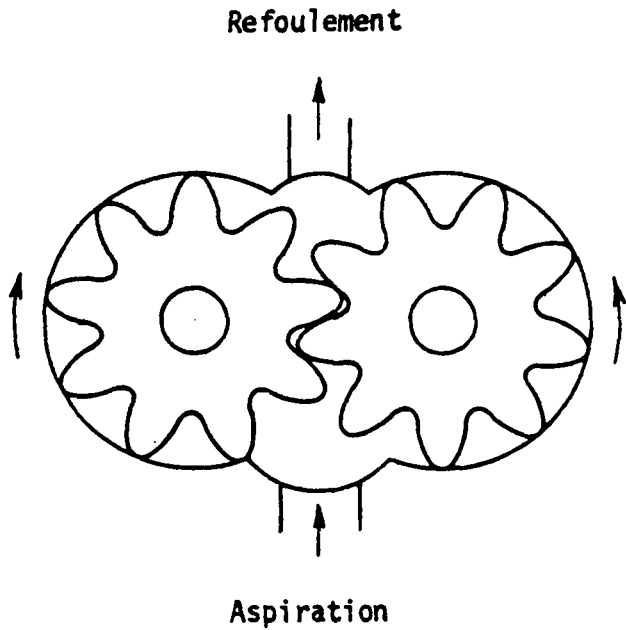
POMPE A ENGRÈNAGES

FIGURE 7

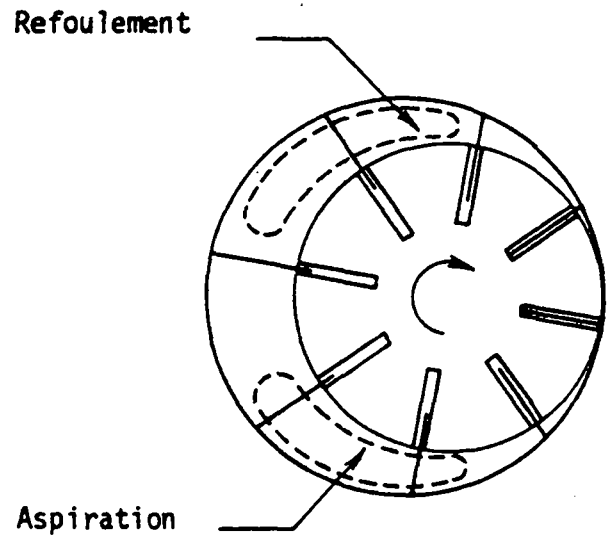
POMPE A PAQUETTES

FIGURE 8

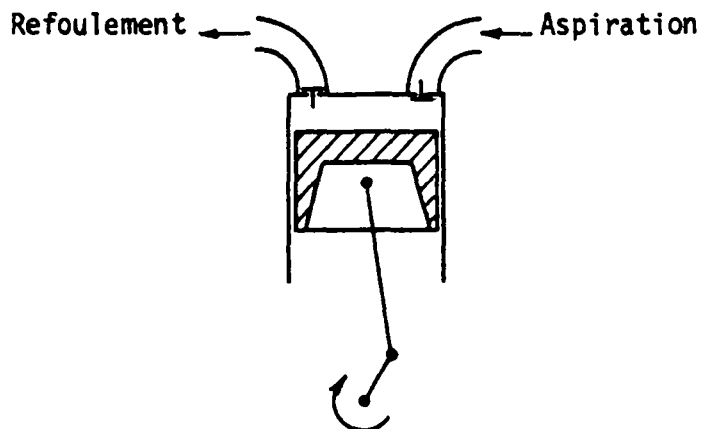
PRINCIPE DE LA POMPEA PISTON

FIGURE 9

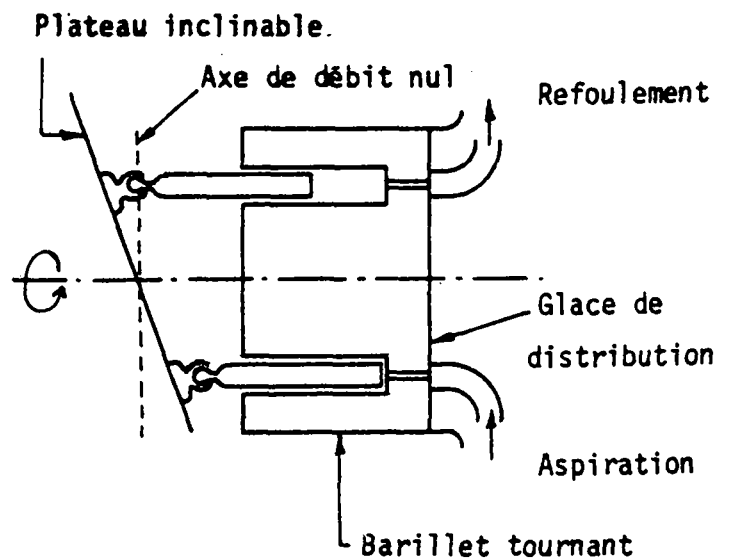
PRINCIPE D'UNE POMPE
A DÉBIT VARIABLE

FIGURE 10

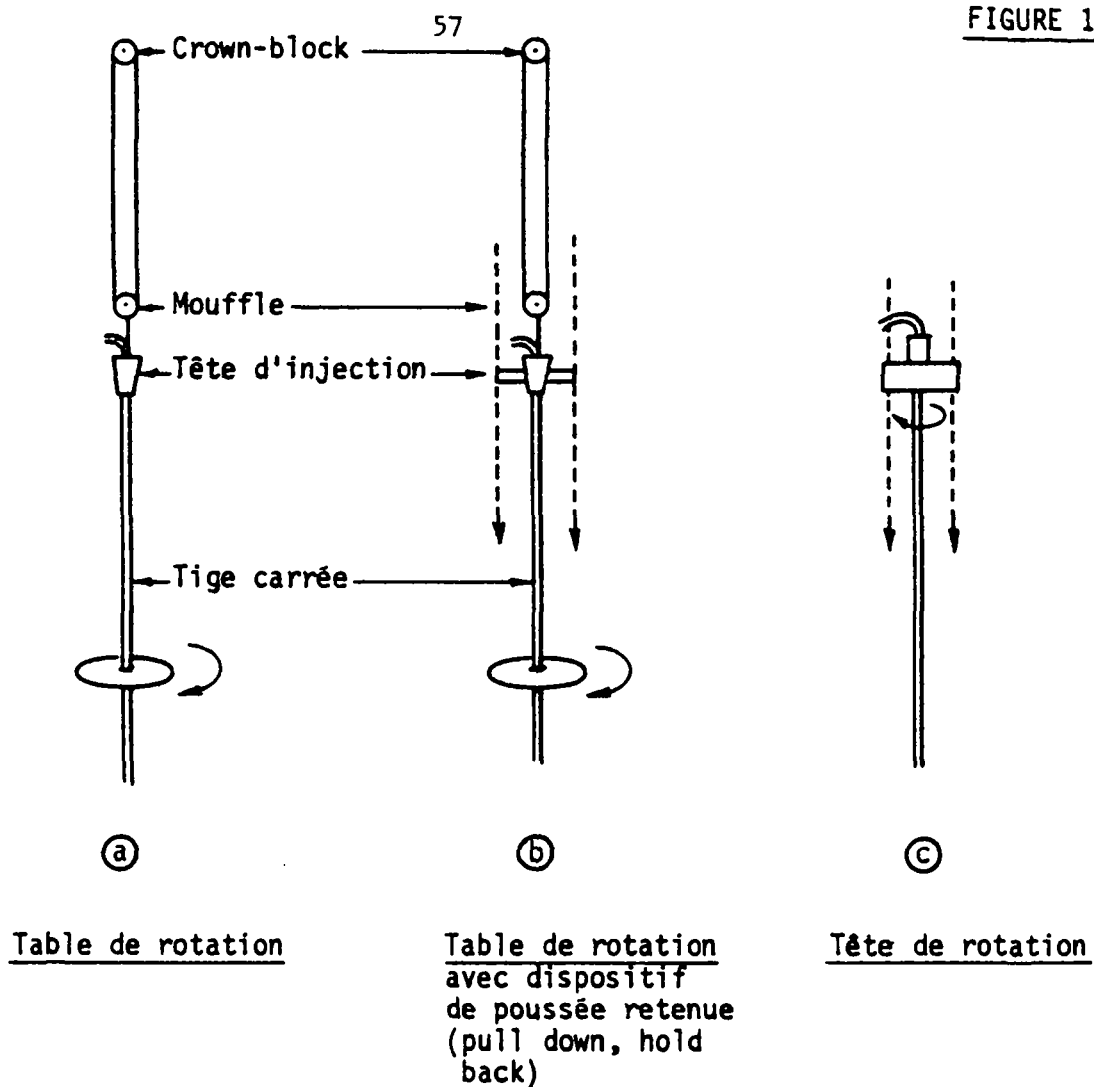
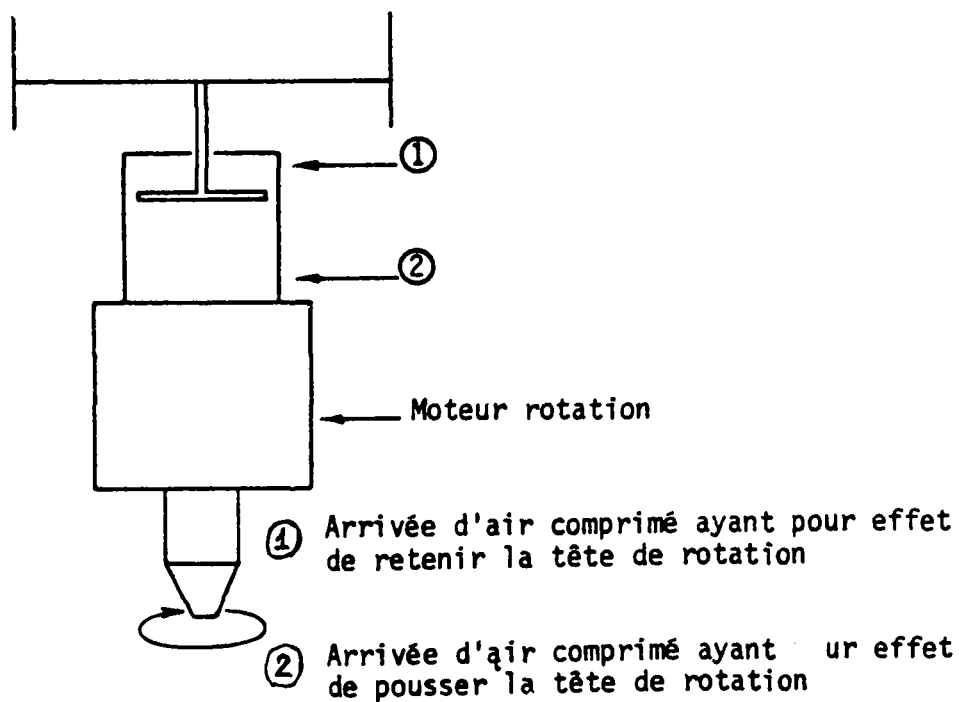


FIGURE 11

PRINCIPE DU RÉGULATEUR DE POUSSÉE STENUICK



une maîtrise du poids sur l'outil, indépendamment du poids de la garniture. Les manoeuvres sont plus rapides, du fait de l'absence de tige carrée. Enfin, il présente plus de souplesse d'emploi : il n'y a pas de position en montée ou en descente, d'où l'on ne puisse faire tourner le train de tiges; à l'inverse, dans le cas précédent, il n'est plus possible de faire tourner celui-ci lorsque la tige carrée est sortie de la table, ce qui est parfois un handicap en cas de coincement des tiges.

En raison des avantages ci-dessus, la tête de rotation est d'un emploi beaucoup plus courant sur les machines légères de type "forage villageois".

Pour la mise en place des tubages (provisaires ou définitifs), le dégagement de la table ou de la tête de rotation par rapport à l'axe du trou peut être obtenu par différents dispositifs :

- châssis rétractable (pour table ou tête de rotation)
- tête escamotable ou tête pivotante.

1.2.5. Translation :

Sur les machines équipées d'une tête de rotation, les mouvements de montée et de descente du train de tiges sont transmis par le chariot supportant la tête de rotation ; celui-ci est entraîné soit par chaînes et moteurs hydrauliques, soit par un vérin agissant sur des câbles (voir schémas en Annexe 3.13).

Il est possible de moduler la vitesse de translation de plusieurs façons :

- soit en combinant les effets de plusieurs pompes hydrauliques à débit fixe, pour avoir une gamme de plusieurs vitesses
- soit en utilisant une pompe ou un moteur à débit variable, ce qui permet de faire varier la vitesse de manière continue
- soit en utilisant une pompe à débit fixe couplée avec un circuit de fuite ou de laminage, ce qui permet de faire varier le débit d'huile entrant dans le récepteur, donc la vitesse.

1.2.6. Mât :

Constitution : Le mât en treillage métallique, beaucoup plus léger à résistance égale que le mât poutre est préférable à celui-ci; mais il coûte aussi plus cher.

Longueur : Etant donné les vitesses de perforation des machines actuelles, il est souhaitable que la longueur du mât permette l'utilisation de tiges de 6 mètres, si l'on veut éviter des changements trop fréquents de tiges.

Capacité : La charge que peut supporter le mât est en général le facteur limitant de la capacité d'une sondeuse et détermine la profondeur et le diamètre qui peuvent être atteints avec la machine. Sur les sondeuses rencontrées le plus couramment, cette capacité est de 10 à 20 tonnes.

1.2.7. Régulation de la poussée sur l'outil :

Pour obtenir un fonctionnement correct du marteau et la meilleure avance possible, il est important d'appliquer sur celui-ci une force aussi constante que possible, comprise entre 500 kg et 2 tonnes selon les cas.

La pression d'huile ou d'air dans le circuit d'entraînement du système de translation est fonction de la résistance opposée à l'enfoncement et donc de la poussée exercée sur l'outil. Il est donc possible par simple lecture d'un manomètre de contrôler le poids sur l'outil. Pour ajuster ce poids de manière précise, nous avons vu l'intérêt de pouvoir faire varier la vitesse de translation. Certaines machines possèdent en outre un système soit automatique soit manuel de régulation de la poussée.

Le système utilisé sur la Stenuick Perfo 66 est entièrement automatique et ne nécessite pas l'intervention du foreur : il est composé d'un cylindre placé au-dessus de la tête de rotation et agissant sur celle-ci vers le haut ou vers le bas selon la pression d'air qu'il reçoit du circuit d'enfoncement (fig.11).

Sur d'autres machines (1), un circuit de fuite est aménagé sur le vérin d'enfoncement du côté opposé au côté alimenté par la pompe hydraulique; l'ouverture de ce circuit permet le rattrapage immédiat du poids manquant sur l'outil.

1.2.8. Air comprimé :

L'air comprimé a pour fonction d'entraîner le marteau fond de trou et de servir de fluide de forage pour remonter les cuttings; sur les machines pneumatiques, il entraîne également les différents éléments de la sondeuse.

i - Débit et pression d'air comprimé nécessaires au fonctionnement du marteau et à la remontée des cuttings

Remontée des cuttings :

On considère très généralement que pour assurer une remontée correcte des cuttings, la vitesse de l'air dans l'espace annulaire doit être au minimum de 3000 ft/mn (15 m/s). Le tableau de l'annexe 3.5 donne le débit d'air correspondant pour les diamètres habituels de forages. Pour un forage en 6 1/2", ce débit est du même ordre de grandeur que celui nécessaire au fonctionnement des marteaux basse pression (10,5 bars). Il est par contre nettement inférieur à celui nécessaire au fonctionnement des marteaux haute pression (17,5 bars). Dans ce dernier cas, ce sont donc les paramètres du marteau et non les caractéristiques du trou qui guident le choix du compresseur.

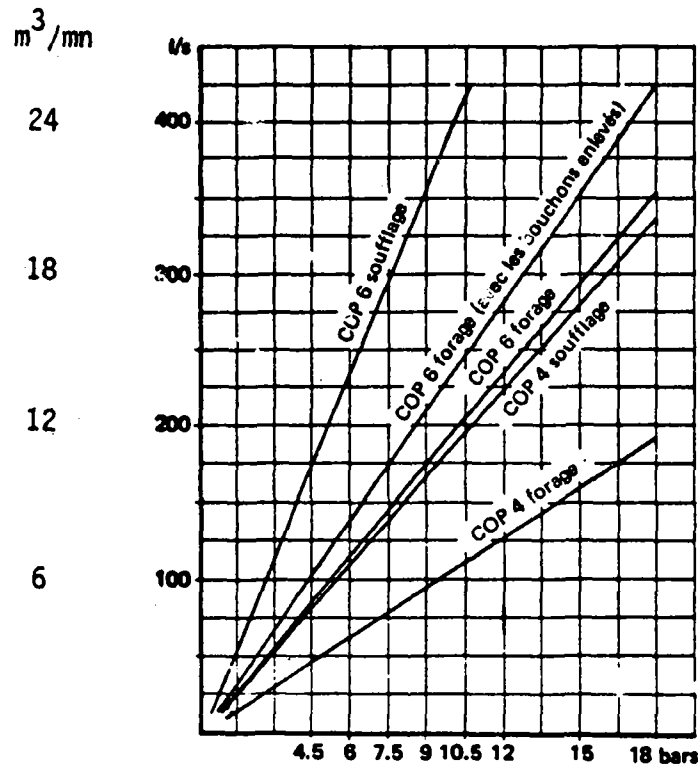
Fonctionnement du marteau :

Le débit d'air nécessaire au fonctionnement du marteau dépend de la surface de frappe, donc du diamètre du taillant ; il est proportionnel à la pression d'utilisation (fig.12). Le tableau de l'annexe 3.6 indique la valeur du débit nécessaire pour différents marteaux en fonction de la pression. Pour un forage en 6 1/2", ce débit est de l'ordre de 10 m³/mn à 10,5 bars et de 20 m³/mn à 17,5 bars.

Nota : (1) Portadrill TLS.

CONSOMMATION D'AIR DES MARTEAUX FOND-DE-TROU EN FONCTION DE LA PRESSION

(d'après document Atlas Copco)



Consommation d'air des marteaux fond-de-trou COP 4 et COP 6 pendant le forage et pendant le soufflage pour le nettoyage du trou de forage

Profondeur du forage :

La profondeur maximale que l'on peut atteindre au marteau fond de trou avec une machine donnée dépend théoriquement de deux facteurs :

- poids de la garniture de forage : 100 m de tiges 4"1/2 pèsent environ 2,5 tonnes ; les machines dont la force de traction est de 8 à 10 tonnes permettent donc d'aller à 200 mètres en gardant un coefficient de sécurité de 2 environ.
- Pertes de charge de l'air comprimé dans l'espace annulaire. La nécessité de remonter les déblais de forage exige de conserver une vitesse de l'air élevée (ce qui nécessite d'ailleurs d'utiliser des tiges de forage de fort diamètre et justifie l'emploi de tiges spéciales sur les perforatrices), d'où la création de pertes de charge non négligeables. L'utilisation de mousses, favorisant la remontée des déblais, permet d'accroître la profondeur maximale d'un atelier.

Sous la nappe, en forage, le poids de l'émulsion eau + air (ou eau + air + mousse) réduit d'autant la pression efficace disponible au niveau du marteau. Après chaque changement de tige, il peut être nécessaire d'évacuer la colonne d'eau par soufflage avant de permettre au marteau de reprendre sa frappe. La hauteur d'eau et l'importance des venues d'eau limitent donc la profondeur accessible au marteau.

A titre indicatif, car ces limites varient avec les équipements mis en oeuvre et les aquifères rencontrés, on peut citer les limites extrêmes suivantes observées avec des perforatrices mues à l'air comprimé, à basse pression (10,5 bars) :

- 90 m en 8 1/2" avec tige Ø 140 (niveau statique 50 m, débit en forage 10 m³/h, débit exploitable 30 m³/h) ;
- 190 m en 6" avec tige Ø 120 (injection de mousse, niveau statique 160m, débit en forage <1 m³/h, débit exploitable 10 m³/h).

Avec des ateliers rotary, avec tige 4 1/2", à haute pression (17,5 bars), la profondeur limite est supérieure habituellement à 150 m en 8 1/2" et 200 m en 6".

On retiendra que la profondeur maximale est limitée, d'une part, par les caractéristiques mécaniques de la machine (mât, tête de rotation, force de traction) et d'autre part, lorsqu'on fore sous la nappe, par les caractéristiques du compresseur (débit et pression).

i-i Débit d'air nécessaire au fonctionnement de la sondeuse dans les sondeuses pneumatiques.

Dans le cas de la Perfo 66D (Stenuick), les consommations d'air des moteurs pneumatiques sont :

rotation du train de tiges	: 3 m ³ /mn
rotation du tubage saturne	: 3 m ³ /mn
traction-poussée (2 moteurs)	: 6 m ³ /mn

En forage, la fonction translation ne consomme pratiquement pas d'air comprimé ou très peu ; le débit d'air consommé pour le fonctionnement de la machine est donc de l'ordre de 6 m³/mn, que ce soit en forage ou pendant les manoeuvres.

Dans le choix du compresseur, il convient donc d'ajouter ce débit à celui nécessaire au fonctionnement du marteau. Celui-ci consommant entre 9 et 14 m³/mn à 10,5 bars et de 16 à 25 m³/mn à 17,5 bars (1), le débit d'air du compresseur devra être compris entre :

15 et 20 m³/mn si on travaille à 10 - 12 bars

22 et 31 m³/mn si on travaille à 17,5 bars

1.2.9. Injection d'eau-mousse :

Il est presque toujours recommandé d'injecter de l'eau, quand on fore avec le marteau fond de trou ; celle-ci remplit en effet plusieurs fonctions :

- meilleure remontée des cuttings
- élimination ou réduction de la poussière
- refroidissement du marteau.

La sondeuse doit donc être équipée d'une pompe d'injection pour introduire l'eau dans le circuit d'air comprimé. Cette pompe sert également à l'injection de mousse. Les pompes utilisées sont généralement des pompes volumétriques duplex ou triplex capables de fonctionner sous 20 à 30 bars avec un débit de 0 à 30 parfois 60 l/mn. Le volume d'eau nécessaire est généralement de l'ordre de 2 ou 3 m³ pour un forage villageois.

1.2.10 Huileur de ligne :

Un huileur de ligne est interposé sur le circuit d'air comprimé et permet d'introduire dans celui-ci une certaine quantité d'huile destinée à la lubrification du marteau. La consommation d'huile est d'environ 2 l/heure (2,5 l si on fore à la mousse). L'huile est injectée soit par un lubrificateur à vanne-pointeau soit par une pompe.

1.2.11 L'outil de forage :

L'outil de forage est constitué par le marteau et le taillant.

i - Marteau

Fonctionnement :

Il existe deux types de marteau :

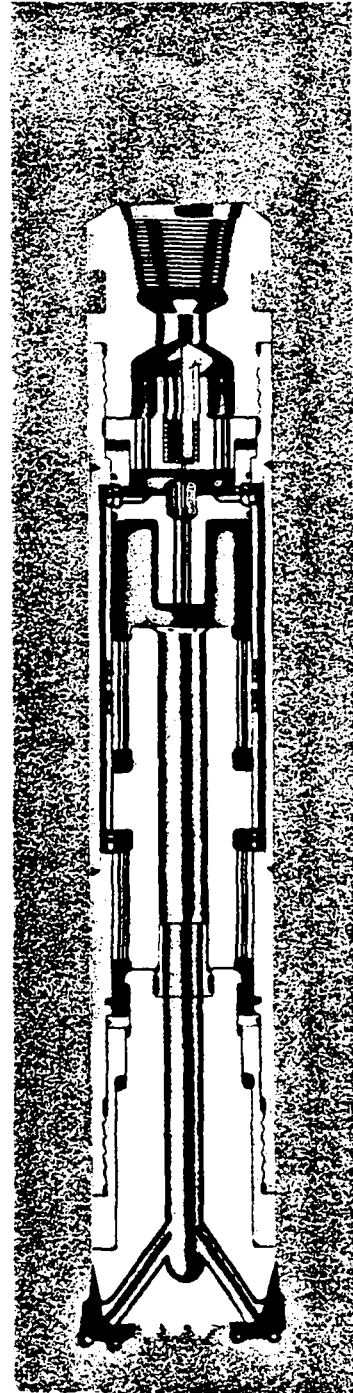
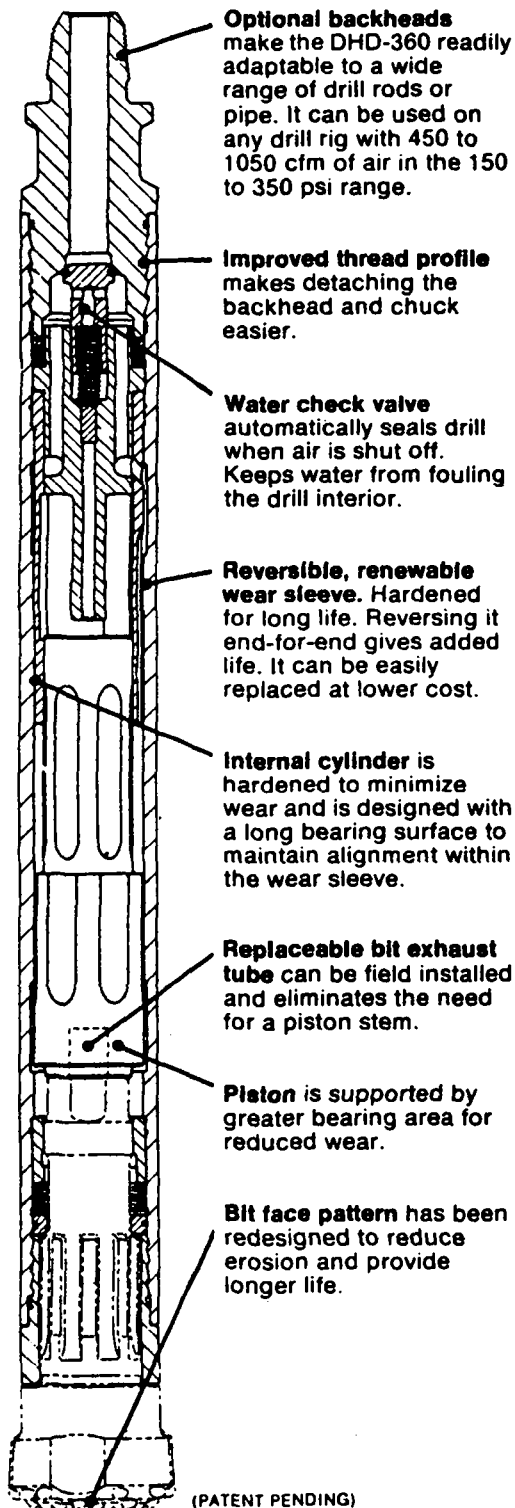
- . le marteau à tiroir de distribution
- . le marteau à piston auto-distributeur (voir fig. 13).

Ce dernier, qui correspond à la génération actuelle des marteaux, représente une amélioration sensible par rapport au précédent : il n'y a qu'une seule pièce en mouvement (le piston), et le nombre total de pièces y est réduit (14 pièces, y compris les joints, dans le marteau Mission Megadrill) on obtient ainsi une meilleure fiabilité.

Les marteaux sont souvent munis d'un système de buses interchangeable permettant d'ajuster en fonction du compresseur l'air destiné à la frappe et celui en excès qui servira seulement au soufflage et à l'entraînement des cuttings.

Nota : (1) Marteaux Mission A 53-15 et Ingersoll DHD 360.

EXEMPLES DE MARTEAUX FOND-DE-TROU A PISTON AUTODISTRIBUTEUR



Ingersoll Rand DHD 360

Mission Megadrill

Pression d'utilisation :

Un même marteau peut fonctionner dans une gamme assez large de pressions; ainsi pour les marteaux haute pression :

Le marteau IR DHD 360 peut fonctionner entre 10 et 25 bars.

Les marteaux Mission Mégadrill peuvent fonctionner entre 7 et 20 bars.

i-i - Taillant

Les taillants utilisés sont généralement des taillants à boutons de carbure de tungstène. Les constructeurs conseillent de remeuler périodiquement les boutons, ce qui allonge la vie du taillant; mais un taillant utilisé trop longtemps perd du diamètre et l'on risque d'avoir des difficultés si l'on veut poursuivre avec un taillant neuf un forage commencé avec un taillant trop usé.

Pour des diamètres importants, on a toujours intérêt, au dire des constructeurs, à forer le trou d'abord en petit diamètre et à réaléser, plutôt que de tenter d'emblée de forer en grand diamètre. Le réalésage est effectué avec des taillants-réaléseurs de forme spéciale (tête-guide).

Nous donnons en Annexe 3.12 quelques indications sur la durée de vie des taillants et des marteaux; celle-ci se situe habituellement entre 250 et 500 ml pour les taillants et entre 2000 et 6000 ml pour les marteaux, dans une roche telle qu'un granite de dureté moyenne.

La dimension du taillant doit être adaptée à celle du marteau (voir Annexe 3.6). On considère qu'il faut au moins un pouce de différence entre le diamètre du marteau et celui du taillant, afin de ne pas créer de pertes de charge trop importantes au voisinage de l'outil et d'éviter une usure trop rapide du corps du marteau par abrasion.

1.2.12. Les tiges

Différents types

Avec le forage à l'air, on utilise toujours des tiges lisses extérieurement (flush joint drill pipes). Il en existe plusieurs types :

- . Les tiges de forage spéciales pour le marteau fond de trou: de diamètre important, mais relativement peu épaisses, elles ne peuvent supporter de couples très élevés ; pour cette raison il est dangereux de les utiliser en rotary. Les tiges Stenuick appartenant à ce type sont soit des tiges à paroi simple (pour le forage à sec), soit doublées intérieurement par un tube d'injection d'eau (voir Annexe 3.11).
- . Les tiges conventionnelles, normalement prévues pour le rotary, donc capables de supporter des couples plus élevés, mais que l'on peut tout aussi bien utiliser avec le marteau fond de trou. En raison de leur polyvalence, ces tiges sont celles utilisées le plus fréquemment. Elles existent en plusieurs épaisseurs (voir Annexe 3.11), mais étant donné la faible profondeur des forages qui nous intéressent, la catégorie la plus légère suffit le plus souvent.

- Les tiges à double paroi pour le forage en circulation inverse à l'air (1) : on les emploie avec un outil dont le diamètre extérieur est très voisin de celui des tiges; l'espace annulaire est donc très réduit, ce qui permet de maintenir les parois du trou.

Diamètres utilisés

Plus les tiges sont larges, meilleure est la remontée des cuttings; mais nous avons vu qu'avec les marteaux haute pression le débit d'air est plutôt en excès; en outre, il faut tenir compte du poids et du prix des tiges. Avec les tiges conventionnelles, on utilise habituellement les diamètres suivants :

Tiges 3" 1/2	pour les forages de diamètre inférieur à 6"
Tiges 4" 1/2	pour les forages entre 6" et 8 1/2"
Tiges 5" ou 5" 1/2	au-dessus.

1.2.13. Force motrice : différents montages possibles :

L'entraînement du camion porteur, du compresseur et de la sondeuse peut être réalisé par un moteur unique ou par des moteurs séparés selon la combinaison choisie. En gros, cinq solutions sont possibles (voir Annexe 3.1), si l'on ne tient pas compte de la pompe à boue qui peut être entraînée soit par l'un des moteurs précédents, soit encore par un moteur autonome. Le choix dépendra de plusieurs paramètres :

Adaptation du moteur à la puissance réellement utilisée :

Rappelons l'ordre de grandeur des puissances nécessaires :

Sondeuse	: 100 CV
Camion	: 200 CV
Compresseur HP	: 300 CV

La décomposition du temps moyen d'exécution d'un forage villageois (voir Annexe 7.1) montre que pour un forage de 50 m exécuté en deux postes de 9 h, il faut compter à peu près :

6 h d'utilisation simultanée du compresseur et de la sondeuse
 2 h d'utilisation du compresseur seul
 3 h d'utilisation de la sondeuse seule
 2 h d'utilisation du camion seul
 5 h sans force motrice

18 h

L'utilisation du même moteur pour la sondeuse et le compresseur conduit à

Nota : (1) Exemples : Dual tube system Ingersoll Rand
 ou Foraco VPRH

une dépense d'énergie inutile lorsque l'on fait tourner ce moteur pour la sondeuse seule.

Le raisonnement est vrai a fortiori si ce moteur unique est celui du camion : ce moteur sera surdimensionné pour un emploi du camion seul ou de la sondeuse seule.

A l'inverse, le montage avec un moteur unique se traduit par un coût d'investissement moins élevé.

Régulation de la vitesse du moteur :

Chacun des organes entraînés ne nécessite pas forcément au même moment le plein régime. L'emploi d'un moteur unique conduit, semble-t-il, à faire tourner celui-ci, constamment au régime le plus élevé, ce qui se traduit, là encore, par un surcroît de dépense d'énergie. En outre, un moteur prévu pour un véhicule refroidit mal quand il est employé à poste fixe.

Poids de la machine :

C'est, selon nous, le principal argument qui milite en faveur du montage du compresseur sur un camion distinct de celui de la sondeuse. Le même camion pouvant emporter une partie des tiges et de l'outillage, le poids de la sondeuse et de son porteur passe alors d'environ 25 tonnes à moins de 18 tonnes. On conçoit l'intérêt de cette pratique, chaque fois que les distances et les difficultés de transport seront grandes.

Poussière et bruit :

Ce sont des arguments supplémentaires bien que non déterminants à eux seuls en faveur d'une séparation du compresseur et de la machine. La poussière dégagée par le forage n'est pas favorable au bon fonctionnement du compresseur si celui-ci est trop proche. Quant au bruit, il joue un rôle appréciable sur les conditions de travail du foreur.

1.3. LES DIFFERENTES OPTIONS

1.3.1. Intérêt de la haute pression :

Historique :

L'emploi de la haute pression dans le forage au marteau fond de trou a suivi de peu, semble-t-il, l'introduction des compresseurs haute pression. Jusqu'en 1967-1968, en effet, la majorité des compresseurs proposés sur le marché fonctionnaient à 7 ou 8 bars et ce n'est que vers cette date qu'on est passé à 10-12 bars et vers 1975 à 17,6 bars. Actuellement, la tendance est encore à l'accroissement de la pression et les constructeurs proposent des compresseurs à 21 et 24 bars, ainsi que des marteaux pouvant fonctionner à 21 bars et plus.

La fiabilité du matériel, au moins en ce qui concerne le 17,5 bars, est aussi bonne que celle du matériel basse et moyenne pression.

Gain de vitesse :

La raison de cette évolution tient aux vitesses d'avancement qui ont cru de manière très sensible, voire spectaculaire. L'enquête menée auprès des utilisateurs confirme en effet à peu près les chiffres annoncés par les constructeurs (voir fig.14) :

Augmentation de la vitesse d'environ 50 % quand on passe de 7 à 10,5 bars.
Augmentation de 50 à 100 % quand on passe de 10,5 à 17,6 bars.

Ainsi, avec la haute pression, la vitesse d'avancement dans un granite moyen se situe-t-elle couramment entre 10 et 20 m/h.

A quoi tient l'accroissement de la vitesse ?

A condition d'avoir un bon dégagement des cuttings, ce qui généralement est le cas, la vitesse d'avancement est fonction de l'énergie de frappe, qui est une énergie cinétique :

$$E = 1/2 m v^2$$

Cette énergie est proportionnelle à la masse du piston, ce qui explique qu'on fore plus vite avec un gros marteau qu'avec un petit. Elle est proportionnelle au carré de la vitesse du piston, laquelle dépend de la pression d'air comprimé. Pour prendre un exemple, la vitesse de frappe du marteau Ingersoll Rand DHD 360 est de :

Pression	Vitesse	Accroissement Vitesse/10,5 bars
10,5 bars	1175 c/mn	
17,6 bars	1575 c/mn	+ 34 %
24,6 bars	1825 c/mn	+ 55 %

On remarque que le rapport des carrés des vitesses entre 17,6 bars et 10,5 bars est de 1,8, ce qui correspond à peu près au rapport des vitesses de pénétration.

Usure des outils :

Rapportée au nombre de mètres forés, l'usure des outils ne semble pas plus importante et même plutôt inférieure avec la haute pression qu'avec la basse pression. Dans les roches très siliceuses, celle-ci intervient en effet autant, sinon plus, par abrasion (sablage) que par fatigue du métal; or l'abrasion est d'autant plus grande que l'outil reste plus longtemps dans le trou pour une même longueur forée.

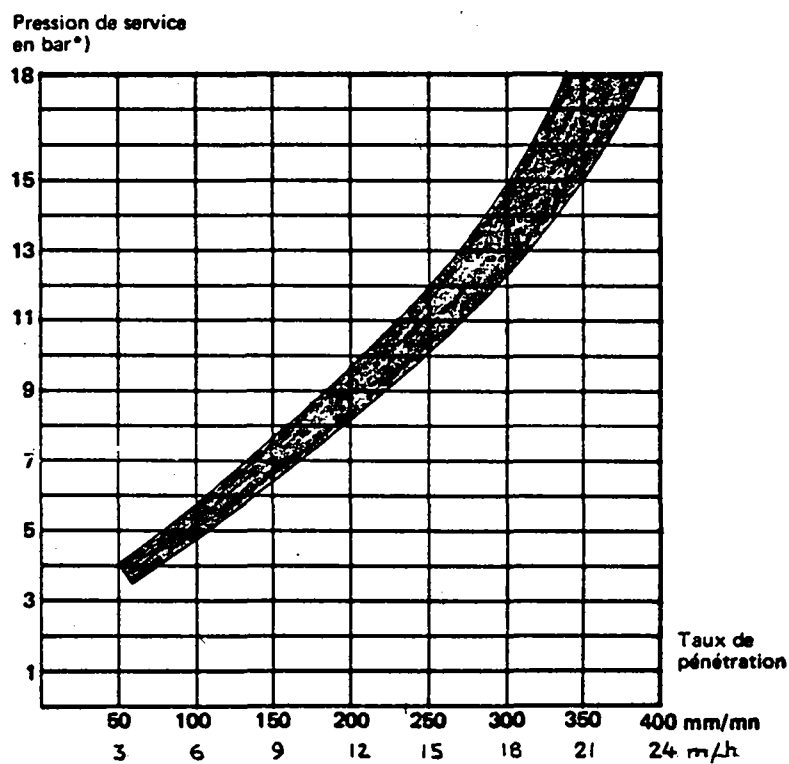
Il n'est pas possible au stade de cette étude d'apporter des éléments statistiques pour appuyer ces propos; nous citerons simplement le résultat obtenu en Côte d'Ivoire sur une campagne de 420 forages (24.250 ml) dans les granito-gneiss avec 3 machines utilisant la haute pression; la consommation moyenne de taillants a été de 546 ml/taillant et celle de marteaux a été de 1910 ml/marteau. En ce qui concerne ces derniers, des durées de vie très supérieures sont citées par d'autres sociétés. Nous retiendrons que l'utilisation de la haute pression n'accroît pas, à tout le moins, l'usure des outils.

Analyse économique :

Les compresseurs haute pression coûtent évidemment plus cher que ceux fonctionnant aux basses et moyennes pressions. Ils consomment plus,

ACCROISSEMENT DE LA VITESSE DE PÉNÉTRATION EN FONCTION DE LA PRESSION D'AIR COMPRIME

(D'après document communiqué par Atlas Copco)



Taux net de pénétration avec le COP 4 et le COP 6 à différentes pressions de service, dans le cas de forage dans du granit avec une résistance à la compression d'environ $24,5 \text{ kN} = 2500 \text{ kg/cm}^2$.
 Diamètre du taillant de forage: COP 4 = 105 mm;
 COP 6 = 152 mm.

puisque'il y a un écart de 60 à 80 CV entre les deux types de compresseurs pour un débit de 21 m³/mn. Mais compte tenu du gain de temps (environ 24 h par mois) et du prix de l'heure d'atelier, l'emploi de la haute pression se justifie tout à fait sur le plan économique, comme le montre le calcul de l'annexe 3.8. Le gain mensuel dans l'exemple choisi se situe autour de 560 000 F CFA pour un atelier effectuant 10 forages de 50 m par mois.

Inconvénients :

Les marteaux fonctionnant en haute pression nécessitent un débit d'air élevé, ce qui entraîne une vitesse plus grande de remontée dans l'espace annulaire; celle-ci favorise l'érosion du terrain là où le forage n'est pas tubé. L'érosion des parois peut cependant être réduite par l'emploi de mousse.

En outre, les fortes vitesses d'avancement dans le socle incitent naturellement le foreur à poursuivre inutilement le forage au-delà de la profondeur optimale, annulant ainsi le gain de productivité (au mètre cube d'eau produit et effectivement utilisé) apporté par la haute pression.

1.3.2. Forage à la boue

i - Machine MFT ou mixte ?

La réalisation de forages villageois peut nécessiter parfois la traversée d'altérites épaisses ou de formations très mal consolidées (fluent par exemple), dans laquelle le forage à l'air, même accompagné de mousse, peut présenter des difficultés. En outre, le forage à l'air sans tubage à l'avancement est mal adapté à la traversée de formations sédimentaires peu consolidées (sables, argiles).

Si donc l'atelier est destiné à des régions d'altération épaisse du socle ou peut être amené à être utilisé dans les terrains sédimentaires, l'adjonction d'une pompe à boue s'impose nécessairement. C'est, par exemple, le cas dans les formations volcanosédimentaires de Côte d'Ivoire qui s'accompagnent fréquemment d'une altération sableuse très épaisse. Dans ce pays, une importante société de forage a entrepris d'équiper avec une pompe à boue toutes les machines de son parc qui ne l'étaient pas encore. A l'inverse, l'utilité d'une pompe à boue apparaît moins évidente pour forer dans des régions comme le Nord de la Haute Volta, où l'épaisseur d'altération dépasse rarement 30 mètres.

Le choix du type de machine dépend donc de la spécificité du programme de forages. Si l'on doit forer dans des conditions homogènes, on pourra par exemple mettre en oeuvre des machines légères et économiques du type Stenuick ou Aquadrill. Pour un emploi plus dispersé géographiquement, on devra parfois recourir à des machines plus polyvalentes.

Nota : Actuellement, il est convenu d'appeler :

- basse pression : une pression de 7 à 8 bars
- moyenne pression : une pression de 10 à 12 bars
- haute pression : une pression autour de 17 bars.

i-i Débit et pression de boue nécessaires

Débit :

Selon les normes du forage rotary classique, le débit de la pompe à boue doit être suffisant pour assurer une vitesse de remontée de 50 m/mn dans l'espace annulaire, ce qui dans le cas d'un forage en 8 1/2" avec des tiges de 4 1/2" correspond à un débit de 1350 l/mn. Cependant, dans le forage villageois, étant donné les faibles profondeurs concernées (au plus 50 à 70 m, exceptionnellement 100 m), l'expérience montre que l'on peut se contenter de vitesses de remontée plus faibles de l'ordre de 20 à 30 m/mn. Le débit souhaitable pour la pompe à boue se situera donc à peu près dans la gamme de 500 à 1500 l/mn. Le tableau de l'Annexe 3.9 donne la vitesse de remontée en fonction du diamètre du trou et des tiges.

Pression :

La pression de refoulement que doit donner la pompe est fonction des pertes de charge dans le circuit de boue. En première approximation, celle-ci ne doit pas dépasser 2 kg/cm² dans les éléments de surface et 1,5 kg/cm²/100 m de tiges; en admettant une perte de charge de 5 à 6 kg/m² au niveau du trépan, on arrive à une pression de refoulement minimum de l'ordre de 10 kg/cm².

i-i-i Choix du type de pompe

Il existe deux catégories de pompes à boue :

- . les pompes volumétriques (pompes duplex ou triplex, pompes à pistons plongeurs)
- . les pompes centrifuges.

Les pompes volumétriques permettent d'obtenir des pressions élevées, mais ne délivrent un débit important qu'au prix d'un poids, d'un encombrement (et d'un prix) élevés.

Les pompes à pistons plongeurs, se situent parmi les pompes volumétriques dans la gamme des débits les plus bas. D'une part, en effet, ce sont des pompes à simple effet, d'autre part le diamètre du piston est limité pour des raisons pratiques (étanchéité du presse-étoupe). Avec un diamètre de piston de 110 mm, qui semble proche du maximum, on ne peut obtenir plus de 700 l/mn à 15 bars (cas de la pompe BE 110 x 140; voir annexe 3.10).

Les pompes à double effet (duplex ou triplex) sont les pompes classiquement utilisées en forage rotary. Elles permettent d'obtenir des pressions très élevées en même temps que de forts débits. Leur inconvénient est leur poids et leur encombrement important, ainsi qu'un entretien moins aisé que celui des pompes centrifuges; l'exemple suivant illustre la différence de poids et de taille entre les deux types de pompes : (poids de la pompe sans le moteur) :

	Débit maxi l/mn	Pression maxi bars	Dimensions cm x cm x cm	Poids kg
Pompe duplex (Failing 5x6 1/2)	788	22	70 x 80 x 200	1180
Pompe centrifuge (Mission 3x2x13)	1137	12	50 x 45 x 80	200

Les pompes centrifuges sont caractérisées par la possibilité de donner des débits élevés, mais elles sont limitées en pression à un maximum d'environ 12 bars. Ceci les élimine pour tous les forages à la boue un peu profonds. Leur avantage est leur faible encombrement et surtout un entretien très facile. Par contre, elles peuvent présenter quelques difficultés d'amorçage si elles sont placées trop haut sur la machine.

L'enquête réalisée auprès des entreprises et des constructeurs montre que si la pompe duplex (ou triplex) est plus polyvalente, la pompe centrifuge peut parfaitement convenir dans la plupart des cas pour les forages villageois.

Le tableau de l'annexe 3.10 indique les débits et pressions de fonctionnement de quelques-unes des pompes appartenant aux types précédents.

i-i-i-i- Puissance nécessaire à l'entraînement d'une pompe duplex :

En supposant un rendement mécanique de la pompe de 0,85 et un rendement de la transmission de 0,9, elle est donnée par :

$$P = \frac{pQ}{340}$$

avec P = puissance en CV

p = pression de refoulement en kg/cm²

Q = débit l/mn

Ainsi, pour une pompe débitant 1500 l/mn à 20 bars, la puissance requise est d'environ 90 CV.

1.3.3. Forage à la mousse :

La mousse facilite la remontée des cuttings en les dispersant et en les maintenant en suspension grâce à son émulsion très serrée ; elle diminue le débit d'air nécessaire à la remontée de ceux-ci. En outre, elle stabilise relativement les parois et évite surtout l'érosion en limitant la vitesse de circulation dans l'annulaire. Elle s'oppose en outre au soufflage des cuttings au sein de la formation (roches fissurées avec un niveau statique profond). En zone de socle, la mousse sera donc utilisée pour la traversée d'altérites épaisses et peu consolidées.

Son inconvénient est qu'elle est à la base de détergent et donc que son emploi va à l'encontre d'une bonne lubrification du marteau. Il est nécessaire de corriger ce défaut en augmentant le débit d'huile introduite dans le huileur de ligne.

Produits utilisés :

Les produits utilisés se composent de :

- un agent moussant ayant à la fois de bonnes qualités émulsifiantes et une bonne stabilité ;
- des produits stabilisants (polymères organiques) qui renforcent la stabilité de la mousse tout en aidant à la tenue des parois. Ces produits sont mélangés à l'eau, dans la proportion de :

1 à 5 % de produit moussant
0,25 à 1 % de polymère

1.3.4. Tubage à l'avancement :

Comme son nom l'indique ce système consiste à mettre en place un tubage au fur et à mesure de la perforation, ce qui supprime tout problème de tenue des parois. Il est le complément quasi indispensable des perforatrices fonctionnant uniquement au marteau fond de trou.

Système Saturne (Stenuick) (voir fig.15)

Dans ce système, le tubage est mû par un moteur auxiliaire et tourne en sens inverse de celui du train de tiges. Un taillant excentrique fore un trou de diamètre légèrement supérieur à celui du tubage ; le tubage, qui est muni d'un sabot à sa base, est entraîné par le moteur de translation et descend à la même vitesse que le taillant. Il s'agit d'un tubage vissé dont chaque élément de longueur égal à celui d'une tige est rajouté en même temps que celle-ci.

Après pénétration de 1 m ou 2 m dans la roche saine, le taillant excentré est remonté ; le forage est ensuite poursuivi au marteau, en diamètre inférieur, à l'abri du tubage provisoire. Après mise en place du tubage définitif, le tubage Saturne est retiré (le retrait est facilité par le fort couple de rotation du moteur auxiliaire).

Le Saturne existe en deux diamètres : 117/133 et 152/168 mm (1) ; ce dernier permet de poursuivre le forage dans la roche saine avec un taillant de 150 mm (6"). La profondeur maximum à laquelle peut être descendu le Saturne tourne autour de 40 mètres, ce qui limite un peu la portée de cette machine.

Système Odex (Atlas Copco)

Il n'y a pas ici de moteur autonome pour entraîner le tubage ; celui-ci est enfoncé sans rotation et progresse à la manière d'un clou qu'on enfonce, sous l'impulsion du marteau qui agit sur un épaulement à la base du tubage. Ici encore le taillant, grâce à sa forme excentrique, force un trou plus large que le diamètre extérieur du tubage. Comme précédemment, le forage peut être poursuivi au marteau dans la roche saine à l'abri du tubage laissé en place.

Nota : (1) Un Saturne 209/229 devrait être prochainement commercialisé. Exigeant un couple élevé (1500 m.kg), il nécessite une transmission hydraulique. Sa portée pourrait excéder 60 m.

TUBAGE A L'AVANCEMENT

1



2



3



Taillant de forage
excentré ODEX
1. Dispositif de guidage
2. Aléreur (sorti)
3. Taillant-pilote

Système Odex (Atlas Copco)

Système Saturne (Stenuick)

Le tubage est composé d'éléments que l'on soude sur place les uns aux autres et qui sont normalement laissés en place définitivement dans le forage (1). Il existe en deux dimensions : 128/138 et 180/192 mm; ce dernier diamètre permet de poursuivre le forage en 165 mm (6 1/2"). La profondeur jusqu'à laquelle il est possible de descendre le tubage est donnée pour 100 m par le constructeur, mais nous ne disposons pas de données permettant de confirmer ce chiffre dans la pratique.

1.3.5. Circulation inverse à l'air (FORACO VPRH)

Pour forer en circulation inverse à l'air, on utilise des doubles tiges (appelées ici doubles tubes), dans lesquels l'air est injecté par le tube extérieur et remonte par le tube intérieur. En terrains non consolidés, les tiges ont un diamètre extérieur voisin de celui du trou, ce qui permet de maintenir les parois. En terrains consolidés, les tiges peuvent être d'un diamètre inférieur à celui du trou et l'on utilise alors un porte-outil* qui canalise l'air vers le tube central, évitant qu'il remonte par l'espace annulaire (voir figure 16).

L'outil est soit un tricône soit une couronne. Dans ce dernier cas, on peut utiliser l'espace intérieur des doubles tiges pour poser un tubage au travers de celles-ci. Les diamètres couramment utilisés sont :

	<u>Diamètre extérieur</u>	<u>Diamètre intérieur</u>
Tiges de 5"	5"	2 3/4 "
Tiges de 8"	8"	6"

Le procédé d'enfoncement original de la VPRH ajoute à la rotation classique des mouvements de vibration et/ou de percussion imprimés depuis la tête de rotation. Ces mouvements diminuent considérablement les forces de frottement entre les parois du trou et le tube extérieur.

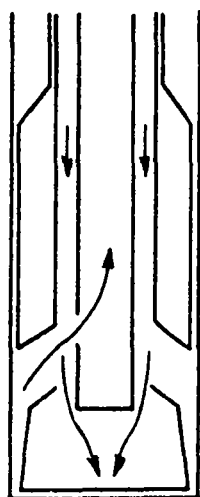
Ce système très performant en terrains tendres, particulièrement s'ils sont non cohérents, peut convenir pour les forages villageois en terrain sédimentaire (2). Il est par contre bien moins adapté pour les forages dans le socle, du moins en zone granito-gneissique ; en roche dure en effet, la vibro-percussion doit être abandonnée et il est préférable de revenir à l'emploi du marteau fond-de-trou avec une circulation directe.

Nota : (1) Sur option le 128/138 mm peut être constitué d'éléments vissés.

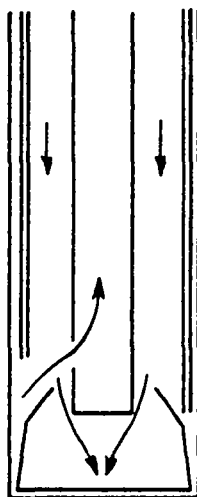
(2) Une machine de ce type est actuellement utilisée dans un programme de forages villageois au Niger.

* à flux croisé

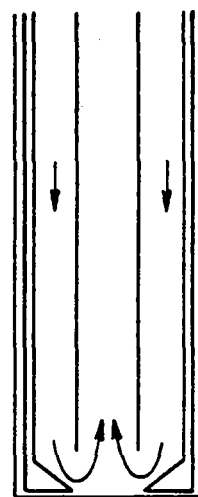
FORAGE EN CIRCULATION INVERSE A
L'AIR AVEC DOUBLES TUBES
 (FORACO VPRH)



Forage au tricone
 dans un diamètre
 supérieur à celui
 des tiges



Forage au tricone
 dans un diamètre
 voisin de celui
 des tiges dans les
 formations non
 consolidées



Forage avec une
 couronne

1.4. Rappel des paramètres de forage

1.4.1. Forage au marteau fond-de-trou

- Poids sur l'outil :

Il importe de maintenir sur l'outil une poussée faible mais constante, d'une part pour obtenir un bon avancement, d'autre part pour éviter la frappe à vide qui détériore le taillant. La poussée à exercer varie selon la taille du marteau (1) :

- . 600 à 800 kg pour un forage en 5" à 5 3/4",
- . 1,5 t " " " en 6" à 8 3/4",
- . 2 t " " " en 7 5/8" à 10".

- Vitesse de rotation :

La vitesse de rotation est également faible et doit être ajustée en fonction de la vitesse de pénétration, en se basant sur la formule empirique suivante :

$$\text{Vitesse de rotation t/mn} = \frac{\text{vitesse de pénétration ft/h}}{2}$$

Elle est donc d'environ :

- . 17 t/mn si l'on fore à 10 m/h,
- . 25 t/mn " " " à 15 m/h,
- . 30 t/mn " " " à 20 m/h.

- Couple :

Le fonctionnement du marteau nécessite un couple peu élevé, de l'ordre de 200 m/kg au maximum en 6 1/2" (et de l'ordre de 400 m/kg en 12"). C'est l'ordre de grandeur du couple maximum que peuvent donner les machines pneumatiques. Les couples de 600 à 1.000 m.kg rencontrés habituellement sur les machines hydrauliques sont prévus pour le forage au rotary et pour la sécurité (le couple maximum n'étant réellement utilisé que pour se sortir d'un mauvais pas).

Nota : (1) Normes recommandées pour les marteaux Mission. D'autres constructeurs préconisent un poids un peu plus faible. La poussée optimale devrait en outre varier avec la pression d'air.

- Soufflage :

Nous avons vu précédemment (§ 1.2.8.) que la vitesse minimum de remontée à assurer dans l'espace annulaire est de 15 m/s. Du point de vue du dégagement des cuttings une vitesse supérieure serait encore préférable, mais on est limité au delà par le risque de sablage prématuré de l'outil.

1.4.2. Forage au rotary

- Poids sur l'outil :

Le poids à appliquer sur un tricône à dents va de 1 à 3 tonnes par pouce de diamètre de l'outil ; il est fonction de la dureté du terrain et nous retiendrons, à titre purement indicatif, les valeurs moyennes suivantes (14)

- . en terrain tendre : de 0,7 à 0,9 t par pouce de diamètre,
- . en terrain dur : de 1,4 à 1,8 t " " " " .

Il faut donc environ 8 tonnes sur l'outil pour un forage en 8 1/2" en terrain tendre.

- Vitesse de rotation :

Citons encore les chiffres donnés par l'ouvrage (14) :

- . en terrain tendre : 85 à 150 t/mn ;
- . en terrain dur : 40 à 50 t/mn.

On remarque que ces vitesses sont très au dessus des vitesses utilisées avec le marteau. Le carottage nécessite des vitesses beaucoup plus élevées (jusqu'à 1500 t/mn).

- Couple :

Il n'existe pas de norme absolue, le couple maximum retenu par les constructeurs étant en définitive fonction de la sécurité qu'il choisit de prendre. L'expérience montre qu'un couple de 600 à 1000 m.kg est généralement suffisant pour l'exécution des forages de type villageois.

2. LES MACHINES ROTARY

Il n'entre pas dans le cadre de ce rapport de décrire le matériel et les méthodes de forage au rotary à la boue. Cette technique a fait l'objet de nombreux traités, notamment dans son application aux forages pétroliers (1). En ce qui concerne plus particulièrement le forage d'eau, nous donnons en Annexe 11 la liste de quelques ouvrages de référence, dont le plus connu est probablement le livre d'A. MABILLOT "Guide pratique du forage d'eau" (14).

Nous nous bornerons à rappeler ici le domaine d'application du forage rotary à la boue, les contraintes principales de cette méthode, ainsi que la composition et le coût d'ateliers standards.

2.1. Domaine d'application

Le forage au rotary à la boue, conçu pour forer sans tubage dans les terrains meubles, est la seule méthode permettant de réaliser des forages à moyenne ou grande profondeur dans les bassins sédimentaires récents, constitués de formations variées, généralement tendres et sans cohésion. Il peut également être employé en terrains cohérents jusqu'à une certaine dureté, mais son rendement diminue avec celle-ci, de sorte qu'il convient mal aux zones de socle.

Le battage constitue une alternative assez souvent avantageuse pour des forages relativement peu profonds (moins de 100 m). Mais son rendement diminue avec la profondeur et, dans la pratique, il n'est guère utilisé pour les forages de plus de 150 m.

A l'inverse, le rendement de la méthode rotary augmente jusque vers 50 m de profondeur (poids nécessaire sur l'outil) et se stabilise ensuite.

2.2. Contraintes

Le forage en rotary est relativement lent et sa mise en pratique demande une très bonne technicité. Ceci, joint aux aléas du forage et au coût d'investissement élevé, entraîne un prix de revient assez fort au mètre linéaire.

L'analyse donnée en Annexe 8.6. montre que la lenteur du procédé tient, dans le cas étudié, au moins autant au temps d'installation et à la durée de mise en production qu'au temps de perforation lui-même. En outre, l'utilisation de boue nécessite de nettoyer le trou avant le développement proprement dit, ce qui n'est pas le cas avec le battage.

Nota (1) cf. cours de l'ENSPM (Ecole Nationale du Pétrole et des Moteurs) publiés aux Editions Technip, 27 rue Ginoux, 75015 Paris.

La pratique du forage à la boue exige une technicité élevée aussi bien pour le forage lui-même et tous les risques qu'il comporte (contrôle de la boue, adaptation des paramètres du forage au terrain traversé, pertes de boue, cimentations...) qu'à la mise en production, presque toujours délicate, des aquifères sableux (utilisation de crépines élaborées, importance d'une mise en place correcte du massif filtrant et d'un développement efficace). Elle nécessite un travail en continu (travail à 3 postes). Enfin, la diversité et la relative complexité du matériel employé nécessite un appui permanent de la base pour l'entretien et les réparations.

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 à celui du marteau en terrain cohérent de dureté moyenne. Il est très variable en fonction des conditions locales et de l'importance des programmes.

2.3. Composition et coût d'un atelier

Nous donnons en Annexe 8.2 les devis de deux ateliers adaptés, le premier à l'exécution de forages à 450 m en 20" ou 750 m en 10"; le second à celle de forages 250 m en 12" ou 500 m en 10". On remarquera que le coût de ces ateliers est équivalent à 1,5 fois celui d'un atelier rotary-MFT et 2 à 3 fois celui d'un atelier de battage classique. La longévité des sondeuses rotary mécaniques est plutôt inférieure à celle des machines de battage, mais surtout les frais d'entretien sont plus élevés (15 % par an de coût de la machine pour le rotary contre 5 % par an environ pour le battage).

3. LES MACHINES DE BATTAGE

3.1. Domaine d'application

Le battage au câble est une méthode de forage universelle, qui permet de traverser des terrains de granulométrie, de cohésion et de dureté très variées.

En terrains non cohérents, la tenue des parois est assurée par un tubage provisoire descendu au fur et à mesure de l'avancement. Les forces de frottement limitent toutefois la progression de celui-ci et l'on doit télescoper à l'intérieur un tubage de diamètre plus petit pour continuer le forage, ce qui limite en définitive la profondeur maximum qu'il est possible d'atteindre.

En terrains cohérents, le battage s'accommode de terrains d'une certaine dureté. Toutefois, le rendement décroît assez vite lorsque la dureté augmente. Le domaine d'élection de cette méthode est donc un terrain cohérent pas trop dur tel que grès tendres, marnes indurées, schistes ou calcaires fracturés. Dans les formations qui occasionnent des pertes de boue, le battage peut remplacer très avantageusement le rotary.

A l'inverse du rotary, le rendement diminue avec la profondeur (manoeuvres de remontée des déblais et temps de tubage-détubage). Cette méthode convient donc bien aux forages peu profonds (moins d'une centaine de mètres) et est peu utilisée au-delà de 150 mètres, sauf pour des cas très spéciaux).

3.2. Caractéristiques

Avantages

Le coût du matériel est modéré et la longévité plus grande que celle des sondeuses rotary mécaniques et surtout hydrauliques (voir Annexe 8); les immobilisations ont donc relativement peu d'effet sur les prix de revient.

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. Le coût de l'entretien est relativement faible.

Cette méthode, par sa simplicité, s'accommode d'un personnel assez peu qualifié. Elle constitue un excellent moyen de formation pour les foreurs. L'absence de boue dans le forage permet le travail à un poste.

L'absence de fluide de circulation évite de colmater les parois du forage, simplifie le développement et, en définitive, accroît la fiabilité de l'ouvrage.

L'inconvénient du battage est évidemment sa lenteur : il en résulte que le battage n'est bon marché qu'en terrain cohérent et pas trop dur et pour des ouvrages pas trop profonds. Par ailleurs, la réalisation d'importants programmes nécessite de multiplier le nombre d'ateliers.

3.3. Composition et coût d'un atelier

Nous donnons en Annexe 8.3. et 8.4. la composition et le coût d'un atelier classique capable de réaliser des forages de 150 m terminés en 15" et, à titre indicatif, ceux d'un atelier beaucoup plus puissant capable de réaliser des ouvrages de 80 m de profondeur terminé en 1 mètre de diamètre.

On remarque que le premier atelier coûte de 2 à 2,5 fois moins cher qu'un atelier rotary réalisant la même performance.

Un groupe de soudure dépitant 300 A en continu (permettant d'utiliser des baguettes de 7 mm) est obligatoire dans le cas du deuxième atelier. Pour le premier, on peut se contenter d'un groupe de 250 A (permettant l'emploi de baguettes de 4 mm).

3.4. Rotary ou battage

En terrain tendre et pour une profondeur inférieure à une centaine de mètres, on a donc le choix entre le battage et le rotary.

L'exemple analysé en Annexe 8.6. montre que, si le coût d'un poste est presque deux fois plus élevé au rotary qu'au battage, les durées d'exécution dans le cas choisi (calculées en nombre de postes) ne sont pas fondamentalement différentes. On aurait donc intérêt ici à réaliser le forage au battage. Nous avons vu que, plus la profondeur et surtout plus la dureté augmentent, plus l'avantage tourne en faveur du rotary.

Lorsque le choix entre 2 matériels de forage, à acquérir ou à utiliser, est possible, le critère prépondérant doit être le facteur organisation, lié notamment au potentiel en personnel qualifié à tous les niveaux.

4. MACHINES PERMETTANT LE FORAGE DE PUIITS EN GRAND DIAMETRE

4.1. Forage à la tarière bucket

4.1.1. Principe :

Il s'agit d'un appareil conçu initialement pour réaliser des pieux de fondation en béton armé et appliqué ultérieurement à la construction de puits.

L'appareillage comprend une table de rotation dans laquelle coulisse une tige carrée télescopique soutenue par un câble relié à un treuil. L'outil de forage, le bucket, est une enceinte fermée possédant à sa partie inférieure une lame hélicoïdale dont le bord d'attaque est muni de dents : le découpage du terrain se fait sur le principe de la tarière classique ; les déblais accumulés dans le bucket sont retenus par un volet mobile qui se rabat sous le poids des sédiments quand la rotation s'arrête. Le bucket, une fois plein, est remonté à la surface.

La capacité du bucket, les grandes vitesses de descente et de remontée, le système de vidange automatique permettent une avance très rapide : par exemple 3 sondages de reconnaissance totalisant 60 mètres linéaires en Ø 1500 à 1100 dans la journée, ou un puits équipé de 22 m en 8 h (Cote d'Ivoire).

4.1.2. Description du matériel et des matériaux (fig. 28 et 29).

Les données ci-dessous concernent la sondeuse CALWELD modèle 250 B utilisée en Côte d'Ivoire par la Société FOREXI ; des machines de ce type sont également en service en Haute-Volta. On trouvera en annexe 6.1. une fiche technique de cet appareil ainsi qu'un compte-rendu de réalisation de puits.

Les diamètres d'outils utilisés en Cote d'Ivoire sont les suivants :

- bucket Ø 1200 (48") avec aléreur, permettant de forer en 2 diamètres : Ø 1500 et Ø 1200
- bucket Ø 1000 (42").

Des tubages de travail (mis en place à l'avancement) sont en tôle roulée de 4 mm, garnis de guides extérieurs de centrage et pouvant être télescopés les uns dans les autres :

tube Ø 1300 de 6,40 m de long,	pour forage en Ø 1500
tube Ø 1100 de 7,00 m de long, "	" " Ø 1200
tube Ø 950 de 6,00 m de long, "	" " Ø 1000.

En ce qui concerne les buses en béton armé, pour l'équipement définitif de puits, trois diamètres sont utilisés :

Ø 1000 (épaisseur 10 mm)
Ø 800 (épaisseur 8 mm)
Ø 600 (épaisseur 7 à 8 mm)

Les autres éléments préfabriqués comprennent :

- des buses de fond, coulées avec une dalle,
- des réductions 600/800 et 800/1000,
- des couvercles avec regard et socle de pompe.

4.1.3. Méthode d'exécution (fig. 17)

La rapidité de perforation permet d'effectuer, le cas échéant, plusieurs sondages de reconnaissance avec la même machine, avant de passer au puits définitif.

Malgré les gros diamètres employés, il est possible de faire environ 60 m de reconnaissance par jour, soit 3 sondages en moyenne, déplacements compris.

Les puits sont réalisés à une distance d'environ 5 mètres des sondages jugés positifs. Les terres retirées étaient utilisées pour combler le trou du sondage précédent.

Le trou, y compris pour les sondages, doit être tubé tous les 4 à 6 mètres, dès qu'on pénètre sous le niveau statique. Le jeu de tubage précité permet d'obtenir une colonne télescopée de 16 mètres de hauteur.

Pour des raisons de stabilité, il est indispensable de réaliser le puits dans la journée (celui-ci devant être au moins busé et gravillonné jusqu'au dessus du niveau statique).

Une meilleure connaissance du site, grâce au sondage préalable, permet une utilisation plus rationnelle des tubages de protection. Ainsi la profondeur des puits est-elle généralement supérieure à celle obtenue en sondages (sauf en cas de rencontre de couche dure infranchissable avec l'appareil).

Gravillonnage :

Le gravillonnage de l'espace annulaire est indispensable. Le massif de gravier n'a pas pour but de constituer un filtre, mais d'éviter les éboulements du terrain (qui possède une cohésion suffisante tant qu'il conserve sa texture initiale). L'expérience a montré que du gravier concassé 5-15 pouvait convenir.

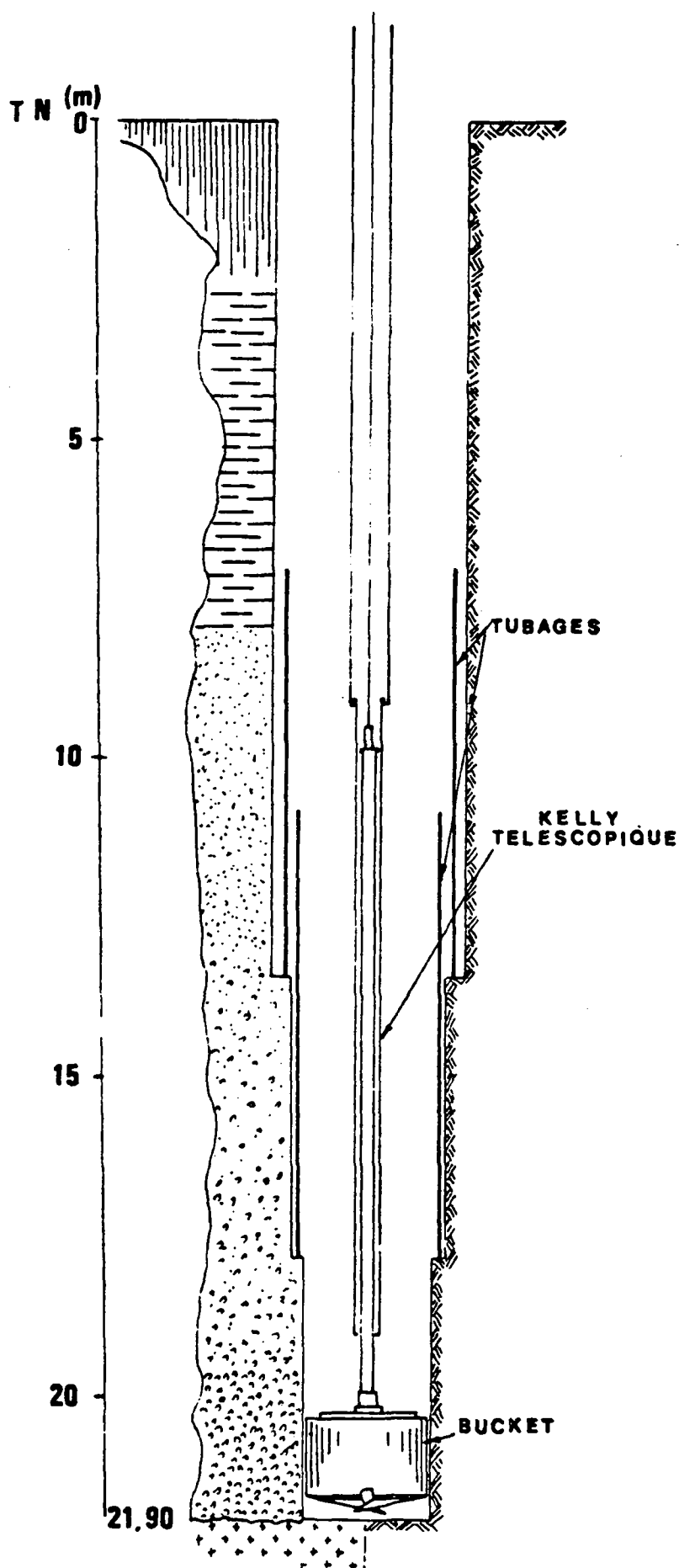
Développement :

Après la construction, l'ouvrage doit être curé (extraction du gravier tombé dans l'ouvrage et de la boue) et le massif de gravier nettoyé (extraction des fines et de la boue).

Difficultés de réalisation :

La qualité du béton, la perfection des emboitements entre chaque buse, la verticalité de l'ouvrage et la présence d'un massif de gravier sont primordiales. La réalisation de ces ouvrages nécessite dextérité et rigueur de la part du foreur. Les principales sujétions ont trait à la mise en place du tubage de travail et au transport des buses préfabriquées.

PRINCIPE DE FORAGE A LA TARIERE BUCKET



Un curage efficace de l'ouvrage peut être obtenu à l'air lift, à l'aide d'une cloche qui permet de nettoyer l'ouvrage d'une manière parfaite jusqu'à la dalle de fond (durée 2 heures, débit 2 à 3 m³/h).

Cette opération doit encore être suivie d'un développement à la pompe à air comprimé jusqu'à l'obtention d'eau claire (durée 2 heures).

L'ensablement des ouvrages, important lors de la première mise en eau, s'atténue très rapidement. Aucun ensablement notable n'a été observé sur les ouvrages après plus d'un an d'exploitation sur environ 200 puits réalisés par la Forexi (à une seule exception près, pour un ouvrage non gravillonné) (Projet Coton).

Des essais de pompage ne sont pas nécessaires, sauf pour les ouvrages aux capacités incertaines. L'observation de la remontée pendant 2 à 4 heures après le pompage du développement doit suffire pour évaluer la productivité des ouvrages.

4.1.4. Domaine d'utilisation :

- Le forage à la tarière bucket se heurte à plusieurs contraintes :
 - . profondeur maximum limitée par la longueur de la tige carrée (25 à 30 m).
 - . refus d'avancement en cas de rencontre de terrains durs ; on peut modifier l'angle d'attaque des dents du bucket, mais un couple demandé trop fort entraîne des risques de torsion de la tige carrée.
 - . tenue du trou : l'expérience de puits forés dans les arènes granitiques en Côte d'Ivoire montre que les parois sont stabilisées provisoirement après le passage de l'outil, tant que l'eau n'est pas remontée dans le puits. Cette stabilité n'est que temporaire et la réussite de cette méthode est basée sur la rapidité d'exécution.

Le domaine d'utilisation de la tarière bucket est donc limité. Cependant, du point de vue de la rapidité d'exécution, de la qualité des ouvrages et des coûts, le puits à la tarière peut concurrencer le forage au marteau fond-de-trou dans les zones où l'épaisseur d'altération est comprise entre 15 et 25 mètres et où la hauteur mouillée au dessus du socle est supérieure à 7 ou 10 mètres (profondeur moyenne des ouvrages comprise entre 15 et 20 mètres).

4.2. Forage au battage-havage

La benne preneuse est un outil muni de machoires mobiles descendu au bout d'un câble. Arrivé au fond du trou, l'outil est lâché en chute libre et s'enfonce dans le terrain ; un mécanisme permet alors de refermer les machoires et de remonter les déblais.

Cet appareil convient pour la perforation des roches tendres et meubles. Ce système est utilisé depuis longtemps en Afrique pour réaliser la partie immergée des puits en grand diamètre (appareils Benoto) ; on utilise généralement une benne à coquilles de 30 à 75 litres de capacité manoeuvrée à l'aide d'une grue derrick. Le creusement se fait sous la nappe à l'intérieur de la colonne de captage Ø 1,40/1,60 m qui descend par havage sous son propre poids.

Il existe des appareils fonctionnant sur le même principe et permettant de réaliser la totalité du puits dans un diamètre allant jusqu'à 1,50 m. Nous décrivons ci-dessous l'un de ces appareils (La SECMI TP1), dont l'originalité est en outre de pouvoir traverser des roches dures grâce à l'utilisation de bennes trépan très lourdes. Cette machine utilisée assez couramment dans le Nord de la France, a jusqu'ici peu travaillé en Afrique (1) Les indications que nous donnons ci-dessous, concernant notamment la méthode de tubage demanderont donc à être confirmées à la lumière des premières expériences qui auront été faites en Afrique.

4.2.1. Principe :

Ce type de machine comprend un treuil de forte puissance (10 t) travaillant à brin direct et permettant de manier des outils ou des bennes pesant jusqu'à 5 tonnes avec de grandes vitesses de descente et de remontée.

La benne est un cylindre métallique lourd muni à sa base de deux ou trois pièces mobiles, les coquilles, articulées autour d'axes horizontaux. Les coquilles sont commandées par des mécanismes à bielles qui leur donnent deux positions. En position ouverte, les coquilles présentent vers le bas un tranchant circulaire suivant un diamètre égal au diamètre de forage (et supérieur au diamètre du corps de la benne). En position fermée, les coquilles sont jointives et forment à la base de la benne une cavité où sont retenus les déblais ramassés par les coquilles au cours de leur fermeture.

La benne suspendue au câble du treuil est descendue dans les puits coquilles verrouillées en position ouverte. Elle est lâchée en chute libre à la fin de son parcours. Les coquilles pénètrent plus ou moins dans le terrain et sont déverrouillées automatiquement.

Nota : (1) Elle a été utilisée par une entreprise en Guinée Bissau, mais nous ne connaissons pas les résultats de cette campagne. Son utilisation est prévue sur un projet pilote au Niger.

Voir en annexe, les caractéristiques de 2 machines de ce type : la SECMI TP1 et la GALINET TEKNIFOR MB750.

Quand le treuil tire sur le câble, un dispositif mécanique comprenant un mouflage et des bielles, situé dans le corps de la benne, ferme les coquilles sans soulever la benne, ce qui a pour effet d'enfermer un volume de déblais à la base de la benne. Quand les coquilles sont fermées, le treuil ramène rapidement la benne au jour. Des dispositifs à cliquets permettent d'accrocher la benne au-dessus du puits. On interpose alors automatiquement entre la benne et le puits ouvert un récipient qui recueillera les déblais dont on provoque la chute en relâchant du câble, ce qui a pour effet d'ouvrir les coquilles et de les verrouiller en position ouverte. En tirant sur le câble, on décroche automatiquement la benne qui est prête pour un autre cycle.

La descente en chute libre au frein, la remontée rapide de la benne et le dispositif automatique de vidage permettent d'obtenir des vitesses d'avancement très importantes en bon terrain.

Pour tenir les terrains instables, il faut mettre en place une colonne provisoire qui est descendue par gravité et dont l'extraction en fin de forage peut se faire à l'aide d'une loupoyeuse.

4.2.2. Description :

Sondeuse :

Dans sa version la plus complète, la sondeuse comprend :

- un treuil de 10 t ☺
- un treuil de curage de 3 t
- une flèche articulée de 9 m
- un chargeur automatique de déblais
- un dispositif annexe de battage automatique
- une tubeuse loupoyeuse.

L'ensemble entraîné par un moteur de 110 CV, est monté sur un camion 6 x 6 (voir fiches descriptives en annexe 6.2).

Outils :

La SECMI construit deux types de bennes :

- une benne à deux demi-coquilles hémisphériques pour terrains meubles, (fig.30)
- une benne à trépan lourde, pour terrains durs ; cette benne est conçue de telle manière que les chocs sont supportés par des butées spéciales faisant corps avec la benne elle-même et non pas seulement par les axes des coquilles, comme c'est le cas habituellement, (fig.31).
- la gamme des outils comprend en outre des alésoirs et l'outillage classique du forage au battage : trépans en croix, soupapes, etc...

4.2.3. Méthode d'exécution :

Forage :

En terrains consolidés, on fore directement à la benne à trépan sans soutènement.

En terrains non consolidés, on fore à la benne à coquilles hémisphériques, en mettant en place si nécessaire un ou des tubages métalliques de travail. L'utilisation de plusieurs tubages, télescopés les uns dans les autres, doit pouvoir s'envisager (comme pour la tarière).

Dans la nappe, on procède également avec la benne à coquilles hémisphériques à l'abri d'un tubage provisoire qui descend par havage.

Cuvelage :

Trois types de cuvelage peuvent être envisagés :

- . buses en béton
- . tubage métallique
- . tubage en PRV (1) ou matériau similaire.

- Buses en béton : Les buses qui s'emboîtent les unes dans les autres et mesurent environ 1 mètre de hauteur et 8 à 10 cm d'épaisseur, sont mises en place à l'abri du tubage provisoire descendu normalement jusqu'à la profondeur finale. Un massif de gravier est mis en place autour des buses depuis la surface. L'utilisation de buses, qui paraît encore à l'heure actuelle le système le plus économique, conduit à une réduction de diamètre importante, comme on peut en juger d'après le tableau théorique suivant (2) :

Colonne de tubage provisoire	DIAMETRES (m m)		
	Forage	Tubage provisoire	Buses
1 seul diamètre	1500	1300/1280	1100/900
2 diamètres télescopés	1500 1250	1300/1280 1100/1080	900/700
3 diamètres télescopés	1500 1250 1050	1300/1280 1100/1080 900/880	700/650

Nota : (1) Polyvinyle renforcé fibres de verre

(2) Diamètres purement fictifs tenant compte d'un jeu de 150 à 200^{mm} entre un tubage et le trou et de 30 mm entre un tubage et l'outil que l'on peut introduire dedans.

L'emploi des buses présente une difficulté qui est le risque de désarticulation de la colonne par poinçonnement si la base ne repose pas sur des terrains stables et si les buses ne sont pas rendues solidaires entre elles ; on peut parer en partie à cette difficulté en descendant les buses par groupes de 3 ou 5 buses boulonnées entre elles.

- Tubage métallique : L'équipement du puits avec un tubage métallique (avec crépines et massif filtrant dans la partie en eau) permet d'obtenir un diamètre final de puits plus grand, mais cela pose des problèmes de transport importants (poids et surtout encombrements) et c'est une solution chère (1) Cette solution nous paraît exclue à grande échelle.
- Tubage en PRV ou matériau analogue : Ce type de matériau représente certainement une solution d'avenir et est déjà utilisé pour les casings de forage mais nous n'en connaissons qu'un exemple d'application pour les puits (FOREXI). Son intérêt est sa légèreté et la possibilité d'être fabriqué en principe dans le pays utilisateur. Lorsqu'il est importé c'est un matériau encore cher environ 85000 FCFA/ml départ usine pour du tube Ø 1200 fabriqué en France (2).

4.2.4. Contraintes :

Beaucoup d'inconnues restent, selon nous, à résoudre avant que cette machine puisse remplacer efficacement le fonçage des puits par les méthodes classiques :

diamètre et profondeur qui peuvent être atteints pratiquement et économiquement, et, par voie de conséquence, diamètre intérieur des buses qui conditionne le débit d'exploitation du puits. La possibilité de réaliser plusieurs puits forés au même endroit pour remplacer un puits classique ne vaut en effet que si cette méthode de forage est nettement moins chère.

méthode de tubage : La tenue des parois pendant le forage et la bonne tenue du cuvelage mis en place constituent le problème clé de cette méthode. Si l'on écarte la solution trop onéreuse du tubage métallique définitif, et celle du tubage en PRV qui n'a pas encore fait ses preuves, l'équipement du puits avec des buses en béton armé apparaît actuellement comme la seule méthode envisageable et économique.

Nota : (1) A titre d'exemple : 150.000 FCFA/ml départ usine pour un tubage Ø 1320 mm de 10 mm d'épaisseur, en longueurs de 1 m chanfreinées aux extrémités.

(2) L'utilisation de buses en bois comprimé et collé, résistant aux termites, démontables en secteurs pour le transport, mériterait d'être étudiée, si des fabrications en grande série pouvaient en abaisser le coût (buses OBO).

approvisionnement : la quantité de matériaux à mobiliser et de buses à fabriquer sur place en un temps réduit posera un problème de logistique, si l'on veut assurer le plein rendement de la machine (20 t de buses et 15 à 20 t de matériaux divers à approvisionner pour chaque puits de 40 m).

4.2.5. Domaine d'utilisation :

Ce type de machine conçu pour le forage en grands diamètres dans des formations tendres mais capable de passer occasionnellement des couches moyennement dures ou dures, convient sans aucun doute pour des terrains sédimentaires comme le Continental Terminal ou le Continental Intercalaire et pour les arènes profondes inaccessibles avec la Calweld.

L'intérêt principal de ce type d'atelier doit résider dans la rapidité d'exécution d'ouvrages exploitables par exhaure traditionnelle. Bien qu'offrant des capacités d'exploitation plus réduite que le puits à main de 1,80 m de diamètre, ces ouvrages devraient convenir pour d'importants programmes éventuels d'hydraulique pastorale.

4.3. Machines de battage

Avec des ateliers de battage puissants, il est possible de forer des trous de 1,50 à 1,20 m de diamètre jusqu'à une centaine de mètres de profondeur.

Le diamètre final des puits réalisés de cette manière est loin, toutefois, de permettre avec l'exhaure traditionnelle, un débit comparable à celui des puits faits à la main. La mise en oeuvre de ce matériel s'accompagne, en outre, de sujétions importantes et comporte plus d'aléas que le forage des puits à la main.

4.3.1. Principe

Le matériel utilisé est du type de celui décrit en Annexe 6.3. (WALKER NEER S46A).

Le forage est réalisé à l'aide de tréfans d'environ 3 tonnes. Dans un terrain assez tendre et cohérent où le problème de tenue des parois ne se pose pas, l'avancement est de 5 à 10 m/jour.

En terrain instable, la tenue des parois est réalisée avec des tubages métalliques provisoires soudés ou de préférence vissés. L'emploi d'une tubeuse-louvoyeuse permet d'accroître sensiblement la profondeur d'enfoncement des tubes de travail.

Bien que nous ne connaissions pas d'exemples d'utilisation de ce type de machine en Afrique de l'Ouest, il est probable que, pour réaliser un puits d'une cinquantaine de mètres dans les formations sédimentaires récentes, on soit obligé d'utiliser plusieurs colonnes de diamètres différents télescopées les unes dans les autres. Le tableau suivant établi de manière purement théorique en tenant compte des intervalles à laisser entre les parois du trou, le tubage et les buses, montre les diamètres utiles que l'on peut obtenir en principe :

Tubage provisoire	DIAMETRES (mm)		
	Forage	Tubage	Buses
1 seul diamètre	1 600	1 400/1 380	1 200/1 000
2 diamètres télescopés	1 600 1 350	1 400/1 380 1 200/1 180	1 000/ 800
3 diamètres télescopés	1 600 1 350 1 150	1 400/1 380 1 200/1 180 1 000/ 980	800/ 600

L'équipement définitif du puits devrait être réalisé, comme dans le cas précédent, avec des buses en béton emboîtées les unes dans les autres ou boulonnées par groupe de 3 ou de 5.

4.3.2. Avantages et inconvénients

Avantages

L'avantage est évidemment la vitesse d'exécution : probablement de l'ordre de 2 à 3 semaines pour un puits de 50 mètres en terrain tendre, contre 5 mois pour un puits de même profondeur (en 1,80 m de diamètre) réalisé à la main.

Inconvénients

Le diamètre final des ouvrages (entre 600 et 1 000, peut-être 1 200 mm) n'autorise qu'un débit assez réduit avec l'exhaure traditionnelle (1 ou 2 delous dans le cas de la traction animale), ce qui leur enlève beaucoup d'intérêt comparativement aux puits classiques.

Comme dans le cas précédent, la tenue des parois en terrain non consolidé est le problème majeur de cette méthode. L'emploi de tubages métalliques provisoires, théoriquement possible, n'est pas courant pour des diamètres et des profondeurs de cet ordre. Sa mise en oeuvre comporte des risques et s'accompagne de sujétions importantes.

Les problèmes de transport et d'approvisionnement (buses et tubages provisoires en particulier) (1) prennent ici une place très importante et tendront à renchérir le coût des ouvrages.

En terrain non consolidé la méthode du battage -havage est certainement beaucoup plus performante ; le battage en grand diamètre ne pourrait donc présenter de l'intérêt que dans le domaine assez réduit des roches consolidées de dureté faible ou moyenne. La vitesse et le coût de la méthode seront augmentés en conséquence.

Nota : (1) Poids de 6 trépons : 18 tonnes
 Poids de 50 m de tubage provisoire Ø 1 400 : 17 tonnes
 Poids de 50 m de buses en béton Ø 1 000 : 25 tonnes

4.3.3. Conclusion : Domaine d'utilisation

Compte tenu de ce qui précède, le domaine d'application du battage en grand diamètre apparaît très limité.

Il ne semble, en effet, pouvoir être compétitif avec les puits à main ou le battage-havage que dans les cas de formations moyennement dures (schistes, calcaires et grès tendres) qui sont le terrain d'élection du battage. Ce n'est que dans ce genre de formations, où l'on souhaiterait à tout prix maintenir l'exhaure traditionnelle qu'il pourrait être envisagé (2). Peut-être devra-t-on dans ce cas chercher à améliorer le rendement du delou pour compenser en partie le handicap de la corde unique (3).

Nota : (2) Peut-être certains secteurs du Gourma ?

(3) Un delou plus grand tiré par plus d'une bête ?

4.4. Forage à la boue en circulation inverse :

Cette méthode est employée dans des conditions très particulières pour effectuer des forages en grand diamètre en terrains tendres. Les machines sont des machines rotary classiques qui se distinguent des machines à circulation directe seulement par la garniture de forage et le dispositif d'aspiration de la boue.

4.4.1. Principe :

La boue (ou l'eau) est aspirée par les tiges de forages au lieu d'être refoulée par celles-ci, ce qui permet d'obtenir une grande vitesse de remontée quelque soit le diamètre du trou. A l'inverse la vitesse de circulation du liquide de forage dans l'espace annulaire est faible et l'érosion des parois est minime. Pour ces deux raisons on peut forer à la boue légère ou même à l'eau. Par contre la dimension du trou, l'obligation de maintenir le niveau dans le forage proche de la surface et les pertes qui ne manqueront pas de se produire, d'autant plus que la nappe sera profonde, occasionnent une grande consommation d'eau. Un trou de 40 mètres de profondeur représente en effet un volume de :

32 m³ s'il est en 1 m de diamètre
 45 m³ s'il est en 1,20 m de diamètre
 71 m³ s'il est en 1,50 m de diamètre

De ce fait il faut compter environ 100 m³ d'eau pour réaliser un forage de 1 m de diamètre et de 40 ou 50 m de profondeur.

Dans certains cas, les foreurs prélèvent cette eau dans un forage en petit diamètre qu'ils ont réalisés auparavant à côté du forage définitif.

La circulation inverse permet de réaliser des forages jusqu'en 1,60 ou 1,80 m de diamètre avec des vitesses d'avancement spectaculaires. Son emploi, nous le verrons, est sujet à un certain nombre de contraintes qui en limitent l'intérêt dans le cas de l'Afrique.

4.4.2. Description :

Dispositif d'aspiration :

L'aspiration dans les tiges de forage peut être obtenue de diverses manières :

- par un système de Venturi (jet éducteur) créant une dépression dans la colonne à partir d'une pompe centrifuge à fort débit. Ce système est semble-t-il le plus efficace et celui qui permet d'obtenir la dépression maximale.

- par une pompe centrifuge de grande dimension (assistée d'une pompe d'amorçage) aspirant directement dans la colonne ; à partir d'une certaine profondeur, la pompe peut être relayée par :
- un dispositif d'airlift créant une émulsion air-eau dans la colonne. Celui-ci nécessite un compresseur débitant environ 10 m³/mn à 8,8 bars.

Tige de forage :

Les tiges sont d'un type, spécial différent des tiges rotary à circulation directe : ce sont des tiges lisses intérieurement, à raccords par brides en longueur de 3 m (pour permettre le réamorçage de la pompe après chaque changement de tige) ; on utilise les diamètres suivants :

Diamètre intérieur de la tige	Diamètre de forage
6"	1 à 1,20 m
8"	1,20 à 1,60 m
10"	1,60 m

Trépans :

Ce sont des trépans à lames multiples. La consommation d'outils est beaucoup plus faible que dans le rotary classique (peu de poids sur l'outil, évacuation rapide des déblais d'où forces de frottement faibles).

4.4.3. Contraintes :

Les contraintes sont de trois ordres :

- les besoins en eau sont importants, ce qui constitue bien entendu un handicap majeur en zone sahélienne.
En outre il n'est pas sûr que la solution qui consiste à creuser un forage annexe pour l'alimentation en eau soit économiquement viable.
- cette technique ne permet pas de traverser des couches dures de par la conception même de la machine ; poids sur l'outil faible, tiges peu épaisses donc fragiles, trépan conçu pour le découpage de roches non cohérentes. Elle exige donc une connaissance préalable très précise des terrains.
- tubage : les forages réalisés de cette manière sont tubés en principe avec un tubage métallique avec crépines et massif filtrant. La descente de buses en béton armé dans ce gendre d'ouvrage nous paraît exclue pour des raisons de stabilité du trou, à moins d'être faite à l'abri d'un tubage métallique provisoire ce qui enlèverait

à notre avis, beaucoup d'intérêt à la méthode. On en revient donc à une question de coût, le tubage métallique définitif étant une solution chère.

4.4.4. Domaine d'utilisation :

Pour les raisons exposées ci-dessus, l'utilisation de cette méthode nous paraît devoir rester marginale en Afrique de l'Ouest. L'un de ses domaines d'application privilégiés est par exemple la réalisation de forages à fort débit dans les alluvions (Afrique du Nord).

ENTRETIEN ET CONSOMMATION

5.1. Entretien

5.1.1. Durée de vie et coût de l'entretien de différents types d'atelier

En supposant une maintenance normale, on peut avancer pour les différents types de sondeuse une durée de vie de l'ordre de :

sondeuse hydraulique tête de rotation	: 7 à 10 ans
sondeuse rotary-mécanique	: 15 à 20 ans
sondeuse au battage	: 20 ans ou plus.

Les frais d'entretien varient d'un atelier à l'autre à peu près dans les mêmes proportions :

Sondeuse hydraulique tête de rotation : de 6 à 13 % du prix de la machine la première année, puis coût croissant les années suivantes (probablement au moins 20 % dès la cinquième année).
 Sondeuse rotary-mécanique : 15 % par an du prix de la machine, quelle que soit l'ancienneté.
 Sondeuse au battage : 5 % par an du prix de la machine.

Ces chiffres sont donnés à titre indicatif. Ils peuvent varier sans doute beaucoup selon les conditions d'utilisation, même en supposant que l'entretien soit régulier. Ils sont néanmoins révélateurs des différences qui existent d'un type d'appareil à l'autre.

5.1.2. Entretien d'une sondeuse hydraulique tête de rotation

Sur les machines hydrauliques rotary-MFT qui sont des machines à haut rendement, l'entretien revêt une importance particulière. Il nécessite :

- un appui mécanique important (base) (1)
- un stock suffisant de pièces de rechange
- un entretien régulier et attentif au niveau du chantier.

Sur le chantier, il faut compter 3/4 h à 1 heure de maintenance quotidienne. Le tableau de l'Annexe 3.12 donne, à titre d'exemple, un aperçu des normes d'entretien pour une machine haut de gamme. (points de contrôle quotidiens, renouvellement des huiles et des filtres). On remarque qu'il y a sept types d'huiles différents.

Le coût de l'entretien est estimé par le constructeur à 0,000055 fois le prix de la machine (2) par heure de marche lorsqu'elle est utilisée en rotary à l'air, et 0,00011 fois celui-ci lorsqu'elle est utilisée avec le marteau fond de trou. Ce prix inclut le marteau, mais ni les

Nota : (1) On compte en général un mécanicien hautement qualifié pour 3 machines
 (2) Camion porteur + sondeuse + compresseur + train de sonde et accessoires.

tricônes ni les taillants. Il comprend environ 1/3 de main d'oeuvre et lubrifiants et 2/3 de pièces de rechange. Avec une utilisation moyenne de 1200 h par an (12 h de fonctionnement pour un forage de 50 m, soit un rendement de 4,2 m/h) et un coût de la machine de 100 millions de FCFA, cela correspond respectivement à 6,6 % et 13,2 % par an du coût de la machine.

Le doublement du prix avec le marteau s'explique par le remplacement du marteau (un marteau fait 2 000 à 6 000 m (1) et consomme durant ce temps 30 % des pièces détachées) et le coût de l'huile pour lubrifier celui-ci (2l/heure en moyenne; plus, si on fore à la mousse).

Ce chiffre correspond, à peu près, semble-t-il aux chiffres donnés par les utilisateurs, au moins pour les 1 ou 2 premières années. Le coût de l'entretien augmente ensuite d'année en année et se situe probablement autour de 20 % la cinquième année.

5.2. Consommations

Nous donnons en Annexe 3.12. quelques éléments sur les consommations en nous basant notamment sur l'exemple d'un chantier récent en Côte d'Ivoire.

D'une manière générale, il est difficile d'indiquer des chiffres absolus les consommations variant considérablement d'un cas à l'autre (en fonction du terrain et de l'utilisateur essentiellement); tout au plus, peut-on indiquer quelques fourchettes des valeurs reconstruites habituellement :

Durée de vie des outils :

Marteau fond de trou : de 2 000 à 7 000 m
 taillant : de 200 à 600 m
 tricône à dent : de 500 à 1000 m (altérites et roches tendres)
 tricône à pastilles : 1 500 m et plus (altérites et roches tendres à dures).

Consommations :

Huile marteau : 2 l/h (2,5 si on fore à la mousse)
 Mousse : environ 30 l pour un forage de 50 m
 Eau : 2 à 3 m³ pour un forage de 50 m
 (Forage à l'air uniquement).
 Autres produits et lubrifiants : voir Annexe 3.12.

Nota : (1) Plus souvent 2 000 m d'après ce que nous avons pu observer.

6. CONCLUSIONS SUR LE CHOIX D'UNE METHODE DE FORAGE

Rappelons que le choix d'un type d'ouvrage dépend essentiellement, outre des conditions géologiques, de facteurs humains (besoins en eau, type d'exhaure) et économiques (prix de revient et rentabilité du mètre cube d'eau extrait et utilisé).

Les limites techniques d'emploi des méthodes de forage sont fondées quant à elles, sur trois paramètres : nature du terrain, diamètre et profondeur de l'ouvrage.

Diamètre :

Les forages en petit diamètre, de 40 à 250 mm par exemple, sont du ressort des techniques suivantes :

- battage au câble
- rotary à la boue
- rotary à l'air
- marteau fond-de-trou.

Les forages en grand diamètre, de 600 à 1.500 mm, sont du ressort du :

- battage au câble
- forage à la tarière-bucket
- forage à la benne preneuse
- rotary en circulation inverse.

Le rotary à la boue et le battage conviennent pour les diamètres intermédiaires.

Profondeur :

Rotary à la boue : pas de limite technique. Disons 1.000 m et plus.

Rotary à l'air : 200 à 250 m environ avec une pression de 17,5 bars.

Marteau fond-de-trou : 200 à 250 m avec la haute pression.

Battage : 150 m en 15" et 300 m en 10" avec les machines de classe moyenne décrites en annexe. Cependant on ne l'emploie guère au delà de 100 ou 150 m.

Battage en grand diamètre : 80 à 100 m en 1,50 à 1,20 m de diamètre.

Tarière-bucket : 29 m.

Benne-preneuse : théoriquement, une centaine de mètres, mais cela dépend des techniques de tubage qui seront mises au point. Actuellement il paraît difficile d'envisager des forages à plus de 40 ou 50 m.

Rotary en circulation inverse : jusqu'à 300 m en 1,20 m de diamètre.

Nature du terrain :

Seule la technique du marteau fond-de-trou est adaptée au forage de terrains durs ou très durs dans des conditions économiques.

Le rotary à la boue se caractérise comme la seule méthode permettant de réaliser des forages profonds en terrains non cohérents. Il permet de traverser des roches de duretés variées, à l'exception des roches dures ou très dures (sauf occasionnellement).

Le rotary à l'air paraît, quant à lui, ne pouvoir être employé que dans des terrains cohérents tendres ou assez tendres.

Le battage convient dans les terrains assez cohérents tendres ou moyennement durs. Il peut présenter un avantage sur le rotary pour des profondeurs pas trop grandes ou dans certaines formations occasionnant des pertes de boue (calcaires karstiques, par exemple).

Les méthodes de forage en grand diamètre (à l'exception du battage), ne permettent de traverser que des formations tendres dans leur ensemble, la circulation inverse étant plus particulièrement adaptée au forage dans les formations très hétérogènes (comportant des blocs et galets, par exemple).

Le tableau de la page suivante, inspiré du rapport (8), reprend les éléments essentiels concernant les machines de forage en petit diamètre, ce type d'ouvrage représentant la très grande majorité des forages à réaliser en Afrique de l'Ouest dans les années qui viennent.

TABLEAU COMPARATIF DES MATERIELS DE FORAGE (1)

I - CARACTERISTIQUES GENERALES	BATTAGE	ROTARY A LA BOUE	PERFORATRICE MARTEAU-FOND-DE-TRou	ROTARY A L'AIR (+ marteau-fond-de-trou)
	PRINCIPE DE PERFORATION	Rotation et pression sur l'outil	Percussion par marteau pneumatique en fond de trou	Rotation et pression sur l'outil
DOMAINE D'UTILISATION	large	large	étroit	étroit ((large avec le marteau) Terrain cohérent)
	spécifique	Terrain meuble	Roches très dures	Terrain tendre (+très dur avec marteau)
	d'élection	Terrain moyen, cohérent	Terrain tendre à moyen	Terrain tendre (+très dur avec marteau)
	impossible	Terrain très dur	Terrain très dur, formations à blocs et galets	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
COMPLEXITE DU MATERIEL	Très simple	Variable suivant type d'entraînement	Simple quand entraînée par l'air comprimé	Variable suivant type d'entraînement
CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE	simples	Déliçates (boue)	Faciles à moyennes	Moyennes à déliçates
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 2000 kg	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 8 T.	10 à 30 T.	3 à 5 T.	5 à 20 T.
Evacuation déblais	Soupapage	boue (parfois eau claire)	air (et mousses)	air (et mousses)
Puissance nécessaire	(par moteur de la sondeuse)	pompe à boue 4"x5" puissance nécessaire 25 à 100 CV	20.000 l/mn à 10 bars pour forage 6 à 6" : moteur 250 CV	20.000 l/mn à 10 bars pour forage 6 à 8" : moteur 250 CV.
DIAMETRE USUEL	6 à 20"	6 à 15"	4 à 8"	6 à 10"
PROFONDEUR MAXIMA	150m en 15" et 300 m en 10" avec les machines moyennes décrites dans ce rapport	500 à 750 m en 10" avec les machines décrites dans ce rapport	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)
VITESSE D'AVANCEMENT				
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 mais cohérent (d)	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

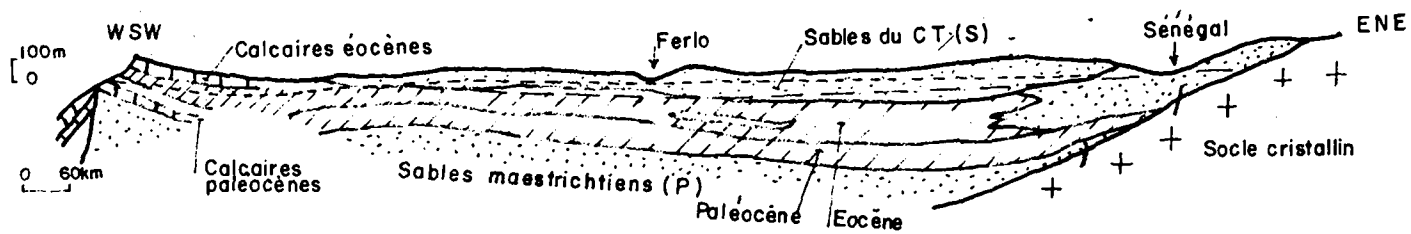
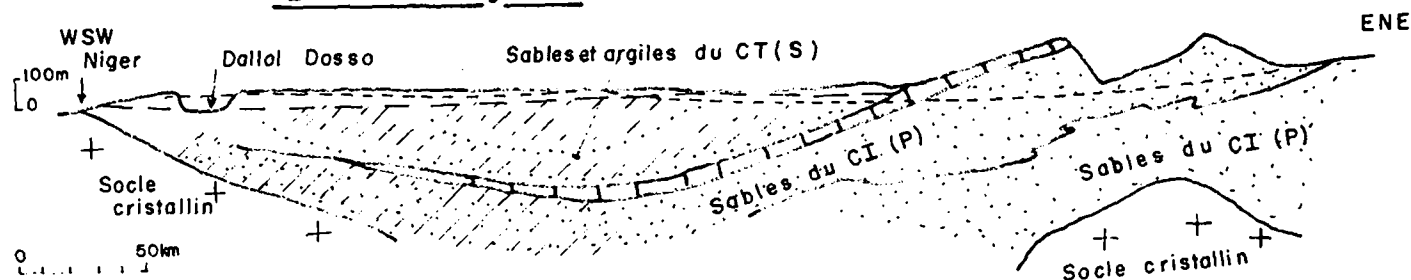
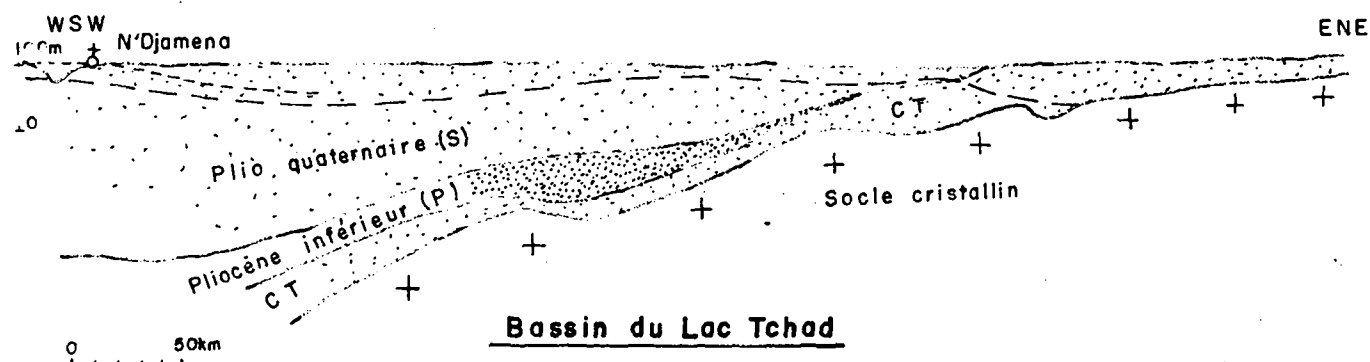
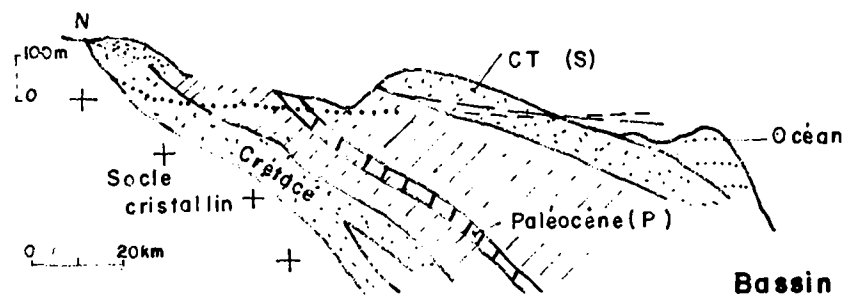
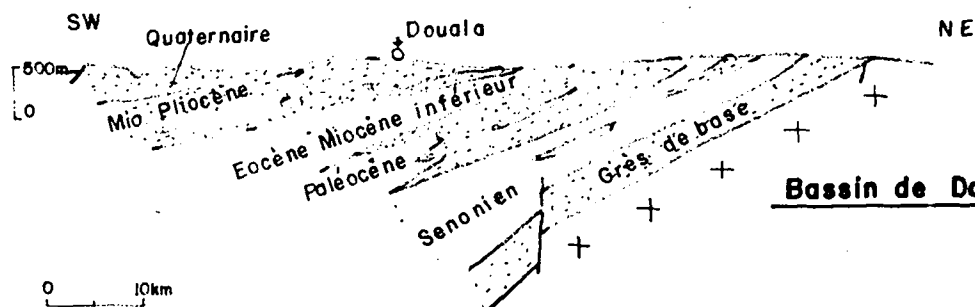
(1) Ajouter pour 2 à 4 ateliers le matériel nécessaire pour une équipe d'essai de débit et installation de superstructures, ainsi que l'outillage d'un atelier mécanique d'appui, soit au total 20 à 30 H. CFA.


Nota : (1) Extrait du rapport (8)

F I G U R E S

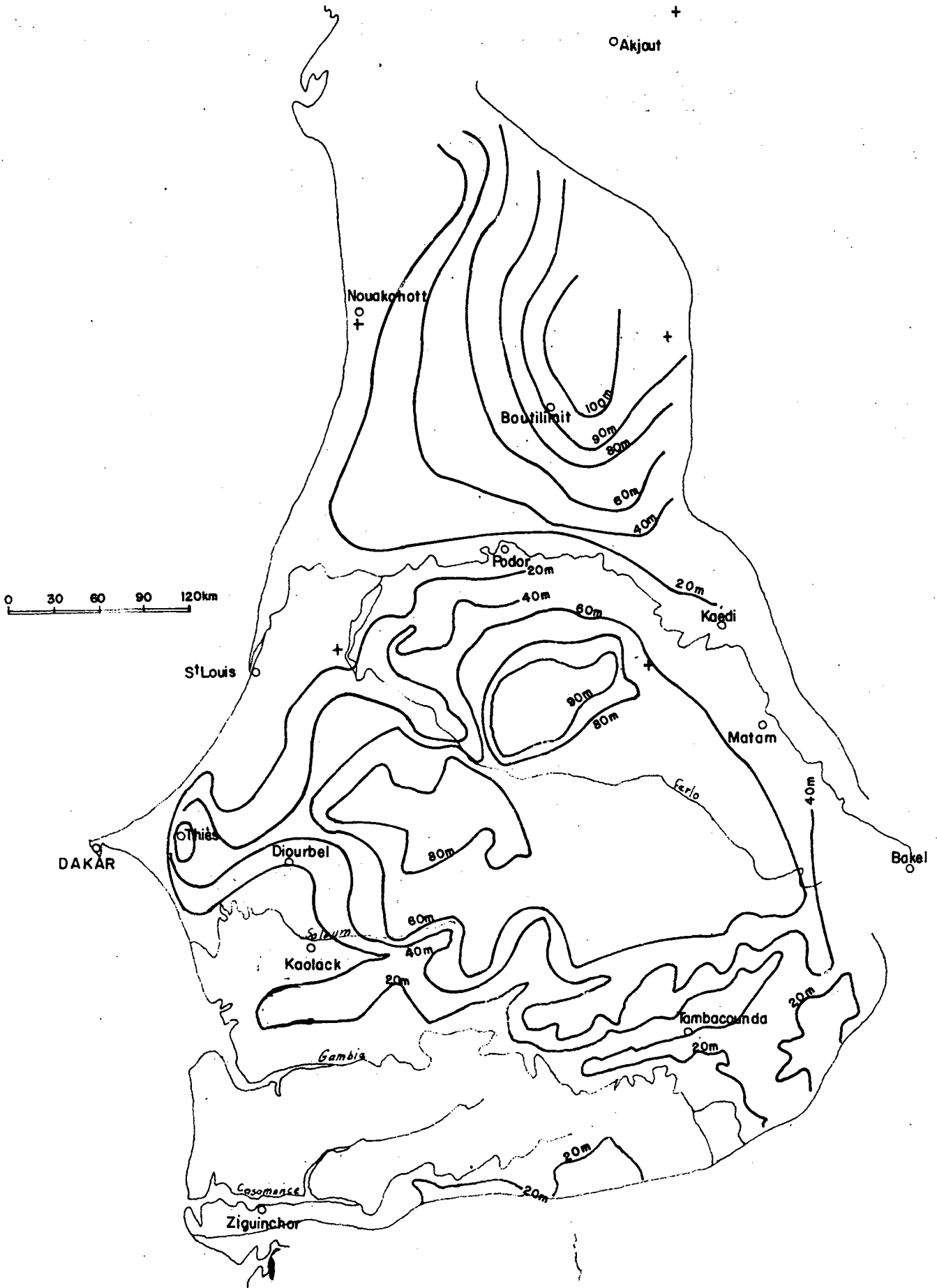
HORS TEXTE

COUPES HYDROGEOLOGIQUES SCHEMATIQUES

**Bassin Sénégalais****Bassin Nigérien****Bassin du Lac Tchad****Bassin Cotier du Bénin****LEGENDE GENERALE**

- Niveau statique de la nappe supérieure (S)
- - - Niveau statique de la nappe profonde (P)
- Niveau statique de la nappe du Crétacé (Bénin)
-  Formations imperméables

CARTE DE PROFONDEUR DE L'EAU SOUS LE SOL
NAPPES PHREATIQUES BASSIN SENEGALO MAURITANIEN

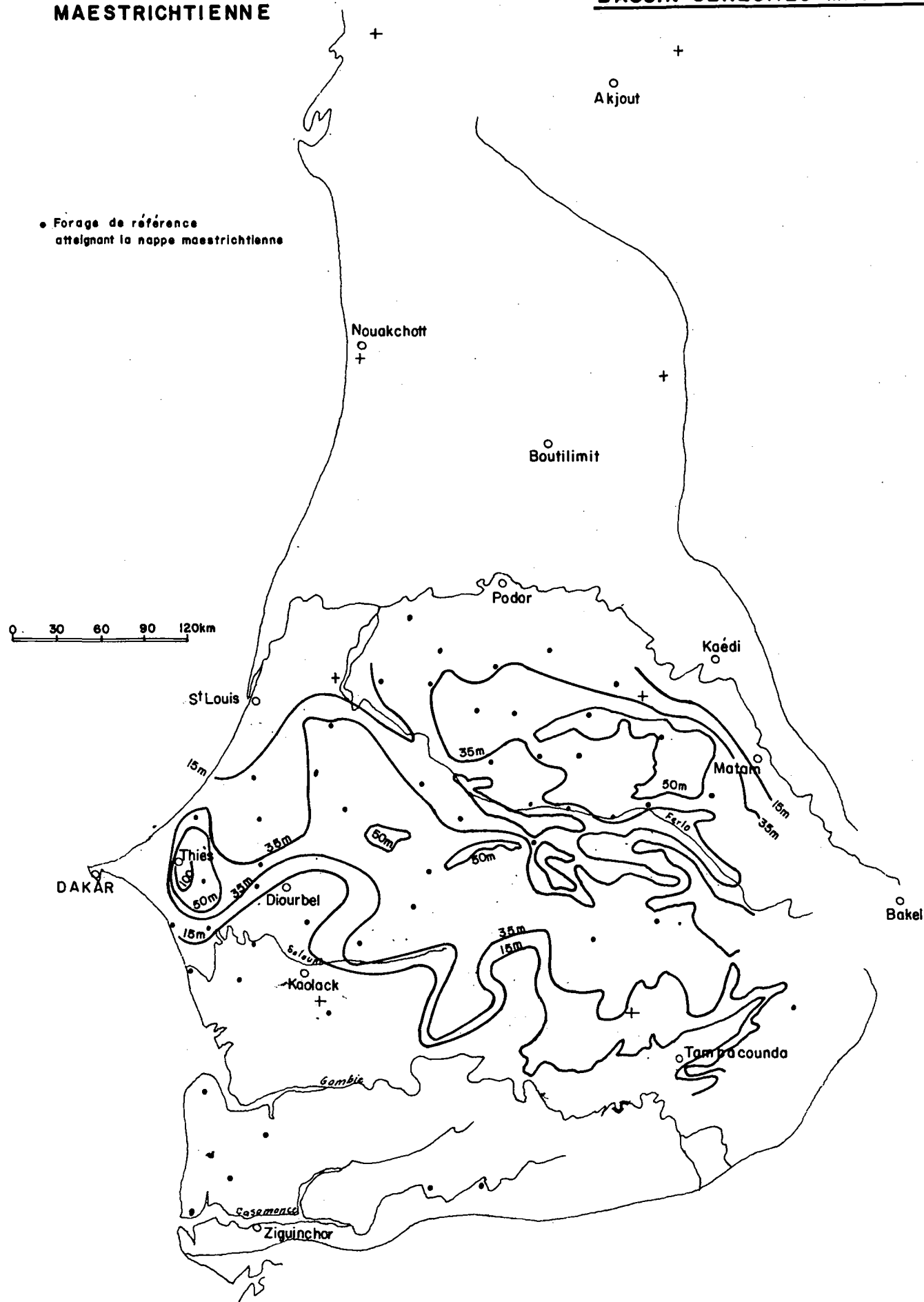


CARTE DE PROFONDEUR DE L'EAU SOUS LE SOL

NAPPE PROFONDE
MAESTRICHTIENNE

BASSIN SENEGALO MAURITANIEN

• Forage de référence
atteignant la nappe maestrichtienne



CARTE DE PROFONDEUR DU NIVEAU PAR RAPPORT AU SOL

PLAINE DU GONDO

Nappe du Continental Terminal

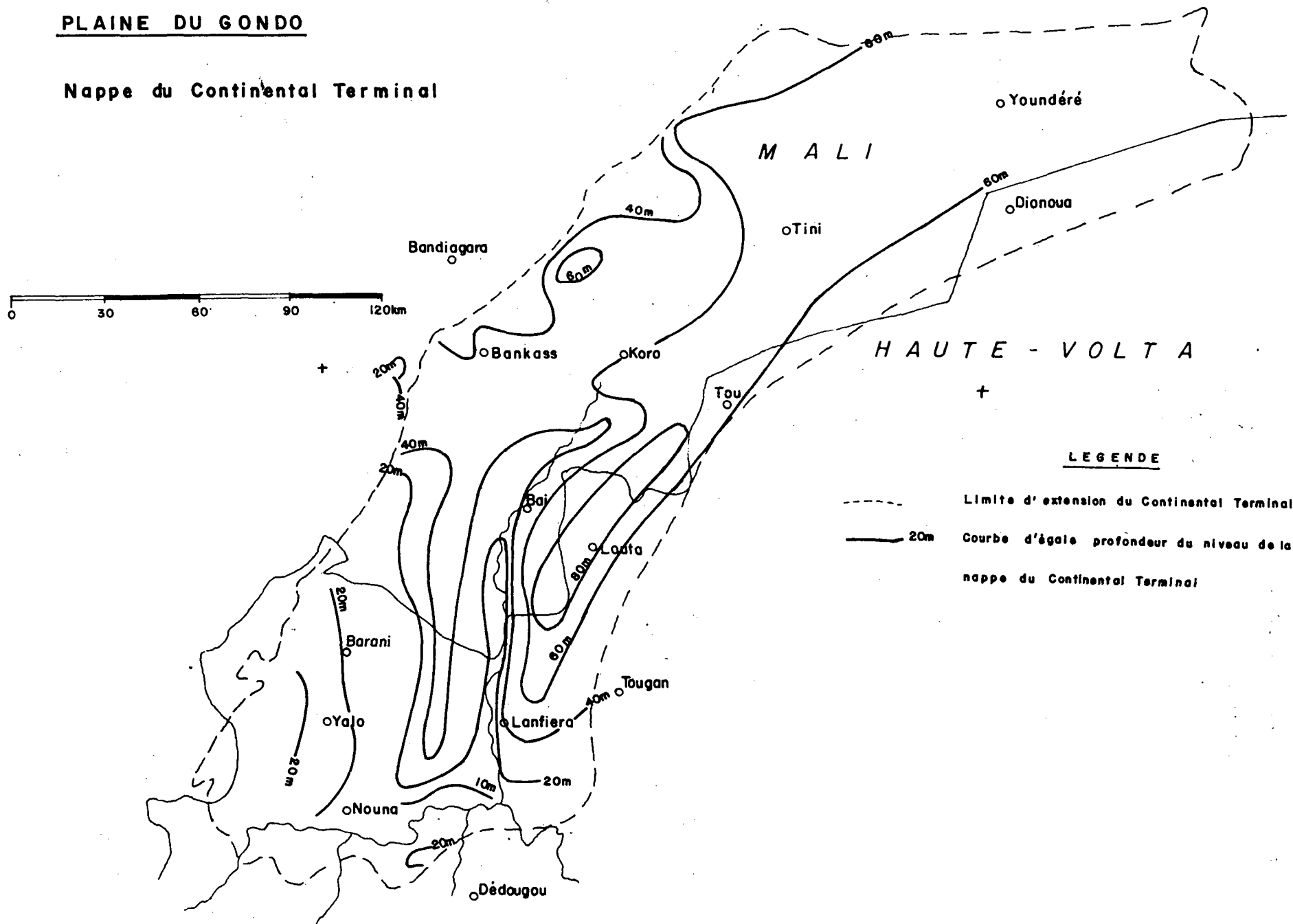
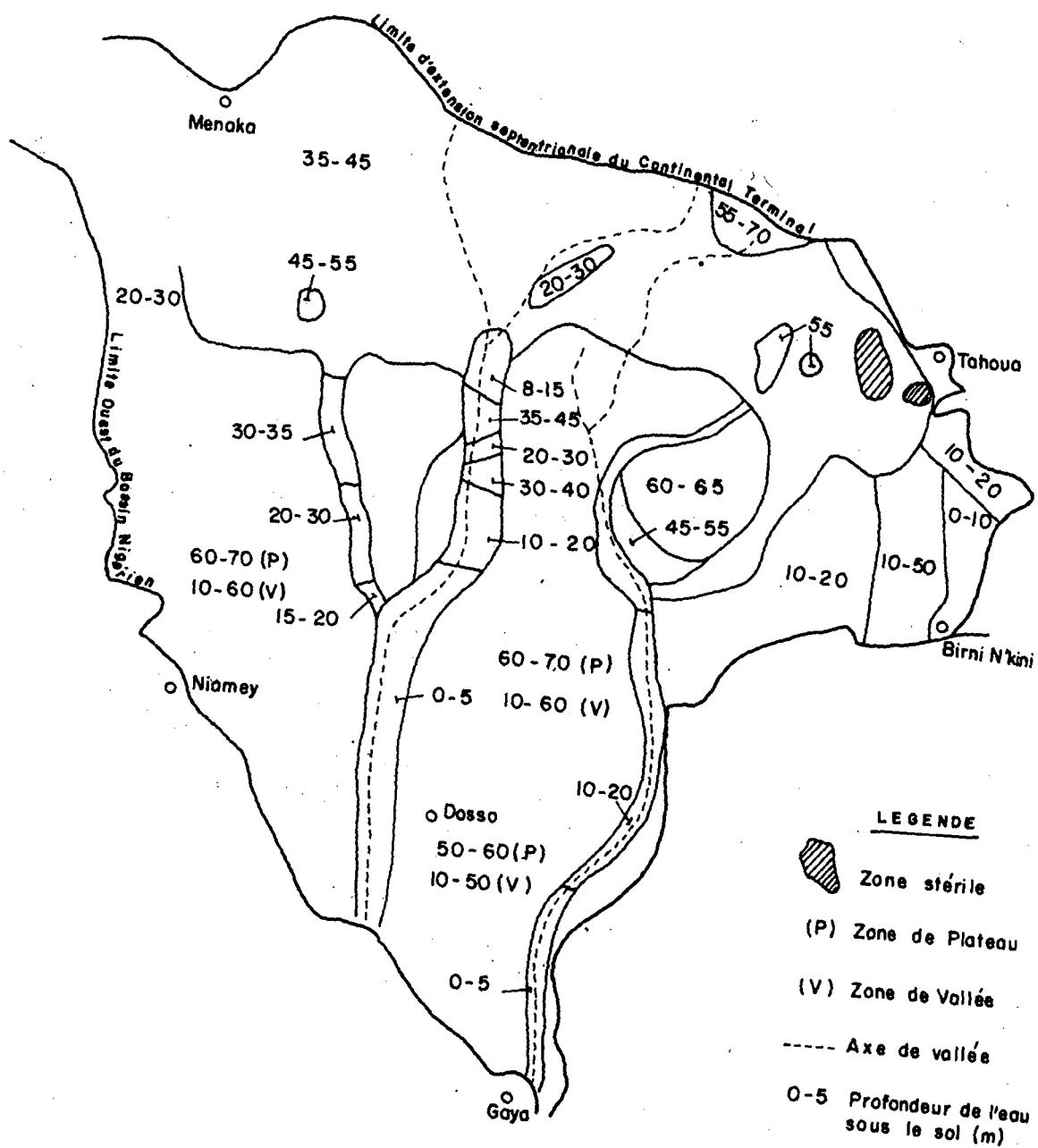


Figure 22

CARTE DE PROFONDEUR DE L'EAU SOUS LE SOL

NAPPE DU CONTINENTAL TERMINAL

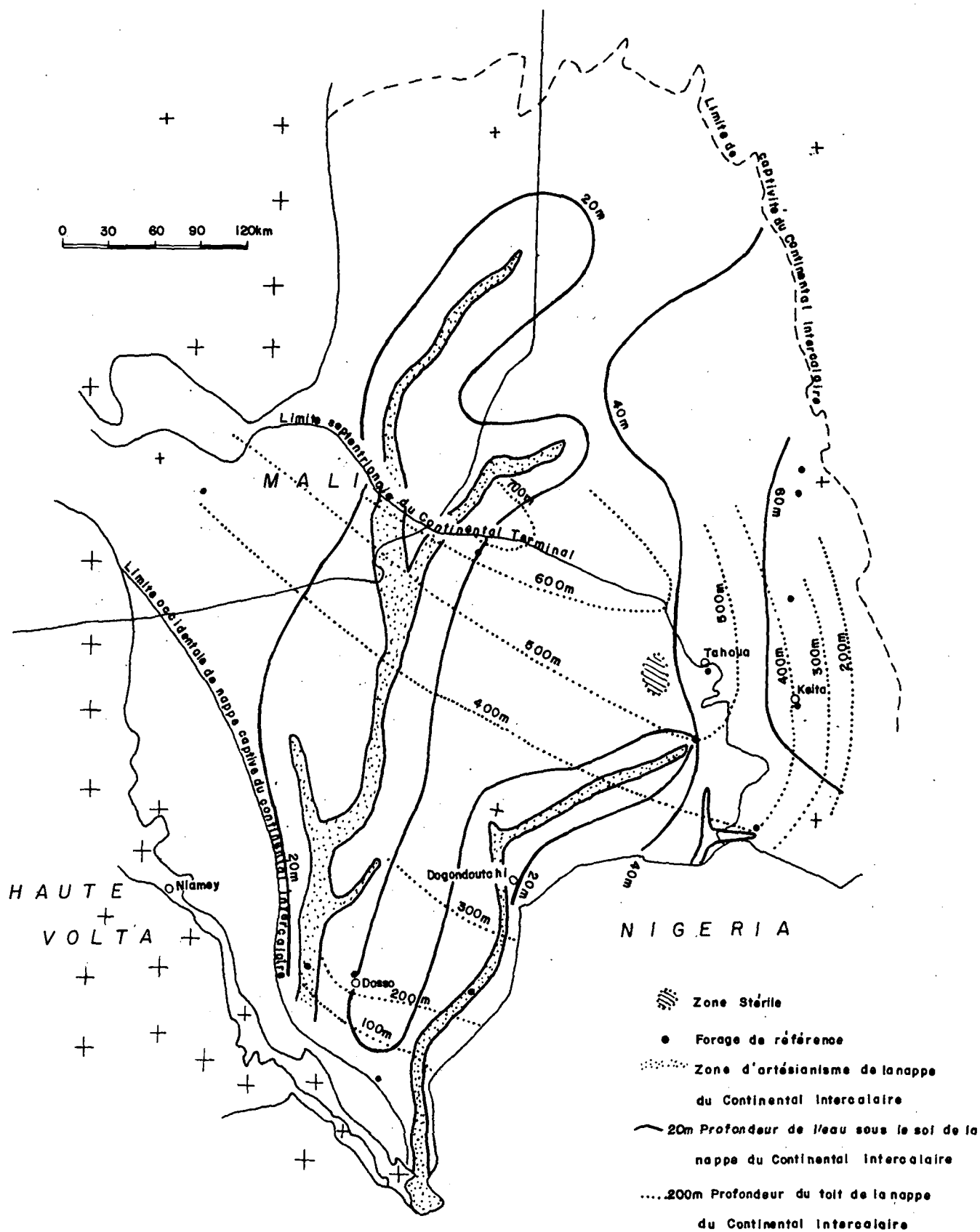
BASSIN NIGERIE



CARTE DE DONNEES SUR LA NAPPE PROFONDE

NAPPE DU CONTINENTAL
INTERCALAIRE

BASSIN NIGERIE



CARTE DE PROFONDEUR DE L'EAU SOUS LE SOL

Séries du Crétacé Supérieur et du Continental Terminal
de l'Est Nigérien

EST NIGERIEN - BORDURE DU LAC TCHAD

Formations plioquaternaires du Lac Tchad

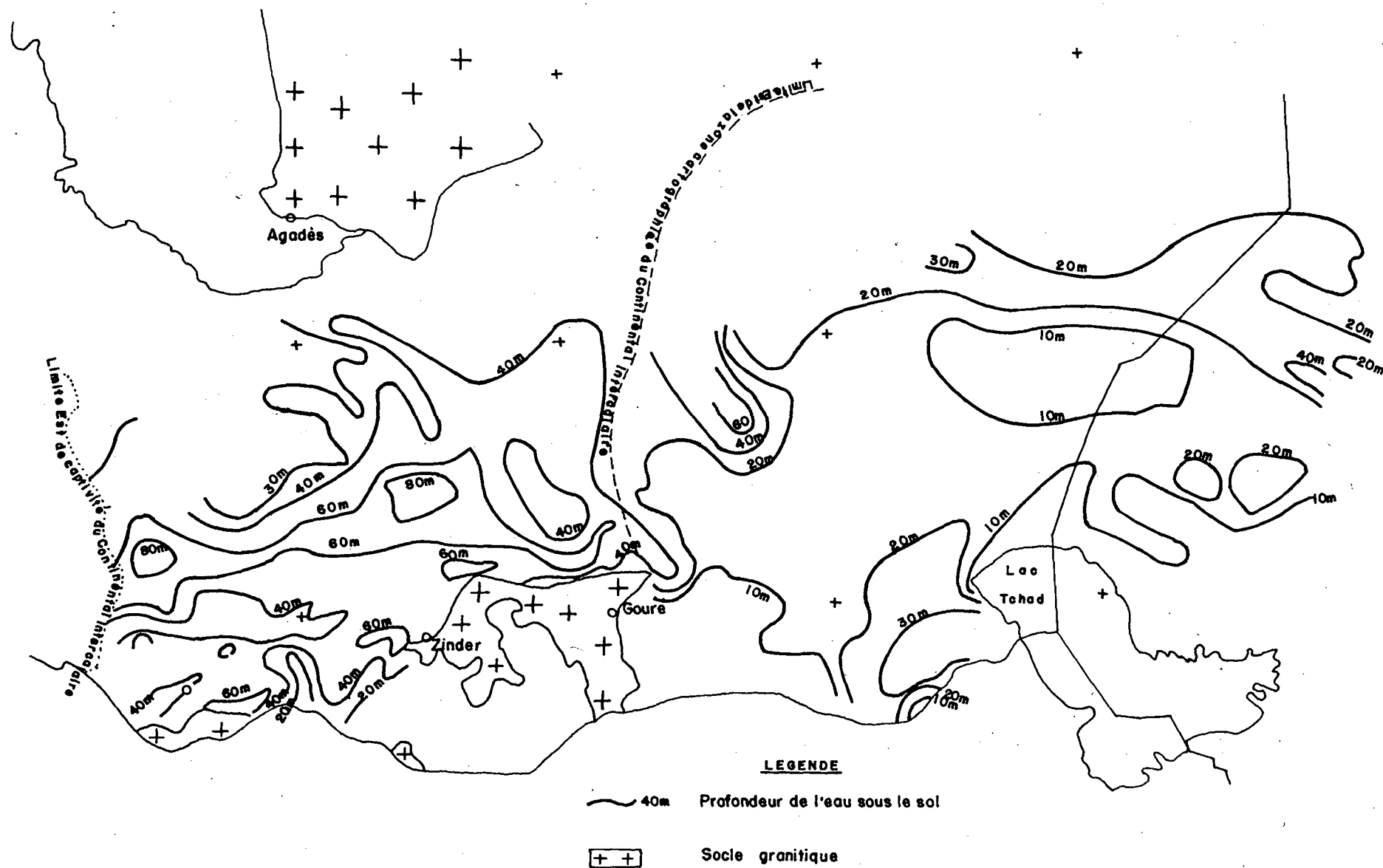
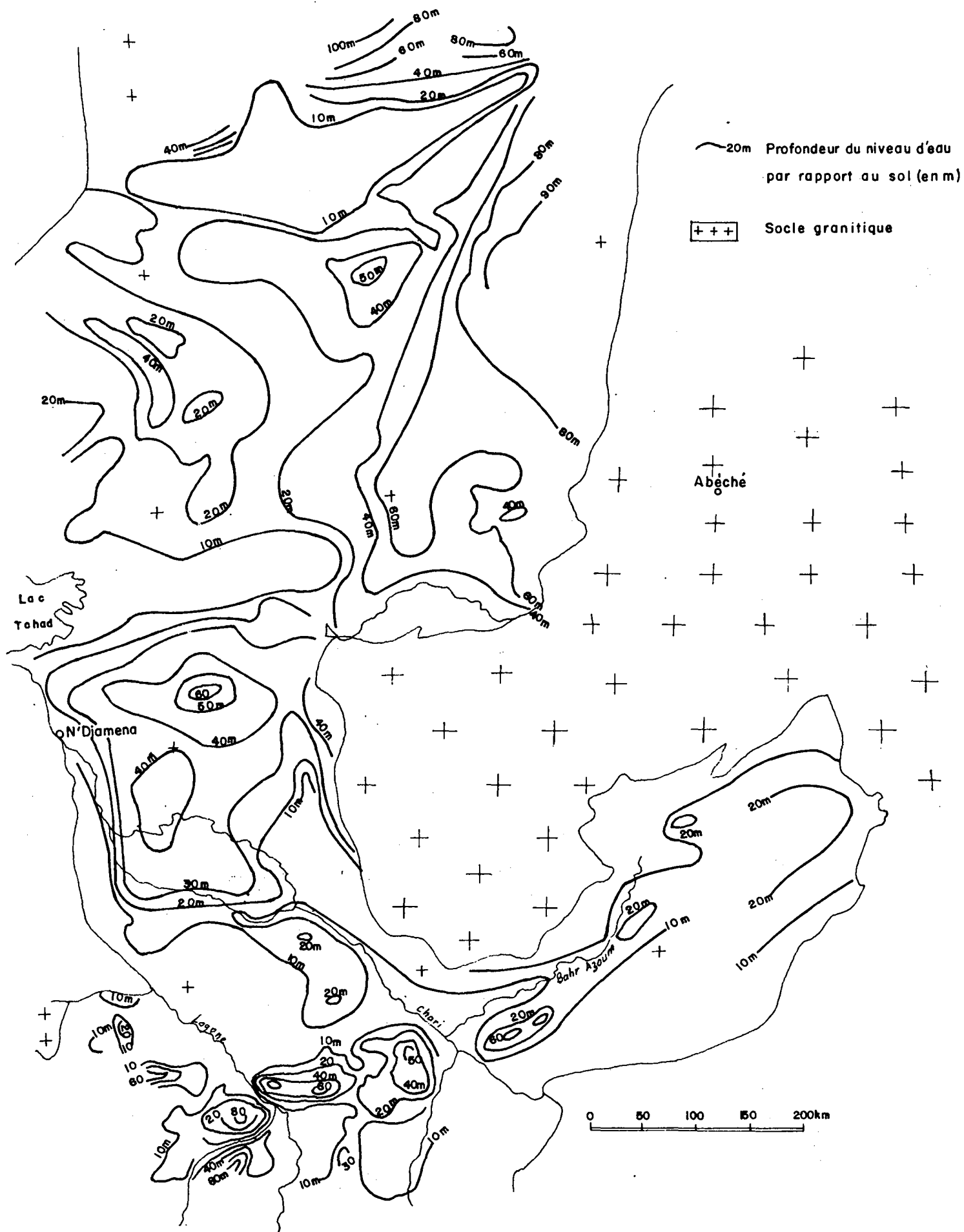


Figure 24

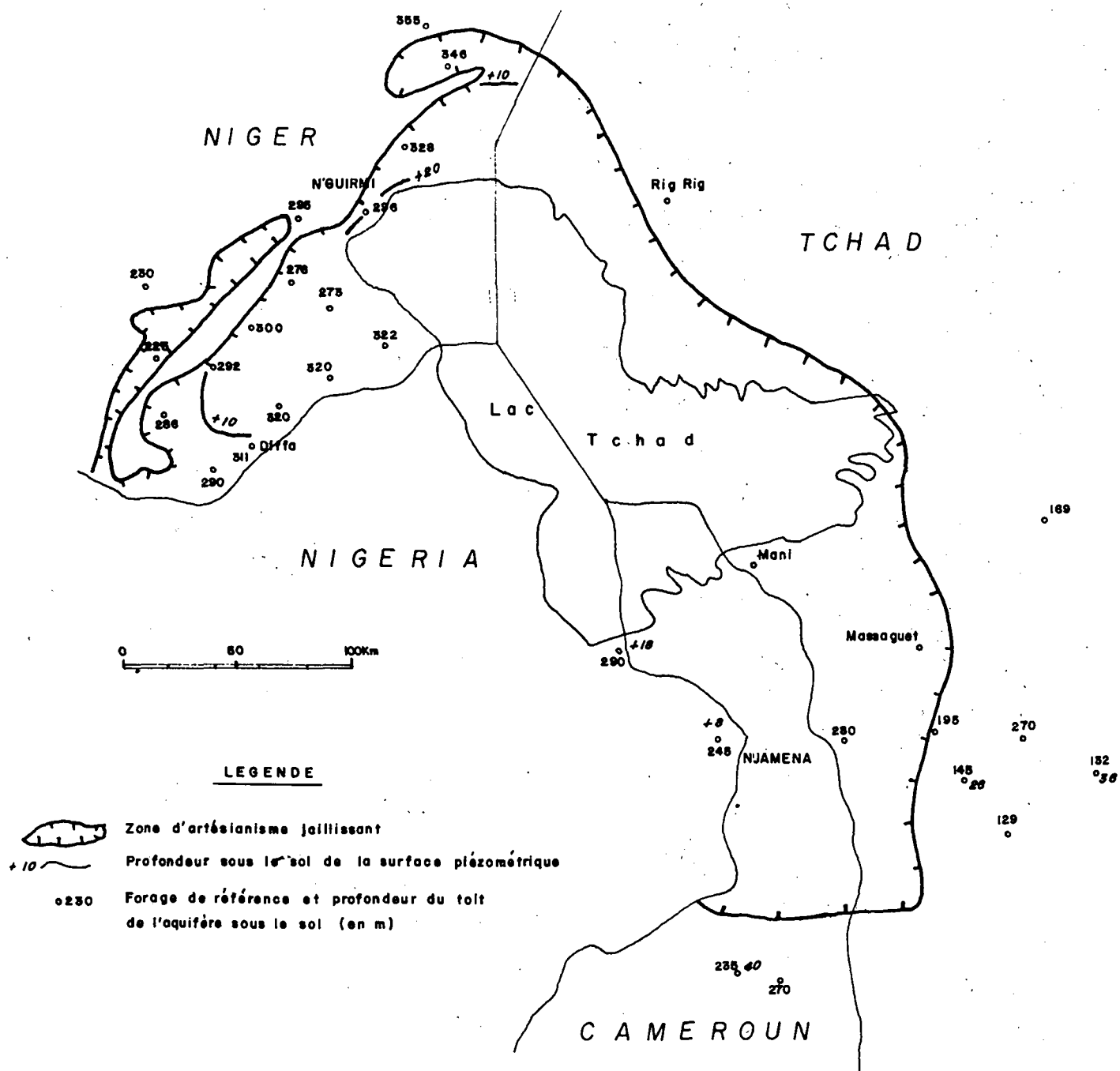
SÉRIES DU PLIOQUATERNAIRE ET DU CONTINENTAL TERMINAL

ZONE EST DU BASSIN DU LAC TCHAD



DONNEES SUR LA NAPPE MOYENNE SOUS PRESSION DES FORMATIONS DU TCHAD

BASSIN DU LAC TCHAD

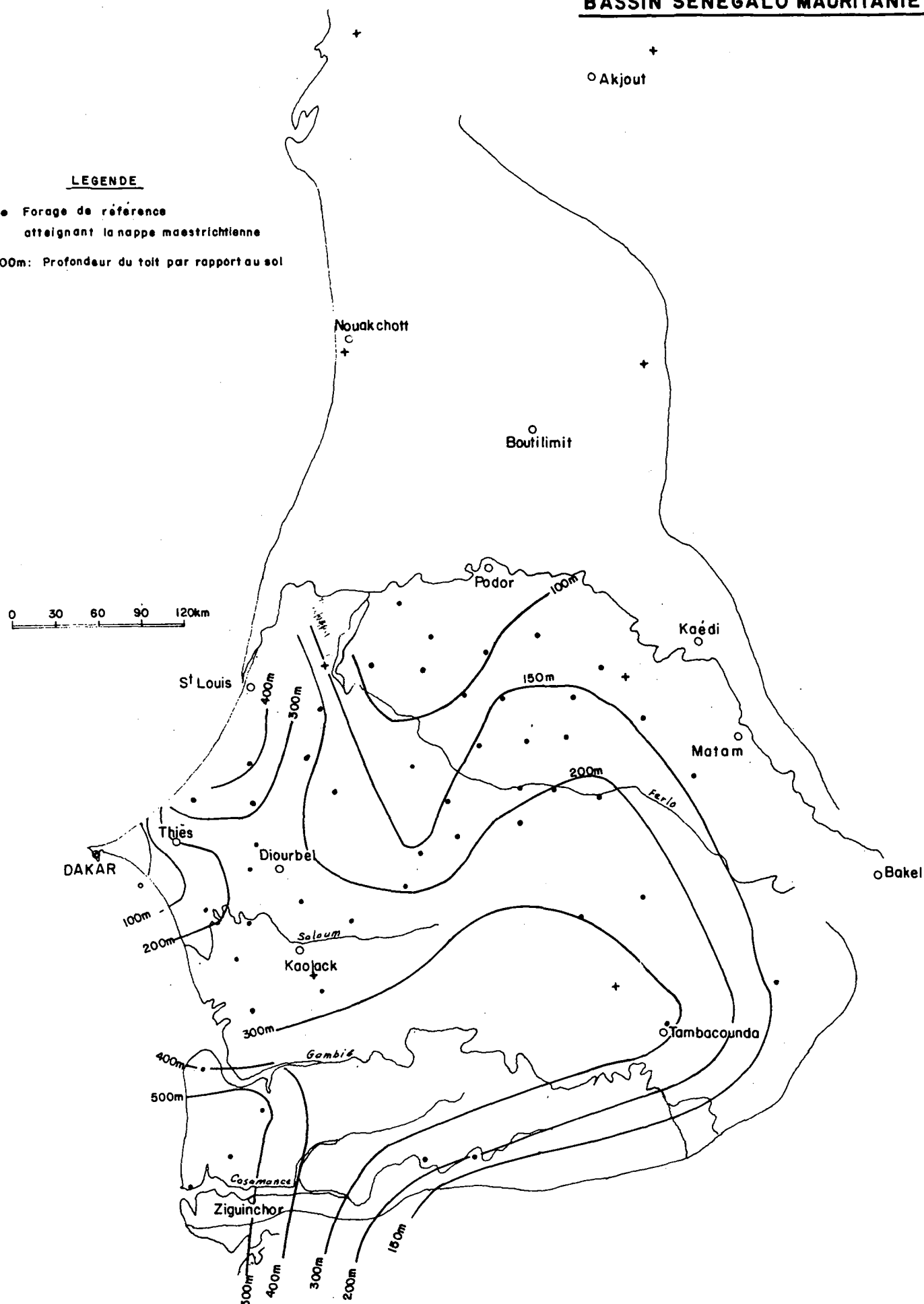


CARTE DE PROFONDEUR DU TOIT DE LA NAPPE PROFONDE MAESTRICHTIENNE

BASSIN SENEGALO MAURITANIEN

LEGENDE

- Forage de référence
atteignant la nappe maestrichtienne
- 100m: Profondeur du toit par rapport au sol



CALWELD 250 B

112

- ① - Bloc couronné 2 poulies
- ② - Emérillon
- ③ - Kelly
- ④ - Bras latéral de décharge
- ⑤ - Yoke
- ⑥ - Bucket
- ⑦ - Table de rotation
- ⑧ - Vérins de stabilisation
- ⑨ - Derrick
- ⑩ - Cable du kelly
- ⑪ - Cable de service
- ⑫ - Verins de levage du mât
- ⑬ - Treuils
- ⑭ - Moteur

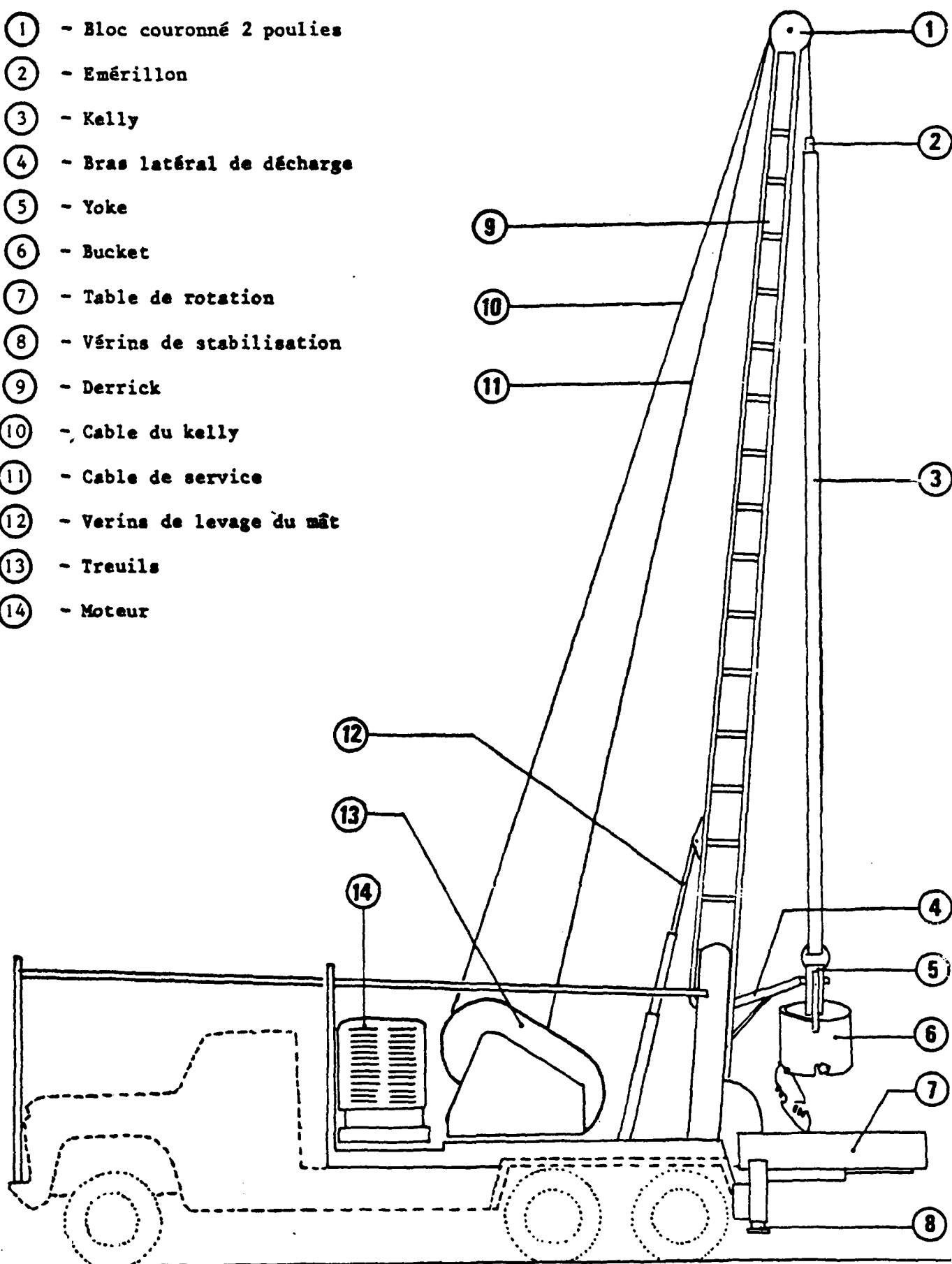
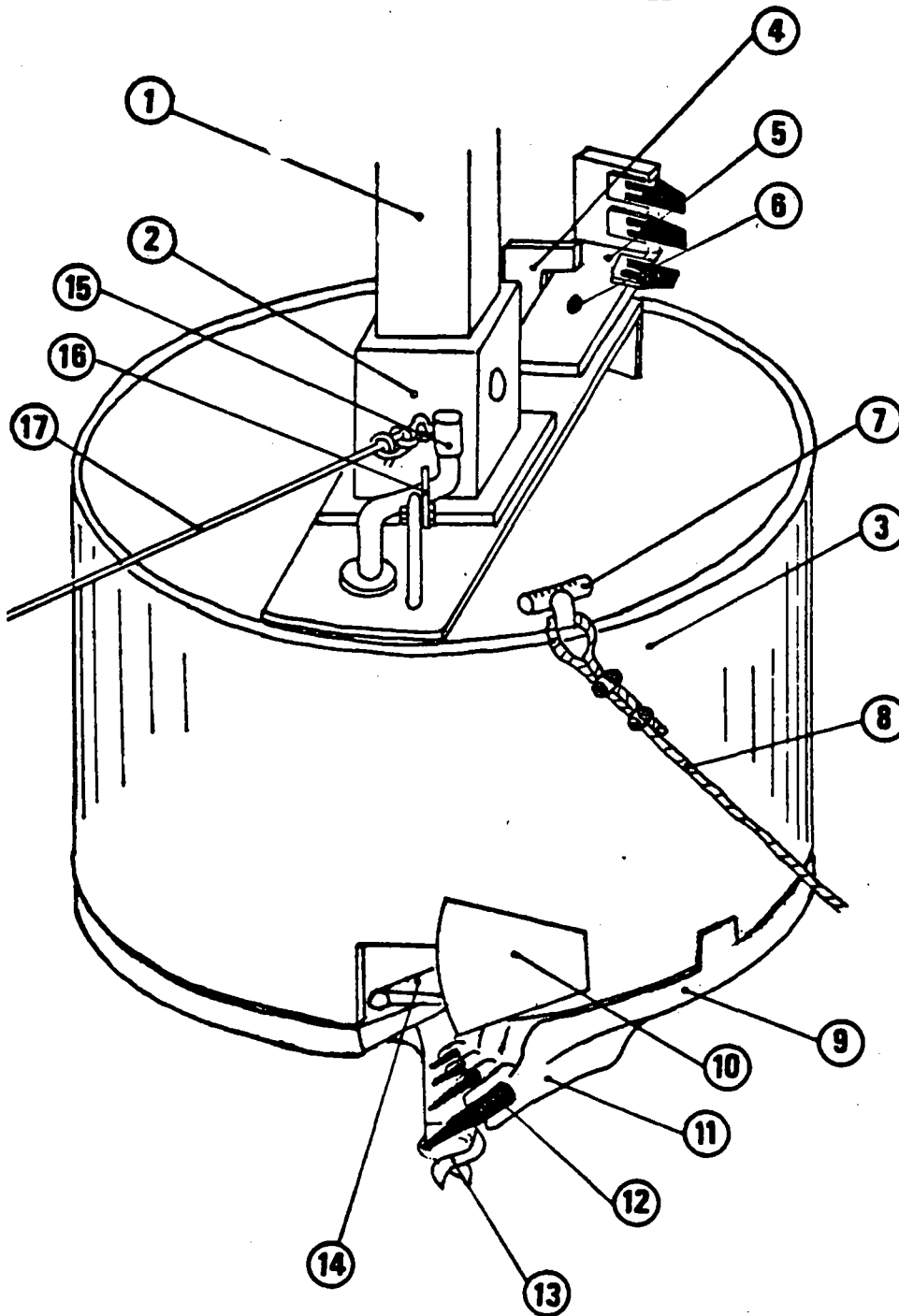
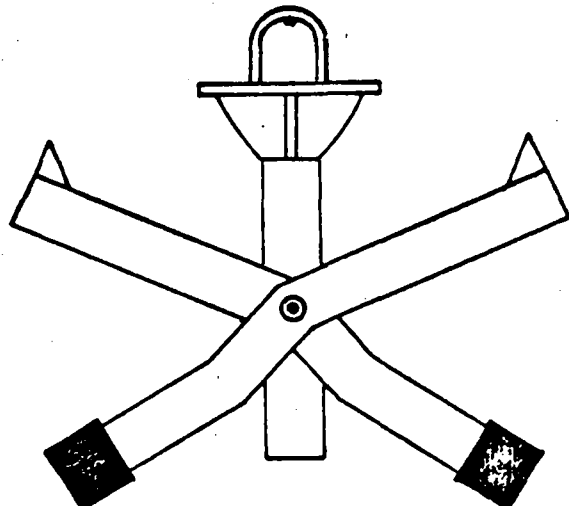
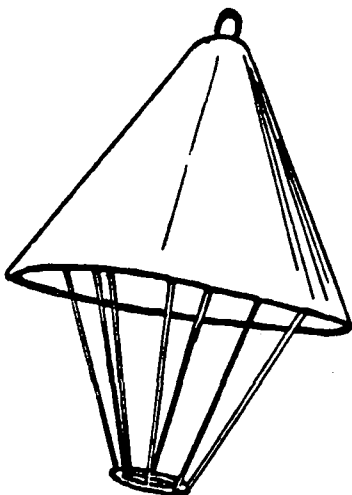


FIGURE 29
BUCKET # 1200 (48")



- ① - Kelly
- ② - Raccord Kelly-Bucket
- ③ - Bucket
- ④ - Butée de l'aléteur
- ⑤ - Aléteur
- ⑥ - Axe rotation aléteur
- ⑦ - Crochet de décharge
- ⑧ - Cable de décharge
- ⑨ - Panneau de décharge
- ⑩ - Lame
- ⑪ - Porte-dent
- ⑫ - Dent
- ⑬ - Tarière "pilote"
- ⑭ - Volet
- ⑮ - Levier de déverrouillage
- ⑯ - Sécurité du levier
- ⑰ - Corde de déverrouillage



BENNE DE FORAGE

HÉMISPHERIQUE-ARTICULÉE

Pour exécuter des forages - puits - pieux - FT 60 - 2 - 79

UTILISATION : avec nos machines traditionnelles TP 1 et avec n'importe quel ensemble, treuil, et flèche qui permet la chute libre. La force de levage doit être au moins du double de la masse de la benne



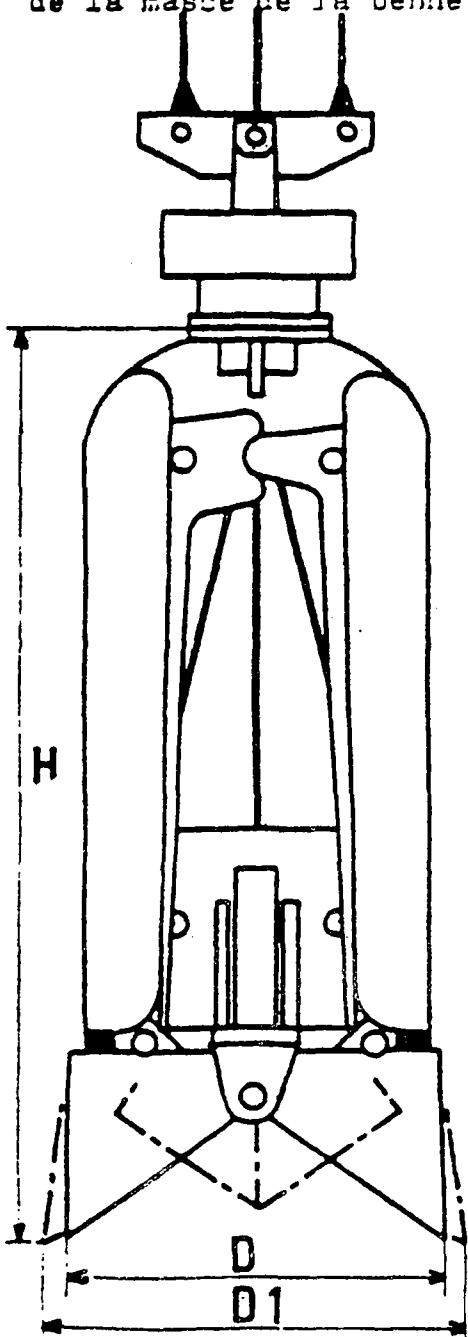
TYPES Diamètres H Masse Tête
 de à env de à

H2 570	570à630	1800	800-1050	3 T
H2 760	760à840	2000	1100-1400	3 T
H2 950	950à1050	2500	2000-2200	3 T ou 5 T
H21150	1150/1250	2600	2050-2350	5 T

En option : aléreur

DESCRIPTIF SOMMAIRE :

- Palonnier d'équilibrage
- Tête à accrochage et déclenchement automatique, force 3 T ou 10 T (outil 1,5 T et 5T)
- Emérillon sur-butée à rouleaux, monté sur amortisseur (tête 10 T)
- Formes antiaccrochantes
- Synchronisation de l'ouverture des coquilles
- Jupes de guidage
- Mouflage 4 brins (plus le brin moteur)
- Masses démontables qui permettent de faire varier le poids total
- Butée du bloc mobile (protection des axes) démontables pour changer de diamètres. On peut avec des butées appropriées, obtenir n'importe quel diamètre intermédiaire entre le mini et le maxi
- cales (complémentaires des butées)
- Le poids important est vers le bas, assurant une très bonne stabilité lors de la chute libre. Grand passage libre pour la chute dans l'eau.

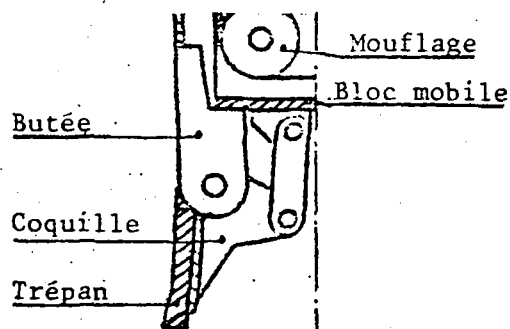
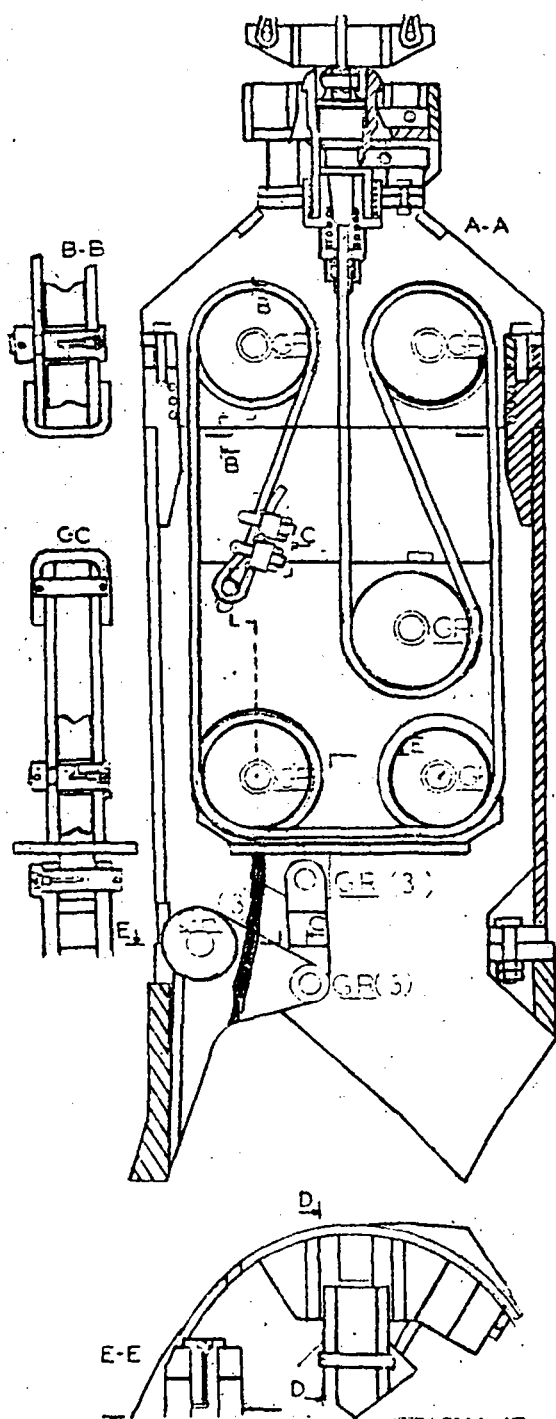


BENNE DE FORAGE A TREPAN

PUITS-PIEUX-FORAGES

- peut travailler dans les terrains durs
- très grande robustesse
- inertie importante

(LES COUCHES COMPACTES DE ROCHES DURES SERONT TRAVERSEES A L'AIDE DES MOYENS TRADITIONNELS, TREPANS, MINES ETC...)



DESCRIPTIF

Un seul câble de levage.
 Tête automatique en deux parties.
 Emerillon spécial.
 Attache et réglage du câble très accessibles.
 Mouflage : le câble se change sans aucun démontage.
 Possibilité d'adapter un alésoir pour agrandir ou finir un trou à une cote précise.
 Des butées supportent les chocs, soulageant les axes.
 Grand passage de l'eau :
 Chute très peu freinée dans l'eau.
 La plus grande partie de la masse de la benne est vers le bas.

type	long	masse
750 (850)	2,5 m	2,6 t
1000 (1200)	2,8 m	3,3 t
1400 (1500)	3,1 m	4,3 t
sans engagements		

ANNEXES

ANNEXE

DONNEES GEOLOGIQUES

EXTENSION DES AQUIFERES CONTINUS ET
DISCONTINUS DANS LES DIFFERENTS ETATS

Pays	Superficie totale en millions de Km ²	Aquifère discontinu en % de la superficie totale (*)
Bénin	0,11	83%
Cameroun	0,48	87%
Congo	0,34	35%
Côte d'Ivoire	0,32	96%
Gabon	0,27	80%
Haute-Volta	0,27	95%
Mali	1,2	36%
Mauritanie	1,03	35%
Niger	1,27	25%
Sénégal	0,22	15%
Tchad	1,28	48%
Togo	0,056	93%

(*) Valeur évaluée par planimétrie

DONNEES SUR LES EPAISSEURS D'ALTERATION

EN ZONES D'AQUIFERES DISCONTINUS

Pays	Zone	Epaisseur moyenne d'altération			Référence Programme	Nombre d'ouvrages concernés
		granite	Schistes	Autres formations		
Bénin	Centre	10 m	30	Gneiss : 15m	} WAKUTI	783 sondages
	Nord Ouest	15 m				
	Nord Est	30 m				
Cameroun	Nord	15 m	30		Hydrogé 1975	25 forages
Côte d'Ivoire	Nord	25 m	25		Projet "Coton"	570 points d'eau
	Centre	25			" "	" " "
	Boucle du Cacao	12			35	Boucle du Cacao
Haute-Volta	Sahel (1)	24-14-11	30	grès : 20	ORD du Sahel	80 forages
	Plateau mossi	25	32		Urgence Sahel	29 forages
	(centre)					
	Vallées des Voltas	15	13	Roches Vertes : 9	Programme AVV	113 forages
	Zone méridionale	20		Roches Vertes : 30	Ranch de Léo	29 forages
Mali	Bamako		30	grès : 15 m	PNUD	170 forages
	San-Tominian	17			Géomine	34 forages
	Kayes	18			OMBEVI	30 forages
	Mali-Sud	30			Helvetas	110 forages
Mauritanie	Akjoujt	20	28		Synthèse hydrogéolo- gique	23 puits
Niger	Liptako	15	20	Quartzites : 25m	Liptako Kruger	130 forages
	Sud Niger	20	35			79 forages
Sénégal	Oriental	Ensemble indifférencié : grès, pellites, schistes, granites, vulcanosédimentaire Moyenne : 25 m Maximum : 70 m			RFA	35 forages
Togo	Ensemble du Terr. Zone Nord (Ataloté)	12	19 m (Buem)		4ème FED PNUD 1977	290 forages

(1) : 3 valeurs d'épaisseur d'altération : granite ancien - granite régénéré - granite tarditectonique.

ANNEXE 2

DONNEES DEMOGRAPHIQUES ET
PERSPECTIVES DE CREATION DE
POINTS D'EAU

REPARTITION DE LA POPULATION A L'INTERIEUR DES PAYS MEMBRES DU CIEH

PAYS	Population				Nombre de villages	Répartition des villages				Centres secondaires (4)
	(1) Totale	(2)	Rurale	(3)		0-500 h	500-1000	1000-2000	2000-5000	
BENIN	3,21	1975	2,79	87	2800					10
CAMEROUN	6,46	75	3,87	60	?					100
CONGO	1,2	75	0,6	50	5000	4000	141			35
COTE D'IVOIRE	7,3	77	4,89	67	8100					126
GABON	0,95	70			5200					
HAUTE-VOLTA	5,5	75	4,6	84	7437	4387	2613		437	50
MALI	6,3	76	5,65	89	10800	5963				16
MAURITANIE	1,4	75	0,71	50	2770					9
NIGER	5,1	77	4,5	88	9500	7400	1500	480	120	50
SENEGAL	5,49	79	3,85	70	5520	5000		450	70	10
TCHAD	4	75	3,6	90						50
TOGO	2,6	80	1,64	61	2500	1630	490	330	50	50

(1) en millions d'habitants

(2) Année de recensement

(3) % par rapport à la population totale

(4) Le Centre secondaire comporte un réseau d'adduction pour une population supérieure à 5000 h.

POLITIQUE ACTUELLE EN MATIERE DE CREATIONDE POINTS D EAUPROPORTION DE PUIITS ET FORAGES

Pays	Nature du point d eau % de réalisation		Observations
	Forages	Puits	
Cameroun	18	82	programmes réalisés
Bénin	85	15	programme d'urgence 2400 points d'eau
Cote d'Ivoire	70	30	programme 75-82
Haute Volta	53	47	programmes en cours et en projet
Mali	55	45	programmes réalisés
Mauritanie	31	69	programmes réalisés
Niger	20	80	programmes réalisés et en projet
Sénégal	20	80	programmes réalisés et en projet
Togo	100	0	programmes réalisés en cours et en projet

OPTION NATIONALE SUR LE MODE DE REALISATION
DES POINTS D'EAU

Analyse des programmes récents (en cours ou prévus)

Pays	Forages				Puits			
	Régie Nb	%	Entreprise Nb	%	Régie Nb	%	Entreprise Nb	%
Cote-d'Ivoire			7172	100			3328	100
Bénin	1095	66	568	34	75	100		
Haute-Volta	1990	63	1140	37	2785	100		
Mali	2396	90	227	10	400	100		
Niger	OFEDS 400	22	1430	78	OFEDS 3900	100		
Sénégal			80	100	450	80	105	20
Togo	224	14	1295	86				
Total nb	6105		11912		7610		3433	
Moyenne %		42		58		69		31

OBJECTIFS DE CREATION DE POINTS D'EAU VILLAGEOIS D'ICI 1990

Pays	Estimation des besoins (1)		Réalisations au 31/12/80	Points d'eau à réaliser Forage villageois			Puits (4)
				Total	Type socle (2)	Type sédimentaire (3)	
Bénin	6000	1990	600	5400	3900	700	800
Cameroun	4000	1990	3000	1000	500	250	250
Cote d'Ivoire	11000	1975-82	6700	4300	2900	100	1300
Gabon			500				
Haute Volta	10000	1990	3000	7000	3600	100	3300
Mali	11400	1990	3200	8200	1600	2900	3700
Mauritanie		1990	2600	2500	300	500	1700
Niger	20000	1990	5700	14300	700	3600	10000
Sénégal	4200	1990	1200	3000	100	400	2500
Togo	5400	1990	1000	4400	3900	300	200
Total	72000		27500	50100	17500	8850	23750

(1) Sur la période ou à l'échéance

(2) (3) (4) : Estimation réalisée selon l'annexe 1-1 et l'annexe 2-2

TYPES DE STRUCTURES INTERVENANT
DANS LA REALISATION DES OUVRAGES

PAYS	Régie administrative	Structure parapublique	Entreprise privée	Société nationale	Agence d'exécution
BENIN	Hydraulique	SBEE			UNICEF/BIRD
CAMEROUN CONGO COTE D'IVOIRE	Mines Mines	SODECI AVB ARSO CNA	Présidence	FOREXI	
HAUTE-VOLTA	Hydraulique	AVV BUVOGMI	AFORCOM		
MALI	Hydraulique	"Opération Puits"	Aqua Viva	SONAREM	PNUD HELVETAS
MAURITANIE	Hydraulique				
NIGER		OFEDS			
SENEGAL				SONAFOR	
TCHAD	SERARMY				
TOGO	BNFM (Mines)		PANAFCONSULT		

CAPACITE ANNUELLE DE REALISATION

Pays et Capacité	Entreprise	Battage	Rotation	FMFT	Puits forés
BENIN 180	SBEE Hydraulique Hydraulique FENU/USAID		1 Agbo 1 Craelius	1 Aquadrill 1 Mobildrill B80 1 Ingersoll TH55	
CAMEROUN 160	Mines	1 B. Esperance	1 Failing 250	1 Ingersoll TH 60 1 Stenuick HS 66D	
CONGO 40	Mines		1 Joy 1 Winky 1 Zif 300 1 Zif 150		
COTE D'IVOIRE 3720	Forexi Presidence AWB ARSO CNA SODECI FORAFRIQUE FORACO Adrian Walker Intrafor Sasif Foraky		2 Acker 1 B Esperance 5 Foraco VPRH	5 Portadrill 10TK 4 Failing 1250 HD 1 Ingersoll TH 60 3 Aquadrill 3 Airdrill 5 Foraco SM70 1 Rotamec 2 B esperance 1 Mobildrill 1 SR200 Domine 4 Failing 314 3 Ingersoll TH 60	7 Calweld 250 B 3 Calweld 250B
HAUTE VOLTA 1040	Hydraulique AVV BUVOGMI AFORCOM SADE ONG divers	2 Dando 800 2 Walker Neer 1 Besperance	1 IR RO 300	2 Foraco SM 70 1 Ingersoll TH 60 2 Stenuick HS 66 D 1 Failing 1250 HD 2 Stenuick HS66D 1 Nord Meyer 1 Failing FA100 1 Schafer	1 Calweld 250B

p Société privée

Pays	Entreprise	Battage	Rotation	MFT ou Mixte	Puits forés
TOGO 470 p p p p	BNPM Mines Sasif Felgas Masson SOBEA PANAF CONSULT	1 Bucyrus 1 Speedstar	1 Failing FWN 40 1 Wabco 2 1	1 Schett Dubon 1 Stenuick HS 66D 1 Rotamec 1 Stenuick P. 80 1	
GHANA (pour information)	GWSC	12 Bucyrus	3 Failing 1500	2 Ingersoll TH 55	

La capacité théorique du parc de machines, dans les pays membres du CIFH est d'environ 8280 forages/an, Cette capacité est estimée selon les critères suivants:

- forage rotation : 10 forages/an
ou battage
- forage marteau fond : 80 forages/an
de trou
- puits forés : 100 puits/an

MOYENS D'EXHAURE : DIFFERENTS TYPES ET LIMITES D'UTILISATION

1) EXHAURE TRADITIONNELLE

A la main

Profondeur maximale admissible dans la pratique : 60 m

Débit pour un puits Ø 1,80 m :

1 m³/h avec 6 personnes et un niveau d'eau à 20 m (7)

1,5 m³/h " " " " " " " " 10 m

maximum 2 m³/h avec un niveau d'eau peu profond.

Traction animale

Profondeur maxi de l'eau : 80 et même 100 m

Débit (avec dellous de 50 litres) :

- puits Ø 1,80 m, profondeur de l'eau 80 m : (21)

375 l/h par fourche, soit

avec 5 fourches 1,87 m³/h

avec 6 fourches 2,25 m³/h

soit avec 5 fourches et 20 h /jour : 40 m³/jour

- puits Ø 1,80 m, profondeur de l'eau 40 m :

500 l/h/fourche, soit

avec 5 fourches 2,5 m³/h

avec 6 fourches 3,4 m³/h

soit avec 5 fourches et 20 h/jour 50 m³/jour

2) POMPES A MAIN ET A PIED

Profondeur maximum d'exploitation :

40 m pour les pompes à main usuelles

60 m pour les pompes à transmission hydraulique et certaines catégories de pompes à main.

Débit théorique

Avec une pompe à main, en tenant compte de la puissance fournie par un homme moyen, on obtient les débits théoriques suivant (avec un rendement de 80% et un diamètre de piston adapté) :

350 l/h	à	50 m
700 l/h	à	25 m
900 l/h	à	20 m
1200 l/h	à	15 m

Débit pratique

Dans les conditions habituelles d'utilisation le débit moyen sur une journée d'exploitation ne dépasse pas 600 à 700 l/h.

Diamètre du cylindre et du corps de pompe

Le diamètre hors tout de la partie immergée de la pompe dépasse très rarement 120 mm. Citons quelques exemples :

Pompe BODIN (type Solo SL2)

Ø piston mm	Ø extérieur mm	Prof.maxi. m
90	110	13
80	100	18
70	90	26
60	78	30
50		40

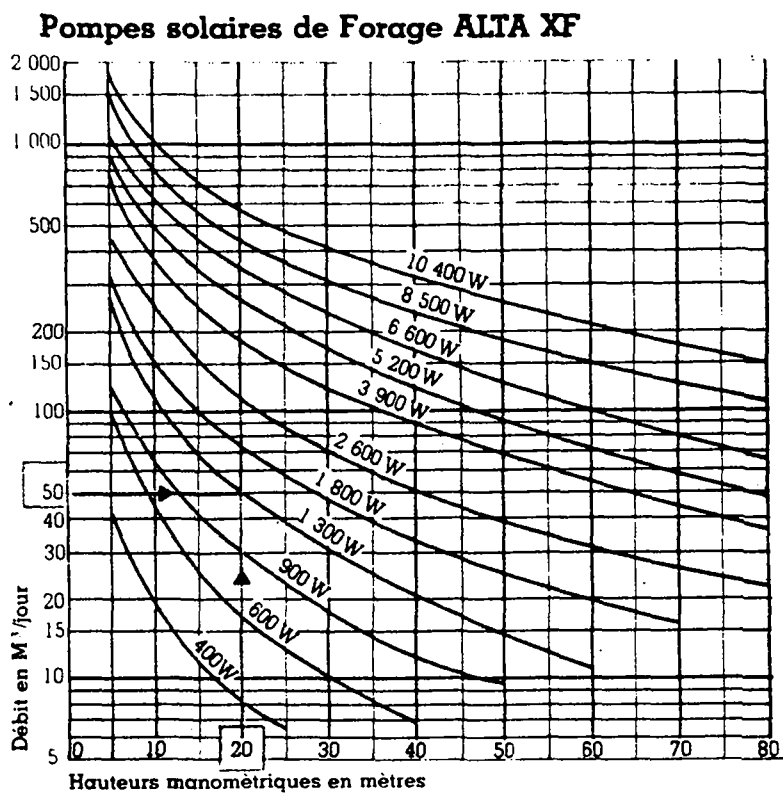
Pompe Abi

Ø piston mm	Ø extérieur mm	Profondeur m
80		0 à 12
70		13 à 30
60		au delà 31

Hydropompe VERGNET : cylindre Ø 89 mm

Usage : Point d'eau villageois uniquement

Pompes GUINARD Alta FX : Débit en m³/jour pour un ensoleillement moyen de 6 kwh/m²/j :



Diamètre des pompes :

4" en dessous de 25 m³/j environ
 6" de 25 à 150 m³/j environ
 8" au-dessus.

4) POMPES ELECTRIQUES IMMERGEES

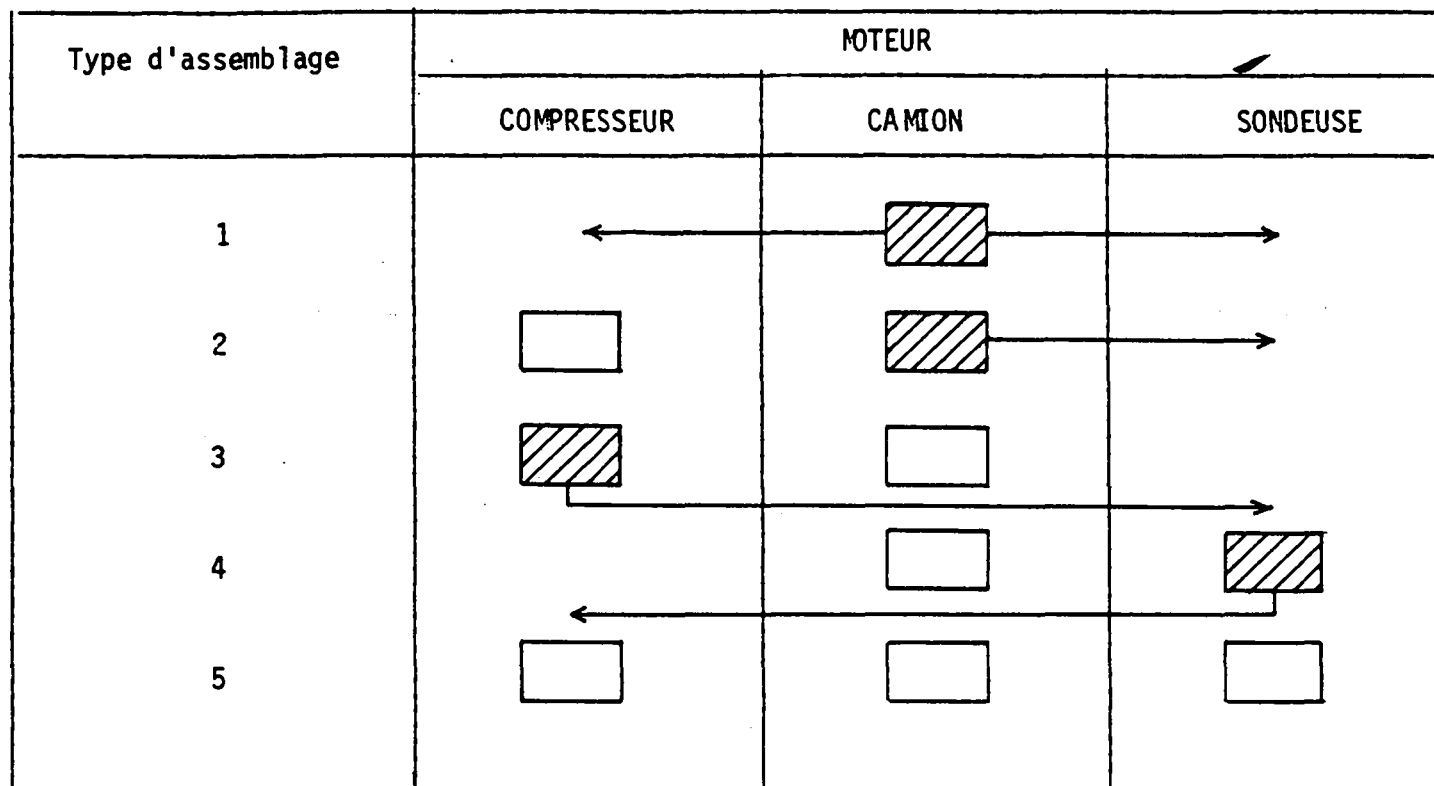
Pompes GRUNDFOS - Série SP

Diamètre	Débit m ³ /h	HMT m
4"	0 - 12	250 à 120
6"	12 - 50	250 à 90
8"	50 - 90	180 à 100
10"	90 - 150	110 à 70


5) POMPES A AXE VERTICAL


Pompe LAYNE : Débit par turbine (m³/h à 1750 t/mn)

HMT m	6"	7"	8"	10"	12"	14"
5	12	35				
10			45	120		
15				90	230	
20					140	500
30						300

FORCE MOTRICE : DIFFERENTS MONTAGES POSSIBLES

Légende :

 moteur indépendant

 moteur assurant plusieurs fonctions

Assemblages adoptés habituellement par les constructeurs :

1	Ingersoll	TH 60	4	Atlas Copco	Rotamec 1302
	Ingersoll	RO 300		Portadrill	TLS
2	Bonne Espérance	FBE2	5	Acker	WA II
	Failing	1250		Simco	5000 WS
	Foraco	SM70		Stenuick	Perfo 80
	Foraco	VPRH		Umdi	DO 100
				Umdi	SR 200
3	Atlas Copco	Aquadrills			
	Stenuick	Perfo 66D			

MODE DE TRANSMISSION UTILISE SUR LES QUELQUES SONDEUSES

MARQUE	TYPE	TRANSMISSION		
		Mécanique	Hydraulique	Pneumatique
Acker	WA II		x	
Airdrill	500 standard	Pompe à boue seule	x	
Atlas Copco	Aquadrill Rotamec 1302		x	x Pompe à boue seule
Bomag	B 400		x	
Bonne Espérance	FBE 2		x	
Domine	DO 100 SR 200		x x	
Failing	1250	x	translation et fonctions annexes	
Foraco	VPRH SM70	Rotation seule	x x	
Ingersoll Rand	TH60 R0300		x x	
Portadrill	TLS		x	
Simco	5000 WS		x	
Stenuick	Perfo 66D Perfo 80		x	x Saturne seule

CIRCUITS HYDRAULIQUES (1)

LES SCHEMAS DE PRINCIPE

La pompe principale d'un circuit hydraulique est généralement entraînée par un moteur électrique ou thermique.

1. Premier principe : transmission de puissance par pompe à débit variable et moteur (ou vérin) hydraulique.

Il est représenté schématiquement par la figure A.

La pompe à débit variable est entraînée à une vitesse sensiblement constante et son débit est proportionnel à l'angle θ que fait le levier de commande avec l'axe de débit nul (il agit généralement sur l'inclinaison d'un plateau oscillant), et ce débit s'inverse si l'angle θ s'inverse. Le récepteur hydraulique (moteur ou vérin) a la propriété de se déplacer à une vitesse proportionnelle au débit qu'il reçoit. On peut donc par ce groupe de deux organes, commander, sans puissance appréciable dépensée sur le levier, une machine en vitesse variable. Les pertes énergétiques théoriques de cette transmission sont nulles, aussi les rendements sont-ils bons ; les pompes et moteurs ont des rendements qui dépassent 90 %, ceux des vérins dépassent 95 %, le rendement global est de l'ordre de 80 % ou plus.

Les puissances ainsi transmises vont jusqu'à plusieurs centaines de kilowatts.

D'une façon générale ce mode est employé pour des puissances importantes qui nécessitent un bon rendement et une grande souplesse de marche.

La pression varie avec le couple résistant, la vitesse est commandée par le débit.

2. Deuxième principe : distribution d'huile à pression constante.

Il permet de commander de nombreux récepteurs avec une seule pompe.

Il est représenté schématiquement par la figure B. S'il y a plusieurs pompes, elles débitent en parallèle dans un circuit unique.

Elles ont à débit variable et auto-réglées pour obtenir une pression constante.

Les récepteurs fonctionnent en parallèle à partir de la source de haute pression. Après utilisation, le liquide retourne à la bâche.

L'inconvénient de ce système est que la pression du circuit doit être prévue pour le récepteur exigeant la pression la plus élevée et dans la configuration la plus défavorable. La dégradation de pression qui s'ensuit dans les distributeurs ou robinets se traduit par une perte d'énergie et un mauvais rendement.

Malgré ces inconvénients, les avantages de cette disposition sont importants et elle s'impose dans les cas suivants :

- Le travail à effectuer est relativement faible et le rendement ne joue pas de rôle prépondérant

Nota : (1) Extraits du livre de J. FAISANDIER " Mécanismes hydrauliques " (18).

- Il y a de nombreux récepteurs à commander
- La distance entre les pompes et les récepteurs est grande
- On veut commander des servo-mécanismes à très faible constante de temps.

3. Troisième principe : (fig. C)

Les pompes à cylindrée fixe aspirent en parallèle dans une bache et refoulent dans un collecteur commun comportant une soupape de sûreté. Lorsque tous les distributeurs sont en position de repos, le collecteur de refoulement est directement mis à la bache, l'huile suit le circuit a, b, c, d, les pompes fonctionnent sans pression.

Dès que l'un des distributeurs est actionné, il coupe le retour à la bache en même temps qu'il oriente le flux liquide vers le récepteur, la pression monte : en fin de course, elle est limitée par la soupape de sûreté. Après la manoeuvre, le levier revient en position neutre et la pression de refoulement des pompes redevient nulle.

Ce principe, tout comme le précédent, s'accommode de nombreux récepteurs commandés par une seule pompe.

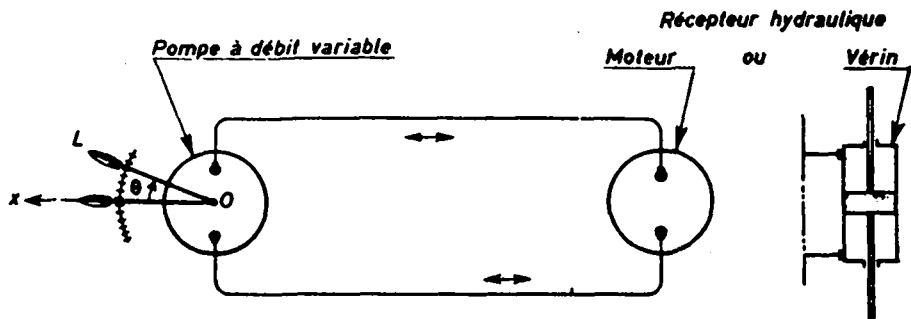


Fig. A — Système de transmission de puissance par pompe à débit variable.

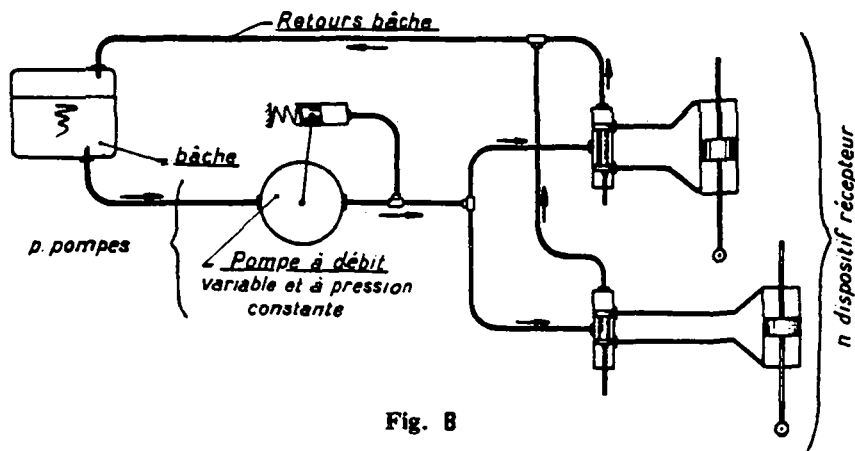


Fig. B

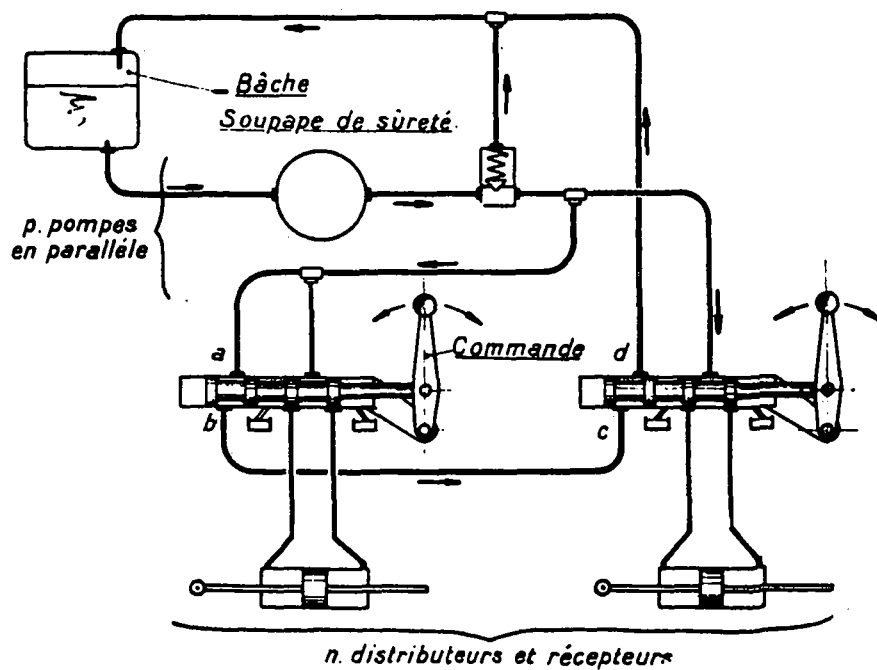


Fig. C

CENTRALES HYDRAULIQUES

Une centrale hydraulique est un organe complexe destiné à produire de l'huile sous pression.

Nous traiterons ici des centrales à pression constante ou semi-constante, qui sont les plus répandues.

- a) Centrale à pompe à débit constant et laminage par soupape de sûreté ; (fig. D).

C'est la plus simple ; elle comprend principalement une bache, une pompe (entraînée en principe par un moteur électrique ou thermique), une soupape de sûreté, des robinets, filtres et réfrigérants. Le débit d'utilisation est généralement plus faible que le débit possible de la pompe, la soupape de sûreté fonctionne en permanence.

Ce système consomme plus d'énergie qu'il n'est nécessaire, exigeant un réfrigérant puissant, aussi n'est-il conseillé que pour les faibles puissances et les faibles pressions (par exemple $p < 70$ bars, $P < 1$ kW).

- b) Centrale à pompe à débit variable auto-réglé (fig. E).

Elle est identique à la précédente sauf en ce qui concerne la pompe qui ajuste son débit à la demande de l'utilisation. La soupape de sûreté ne fonctionne qu'en cas de mauvais fonctionnement du régulateur de la pompe. Le réfrigérant est moins important que précédemment ; la consommation d'énergie est moindre. La pression peut être de 200 bars ; les puissances peuvent être très élevées mais les plus courantes restent inférieures à 50 kW.

Le filtre a une très grande importance pour éviter une usure prématurée de la pompe : il ne reçoit que le débit utile, son action est donc moindre que dans le système précédent, où il reçoit tout le débit de la pompe.

- c) Centrale à pompe à débit variable avec pompe de gavage (fig. F).

Par rapport au système précédent, une pompe de gavage, généralement à engrenages, alimente la pompe principale sous une pression de 2 à 5 bars. Ceci donne deux avantages :

- la pompe, mieux alimentée, a une endurance plus grande et peut tourner plus vite ;
- le filtre est soumis en permanence au débit total de la pompe de gavage, il est donc très efficace : le degré de pollution de l'huile, faible, accroît l'endurance de la pompe.

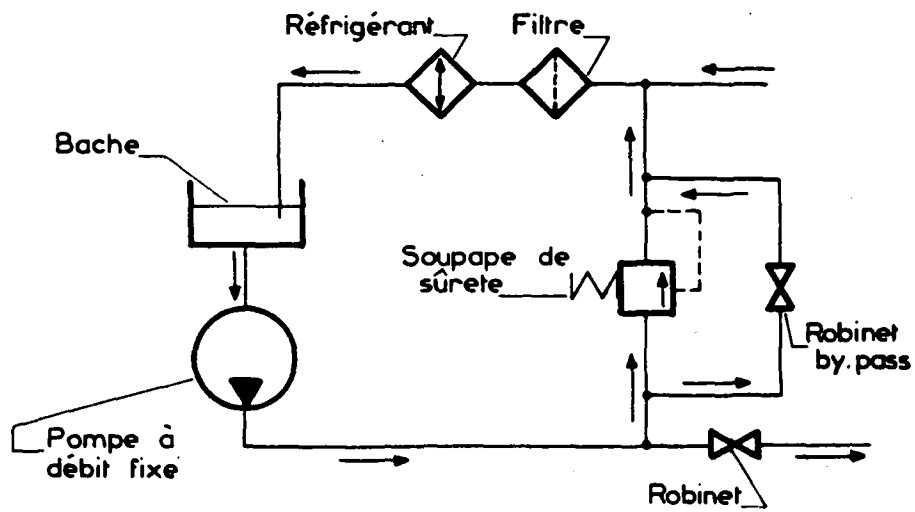


Fig. D — Centrale à pompe à débit constant et laminage.

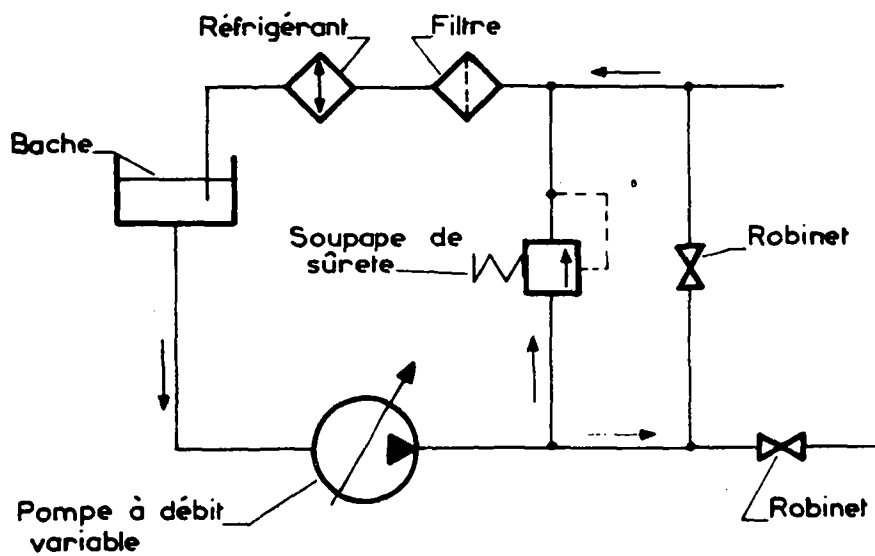


Fig. E — Centrale à pompe à pression auto-réglée.

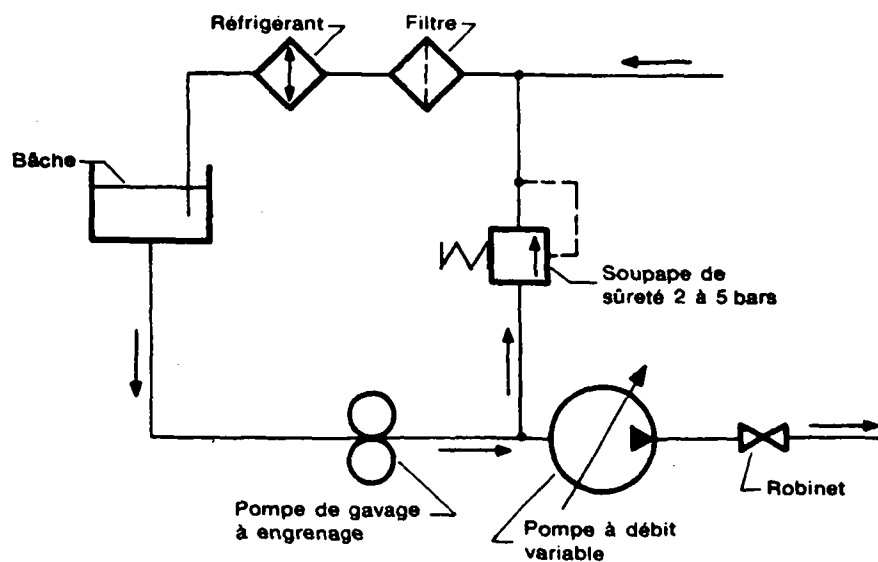
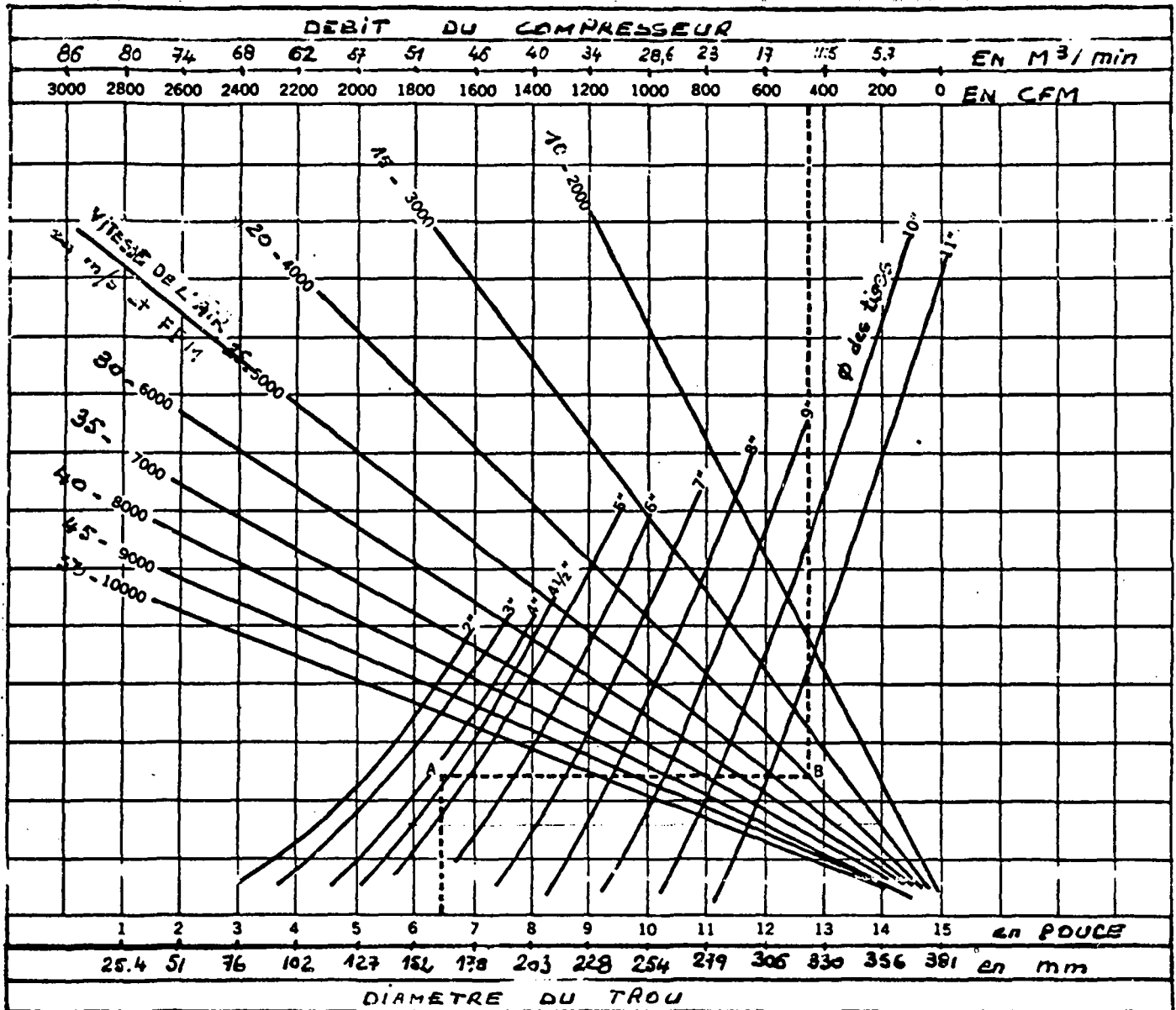


Fig. F — Centrale à pompe auto-réglée et à pompe de gavage.

DEBIT D'AIR COMPRIME NECESSAIRE A LA REMONTEE DES CUTTINGS

1. Détermination du volume d'air nécessaire (abaque communiquée par Hausser France)



Abaques établies d'après la formule :

$$V \text{ en m/s} = \frac{Q \text{ m}^3/\text{sec}}{S \text{ m}^2} = \frac{\text{Débit du compresseur en m}^3/\text{seconde}}{\text{Différence des sections (trou - tige)}}$$

2. Débit d'air assurant une vitesse de remonter de 3000 ft/mn (extrait du document (16)) :

en m³/mn

Diamètre du forage	tiges 3 ^{1/2} "	tiges 4 ^{1/2} "
6"	11	7,6
6 ^{1/4} "	12,5	8,9
6 ^{1/2} "	13,9	10,4
7"	17,2	13,6
7 ^{7/8} "	23	19,5
8 ^{1/2} "	36,5	32,6

CONSUMMATION D'AIR DES MARTEAUX
(d'après les données des constructeurs)

Pression	Marteau	Ø ext.	Ø taillant	Consommation air m3/mn
10,5 bars	Ingersoll DHD 340	3 1/2	4 1/2	4,25
	Ingersoll DHD 350	4 1/2	5 1/8-5 1/2	7,4
	Ingersoll DHD 360	5 3/8	6, 6 1/2, 8 1/2*	9,3 si forage en 6 ou 6 1/2"
	DHD 17	6 1/2	7 1/2-8	
10,5 bars	Mission A53-15	5 3/8	6-8 5/8	13 à 18,7
	A53-25	"	"	8,5 à 14,1
	A63-15	6 3/8	7 5/8-10	16,3 à 27,4
	Atlas Copco 4	3 21/32	4 1/8-4 1/2	6,6
	Copco 5	5 3/8	6-6 1/2	12,7
	Stenuick 100 FL D 17	3 3/4	4-5 1/4	10,5
	S551	4 3/8	5 1/8-6 1/8	11,5
	S651	6	6 1/2-8 11/16	16,5
14 bars	Ingersoll DHD 15	3 1/2	5 - 5 1/2	20,5
	Mission A53-15	5 3/8	6-8 5/8	17,6 à 21,6
	A53-25	"	"	12,2 à 19,9
	A63-15	6 3/8	7 5/8-10	22,4 à 35,8
17,5 bars	Ingersoll DHD 380	7	8 - 8 1/2	32
	Ingersoll DHD 360	5 3/8	6-6 1/2 8 1 2	16,1
	DHD 17	6 1/2	7 1/2-8	31,1
	Ingersoll DHD 350	4 1/2	5 1/8-5 1/2	13,5
	Mission A63-15	5 3/8	6 - 8 5/8	21,6 à 30,8
	A53-25			16 à 25,2
	A63-15	6 3/8	7 5/8-10	30,9 à 47,5
	Stenuick S 551	4 3/8	5 1/8-6 1/8	19,5 (à 20 bars)
	S 651	6	6 1/2-8 11/16	24 (")
24,5 bars	Ingersoll DHD 360	5 3/8	6-6 1/2- 8 1/2	26,6
	Ingersoll DHD 350	4 1/2	5 1/8-5 1/2	22,7

* En réalésage

CARACTERISTIQUES DES COMPRESSEURS

Marque	Type	Moteur		Débit M3/mn	Pression bars	Poids kg	Observations
		CV	t/mn				
Ingersoll Rand	XP 600 S	196	2500	17	8,8	3535	Sur skid
	HP 525 S	196	2500	15	10,5	3535	Sur skid
	HP 600 W	228	2100	17	10,5	4220	Sur skid
	DXL 600 H	228	2100	16,8	10,5	4176	Sur skid
	XHP 750 S	290	2100	21,2	17,5	5035	Sur roues
	XHP 950 D	460	2100	26,8	24,5	10000	Sur skid
Sullair	750/2	360	2100	21,2	17,6	4530	Sur skid
	750/350	400	2100	21,2	24,6	6480	Sur skid
	900/350	500	2100	25,5	24,6	8000	Sur skid
Atlas Copco	PRH700	261	2100	19,8	7	3600	
	XA 350	180	2300	21	7	3365	Sur roues
	XR 350	225	2300	21	12	4120	Sur roues
	XRH 350	340	2300	21	20	4380	Sur roues
Gardner Denver	STQYQA	340	2100	21,2	24,1	7938	
	STQYSA	340	2100	25,5	17,2	7938	Poids du groupe moto-compresseur sur skid
Holman	R075-170			21	12	6155	Sur roues
	R070-VHP	379	1900	19,8	17,6	5706	Sur roues
	R084-250S	400	2075	24	17		
Bauer	DSF 10H 18	260	2000	18	18	4700	

UTILISATION DE LA HAUTE PRESSION
COMPARAISON DES COUTS HAUTE PRESSION / BASSE PRESSION

Hypothèses :

Forage de 50 m dont	20 m d'altérites
	30 m de roches saines
2 postes de 9 h/forage	12 h avec force motrice
	6 h sans force motrice
10 forages/mois, soit	200 ml dans les altérites
	300 ml dans la roche saine

F CFA

Majoration mensuelle pour haute pression :

Amortissement compresseur 3,25 millions 2 % mois	165.000
Entretien	82.500
Carburant 65 CV supplémentaires	167.500
	<hr/>
	4 15.000

Gain de temps mensuel :

Basse pression : altérites 200 m à 15 m/h =	13,3 h
roche saine 300 m à 8 m/h =	37,5 h
	<hr/>
	50,8 h
Haute pression : altérites 200 m à 25 m/h =	8 h
roche saine 300 m à 15 m/h =	20 h
	<hr/>
	28 h

Gain de temps = 50,8 - 28 = 23 heures

Coût moyen de l'heure d'atelier :

Amortissement : $\frac{125.000.000 \times 2 \text{ \%/mois}}{200 \text{ h}}$ =	12.500
Personnel chantier	2.250
Carburants, lubrifiants	4.500
Entretien	6.750
Foreur assistant technique	13.000
Divers	3.500
	<hr/>
	42.500

Economie mensuelle :

Majoration des dépenses	4 15.000
Economie sur le temps gagné : 23 x 42.500 =	977.500
	<hr/>
Economie mensuelle	562.500

VITESSE DE REMONTEE DE LA BOUE DANS L'ESPACE ANNULAIRE (en m/mn) :

Diamètre tiges (pouces)	Diamètre trou (pouces)	Débit de la boue (l/mn)			
		380	760	1140	1500
3 1/2	6 1/4	28	56	84	89 67 61 52 51 44 38
	6 3/4	22	45	67	
	7 5/8	17	33	50	
	7 7/8	15	30	45	
	8 3/8	13	26	39	
	8 1/2	13	26	38	
	9	11	22	33	
	9 3/8	10	19	29	
4 1/2	7 3/4	19	38	57	77 62 59 50 43 33
	8 3/8	16	31	46	
	8 1/2	15	30	44	
	9	12	25	38	
	9 5/8	11	21	32	
	10 5/8	8	16	24	

Annexe 3-10

DEBITS ET PRESSIONS DE SERVICE DE QUELQUES POMPES A BOUE

(Pour les pompes à pistons, il s'agit de la gamme des débits obtenue avec différents diamètres de pistons).

Pompe à pistons plongeurs BE 110 x 140 :

150 l/mn	à	70 bars
428 l/mn	à	25 bars
592 l/mn	à	18 bars
718 l/mn	à	15 bars

Pompe duplex BE 7 x 8 :

247 l/mn	à	142 bars
1128 l/mn	à	30 bars
1335 l/mn	à	26 bars
1550 l/mn	à	22 bars

Pompe duplex Failing 5 x 6 1/4 :

273 l/mn	à	63 bars
380 l/mn	à	45 bars
500 l/mn	à	34 bars
636 l/mn	à	27 bars
788 l/mn	à	22 bars

Pompe centrifuge mission Magnum 3 x 2 x 13

1137 l/mn	à	12 bars
1326 l/mn	à	11,7 bars
1516 l/mn	à	11,4 bars
1895 l/mn	à	11,1 bars

TIGES DE FORAGEQualité de l'acier

NORMES API	Grade C	Grade D	Grade E
Limite élastique kg/mm ²	31,6	38,7	52,7
Charge de rupture "	52,7	66,8	70,3
Allongement en %	20	18	18

Les tool joints sont fabriqués dans un acier beaucoup plus dur que celui des tiges.

Caractéristiques des diverses tiges :Tiges API

Ø nominal pouces	Ø extérieur mm	Epaisseur mm	Poids kg/ml Tiges de 9 m avec tool joints F.H.
3 1/2	88,9	5,56	12,7
3 1/2	"	7,62	16,7
3 1/2	"	9,35	19,8
4 1/2	114,3	6,88	20,5
4 1/2	"	8,56	24,7

Quelques tiges lisses utilisées pour le forage à l'air :

1) Tiges conventionnelles :

M a r q u e	Longueur m	Tiges 3 1/2		Tiges 4 1/2	
		épais. mm	poids kg/m	épais. mm	poids kg/m
Failing	1,50	7,62	24,4	8,56	36,7
	3	"	19,2	"	29,5
	4,50	"	17,6	"	27,1
	6	"	16,7	"	25,9
Foraco	3	6,5	14,7	6,35	22
	4,50	"	14,4	"	20,4
	6	-	-	"	19,7
Domine	1,50	4	17,3		
	3	"	12,7		
	6	"	10,5		
	1,50	5,5	19,3	6,3	31,3
	3	"	15,3	"	24
	6	"	13,3	"	20,5

INGERSOLL RAND

RO 300

Description

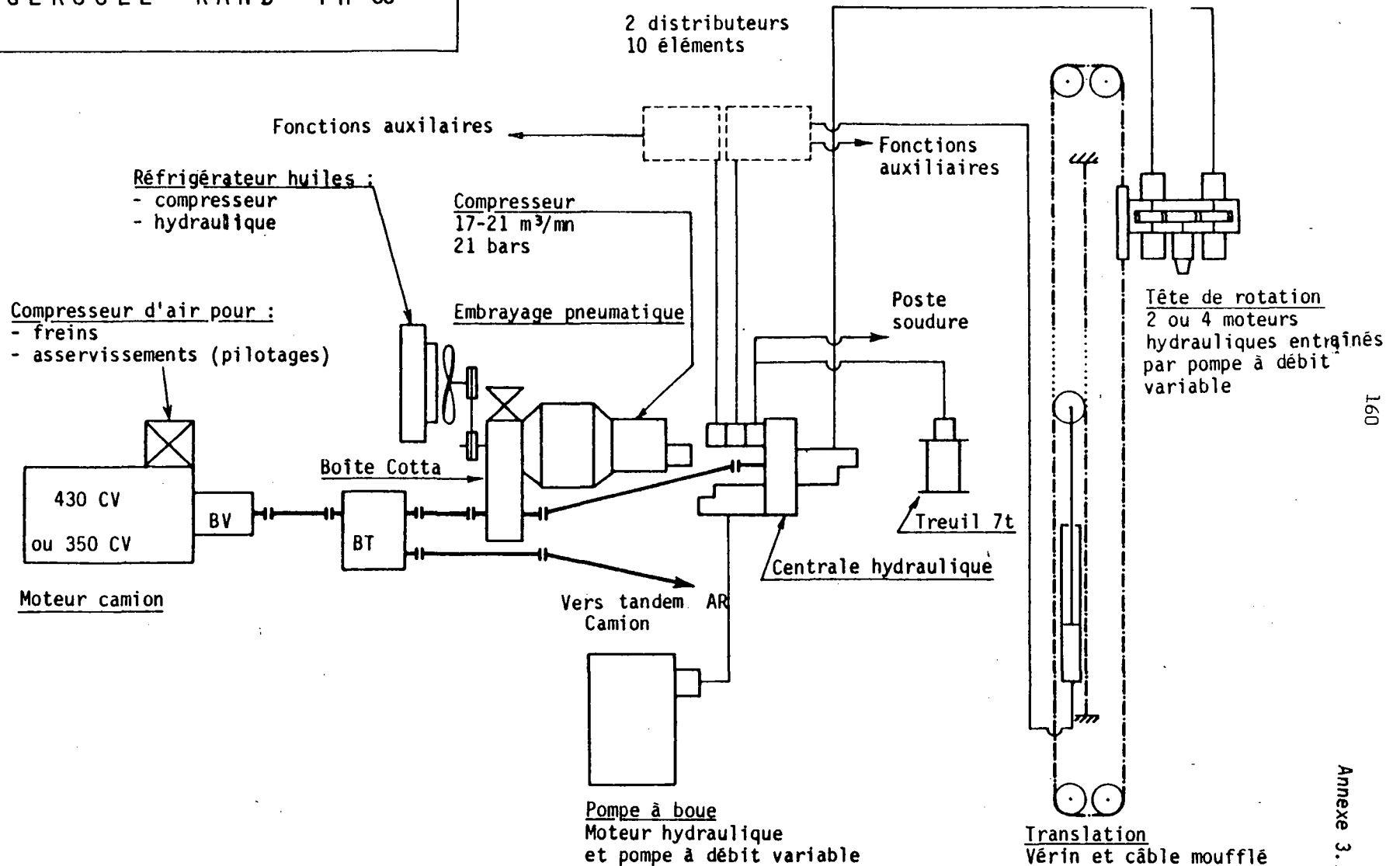
Observations

- Caractéristiques essentielles : Rotary à la boue et à l'air (+ MFT) ; sondeuse polyvalente pour forages à moyenne profondeur ; table de rotation ; transmission hydraulique ; pilotage pneumatique.
- Moteurs : Le moteur du camion entraîne l'ensemble des fonctions ; sa puissance est de :
 - pour forage boue uniquement : 210 ou 220 CV (CAT 3202 ou DD6 - 7 IN)
 - pour forage air - boue avec compresseur 21 m³/mn à 17,5 bars): 430 CV à 2100 t/mn (DD 8 V 92T)
- Rotation : table de rotation entraînée hydrauliquement (pompe à pistons à débit variable)
4 gammes de vitesses :

	Vitesse de rotation	Couple maxi
1	Variat. cont. de 0 à 75 t/mn	1106 m.kg
2	Variat. cont. de 0 à 150 t/mn	553 m.kg
3	Variat. cont. de 0 à 200 t/mn	277 m.kg
4	Variat. cont. de 0 à 350 t/mn	138 m.kg

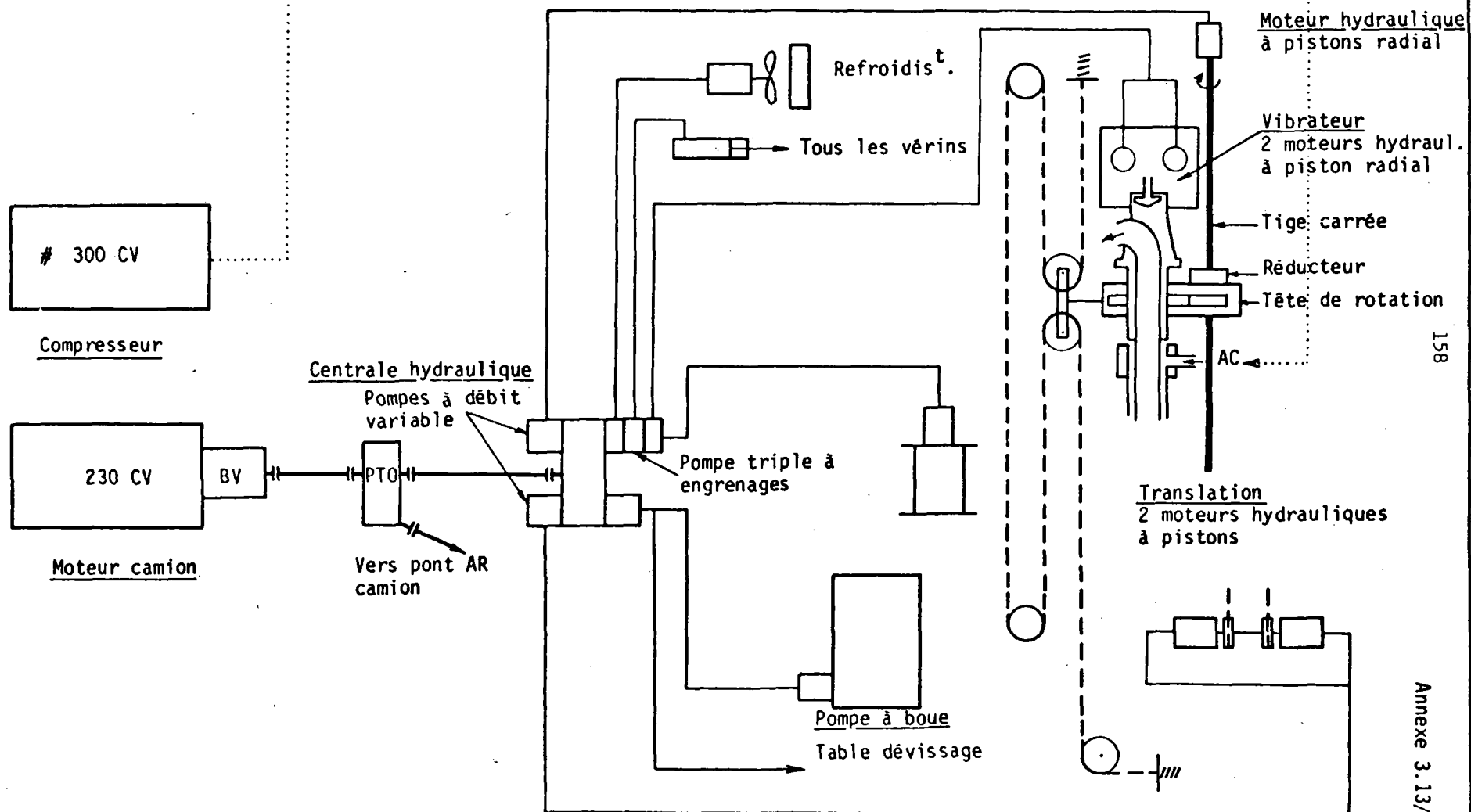
- Translation : support et relevage du train de tiges assuré par le treuil principal.
- Poussée-retenue : système par vérin et câble moufflé agissant sur la tige carrée ; permet un contrôle du poids beaucoup plus précis (pour le MFT) qu'avec le treuil.
poussée maxi : 13,6 t
retenue maxi : 12 t
vitesse d'enfoncement : 0 à 5,5 m/mn
vitesse de montée : jusqu'à 23 m/mn
- Mât : treillage métallique ; htr 11,9 m ; capacité 22,5 t
tige carrée de 8,1 m.
- Treuil : - treuil principal entraîné hydrauliquement (pompe à engrenages à débit fixe)
7,26 t sur brin simple
Vitesse maxi : 21 m/mn
- Treuil auxiliaire (option) : 1 t sur brin simple
Vitesse maxi 48,7 m/s
- Pompe à boue : entraînée hydrauliquement (pompe à pistons à débit variable)
Choix de pompes :
 - centrifuges : 1136 l/mn à 8,8 ou 14 bars
 - duplex de 860 à 2400 l/mn ; 18 à 39 bars
- Pompe d'injection d'eau/mousse : entraînée hydrauliquement 30,45 ou 94 l/mn
- Chargement des tiges : treuil et tête de levage.
- Dégagement axe forage : table de rotation rétractable ; effacement du Kelly sur rails en retrait (permet de mettre en place tubage 508 mm).
- Poste de soudure Hobart (option)
- Poids : ensemble sur camion 6 x 4 avec compresseur 21 m³/mn :

INGERSOLL RAND TH 60



INGERSOLL RAND		TH 60						
Description		Observations						
<ul style="list-style-type: none">• <u>Caractéristiques essentielles</u> : Rotary + MFT ; tête de rotation ; transmission hydraulique ; ensemble très complet et automatisé avec moteur unique (pilotage pneumatique).• <u>Moteur</u> : Prise de force sur moteur camion, qui entraîne à la fois le compresseur et la sondeuse: 430 CV à 2100 t/mn (avec compresseur 21 m3/mn) (DIN B) (ou 350 CV avec ompresseurs moins puissants)• <u>Compresseur</u> : 21 m3/mn à 17,5 bars monté avec la machine• <u>Rotation</u> : Tête de rotation entraînée par 2 ou 4 moteurs 0 à 227 l/mn hydrauliques (pompe à pistons à débit variable) à 2100 t/mn Entraînement par pignons.		Ingersoll XHP 750						
<table><tr><td></td><td>Vitesse</td><td>Couple maxi</td></tr><tr><td>4 moteurs</td><td>0 à 100 t/mn ou 0 à 160 t/mn (variat. continue)</td><td>692 m.kg 460 m.kg</td></tr></table>				Vitesse	Couple maxi	4 moteurs	0 à 100 t/mn ou 0 à 160 t/mn (variat. continue)	692 m.kg 460 m.kg
	Vitesse	Couple maxi						
4 moteurs	0 à 100 t/mn ou 0 à 160 t/mn (variat. continue)	692 m.kg 460 m.kg						
<ul style="list-style-type: none">• <u>Translation</u> : Vérin + câble moufflé (entraîné par pompe hydraulique à engrenages à débit fixe) Poussée maxi : 13,6 t Traction maxi : 10,5 t <p>Vitesse :</p> <table><tr><td>m/mn</td><td>Montée</td><td>Descente</td></tr><tr><td>forage manoeuvre</td><td>76</td><td>0 à 6,4 25</td></tr></table> <p>Course utile : Tiges 6 m</p>		m/mn	Montée	Descente	forage manoeuvre	76	0 à 6,4 25	
m/mn	Montée	Descente						
forage manoeuvre	76	0 à 6,4 25						
<ul style="list-style-type: none">• <u>Mât</u> : Treillage métallique ; capacité 20 t• <u>Treuil</u> : 1 treuil de tubage (entraînement hydraulique) 7,25 t sur brin simple peut être moufflé à 1 ou 2 brins Vitesse maxi : 21 m/mn 1 treuil de manoeuvre (option) 0,9 t sur brin simple ; 34 m/mn• <u>Pompe à boue</u> : entraînée par pompe hydraulique à pistons à débit variable Pompe duplex Ø 5 x 6 : 863 l/mn à 21 bars (option 1200 l/mn 28 bars)• <u>Pompe d'injection eau</u> : pompe cat triplex (0 à 94 l/mn) + pompe à membrane pour addition de mousse.• <u>Chargement des tiges</u> : automatique par barillet (capacité 7 tiges de 6 m) ensuite avec treuil et tête de levage.• <u>Dégagement axe du forage</u> : effacement de la tête de rotation par guidage sur rails en retrait.• <u>Poids</u> : ensemble monté sur camion 6 x 4 International : 23 t.• Poste de soudure Hobart monté en option.								

FORACO VPRH



F O R A C O

V P R H

Description	Observations
<p>. <u>Caractéristiques essentielles</u> : Rotary + MFT ; rotation + vibro percussion ; transmission hydraulique ; circulation inverse à l'air</p> <p>. <u>Moteur</u> : Sondeuse : prise de force sur moteur camion 230 CV à 2200 t/mn DEUTZ F8L 413 F</p> <p>Compresseur : unité indépendante</p> <p>. <u>Compresseur</u> : au choix de l'utilisateur.</p> <p>. <u>Rotation</u> : Tête de rotation entraînée par Kelly fixe ; celui-ci est entraîné par un moteur hydraulique et une pompe à débit variable</p> <p>Vitesse : variation continue de 0 à 80 t/mn Couple maxi : 1100 mkg</p> <p>. <u>Syst. vibropercussion</u> : 2 moteurs hydrauliques pour l'entraînement des balourds (réglage mécanique des écartements marteau/enclume).</p> <p>. <u>Translation</u> : 2 moteurs hydraul. + chaîne mouflée (pompe hydrostatique)</p> <p>Poussée maxi : 19 t Traction maxi : 17 t Vitesse : 13-15 m/mn (sur option 2 vitesses : 13-15 et 35 m/mn) Course utile : 6,50 m</p> <p>. <u>Mât</u> : En profilé; capacité 25 t.</p> <p>. <u>Treuil</u> : Capacité 1,5 t sur brin simple 1 seul brin ; force totale 1,5 t</p> <p>. <u>Pompe à boue</u> : Triplex 135 l/mn à 40 bars (BEAN 535) ou tout autre modèle</p> <p>. <u>Dégagement axe forage</u> : 35 cm</p> <p>. <u>Chargement des tiges</u> : lève-tiges hydraulique.</p> <p>. <u>Doubles tiges</u> : Ø 5" diam. int. 2 3/4 " Ø 8" 5/8 " " 6" permettent la tenue de trou en terrain non consolidé.</p> <p>. <u>Poids sondeuse</u> : 27 tonnes sur camion 6 x 6 avec compresseur</p>	

FORACO SM 70

300 CV

Compresseur

230 CV

Moteur camion

Boîte à chaînes

BV

Pompe à boue 5 1/2 x 8

Limiteur de couple

Treuil

Tige carrée fixe

Refroidissement

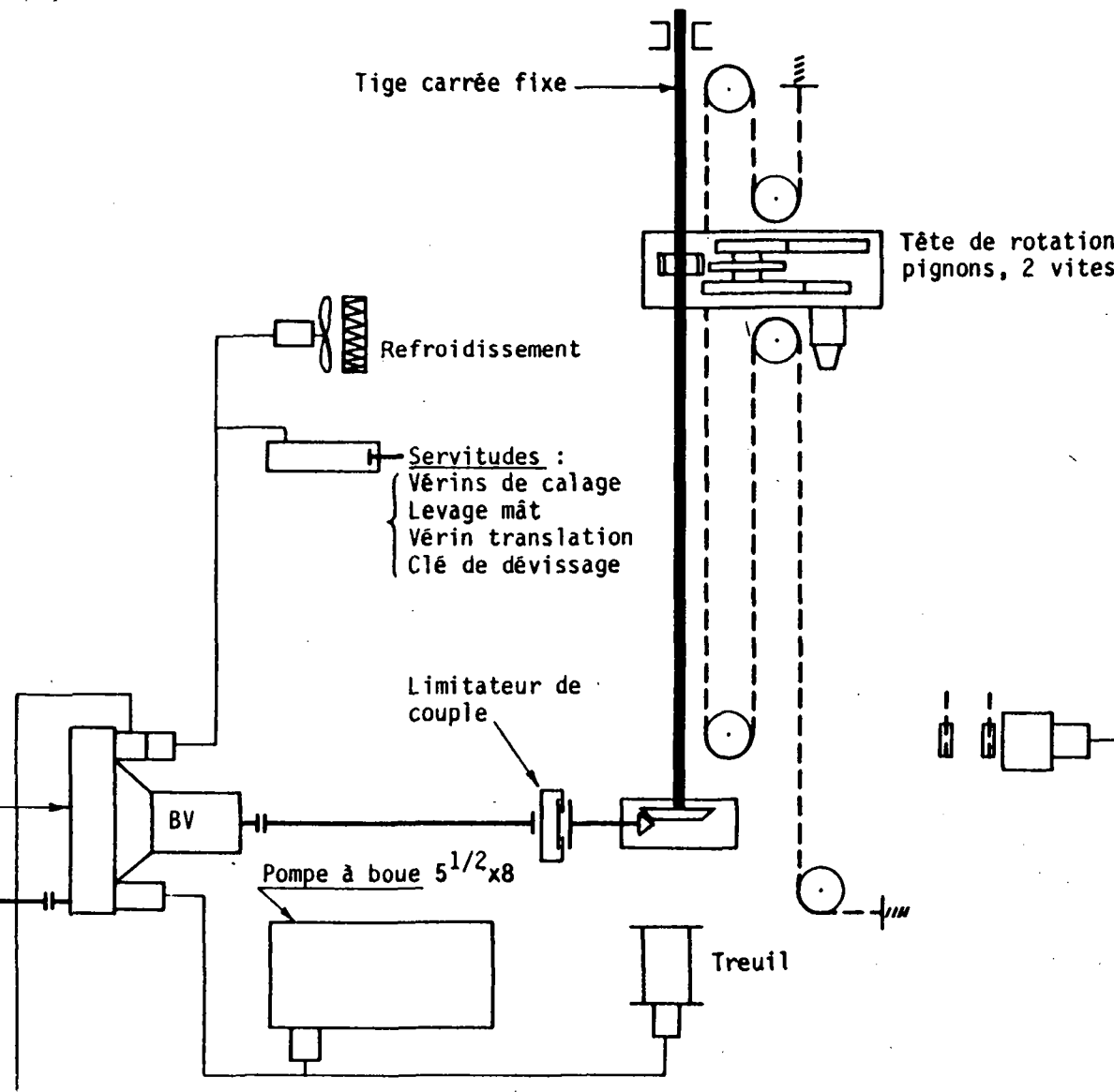
Servitudes :

{ Vérins de calage
Levage mât
Vérin translation
Clé de dévissage

Tête de rotation à pignons, 2 vitesses

256

Annexe 3.13/11



FORACO

SM 70

Description

Observations

- . Caractéristiques essentielles : Rotary + MFT; tête de rotation à entraînement mécanique; autres fonctions entraînées hydrauliquement.
- . Moteurs : - Sondeuse : prise de force sur camion
110 ou 230 CV à 2200 t/mn
- Compresseur : unité autonome
- . Compresseur : au choix de l'utilisateur.
- . Centrale hydraulique : ensemble hydraulique basse pression (120bars); pompes à engrenages + régulateurs de débit (circuits de fuite).
- . Rotation : Tête de rotation entraînée par tige carrée fixe;
2 vitesses sur la tête } 10 vitesses
5 vitesses sur BV rotation }
t/mn pour 1000 t/mn moteur :

DEUTZ F 6L ou F8L 413

	1e	2e	3e	4e	5e
petite vitesse	27	47	80	136	221
grande vitesse	53	89	153	259	420

couple maxi : 1000 m.kg

- . Translation : Moteur hydraulique + chaîne mouflée;
Boîte à 2 vitesses

Vitesse	Traction ou poussée maxi
6,5 m/mn	8,4 t
18	4

course utile : pour tiges 6 m

- . Contrôle de poussée : Régulation du débit d'alimentation du moteur hydraulique par circuit de fuite.
- . Mât : Capacité 20 t.
- . Treuil : - Treuil principal : 2,5 t sur brin simple (option 4,5 t)
moufflage : 2 brins ; force totale 5 t (option 9 t)
vitesse : 37 m/mn
- Treuil de curage en option (capacité 1,5 t)
- . Pompe à boue : duplex 5 x 6 ou 5 1/2 x 8 (ou toute autre option.)
- . Pompe d'injection eau-mousse : pompe triplex 90 l/mn à 17,5 bars
ou 15 l/mn à 100 bars.
- . Dégagement axe du forage : enlèvement de la table à la main;
déplacement du mât et du treuil sur châssis mobile.
- . Chargement des tiges : élévateur fixé à la tête de rotation
assurant manutention, vissage et dévissage des tiges.

FAILING 1250

200 à 300 CV

Compresseur
unité autonome

Pompe à boue
centrifuge ou duplex

Centrale hydraulique

2 treuils principaux
1 treuil de curage

Tige carrée

Fonctions annexes

Boîte à chaînes

120 CV

BV

BV 4 vitesses

Embrayage

BV 2 vitesses

Table de rotation
entraîné mécaniquement
(option : entraînement
hydraulique)

Moteur camion

Vers essieu AV
camion

Prise de force
Sondeuse

Vers essieu AR
camion

Poussée retenue
Moteur hydraulique + 2 chaînes
jumelées, boîte à 2 vitesses

154

Annexe 3.13/9

FAILING

1250

Description

Observations

. Caractéristiques essentielles : Rotary à la boue et à l'air (+ MFT),
table de rotation, transmission mécanique.

. Moteurs : - Pour la sondeuse, prise de force sur moteur camion
120 CV à 1800t/mn (DIN A) ou toute autre option.
- Pour le compresseur éventuel, moteur autonome.

. Rotation : Table de rotation entraînée mécaniquement (ou hy-
drauliquement sur option).
1 boîte 4 vitesses + 1 boîte 2 vitesses (1/1 et 1/2).

		Vitesse	Couple
Rapport 1/1 sur la 2e boîte de vitesse	1e	36 t/mn	1360 m.kg
	2e	55 t/mn	827 m.kg
	3e	112 t/mn	447 m.kg
	4e	210 t/mn	257 m.kg
Rapport 1/2		Vitesses moitiées, couples doubles	

. Translation : Support et relevage du train de tiges assuré par le
treuil principal.
Course utile : 9,60 m.

. Retenue et poussée : 2 chaînes jumelées entraînées par 1 moteur
hydraulique + boîte 2 vitesses.

	Vitesse d'enfoncement	Poussée
Basse vitesse	0 à 12,3 m/mn	0 à 9,5 t
Haute vitesse	0 à 19,8 m/mn	0 à 5,9 t

Retenue limitée à 6 t par régulation hydraulique.

. Mât : En treillis métallique soudé.
Capacité : 18 t
Dégagement sur table ; 7,9 ; 9,6 ; 10,7 ; 11,5 m (selon option)

. Treuils : - 2 treuils principaux
Capacité sur brin simple : 6,1 t (option 6,8 t)
Moufflage : 2 brins ; force totale 12,2 t (option 13,6 t)
- 1 treuil de curage
Capacité sur 1 brin : 1,8 t (moufflage 1 brin).

. Pompe à boue :
- Pompe centrifuge Mission 4"x3" : 370 l/mn à 12,5 bars et 1850 l/mn à 8,4 bars.
- ou pompe duplex (nombreux types au choix) :
par ex. duplex 5"x6" : 650 l/mn à 22 bars.

. Pompe d'injection eau-mousse : Option, à déterminer.

. Compresseur : Peut être monté sur le camion porteur de la sondeuse
jusqu'à 14 m3/mn à 17 bars ; les compresseurs plus puis-
sants sont montés sur camion séparé avec moteur indépendant.

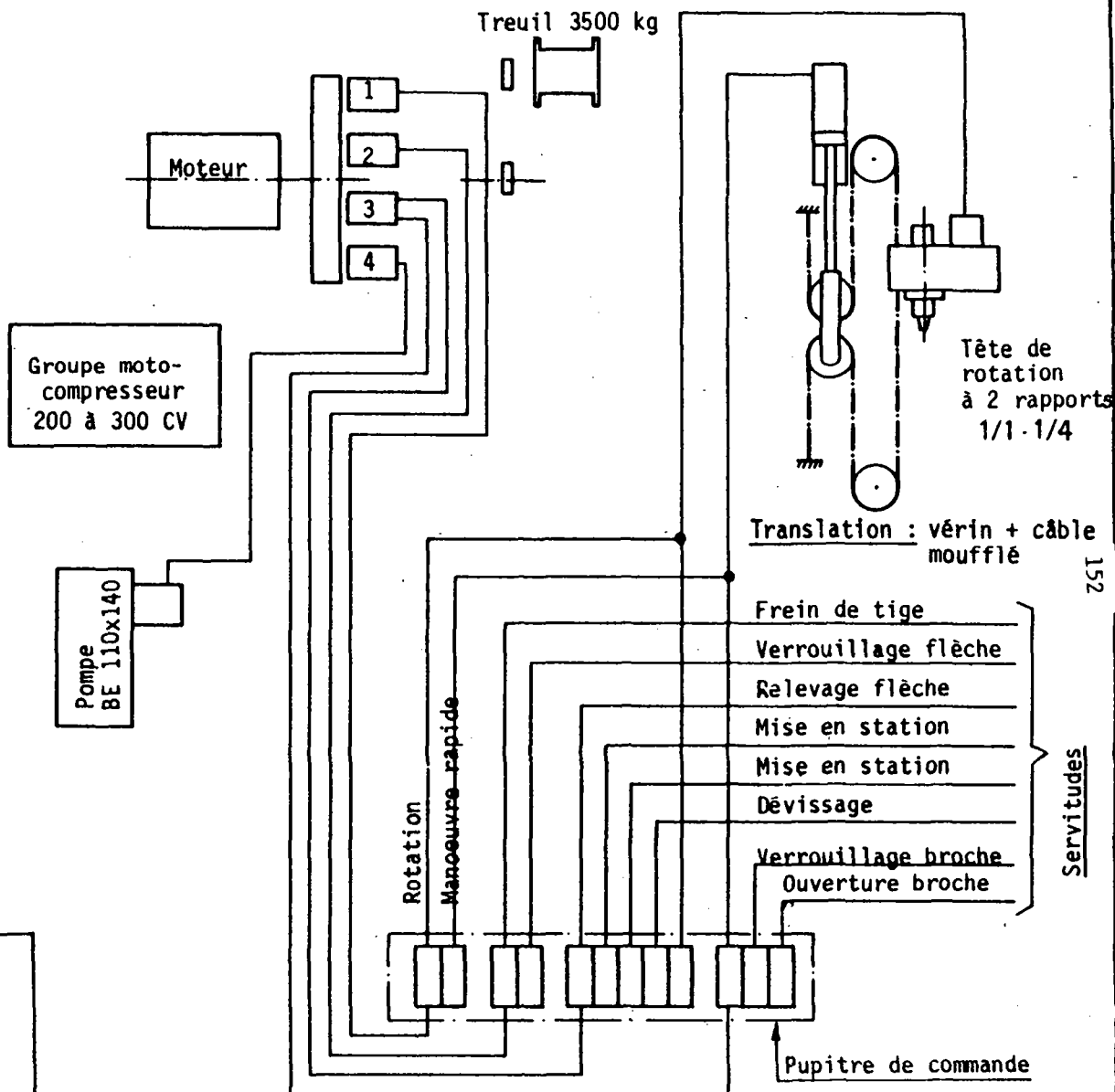
. Chargement des tiges : Treuil et tête de levage ou collier.

. Dégagement axe forage : table rétractable ; ouverture 355 mm

. Poids de la sondeuse : 5,5 t (sans le compresseur).

Entraînement par moteur indépendant
ou par moteur du camion

- 1 - Pompe à pistons à débit variable
- 2 - Pompe à engrenages
- 3 - Pompe à pistons à 2 débits
- 4 - Pompe à pistons à 2 débits
ou à débit variable



SONDEUSE FB2-2N-TYPE GC
BONNE ESPERANCE

BONNE ESPERANCE

F B E 2 N Type GC

Description

Observations

- . Caractéristiques essentielles : Rotary + MFT ; transmission hydraulique ; tête de rotation.
- . Moteurs : - Sondeuse: prise de force sur moteur camion
136 CV à 2300 t/mn (DIN A)
- Compresseur : unité indépendante.
- . Compresseur : au choix de l'utilisateur
- . Rotation : Tête de rotation entraînée par 1 moteur hydraulique (pompe hydrostatique)
Réduction épicycloïdale 2 vitesses

DEUTZ F6L 413

Rapport	Vitesse de rotation	Couple maxi
1/4	Var.conf. de 0 à 90 t/mn	800 m kg
1/1	" " 0 à 360 t/mn	200 m kg

version B

- . Translation : : Vérin + câble moufflé
poussée maxi : 5,8 t
traction maxi: 9 t
course utile : 6,40 m
vitesses :

m/mn	Montée	Descente
Forage	0 à 5	0 à 9
Manoeuvre	0 à 4	0 à 81

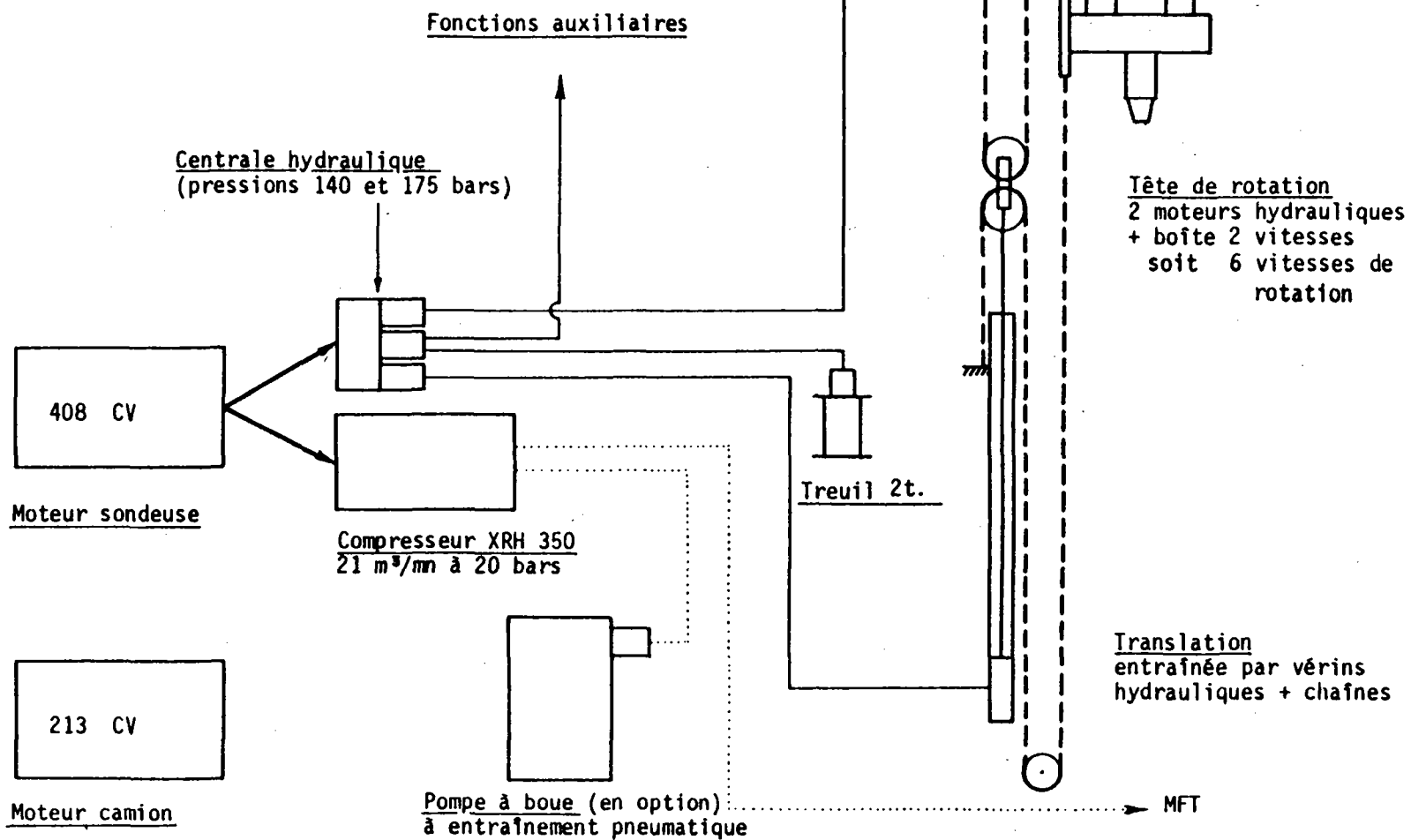
- . Mât : Treillage métallique; capacité 20 t.
- . Treuil : Entraîné directement par le moteur du camion
3,5 t sur brin simple
Moufflage à 2 brins
Force de traction totale : 7 t
Chute libre permettant le battage
- . Pompe à boue : Entraînée hydrauliquement : 3 types possibles

	l/mn	bars
. p.à pistons plongeurs	BE 100/110	432 25
. " " "	BE 110/140	
. pompe duplex 7" x 8"	{	718 15
		767 44
		1550 22

puissance moteur 20 CV
puissance moteur 30 CV
puissance moteur 90 CV

- . Pompe d'injection eau mousse : Entraîn^{t.} pneumatique ; 0 à 60 l/mn
- . Dégagement axe du forage : tête de rotation pivotante
(diam.disponible 60 cm)
- . Chargement tiges : collier élévateur fixé sur la tête de rotation.
- . Poids : sondeuse seule avec pompe à boue, sans compresseur :
10,7 t.

ATLAS COPCO
ROTAMEC 1302



ATLAS COPCO

ROTAMEC 1302

Description

Observations

. Caractéristiques essentielles : Rotary + MFT ; tête de rotation ; transmission hydraulique (+ pneumatique) ; tubage à l'avancement.

. Moteur : Moteur sondeuse : 408 CV à 2100 t/mn
Il entraîne la centrale hydraulique et le compresseur.

GM 12V71N G5

. Compresseur : Atlas XRH 350 Gd : 21 m³/mn à 20 bars.

. Rotation : Tête de rotation entraînée hydrauliquement. 2 moteurs + 1 réducteur; 2 pompes à palettes à débit fixe pouvant fonctionner ensemble ou séparément, d'où 6 vitesses de rotation :

Vitesse maxi	Couple	Vitesse maxi	couple
10 t/mn	1172 m.Kg	34	1284
18 t/mn	672 m.Kg	62	729
23 t/mn	553 m.Kg	80	573

. Translation : Vérin + chaîne mouflée.
Poussée maxi : 13,2 t.
Traction maxi : 13,2 t.
Vitesses :

	montée	descente
rapide	30,6 m/mn	23 m/mn
lente	3,5 m/mn	2,6 m/mn

Course utile : Pour tiges de 6,25 m.

. Mât : Treillage métallique; capacité :

. Treuil : Entraînement hydraulique.
2 t sur brin simple.
Pas de moufflage : capacité totale : 2 t.

. Pompe à boue : Entraînée par un moteur pneumatique à 2 cylindres
(ou sur option par un moteur thermique indépendant).
Débit : Pression :

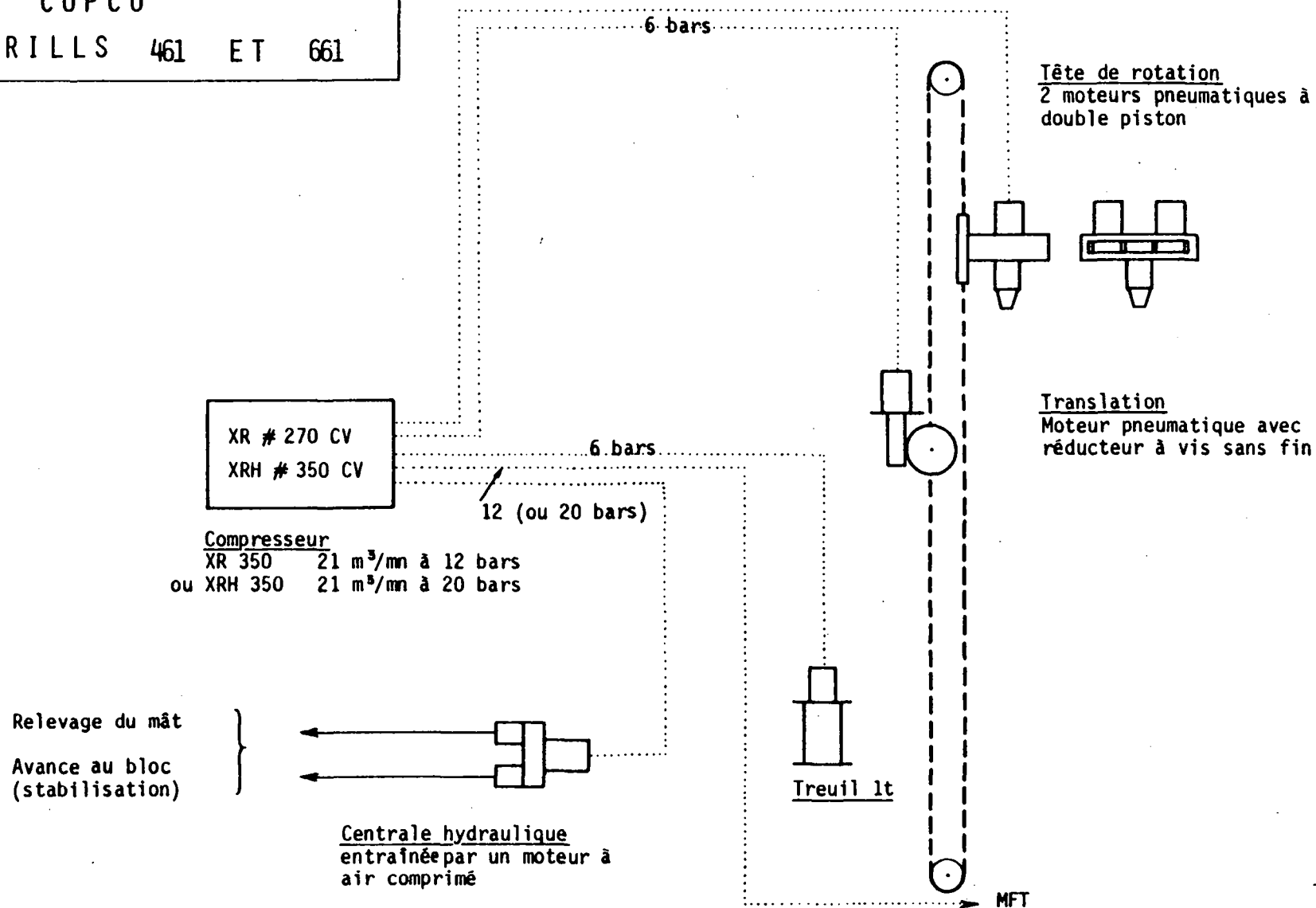
. Pompe d'injection eau/mousse : Pompe à piston entraînée par un moteur hydraulique. Débit : 38 l/mn.

. Chargement des tiges : Barillet de 4 tiges
Treuil et tête de levage pour les tiges suivantes.

. Dégagement axe du forage : - La tête de rotation peut être positionnée en haut du mât (course utile : 7,60 m).
- Table de calage des tiges : ouverture maxi : 508 mm ou 600 (options).

. Poids : 20,1 t pour l'ensemble décrit ci-dessus.

ATLAS COPCO
AQUADRILLS 461 ET 661



ATLAS COPCO	AQUADRILL 461 ET 661		
Description			Observations
<p>. <u>Caractéristiques essentielles</u> : MFT seul; transmission pneumatique ; <u>tubage à l'avancement</u> ; deux versions : Aquadrill 461 avec mar- teau Cop 4. Aquadrill 661 avec marteau Cop 6.; tête de rotation</p> <p>. <u>Moteurs</u> : Moteur du compresseur : XR 350 (21 m³/mn à 12 bars) : 225 CV à 2300 t/mn ou XRH 350 (21 m³/mn à 20 bars) : 340 CV à 2500 t/mn</p> <p>. <u>Rotation</u> : tête de rotation entraînée par 2 moteurs pneumatiques. Vitesse variable de manière continue de 0 à 60 t/mn. Couple maxi : 200 m.kg.</p> <p>. <u>Tubage à l'avancement</u> : Système Odex. Taillant excentré permettant de mettre en place des tubes métalliques soudés (dont la descente est facilitée par la frappe du MFT sur un sabot de pied).</p>			Deutz F8L 413 Deutz F12L 413
	Marteau	Ø Taillants mm	Ø int. sabot mm
Aquadrill 461 Aquadrill 661	Cop 4 Cop 6	105 à 115 152 à 165	115 165
<p>. <u>Translation</u> : Moteur pneumatique et chaîne Poussée maxi : 3,4 t. Traction maxi : 3,4 t. Vitesse : 2,8 m/mn. Course maxi : Tiges de 3,5 m.</p> <p>. <u>Mât</u> : En profilé ; capacité</p> <p>. <u>Treuil</u> : Entraînement pneumatique Puissance sur brin simple : 1 t Moufflage à 2 brins ; puissance totale 2 t.</p> <p>. <u>Pompe d'injection eau-mousse</u> : Pompe pneumatique indépendante Alémite.</p> <p>. <u>Chargement des tiges</u> : treuil de manutention sur Aquadrill 661. chargement à la main sur Aquadrill 461.</p> <p>. <u>Poids soudeuse seule</u> : (sans le compresseur):</p> <p>Aquadrill 461 : 2,25 t Aquadrill 661 : 2,7 t</p>			

ACKER		WA II																				
Description				Observations																		
<ul style="list-style-type: none">. <u>Caractéristiques essentielles</u> : sondeuse polyvalente rotary + MFT, circulation inverse, tarière ; tête de rotation, transmission hydraulique.. <u>Moteur</u> : sondeuse : moteur 100 CV à 1800 t/mn GM 4031-C Compresseur : unité indépendante. <u>Rotation</u> : tête de rotation entraînée par 2 moteurs hydrauliques + réduction à 2 vitesses																						
<table><tr><th rowspan="2"></th><th colspan="2">Basse vitesse</th><th colspan="2">Haute vitesse</th></tr><tr><th>t/mn</th><th>m.kg</th><th>t/mn</th><th>m.kg</th></tr><tr><td>1 moteur</td><td>70</td><td>710</td><td>226</td><td>1 350</td></tr><tr><td>2 moteurs</td><td>34</td><td>1 438</td><td>125</td><td>379</td></tr></table>						Basse vitesse		Haute vitesse		t/mn	m.kg	t/mn	m.kg	1 moteur	70	710	226	1 350	2 moteurs	34	1 438	125
	Basse vitesse		Haute vitesse																			
	t/mn	m.kg	t/mn	m.kg																		
1 moteur	70	710	226	1 350																		
2 moteurs	34	1 438	125	379																		
<ul style="list-style-type: none">. <u>Translation</u> : vérin à double effet + câble mouflé .																						
<table><tr><th></th><th>Force maxi</th><th>Vitesse</th></tr><tr><td>poussée</td><td>10,9 t</td><td>2,4 à 12 m/mn</td></tr><tr><td>traction</td><td>9 t</td><td>3 à 15 m/mn</td></tr></table>					Force maxi	Vitesse	poussée	10,9 t	2,4 à 12 m/mn	traction	9 t	3 à 15 m/mn										
	Force maxi	Vitesse																				
poussée	10,9 t	2,4 à 12 m/mn																				
traction	9 t	3 à 15 m/mn																				
Course : 7,32 m																						
<ul style="list-style-type: none">. <u>Centrale hydraulique</u> : 1 pompe principale à débit variable 250 l/mn à 175 bars 1 pompe auxiliaire à débit fixe 70 l/mn à 140 bars. <u>Mât</u> : en profilés ; course utile 7,32 m. <u>Treuil</u> : entraînement hydraulique (engrenage planétaire) force : 4,5 t sur brin simple capacité : 27,5 m de câble 1/2" vitesse : 15,8 m/mn (sur lère rangée) frein automatique dans les 2 sens.. <u>Compresseur</u> (option) : compresseur autonome 10 m3/mn à 7 bars pour circulation inverse.. <u>Pompe à boue</u> (option) : 580 l/mn à 22 bars.. <u>Poids de la sondeuse seule</u> : (sans compresseur ni pompe à boue) 8,9 t.. <u>Chargement des tiges</u> : tête de rotation basculante.																						

CARACTERISTIQUES ET SCHEMAS DE QUELQUES MACHINES

LEGENDE

.....	Circuit d'air comprimé
——	Circuit hydraulique
----	Chaîne
----	Câble
----	Arbre
	} Transmission mécanique
BV =	Boîte de Vitesse
BT =	Boîte de Transfert
PTO =	Power Take Off (Prise de Force)
MFT =	Marteau Fond de Trou

SONDEUSES CITEES

Acker WA II	Ingersoll Rand TH 60
Atlas Copco Aquadrills	Ingersoll Rand RO 300
Atlas Copco Rotamec 1302	Portadrill TLS
Bonne Espérance FBE2 GC	Simco 5000 WS
Failing 1250	Stenuick Perfo 66 D
Foraco SM 70	Stenuick Perfo 80
Foraco VPRH	Umdi DO 100
	Umdi SR 200

CONSOMMATIONS : STATISTIQUES SUR UN PROGRAMME RECENT EN COTE D'IVOIRE

- Programme de forages villageois dans des granites de dureté moyenne réalisé en 14 mois avec 3 machines.
- Métrage total effectué : 24.248 m (dont 12.786 m dans les altérites et 11.462 m dans la roche saine).
- Nombre de forages réalisés : 420, dont 330 positifs, équipés.
- Profondeur moyenne des forages positifs : 57 m (dont 32 m dans les altérites et 25 m en roche saine).

CONSOMMATIONS MOYENNES PAR FORAGE

- Gas-oil	623 l
- Mousse	33 l
- Huile	42,7 l
- Gravier	0,48 m ³
- Ciment	500 kg

METRAGE MOYEN PAR OUTIL DE FORAGE

- Marteaux	1910 m
- Taillants	546 m
- Tricones à dents	182 m
- Tricones à pastilles	1626 m

HEURES DE TRAVAIL DES SONDEUSES

- 5198 h pour les 3 sondeuses, soit 4,7 m/heure.

ENTRETIEN D'UNE SONDEUSE HYDRAULIQUE ROTARY-MFT (1)1) Contrôle et graissage

Tous les jours : 10 points de contrôle, 10 points de graissage.

Toutes les semaines 8 points de contrôle, 6 points de graissage supplémentaires.

Tous les mois : 11 points de contrôle, 5 points de graissage supplémentaire.

2) Lubrifiants

Organes à lubrifier	Volume huile 1	Fréquence vidange	Type de lubrifiant	Prix approxim. FCFA/1 (2)
Moteur camion (8V92t)	37	100 ^h	Huile moteur di sel MIL 2104B SAE 40	520
Boîte Fuller	13	600 ^h	Huile MIL 2104C SAE 50	535
Pont AV. et AR. camion	25	26 000 km camion	Huile MIL 2105B SAE 140	570
Boîte de transfert			Graisse	
Boîte Cotta	10 à 15	6 mois	Huile MIL 2105B SAE 140	570
Boîte Fuller d'entraî- nement des pompes	5 à 10	6 mois	Huile MIL 2105B SAE 90	570
Système hydraulique	400	6 mois	Huile hydraulique antiusure 68CSP à 40°C	485
Tête de rotation	10	2 mois	Huile MIL 2105B SAE 90	570
Compresseur 21m3/mn, 17,5b	128	1000 ^h ou 6 mois	Huile de synthèse spéciale compresseur (SHC 626)	2 260
Graisseur de ligne pour marteaux	2 l/h (2,5 l/h si forage à la mousse)		Huile spéciale pour marteaux ISO 100	460
Réducteur pompe à boue	15	2500 ^h ou 6 mois	Huile MIL 2105B SAE 90	570
Pompe à boue	40	5000 ^h	Huile MIL 2105B SAE 140	570

3) Filtres

Type de filtre	Nombre	Fréquence de changement	Coût approx. FCFA
Filtre à huile moteur	1	2 mois	14.000
Filtre à gas oil	2	"	16.600 les 2
Filtre à air moteur	2	"	46.350 les 2
Filtres à air compresseur	2	"	46.350 les 2
Filtres à huile hydraulique	2	6 mois	35.000 les 2
Filtres à huile compresseur		"	8.700

Nota : (1) Sondeuse Ingersoll-Rand TH60

(2) Prix T.T.C. Abidjan, août 1981

(3) Prix T.T.C. France, août 1981

2) Tiges spéciales pour MFT :

	Longueur m	poids en kg / mètre		
		Tiges 90 (3 1/2")	Tiges 120 (4 3/4")	Tiges 140 (5 1/2")
Stenuick (Tiges simples épaisseur 5 mm)	1	18	26,5	31
	2	13,5	19	22,5
	3	12	16,7	21,7

3) Doubles tiges pour circulation inverse à l'air :

Diamètres en pouces	Ø ext.	Ø int.
Foraco	5 8	2 1/2 6
Ingersoll Rand	6 1/2	

PORTA DRILL

TLS

Description

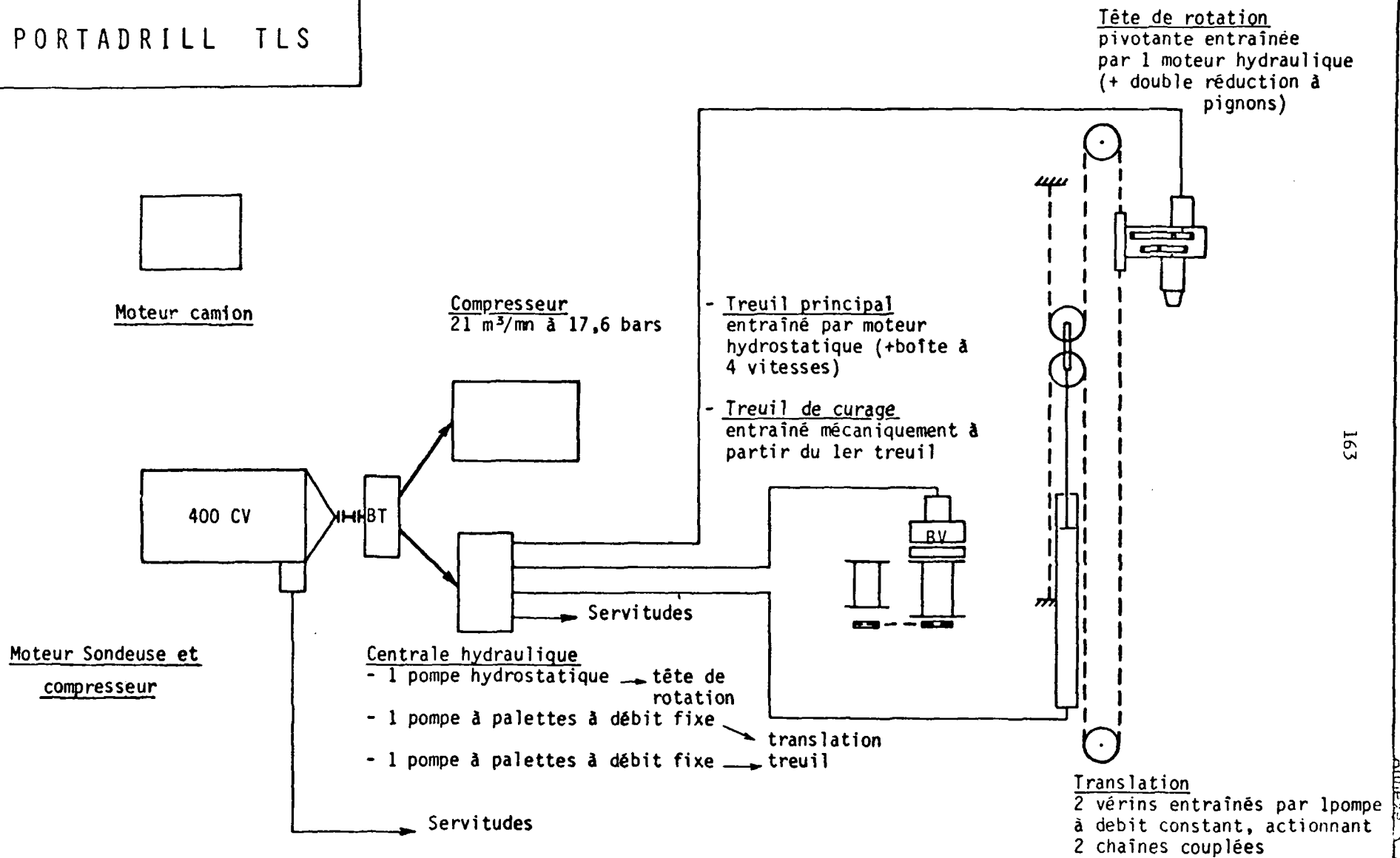
Observations

- . Caractéristiques essentielles : Rotary à l'air (+ boue en option) + MFT ; tête de rotation ; transmission hydraulique.
- . Moteurs : - moteur unique pour la sondeuse et le compresseur (différent de celui du camion)
400 CV à 2100 t/mn (DIN A)
- moteur camion (6 x 4) environ 200 CV
- . Compresseur : Sullair 21 m³/mn à 17,6 bars
(option : 25,5 m³/mn à 21 bars)
- . Tête de rotation : tête pivotante entraînée par un moteur hydraulique à pistons + pompe hydrostatique ; double réduction à pignons.

	Vitesse	Couple maxi
Standard	variat. cont. 0 à 145 t/mn	665 m.kg
Option	variat. cont. 0 à 90 t/mn	900 m.kg

- . Translation : Par vérins et chaînes ; entraînement par pompe à palettes à débit fixe.
Poussée maxi : 13,5 t
traction maxi : 24 t
Course utile 6,25 m
Vitesse maxi : montée : 18,3 m/mn
descente : 13,7 m/mn
- . Mât : treillage métallique ; hauteur utile : 11 m ; capacité 27 t
- . Treuil :
- 1 treuil principal entraîné par moteur hydrostatique et pompe à palettes à débit fixe + boîte mécanique à 4 vitesses
force 6,75 t sur brin simple
moufflée à 4 brins ; force totale 27 t
vitesse : variat. cont. de 0 à 43 m/mn
- treuil de curage : 2 t sur 1 brin
vitesse : variat. cont. de 0 à 113 m/mn
- . Pompe d'injection eau-mousse :
Pompe duplex : standard : 0 à 30 l/mn à 21 bars
option : 0 à 76 l/mn à 35 bars
entraînée par un moteur hydraulique à pistons libres et pompe hydrostatique.
- . Huileur de ligne : pompe à piston pneumatique.
- . Réglage du poids sur l'outil : circuit de fuite sur les vérins, réglable manuellement.
- . Chargement des tiges : câble et tête de levage (potence en haut du mât)
- . Poids total de sondeuse sur camion : 27,9 t
- . Dégagement axe forage : tête de rotation pivotante.

PORTADRILL TLS



SIMCO		5000 WS																			
Description		Observations																			
<ul style="list-style-type: none"><u>Caractéristiques essentielles</u> : Rotary + MFT; tête de rotation; transmission hydraulique.<u>Moteur thermique</u> : Moteur sondeuse 100 CV à 2400 t/mn. (dans l'option forage à l'air avec compresseur intégré à la machine, moteur 210 CV à 2800 t/mn.<u>Compresseur</u> : - entraîné par moteur sondeuse : 13,6 m³/mn à 17,5 bars - ou autonome, au choix de l'utilisateur.<u>Centrale hydraulique</u> : Pression circuit principal : 350 bars Pression circuits auxiliaires : 140,175 et 245 bars.<u>Rotation</u> : Tête de rotation à engrenage planétaire entraînée par un moteur hydraul. à pistons à cylindrée variable (pompe hydrostatique). 2 gammes de vitesse : Régime hi-torque Régime high speed		Deutz F6L 912 Caterpillar 3208																			
<table><tr><td></td><td>Vitesse</td><td>couple</td></tr><tr><td>1</td><td>variable de 0 à 40 t/mn</td><td>1355m.kg</td></tr><tr><td>2</td><td>" " 0 à 100t/mn</td><td>542m.kg</td></tr></table>			Vitesse	couple	1	variable de 0 à 40 t/mn	1355m.kg	2	" " 0 à 100t/mn	542m.kg	<table><tr><td></td><td>Vitesse</td><td>couple</td></tr><tr><td>1</td><td>variable de 0 à 200t/mn</td><td>339 m.k</td></tr><tr><td>2</td><td>" " 0 à 600t/mn</td><td>40 m.k</td></tr></table>			Vitesse	couple	1	variable de 0 à 200t/mn	339 m.k	2	" " 0 à 600t/mn	40 m.k
	Vitesse	couple																			
1	variable de 0 à 40 t/mn	1355m.kg																			
2	" " 0 à 100t/mn	542m.kg																			
	Vitesse	couple																			
1	variable de 0 à 200t/mn	339 m.k																			
2	" " 0 à 600t/mn	40 m.k																			
<ul style="list-style-type: none"><u>Translation</u> : 2 chaînes jumelées entraînées par un moteur hydraulique à palettes (pompe à palettes à débit constant). Vitesse : 0 à 23,5 m/mn Roussée maxi : 5,9 t (option : 6,8 t) Traction maxi : 5,9 t (option : 6,8 t) Course utile : 6,90 m.<u>Mât</u> : Poutre; capacité : 13,6 t (option : 20 t).<u>Treuil principal</u> : Entraîné hydrauliquement (pompe hydrostatique). Capacité : 4,5 t sur brin simple (option : 5,9 t) Moufflage : 2 brins : force totale 9 t (option : 11,8 t) Vitesse : variation cont. de 0 à 37,5 m/mn.<u>Treuil auxiliaire (option)</u> : Entraîné hydrauliquement (pompe à débit constant). Capacité : 1,1 t sur brin simple. Moufflage : 1 brin. Vitesse : 0 à 49,5 m/mn.<u>Pompe à boue</u> : - centrifuge 3701/mn à 12,5 bars; 18501/mn à 8,4 bars. (Magnum 3"x4") - ou duplex ou triplex : choix de pompes débitant de 2001/mn à 20 bars à 6501/mn à 22 bars. Entraînement hydraulique (pompe hydrostatique).<u>Poids sondeuse</u> : 6 t (avec pompe centrifuge, sans compresseur).																					

SIMCO 5 000 WS

200 à 300 CV

Compresseur
Unité indépendante

100 CV

Moteur sondeuse

Centrale hydraulique :

- 1) Pompes hydrostatiques à pistons
- 2) à débit variable (pression 350 bars)
- 3) Pompes hydrauliques à palettes à débit
- 4) constant (pression 140, 175, 245 bars)

Pompe à boue

Fonctions auxiliaires

Treuil principal
Treuil auxiliaire

Tête de rotation
à engrenage planétaire
entraînée par un moteur
hydraulique à pistons
à cylindrée variable

Translation
par chaîne simple et
moteur hydraulique
(pompe hydraulique à
débit constant)

STENUICK

PERFO 66 D

Description

Observations

- . Caractéristiques essentielles : MFT seul; entièrement pneumatique; tête de rotation ; tubage à l'avancement.
- . Moteur thermique : Celui du compresseur.
- . Compresseur : Minimum $20 \text{ m}^3/\text{mn}$ à 10-12 bars.
- . Rotation : Tête de rotation entraînée par un moteur pneumatique 4 CV (consom. d'air : $3 \text{ m}^3/\text{mn}$).
Vitesse : Variat. continue de 0 à 45 t/mn.
Couple maxi : 280 m.kg (au calage à 6 bars).
- . Tubage à l'avancement : Système Saturne (diamètre 117/133 mm ou 152/168 mm)
Tubage entraîné par un moteur pneumatique 4 CV tournant en sens inverse du marteau (Consommation d'air : $3 \text{ m}^3/\text{mn}$); boîte de réduction rapport 0,5.
Vitesse réglable de manière continue.

Couple maxi	Vitesse maxi
410 m.kg	30t/mn
820 m.kg	15t/mn

(au calage à 6 bars en sortie moteur)
(au calage à 6 bars en sortie réducteur Saturne)

- . Translation : 2 moteurs pneumatiques (4 + 4 = 8 CV)
+ Chaîne
Vitesse maxi : 30 m/mn
Traction maxi : 3,6 t
Poussée maxi : 3,6 t.
- . Régulateur de poussée : Vérin double effet $\varnothing 200 \text{ mm}$ assurant au niveau de l'outil un appui constant quelle que soit la profondeur.
- . Mât : Force 20 t
Course utile : Standard tiges 3 m
: option tiges 4,50 m.
- . Treuil : Entraînement par moteur pneumatique 4 CV
Capacité : 1,5 t sur brin simple
Moufflage : 2 brins force : 3 t.

Pompe d'injection eau-mousse : Pompe à piston à entraînement pneumatique; 50 l/mn à 25 bars.

- . Calage des tiges : étau pneumatique.
- . Desserrage des tiges : Clé Vénus.
- . Chargement des tiges : Treuil + tête de levage (ou à la main)
- . Poids sondeuse (sans compresseur) : 3,5 t.

STENUICK PERFO 66D

Compresseur
minimum 20 m³/mn
à 10-12 bars

200 à 300 CV

Option:
Pompe à boue
centrifuge
groupe indépendant

100 CV

Treuil
1 moteur pneumatique
4 CV

Rotation
1 moteur pneumatique
4 CV (cons. 3m³/mn)

Saturne
1 moteur pneumatique
4 CV (cons. 3m³/mn)

Translation par chaîne
2 moteurs pneumatiques
4+4 = 8 CV

STENUICK	PERFO 80
Description	Observations
<ul style="list-style-type: none"> . <u>Caractéristiques essentielles</u> : Rotary + MFT ; transmission hyd. + pneumatique ou tout hydraulique; tubage à l'avancement ; tête de rotation . <u>Moteurs thermiques</u> : - Moteur sondeuse 106 CV à 2500t/mn ou 50 CV à " - Moteur compresseur - Moteur pompe à boue : 100 CV. . <u>Rotation</u> : Tête de rotation entraînée par 1 moteur hydraul. (pompe hydrostatique) Vitesse : variat. cont. de 0 à 130 t/mn. Couple maxi. : 800 m.kg. . <u>Tubage à l'avancement</u> : Système Saturne(diamètre 117/133 mm ou 152/168 mm) (ou diamètre 209/229 mm avec entraînement hydraulique) . <u>Translation</u> : 1 ou 2 moteurs hydrauliques (à pistons axiaux) + Chaîne; ou moteurs pneumatiques à pistons) 2 vitesses : 15 et 30 m/mn Poussée maxi : 9 t Traction maxi 15 t . <u>Régulateur de poussée</u> : (idem perfo 66 D) . <u>Mât</u> : Capacité 25 t Course utile : Standard : Tiges : 4,50 m Option : Tiges : 6 m . <u>Treuil</u> : Entraînement par moteur hydraulique. Capacité : 1,5 t sur brin simple. Moufflage : 2 brins ; force totale 3 t Vitesse : 26 m/mn. . <u>Pompe à boue</u> : Pompe centrifuge 1666 l/mn à 12 bars(ou tout autre modèle.) . <u>Pompe d'injection eau-mousse</u> : idem Perfo 66 D. . Chargement, calage, desserrage des tiges : idem Perfo 66 D. . Table de calage rétractable (sur option) : dégag^t Ø 60 cm. . <u>Poids sondeuse</u> (sans compresseur). : 5 t 	<ul style="list-style-type: none"> (Deutz F6L 912) (Deutz F3L 912)

STENUICK PERFO 80

Pompe à boue
Centrifuge
groupe indépendant

100 CV

Compresseur
unité indépendante

250 à 300 CV

Centrale hydraulique
2 pompes hydrauliques
à engrenage

106 CV

Moteur sondeuse

Compresseur d'air
pour l'asservissement
→ régulateur de poussée
→ AC chantier

Fonctions annexes (levage mât,
vérins de calage, etc...)

Pompe hydrostatique
(116 l/mn à 2 500 t/mn, 350 bars)

90 l/mn à 2 500 t/mn, 200 bars

Saturne entraîné
par un moteur
pneumatique

Tête de rotation
entraînée par un
moteur hydraulique

Treuil

Translation
1 ou 2 moteurs hydrauliques

169

Annexe 3.13/24

UMDI (DOMINE)	DO 100
Description	Observations
<ul style="list-style-type: none"> . <u>Caractéristiques essentielles</u> : sondeuse légère Rotary + MFT ; tête de rotation ; transmission hydraulique ; carottage au câble. . <u>Moteurs</u> : <ul style="list-style-type: none"> - sondeuse et pompe à boue moteur 89 CV (Deutz F6L 413) ou 57 CV (Deutz F4L 413) - compresseur : unité indépendante. . <u>Rotation</u> : Tête de rotation à pignons Moteur hydraulique 3 vitesses à partir d'une pompe à 2 corps ; relais mécanique 2 vitesses ; au total 6 vitesses de rotation ; couple maxi : 400 m.kg . <u>Translation</u> : par moteur hydraulique, réducteur et chaînes. Régulation de la vitesse par régulateur de débit et limiteur de pression. Vitesse rapide : 36 m/mn Vitesse lente : 0 à 9 m/mn Traction maxi : 6 t Poussée maxi : 4,5 t Course utile : 5,1 m (avec crown block effacé) . <u>Treuil principal</u> : 2 t sur brin simple vitesse : 40 m/mn . <u>Treuil secondaire</u> : 850 kg sur brin simple vitesse : 120 m/mn (couche moyenne) . <u>Mât</u> : profilé. . <u>Crown block</u> : escamotable, 2 ou 4 poulies. . <u>Pompe à boue</u> : pompe triplex ; 2 vitesses d'entraînement à partir d'une pompe hydraulique à 2 corps : 125 l/mn ; 35 bars 245 l/mn ; 35 bars . <u>Etau de serrage hydraulique</u> . <u>Débloccage des tiges</u> : clé actionnée par vérin. . <u>Poids</u> : 3,5 t (sondeuse seule avec pompe à boue, sans compresseur) 	<p>(option : pompe hydrostatique à débit variable)</p>

UMDI DO 100

Compresseur
unité indépendante

200 à 300 CV

Moteur sondeuse

89 CV

Pompe à boue :
2 vitesses à partir
d'une pompe à 2 corps

Tête de rotation
3 vitesses à partir
d'une pompe à 2 corps
+ relais mécanique

Treuil 0,85t

Treuil 2t

Refroidissement
Servitudes :
Relais rotation
crabot
levage mât
position crown-block

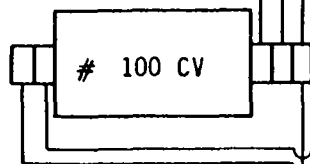
Translation : chaîne + moteur hydraulique
- avance rapide : 36 m/mn
- avance lente : 3-9 m/mn réglable
par régulateur de débit (+ limitateur de pression)

U M D I (DOMINE)	SR 200
Description	Observations
<ul style="list-style-type: none"> . <u>Caractéristiques essentielles</u> : Rotary + MFT ; tête de rotation ; transmission hydraulique . <u>Moteurs</u> : Sondeuse et pompe à boue : moteur indépendant (environ 100 CV) Compresseur : unité indépendante . <u>Rotation</u> : Tête de rotation entraînée par 2 moteurs hydrauliques et pompe à 2 corps à débit fixe ; relais mécanique 2 vitesses ; total 4 vitesses de rotation : 35, 55, 170, 250 t/mn - couple maxi : 400 mkg . <u>Translation</u> : par vérin hydraulique et câbles. Traction maxi : 5,5 t Poussée maxi : 3,5 t Course utile : 3,50 m sous tête de rotation (prolongateur de glissière pour manoeuvre au treuil de tiges de 6 m). . <u>Mât</u> : En profilé : force 7 t . <u>Treuil principal</u> : 2,5 t sur brin simple (1^{ère} couche) moufflage à 1 brin ; force totale 2,5 t - vitesse 60 m/mn . <u>Treuil auxiliaire</u> (option) . <u>Cabestan</u> . <u>Pompes à boue</u> : pompe à pistons plongeurs entraînée hydrauliquement ; débit réglable jusqu'à 167 l/mn pression maxi : 35 bars à 165 l/mn 55 bars à 100 l/mn . Effacement du frein de tiges pour passage de gros outils. 	

UMDI SR 200

Compresseur
unité indépendante

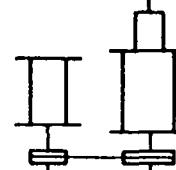
200 à 300 CV



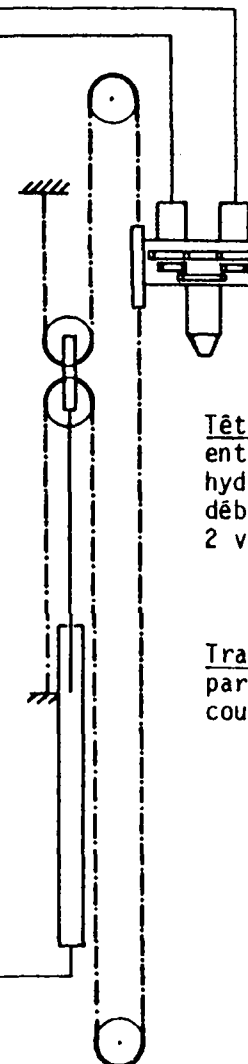
Moteur Sondeuse

Pompe à boue

Fonctions annexes



Treuils



Tête de rotation
entraînée par 2 moteurs
hydrauliques (pompes à
débit fixe) + boîte
2 vitesses

Translation
par vérin et câbles
course utile 3,50m

A N N E X E 4

M A C H I N E S R O T A R Y

FAILING

2 500

Description

Observations

Caractéristiques essentielles : Sondeuse rotary à la boue pour forages profonds dans le sédimentaire (jusqu'à 800 m terminé en 10")

Moteurs : 2 moteurs identiques fournissant au total 150 à 180 CV.
Ensemble moteurs et sondeuse monté sur châssis autonome.

Distribution du mouvement : Transmission mécanique (embrayages et clabots à commande par air ; boîte de vitesse et freins de treuils à commande mécanique). Boîte "compound" permettant d'utiliser les 2 moteurs séparément ou couplés.

Table de rotation : ouverture 18"
capacité : 50 tonnes (à 100 t/mn).

Treuil de manoeuvres :
Force de traction au 1er brin : 7 t
Capacité de levage : 25 t avec moufflage à 4 brins
30 t avec moufflage à 6 brins
Capacité d'enroulement : 100 m de câble 19 mm.

Treuil de curage :
Force de traction au 1er brin : 2,7 t
Capacité d'enroulement : 1000 m de câble 11 mm

2 cabestans

Mât tubulaire :
Hauteur sous crown bloc : 17,40 m
Capacité totale standard : 40 t
Capacité standard au crochet : 27 t,
permet de gerber 760 m de tiges 3 1/2"

Pompe à boue :
Standard : pompe gardner Denver FD-Fxx 5 1/2 x 8"
(750 l/mn à 65 cpm sous 22 bars)
Option : pompe gardner Denver 7 1/2 x 8"

Poids de l'ensemble sur châssis : 15 t

Capacité :

Profondeur	Tiges	Diamètre
800 m	3 1/2 IF	60" à 10"
1 100 m	2 7/8 IF	12" à 6"
1 500 m	2 3/8 IF	7" à 5"

ANNEXE 5

MACHINES DE BATTAGE

ANNEXE 5

MACHINES DE BATTAGE

BONNE ESPERANCE

A P E C

Description

Observations

Caractéristiques essentielles :

Sondeuse au battage de capacité moyenne permettant de forer
jusqu'à 150 m en 390 mm (ou 60 m en 470 mm)

Moteur : 40 CV à 1500 t/mn
(ensemble moteur et sondeuse monté sur remorque).

Batteur : 55 coups/mn.

Masse de battage : 2,5 t course 30 cm
1,5 t course 50 cm
1,1 t course 70 cm

Trépans : de 276 mm (315 kg) à 1000 mm (1,7 t)

Mât :

Hauteur : 9,50 m (télescopé 12,50 m)
Capacité : 18 t

Treuil de battage et de manoeuvre :

Force sur brin simple : 4 t (vitesse 22 m/mn)
Force avec moufflage à 2 brins : 8 t (vitesse 11 m/mn)
Capacité : 300 m de câble Ø 3/4"

Treuil de curage :

Force sur brin simple : 2 t
Vitesse de remontée moyenne : 45 m/mn
Capacité : 300 m de câble Ø 1/2"
Le treuil est muni d'un embrayage et d'un frein à commande
individuelle permettant le travail à la benne.

4 vérins de calage à vis.

Poids : ensemble monté sur remorque : 10,3 t.

Description

Observations

Caractéristiques essentielles :

- . Moteur : 50 CV à 1600 t/mn
- . Batteur : 55 c/mn
course 56,74 et 92 cm
- . Masse de battage : 1,18 t à 120 m
0,9 t à 305 m
- . Mât télescopique :
Hauteur : 12 m (en position sortie)
Capacité : 10 t
- . Treuil principal :
Force sur brin simple : 3,6 t (1ère couche)
1,6 t (dernière couche)
Vitesse : 36 à 166 m/mn (maxi 120 m/mn avec longueur ci-dessous)
Longueur normale de câble : 305 m de câble 19 mm
- . Treuil de curage :
Force sur brin simple : 1,5 t (1ère couche)
0,7 t (dernière couche)
Vitesse : 82 à 217 m/mn (maxi 200 m/mn avec longueur ci-dessous)
Longueur normale de câble : 305 m de câble 11-13 mm
- . Treuil de manoeuvre :
Force sur brin simple : 3,2 t (1ère couche)
2,5 t (dernière couche)
Vitesse : 21 à 61 m/mn
Longueur normale de câble : 60 m de câble 16 mm
- . Capacité de forage :

Diamètre (mm)	Profondeur (m)
760-690	30
610-460	120
380	180
300	240
250	305
150	455

- . Possibilité de conversion en sondeuse rotary.
- . Poids : ensemble monté sur remorque : 6,1 t

ANNEXE 6

MACHINES PERMETTANT DE FORER DES PUIITS

FOREUSE TARIERE-BUCKETA. Caractéristiques d'un atelier CALWELD 250 B (1)1) Foreuse :

- Camion porteur 6 x 4 MACK (250 CV)
- Moteur sondeuse : moteur "General Motors" 240 CV
- Derrick de 12,80 m
- Kelly télescopique 3 éléments de 10 m
Profondeur maximum : 29 m
- Treuil à double tambour (puissance 4 tonnes)
 - . Kelly
 - . câble de service
- Table de rotation : diamètre intérieur 1,32 m
 - . couple maxi : 5000 m kg
 - . vitesse rotation moyenne 20 tours/minute
- Dispositif de poussée par mandrin hydraulique actionné par vérins verticaux pour le passage des terrains indurés en début de forage (cuirasse)
- 2 vérins latéraux de stabilisation pour le véhicule

2) Accessoires

- 3 tubages de protection pouvant être télescopés au fur et à mesure de la foration, en tôle roulée soudée de 4 mm, garnis de guides extérieurs de centrage

tube Ø 1300 d'une longueur de 6,40 m
tube Ø 1100 d'une longueur de 7,00 m
tube Ø 950 d'une longueur de 6,00 m

soit une hauteur utile de 16 m en prenant un mètre de sécurité au-dessus du niveau statique (cote de l'éboulement) et un recouvrement de 1 m entre chaque tubage.

- Guides centreurs de buses descendus à l'intérieur du tubage Ø 1100
- Ciseaux à buse pour la descente des buses dans le sondage
- 2 chapeaux chinois pour le gravillonnage de l'espace annulaire.

Nota (1) : Nous décrivons ici un atelier FOREXI, Côte d'Ivoire (cf. rapport 24)

3) Véhicules

. Déplacement du chantier :

- Camion porteur de la foreuse MACK
- Camion d'accompagnement MACK avec grue de manutention pour les tubages, buckets et accessoires (2 voyages nécessaires pour chaque puits, un seul pour les sondages)
- Véhicule léger pour transport du personnel (10 personnes)

. Approvisionnement :

- Camion MACK avec grue de manutention pour le transport des buses (2 voyages)
- Camion MACK benne pour le transport du gravier, environ 10 m³ (1 voyage)

B. Phase de construction d'un puits foré 800/600 mm

(puits de Touté 330/P1; sous-préf. de Dianra; Extrait du rapport (24)).

a - Travaux de foration : le 12 Mai 1979

Phase 1 :

- Forage en Ø 1500 (Bucket Ø 1200 + aléreur) de 0 m à 13,40 m
Pose tubage Ø 1300 de 13,40 m à 7,00 m (8H05 à 9H)
- Forage Ø 1200 (Bucket Ø 1200) de 13,40 m à 17,80 m
Pose tubage Ø 1100 de 17,80 m à 10,80 m (9H à 9H35)
- Forage en Ø 1000 (après changement de bucket) de 17,80 m à 21,90 m
(foration arrêtée à 21,90 m sur le socle granitique)
Pose tubage Ø 950 de 21,90 m à 15,90 m (9H35 à 10H15)

Phase 2 :

- Descente de la dalle de fond et des 2 premières buses
Ø 600 crépinées sur un lit de gravier (0,30 m).

Phase 3 :

- Descente de 3 buses crépinées Ø 600.
- Graviillonnage de l'espace annulaire à l'aide du petit chapeau chinois et retrait du tubage Ø 950 au fur et à mesure de l'opération (11H25)

Phase 4 :

- Descente dernière buse Ø 600 crépinée et de 3 buses Ø 600 pleines
- Deuxième phase de gravillonnage de la colonne Ø 600 avec retrait du tubage Ø 1100
- Pose de la couronne intermédiaire à 12H45.

Phase 5 :

- Descente de 4 buses Ø 800 pleines
- Gravillonnage de l'espace annulaire et retrait du tubage Ø 1300 à 14H30.

Phase 6 :

- Descente des dernières buses Ø 800 pleines
- Pose du couvercle
- Damage de l'espace annulaire avec du tout-venant (déblais du puits)
- Cimentation de l'espace annulaire sur 1,50 m
- Fin des travaux à 16H20.

b- Travaux de finition

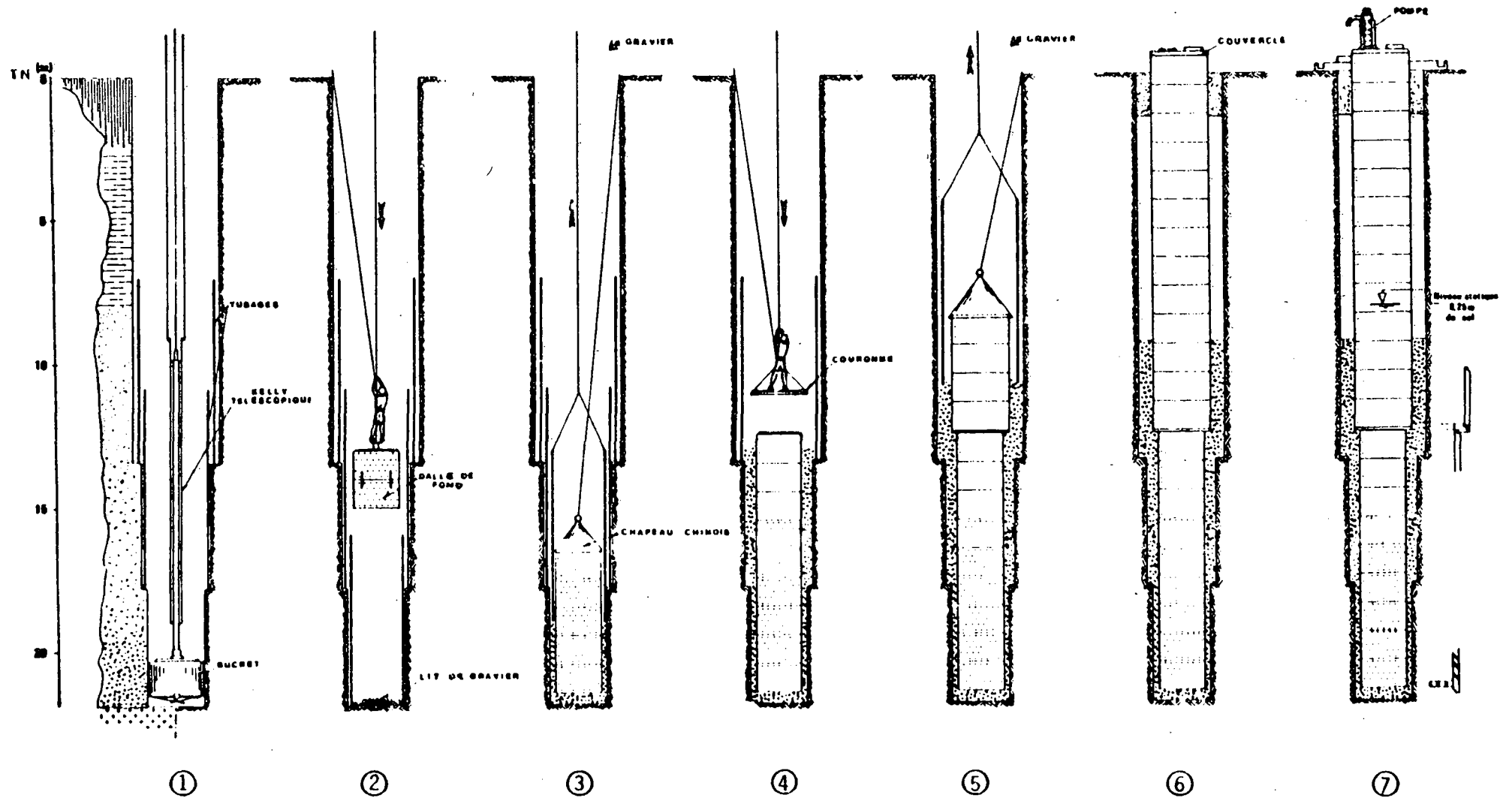
- Développement de l'ouvrage, le 16 Mai 1979 (durée 4 heures)
- Essai de pompage; le 19 Mai 1979
 - . 2 heures de pompage à 2,900 m³/h
 - . observation de la remontée pendant 12 heures
- Construction de la margelle le 12 Juin 1979
- Pose de la pompe le 23 Juin 1979.

c- Caractéristiques de l'ouvrage

- Margelle : 0,75 m
 - . profondeur/margelle : 21,99 m
 - . couronne/margelle : 13,11 m
 - . niveau statique/margelle : 9,00 m (le 26.05.79)
- Débit exploitable : 21 m³/jour.

ANNEXE 6 - 1

PHASES DE CONSTRUCTION D'UN Puits EN DEUX DIAMÈTRES



FOREUSES AU BATTAGE-HAVAGE

Fiches techniques : SECMI TP1

GALINET TEKNIFOR MB 750

SECMI

TP1

Description

Observations

- . Caractéristiques essentielles : Benne preneuse et battage en grands diamètres; outils à tréfans permettant de forer des couches dures.
- . Moteur : Moteur sondeuse 110 CV
- . Treuil :
 - Treuil principal :
 - Force : 10 t sur la 1^{re} couche.
 - Capacité : 450 m de câble Ø 22 mm.
 - Vitesse d'enroulement : de 48 à 75 m/mn en la couche selon le rapport des poulies
 - Frein à bande à action automatique.
 - Commandes mécaniques.
 - Treuil auxiliaire (option) :
 - Force : 3 t.
- . Flèche :
 - Hauteur libre sous poutre : 8,9 à 9,25 m.
 - Poussoir d'outils (5t à 2 m) (option)
 - Fléchette permettant de manier des tubes de 1m x 1m jusqu'à une distance de 10 m.
 - Pieds réglables pour former une chèvre pour poids au crochet supérieur à 10 t.(option)
- . Chargeur automatique de déblais
- . Dispositif de battage automatique (option)
 - Force maxi : 2,5 t
 - Hauteur de battage : variable de 0,4 à 0,8 m
 - Fréquence : 35 coups/mn.
- . Tubeuse-louvoyeuse (option)
- . Outils : Bennes hémisphériques articulées (terrains tendres)
 Bennes à tréfans (terrains durs)
 Tréfans en croix
 Soupapes.

Description

Observations

- . Caractéristiques essentielles : Benne preneuse et battage en grand diamètre; outils lourds à tréfans permettant de forer des couches dures.
- . Moteur : Moteur sondeuse environ 90 CV.
- . Treuil :
 - Treuil de battage :
 - Force 7,5 t sur brin direct
 - Capacité : 110 m de câble Ø 27 mm.
 - Vitesse : 45 m/mn.
 - Frein à bande réversible, action automatique par contrepoids, relevage hydraulique.
 - Renverseur de sens de marche, pour la descente des charges lourdes (buses, etc.).
 - Treuil de curage :
 - Force : 2,5 t sur brin direct.
 - Capacité : 100 m de câble Ø 16 mm.
 - Vitesse : 30 m/mn.
 - (même fonctionnement que le treuil de battage).
- . Flèche :
 - Hauteur libre sous poulie : 9,50 m.
 - 2 contre-flèches télescopiques, formant chèvre, manoeuvrées par vérins.
 - Flèche articulée, pour écarter l'outil, manoeuvrée par vérin; portée 2 m; force 4 t.
- . Chargeur automatique de déblais
- . Dispositif de battage automatique (option)
- . Outils : Bennes hémisphériques articulées (terrains tendres)
 Bennes à tréfans (terrains durs)
 (Diamètre des bennes : jusqu'à 1,50 m).
 Tréfans en croix
 Soupapes.

WALKER NEER

S 46 A

Description	Observations																		
<p><u>Caractéristiques essentielles :</u></p> <p>Sondeuse au battage de grande puissance, permettant de réaliser des forages jusqu'en 1,50 m de diamètre.</p> <p><u>Moteur :</u> 132 CV à 1400 t/mn ou 142 CV à 1800 t/mn</p> <p>+ Boîte 4 vitesses (ensemble sondeuse et moteur monté sur semi-remorque)</p> <p><u>Battage :</u> course 66,94 et 122 cm.</p> <p><u>Treuil de battage :</u></p> <p>Force à brin simple : 27 t sur 1ère couche 5 t à tambour plein</p> <p>4 vitesses d'enroulement : 60, 110, 215, 350 m/mn (à tambour plein)</p> <p>Vitesse maxi : 100 m/mn sur 1ère couche 350 m/mn sur dernière couche.</p> <p>Capacité : 2200 m de câble 1" (25 mm).</p> <p><u>Treuil de curage :</u></p> <p>Force à brin simple : 7,6 t sur 1ère couche 2,5 t sur dernière couche</p> <p>Vitesse d'enroulement maxi : 160 m/mn (1ère couche) et 480 m/mn (dernière couche)</p> <p>Capacité : 3000 m de câble 9/16" (14 mm)</p> <p><u>Treuil de manoeuvre :</u></p> <p>Force à brin simple : 18,8 t sur 1ère couche 16,4 t sur 1ère couche</p> <p>Vitesses d'enroulement : 20, 35, 70, 120 m/mn (2ème couche)</p> <p><u>Mât télescopique :</u></p> <p>Hauteur sous poulies : 19,5 m (entièrement sorti) 12 m (en position rentrée)</p> <p>Capacité : 45 t</p> <p>Poids maximum au crochet :</p> <p>30 t avec moufflage à 4 brins 33 t avec moufflage à 6 brins</p> <p><u>Capacité de forage :</u></p> <table><tr><th>Profondeur</th><th>Poids outil</th><th>Ø outil</th></tr><tr><td>jusqu'à 100 m</td><td>3 t</td><td>1,20 à 1,50 m</td></tr><tr><td>100 à 150 m</td><td>2,6 t</td><td>1 à 1,20 m</td></tr><tr><td>150 à 200 m</td><td>2,5 t</td><td>0,8 à 0,6 m</td></tr><tr><td>200 à 500 m</td><td>2,2 t</td><td>0,4 à 0,5 m</td></tr><tr><td>1000 à 1500 m</td><td>1,3 t</td><td>0,15 à 0,20 m</td></tr></table> <p>Possibilité d'adaptation au forage rotary.</p> <p><u>Poids :</u> ensemble monté sur semi-remorque : 27 t.</p>	Profondeur	Poids outil	Ø outil	jusqu'à 100 m	3 t	1,20 à 1,50 m	100 à 150 m	2,6 t	1 à 1,20 m	150 à 200 m	2,5 t	0,8 à 0,6 m	200 à 500 m	2,2 t	0,4 à 0,5 m	1000 à 1500 m	1,3 t	0,15 à 0,20 m	
Profondeur	Poids outil	Ø outil																	
jusqu'à 100 m	3 t	1,20 à 1,50 m																	
100 à 150 m	2,6 t	1 à 1,20 m																	
150 à 200 m	2,5 t	0,8 à 0,6 m																	
200 à 500 m	2,2 t	0,4 à 0,5 m																	
1000 à 1500 m	1,3 t	0,15 à 0,20 m																	

A N N E X E 7

DONNEES SUR L'EXECUTION DES FORAGES VILLAGEOIS

7.1 FORAGE VILLAGEOIS : DECOMPOSITION DU TEMPS D'EXECUTION

Heures de travail	Sans FM	Avec FM		
		Camion	Sondeuse	Compresseur
Déplacement		2		
Installation repli	2			
Forage altérites			1	
Forage socle			3	
Pose tubage provisoire			1	
Pose tubage définitif	1		1	
Développement				2
Incidents forages			2	
Incidents mécaniques, Attentes	2		1	
TOTAL	5	2	6h. utilis. simultanées + 3	2

7.2. FORAGES VILLAGEOIS ' DECOMPOSITION DU PRIX DE REVIENT
Forage de 50 m . Débit 1m3/h Diamètre tubage 4" 1/2

Poste	Cout du poste	Nombre de poste	Prix de revient
Poste avec force motrice	400.000	0 6	240.000
Poste sans force motrice	550.000	2	1:110.000
Tricones rotation	300.000	0 07	20.000
Marteau et Taillants	400.000	0 25	100.000
Accessoires			30.000
Tubages PVC	700 f m	50 m	350.000
gravier filtre	forfait		30.000
Superstructure	forfait		100.000
Essai de pompage	forfait		100.000
Fourniture et pose de la pompe a main	forfait		300.000
Total			2,280.000 F CFA

CARACTERISTIQUES DU PVC

1) Propriétés comparées du PVC rigide (employé en forage) et du PVC souple (canalisations et autres usages).

	PROPRIÉTÉS	Unités	Méthodes d'essais (ASTM)	Polychlorure de vinyle Résines vinyliques (Chlorure et acétoclorure)	
				Rigide	Souple
PHYSIQUES	Masse volumique	g/cm ³	D792	1,35-1,45	1,16-1,35
	Indice de réfraction n _D	—	D542	1,52-1,55	—
	Transmission lumineuse	%	—	Transparent à opaque	Transparent à opaque
	Possibilités de coloration	—	—	Illimitées	Illimitées
	Absorption d'eau - 24 h, ép. 3,2 mm ..	%	D570	0,07-0,4	0,15-0,75
MÉCANIQUES	Contrainte de rupture à la traction	da N Pa (hecto-bars, kgf/mm ²)	D638-D651	3,5-6,3	1,05-2,45
	Allongement à la rupture par traction ..	%	D638	2-40	200-450
	Module d'élasticité à la traction	da N Pa (hecto-bars, kgf/mm ²)	D638	245-420	—
	Contrainte de rupture à la compression ..	« «	D695	5,6-9,1	0,63-1,19
	Contrainte de rupture à la flexion	« «	D790	7-11,2	—
	Trav. spéc. de rupt. au choc éprouv. entail.	kJ/m ² (kgf. cm/cm ²)	D256	2,1-108	Variable suivant nature et quantité plastifiant
	Trav. spéc. de rupt. au choc éprouv. lisses	« «	—	—	—
	Dureté Rockwell	—	D785	70-90 Shore	—
CHIMIQUES	Action de la lumière solaire	—	—	Brunissement	Variable suivant plastifiant
	Action des acides faibles	—	D543	Nulle	Nulle
	— — forts	—	D543	Nulle	Nulle à légère
	Action des alcalis faibles	—	D543	Nulle	Nulle
	— — forts	—	D543	Nulle	Nulle
	Action des solvants organiques	—	D543	Résistent aux alcools, hydrocarbures aliphatiques, huiles. Solubles dans cétones, esters. Gonflent dans hydrocarbures aromatiques	Résistent aux alcools, hydrocarbures aliphatiques, huiles. Solubles dans cétones, esters. Gonflent dans hydrocarbures aromatiques
TECHNOLOGIQUES	Possibilités de moulage	—	—	Médiocres à bonnes	Bonnes
	Température de moulage injection	°C	—	150-205	180-195
	— — compression	°C	—	140-205	140-180
	Pression de moulage injection	h k Pa (kgf/cm ²)	—	1050-2800	560-1750
	— — compression	h k Pa (kgf/cm ²)	—	105-140	35-140
	Facteur de contraction	—	—	2-2,4	2-2,6
	Retrait au moulage	%	—	0,1-0,4	1-5
	Qualités d'usinage	—	—	Très bonnes	—

(Extrait du livre : "Les plastiques-Guide pratique de l'utilisateur" par M. REYNE. Ingénieur en chef à la CEGOS. CFE)

2) Qualité du PVC rigide employé en forage (normes allemandes DIN)

a) Propriétés physiques du matériau (PVC)

Propriétés		Méthode d'essai
Densité env.	g cm ³	1.4
		DIN 53 479
Module d'élasticité env.	kp cm ²	30.000
		DIN 53 457
Résistance à la traction	kp cm ²	550
		DIN 53 455
Résistance aux chocs		pas de rupture
		DIN 53 452
Résilience à 20 C	cmkp/cm	3.0
		DIN 53 453
Température de ramolissement Vicat	C	80
		DIN 53 460 B

b) Résistance des tubes

Résistance à la compression extérieure des tubes ^{SBF} _{PE}			
N. D. dn		épaisseur de paroi normale	épaisseur de paroi renforcée
mm	inch	bar (kp/cm ²)	bar (kp/cm ²)
100	4	6.5	
115	4 1/2	5.0	15.5
125	5	5.5	
150	6	4.5	14.0
175	7	6.0	
200	8	6.5	14.0
250	10	6.0	14.0

DIMENSIONS ET CARACTERISTIQUES

Annexe 7.4

DE QUELQUES TUBAGES ET CREPINES P.V.C1) PB - RABANAP

Tubes rigides, vissés, avec manchons (A)
ou filetage dans la masse, à mi-épaisseur (B)

Ø Nominal mm "	Ø int. mm	Ø ext. mm	Epaisseur paroi mm	Ø maxi manchon A B
100 4"	103	113	5	
110 4 1/2	110	125	7,5	120 125
115 4 1/2	115	125	5	130
125 5"	126	140	7	149
150 6"	150	160	5	166
150 6"	149	165	8	176 165
175 7"	163	180	8,5	192
200 8"	196	210	7	220
200 8"	203	225	11	241 225

2) SBF - PREUSSAG

Tubes et crépines K (paroi normale).

Ø Nominal mm	Ø int.	Ø ext.	Epaisseur paroi	Ø maxi mm A B
100	103	113	5	119
115	115	125	5	132
125	128	140	6	149
150	152	165	6,5	174
175	178	195	8,5	206
200	205	225	10	240

Tubes et crépines KV (paroi renforcée).

Ø Nominal	Ø int.	Ø ext.	Epaisseur paroi	Ø maxi mm A B
115	110	125	7,5	137 125
125	124	140	8	140
150	146	165	9,5	180 165
200	199	225	13	246 225

3) TUBES PVC FABRIQUES EN AFRIQUE

	Ø int.	Ø ext.	Epaisseur paroi	Ø ext. manchon	Observations
FLEXIFOAM (1) Ouagadougou	112,5	125	6,25	125	vissé lisse
SOTICI (2) Abidjan	112,5	125	6,25	135	vissé avec manchon

A N N E X E 8DONNEES SUR LES COUTS

1. COUT D'UN ATELIER TYPE DE FORAGE ROTARY-MARTEAU FOND DE TROU (1)

MONTANT

1- Sondeuse et camion porteur

1 000 FCFA

Sondeuse hydraulique rotary-MFT, entraînée par prise de force du camion

- . rotation : vitesse variat. continue 0 à 360 t/mn
couple maxi 800 m.kg
- . force de traction 9 t; course 6,40 m
- . treuil 3,5 t
- . pompe à boue à pistons plongeurs 110 x 140
650 l/mn à 15 bars
- . pompe doseuse eau-mousse à air comprimé
- . caisse outils

Camion porteur 6 x 6, 150 CV à 1800 t/mn, avec treuil AV
10 t, réservoir supplém. 350 l, 4 vérins de stabilisation.

65 000

2- Compresseur et camion d'accompagnement

Compresseur 21 m³/mn à 17,5 bars

25 000

Camion porteur 6 x 6 identique au précédent
(sans le treuil)

20 000

45 000

3- Train de sonde

120 m de tiges 4 1/2 (dont 102 m en longueur de 6 m)

6 m de masse-tiges 6"

80 m de tubage de travail 7"

Raccords, accessoires, instruments de repêchage

20 tricônes 8 1/2"

13 000

4- Marteaux fond de trou

3 marteaux Mission B53-25

25 taillants 6 1/2"

Clés et pièces de rechange

15 000

5- Véhicules

Camion d'accompagnement 6 x 6, 12 à 15 t de C.U. avec grue hydr.
3 t à 1 m et 2 citernes (4 + 2m³)

25 000

Véhicule de liaison tout terrain

3 800

(1) Prix H.T. FOB port européen, mars 1981

6- Unité d'essais de pompage

Camion 4 x 4, 4 t de C.U.	
Treuil électrique 1,5 t, flèche 7 m	
Groupe électrogène 15 KVA	
1 pompe immergée 4", 12 m ³ /h à 50 m	
2 pompes immergées 4", 5 m ³ /h à 50 m	
Colonnes de refoulement, accessoires, matériel de mesure	27 000

7- Pièces de rechange pour 1 an de fonctionnement

10 % des postes 1, 2, 5, 6.	16 200
	<hr/>
TOTAL	210 000
	=====

2. COUT D'ATELIERS TYPES DE FORAGE ROTARYa) Atelier capable de forer jusqu'à 450 m en 20" ou 750 m en 10" (1)

MONTANT
1000 FCFA

1- Sondeuse

- Sondeuse sur chassis autonome, avec pompe 7 ¹ / ₂ x 10 et équipement de surface, l'ensemble monté sur demi-remorque	127 200	
- Groupe motopompe auxiliaire GD 7 ¹ / ₂ x 10 sur skid	36 000	
- 500 m de tiges 3 ¹ / ₂ IF (tiges de 6,20 m)	14 000	
- 4 masse tiges 4 ³ / ₄ " de 6 m = 24 m	3 000	
- 8 masse tiges 6 ¹ / ₄ " de 6 m = 48 m	10 000	
- 4 masse tiges 8" de 6 m = 24 m	7 500	
- Accessoires, (raccords, outils de repêchage...)	7 800	
- Lot de pièces de rechange pour 5000 m de forage : environ 10 % de 160 000 000	15 500	
	<hr/>	
	221 000	221 000

(1) Sondeuse Failing 2 500; prix H.T. départ usine Juillet 1981

Montant
1000 F CFA

2- Véhicules

- Semi-remorque de 9 m de long	8 000	
- Tracteur (pour les 2 semis)	15 000	
- Camion d'accompagnement 4 x 4, 5 t de C.V.	13 000	
- Camion citerne 6 x 4, 10 m ³	20 000	
- 1 véhicule de liaison	4 000	
- Lot de pièces de rechange pour 1 an de fonctionnement (environ 10 %)	6 000	
	<hr/>	
	66 000	66 000

3- Matériel annexe

- Groupe électrogène 15 KVA	2 500	
- Poste de soudure électrique	1 250	
- Poste de soudure oxyacétylénique	250	
- Groupe motopompe centrifuge (confection de boue)	750	
- Pièces de rechange (10 % du matériel ci-dessus)	500	
- Outillage atelier	1 000	
- Caravane climatisée	5 000	
- Matériel de campement et divers	1 750	
	<hr/>	
	13 000	13 000

TOTAL 1- à 3-

300 000
=====

4- Matériel de développement et d'essai

- Groupe motocompresseur sur roues 7 m ³ /mn à 7 bars et équipement airlift pour nettoyage du forage	25 000	
- Pompe à axe vertical 100 m ³ /h à 80 m avec 120 m de colonne pour essais de débit	7 500	
- Pièces de rechange pour 1 an de fonctionnement	3 500	
	<hr/>	
	35 000	
	=====	

b) Atelier capable de forer jusqu'à 250 m en 12" ou 500 m en 10" (1)

1- Sondeuse

- Sondeuse montée sur camion 6 x 6 (prise de force), pompe 5 1/2 x 8 et équipement de surface	109 500	
- Groupe de pompage auxiliaire 7 1/2 x 10	36 000	

(1) Sondeuse Wabco 2000 CF; prix H.T. départ usine Juillet 1981

Montant
1000 FCFA

- Garniture de forage identique au cas précédent
sauf masse-tiges 8"
- Pièces détachées (10 % de 150 000 000)

35 000
15 000

195 500 195 500

2- Véhicules

- Identique au cas précédent, sauf camion citerne
10 m3 remplacé par citerne 10 m3 sur semi-remorque
- Pièces détachées

53 500
5 000

58 500 58 500

3- Matériel annexe : identique au cas précédent

13 000

13 000

267 000
=====

3. COUT D'UN ATELIER TYPE DE BATTAGE CAPABLE DE FORER JUSQU'A 150 M EN 15" (1)

	Montant	
<u>1- Appareil de forage et outillage</u>	1 000 FCFA	
- Appareil de forage (sans le camion porteur)	14 750	
- Outillage complet pour forage entre 550 et 312 mm (comprenant 2 tréfans de 22", 2 de 18", 2 de 15", 1 de 12", 6 soupapes correspondantes, masse-tiges, coulisses, raccords, 2 rouleaux de câble de 19 mm, 2 rouleaux de câble 13 mm, outillage divers)	12 000	
- 22 m de tubage de travail 22" fileté avec sabot, collier et accessoires	3 000	
- 65 m de tubage de travail 16 1/2" fileté avec sabot, collier et accessoires	5 000	
- 48 m de tubage de travail 13 1/2" fileté avec sabot, collier et accessoires	2 700	
- Pièces détachées : 10 % du prix de la sondeuse (soit environ 2 ans de travail)	1 550	
	<u>39 000</u>	39 000
<u>2- Matériel annexe</u>		
1 poste de soudure autonome 250 A	5 000	
1 ensemble de soudure oxyacétylénique	250	
2 citernes de 4m3 sur skid	2 400	
1 motopompe et outillage divers	1 350	
Matériel de campement	500	
Pièces détachées 10 %	500	
	<u>10 000</u>	10 000
<u>3- Véhicules</u>		
1 camion de 12 t de charge utile (porteur sondeuse)	14 000	
1 camion de 12 t de charge utile (accompagnement)	14 000	
1 véhicule de liaison	4 000	
Pièces détachées (10 %, soit 1 an de travail)	3 000	
	<u>35 000</u>	35 000
TOTAL 1- à 3-		<u>84 000</u>
(1) Bonne espérance type APEC; prix H.T. départ usine Mars 1981		=====

4) Matériel de développement et d'essais

Identique au cas précédent ou un peu moins puissant

20 à 30 000

4. COUT D'UN ATELIER DE BATTAGE CAPABLE DE FORER JUSQU'A 80 M EN 1 M DE DIAMETRE (1)MONTANT
1000 FCFA**1- Appareil de forage et outillage**

- Sondeuse montée sur remorque	60 000	
- Ensemble d'outils et d'accessoires (dont 2 trépan Ø 1,60 m, 2 trépan Ø 1,30 m, 2 trépan Ø 1 m, soupapes, raccords, etc...)	10 000	
- Outils de repêchage	4 500	
- 70 m de tubage de travail Ø 1,40 et 1,10 m	14 500	
- Pièces détachées pour un an de travail (5 % du prix de la sondeuse)	3 000	
	<hr/>	
	92 000	92 000

2- Matériel annexe

1 groupe de soudure autonome grande puissance (300 A, 80 à 100 CV) montée sur roues	12 000
1 groupe chalumeau oxyacétylénique	250
1 citerne de 4 m3 montée sur remorque	2 000

(1) Walker Neer S46A; prix H.T. départ usine Juillet 1981

1 motopompe et outillage divers	2 050	
Matériel de campement	500	
Pièces détachées pour le groupe de soudure (1 an de travail, soit 10 %)	1 200	
	<u>18 000</u>	18 000

3- Véhicules

1 tracteur(pour la sondeuse)	15 000	
1 camion d'accompagnement 12 t de C.U.	15 000	
1 véhicule de liaison	4 000	
Pièces détachées (environ 1 an)	4 000	
	<u>38 000</u>	38 000
TOTAL		<u>148 000</u> =====

4- Matériel d'essai de pompage

p. m.

5. COUT D'UN ATELIER DE BATTAGE-HAVAGE POUR L'EXECUTION DE PUIITS FORES (1)MONTANT
1000 FCFA1- Sondeuse

Appareil de forage type SECMI TP1 équipé de deux treuils (10 t, 3 t), d'un dispositif d'évacuation des déblais et d'un alternateur de 30 KVA	29 000	29 000
2- Camion porteur 6 x 4, avec treuil AV 6 t	22 000	22 000

(1) Foreuse SECMI TP1; prix H.T. départ usine (d'après rapport BURGEAP R 371, Janvier 1980; prix globalement réactualisés de 20 %).

3- Outils de forage

3 bennes à tréfans (Ø 1500, 1300, 1150 mm)	12 900	
2 bennes hémisphériques (Ø1300-1500, 1150 mm)	12 300	
1 trépan en croix 3 t, Ø 1150 mm	2 100	
1 soupape Ø 700 mm	600	
Accessoires	<u>2 100</u>	
	30 000	30 000

4- Tubages de travail et accessoires

12 m de tubage Ø 1350 mm, 12 m de tubage Ø 1200 et accessoires	3 600	
Poste de soudure électrique et poste auto-gène	<u>1 500</u>	
	5 100	5 100

5- Atelier de construction de buses

Bétonnière 380 l, moules à buses, groupe électrogène 6 KVA et divers	12 600	12 600
--	--------	--------

6- Véhicules

1 camion benne 6 x 4, 15 t de C.U. avec grue 7,5 t et treuil AV 6 t	24 000	
1 camion benne 4 x 2, 8 t de C.U.	8 000	
1 remorqueur 6,5 m, 7 t de C.U.	4 500	
1 véhicule tout terrain	<u>4 000</u>	
	40 500	40 500

7- Atelier de développement et d'essai

1 camion 4 x 2, 2 t de C.U. avec portique	7 500	
1 groupe électrogène 15 KVA	2 500	

2 pompes submersibles 20 m ³ /h à 20 m	2 400	
Dévidoire 40 m de flexible et divers	1 200	
	<u>13 600</u>	13 600

8- Equipement divers

2 postes de radio 40 W	3 600	
Matériel hydrométrique et matériel de campement	1 200	
Outillage et divers	1 200	
	<u>6 000</u>	6 000

9- Pièces de rechange pour un an

10 % des postes 1, 2, 4, 5, 7, 8	8 800	
15 % des postes 3 et 6	10 600	
	<u>19 400</u>	19 400
		<u>178 200</u>
		=====

6. COMPARAISON DES COUTS DE FONCTIONNEMENT AU ROTARY ET AU BATTAGE

Hypothèse : Forage de 100 m de profondeur en terrains tendres (type Continental Terminal) terminé en Ø 300 mm.
Espacement entre forages : 30 à 50 km.

1- CAS DU FORAGE EXECUTE AU BATTAGE

Matériel utilisé : type BONNE ESPERANCE APEC (voir description en annexe 5).
1 poste/jour; 25 jours/mois; 10 mois/an.

A- Durée d'exécution

Transport
 Installation et repli
 Forage 7 à 10m/jour
 Pose du tubage et massif filtrant
 Développement à l'air lift
 Cimentation en tête et divers

TOTAL

Durée (postes)	
sans FM	avec FM
0,5	10 à 15 0,5 p.m.
2	
0,5	
1	
4	10,5 à 15,5

Soit un forage en 15 à 20 postes (moyenne 17 postes) (non compris le développement à l'air lift et les essais à la pompe).

B- Coût d'un poste

MONTANT EN FCFA

/mois /poste

1. Chantier. Personnel

1 chef sondeur	80 000
1 sondeur mécanicien	70 000
1 soudeur	60 000
2 manoeuvres à 35 000	70 000
1 chauffeur	50 000
	<hr/>
	330 000

Charges 30 % 99 000

Arrêt 2 mois/an 86 000

515 000

515 000

20 600

. Amortissements

Sondeuse : 0,5 %/mois de
 38 000 000 : 190 000

Camions : 1,5 %/mois de
 28 000 000 : 420 000

Véhicule de liaison :
 2,5 %/mois de 4 000 000 : 100 000

Groupe électrogène et poste
 soudure : 2%/mois de
 4 000 000

80 000

Total amortissements 790 000

790 000

31 600

. Carburant

Sondeuse : 40 CV x 0,2 l/h x 200 h/mois = 1 600 l

Groupe électrogène : 20 CV x 0,2 l/h x
100 h/mois = 400 l

Camion porteur : 100 km/mois 50 l

Camion d'accompagnement : 500 km/mois 250 l

Véhicule de liaison : 1200 km/mois 200 l

2 500 l

2 500 l gas oil x 100 F. 250 000 10 000

. Lubrifiants : 10 % de carburants 25 000 1 000

. Entretien

Sondeuse : 0,5 %/mois de 15 000 000 : 75 000

Véhicules et groupe électrogène :
1 %/mois de 37 000 000 370 000

Total entretien 445 000 445 000 17 800

. Fournitures

Soudure 100 000

Divers 50 000

150 000 150 000 6 000

TOTAL 2 175 000 87 000

2. Base : p.m.

2. CAS DU FORAGE EXECUTE AU ROTARY A LA BOUE

Matériel utilisé : type Failing 2000 CF (voir description en annexe 4)
2 postes/jour; 25 jours/mois; 10 mois/an.

A-Durée d'exécution

	Durée (postes)	
	sans FM	avec FM
Transport	0,5	
Installation et repli	2	
Forage		6
Diagraphie	0,5	
Pose tubage et massif filtrant	0,5	0,5
Nettoyage du forage		2
Développement à l'air lift	(p.m. 4 à 20)	
Cimentation en tête et divers	1	
TOTAL	4,5	8,5

soit un forage en 13 postes, ou environ 1 semaine (non compris le développement à l'air lift et les essais à la pompe).
L'ensemble des opérations dure en moyenne de 10 à 15 jours.

B- Coût d'un poste

1. Chantier

. Personnel (pour 2 postes)

- a) 1 chef sondeur expatrié
- b) Salariés :
 - 2 chefs de poste
 - 2 accrocheurs
 - 6 manoeuvres
 - 2 chauffeurs
- Charges 30 %, congé 1 mois et indemnités

2 000 000

200 000

120 000

240 000

120 000

320 000

3 000 000

MONTANT EN FCFA

/mois

/poste

3 000 000

60 000

. Amortissements

Sondeuse : 0,7 % de 150 M	1 050 000		
Véhicules lourds : 1,5 %/mois de 66,5 M	1 000 000		
Camion 5 t : 2 %/mois de 13 M	260 000		
Groupe électrogène et poste de soudure 2 %/mois de 4 000 000	80 000		
Véhicule de liaison : 2,5 %/mois de 4 M	100 000		
	<hr/>		
	2 490 000		
	arrondi à	2 500 000	50 000

Carburants

Sondeuse : 200 CV x 0,2 x 200 h x 75 %	6 000 l/mois		
Groupe pompage auxiliaire	2 000		
Tracteur : 500 km/mois	250		
Camion 5 t : 500 km/mois	200		
Véhicule de liaison : 1200 km/mois	200		
Autres utilisations	350		
	<hr/>		
	9 000 l/mois		
9 000 l x 100		900 000	18 000

. Lubrifiants : 10 % de carburants 90 000 1 800

. Entretien

Sondeuse et groupe de pom- page auxiliaire : 1,5 %/mois de 100 000 000	1.500 000		
Véhicules et groupe électro- gène : 1%/mois de 50 000 000	500 000		
	<hr/>		
	2.000 000	2 000 000	40 000

. Fournitures

Tricônes	400 000		
Bentonite	110 000		
Hexamétaphosphate	100 000		
	<hr/>		
	610 000	610 000	12 200
		<hr/>	<hr/>
TOTAL		9 100 000	182 000
		=====	=====

2- Base : Coût nettement plus élevé que celui du battage. Il varie selon le degré d'organisation et le nombre d'ateliers en service.

A N N E X E 9

EXEMPLE DE

CAHIER DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES

POUR L'EXECUTION DE FORAGES VILLAGEOIS

EN ZONE DE SOCLE CRISTALLIN

CHAPITRE I
INDICATIONS GENERALES

ARTICLE 1 - PRESENTATION DU PROJET

Le présent appel d'offres concerne la réalisation de ... forages d'exploitation, devant être équipés de pompes manuelles.

Le présent Cahier des Prescriptions Techniques fixe les conditions d'exécution de ces forages et de réalisation des essais de débit.

Il est précisé que la construction des superstructures, la fourniture et la pose des pompes ne font pas partie de l'entreprise, objet de ce marché.

ARTICLE 2 - CONSISTANCE DES TRAVAUX ET LOCALISATION

Compte tenu des normes retenues pour les débits d'exploitation, il est prévu de réaliser environ ... forages dont environ ...%, soit ... devraient être équipés en ouvrage d'exploitation.

Les listes de villages ou quartiers retenus seront communiquées à l'Attributaire avec au moins un mois d'avance sur les travaux. Les implantations exactes lui seront indiquées au cours de tournées d'implantation.

La répartition prévisible des ouvrages d'exploitation par zone et par campagne, (entre 2 saisons des pluies), est, à titre indicatif, la suivante :

Il est précisé que l'ensemble de ces travaux doit être effectué à l'aide ... atelier(s) de forage. Toutefois, en cas de retard dans le déroulement des travaux pour des causes qui ne lui seraient pas directement imputables, une dérogation pourrait être accordée à l'Attributaire pour la mise en oeuvre d'un atelier supplémentaire, à des périodes compatibles avec les diverses contraintes auxquelles le Projet se trouve assujéti.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DES OUVRAGES

ARTICLE 3 - PROFONDEUR DES OUVRAGES

Sauf exception, les niveaux aquifères captés correspondront à des zones de fissures dans un socle peu ou pas altéré, dur ou très dur.

Ce socle peut être constitué soit de granito-gneiss, soit de schistes birrimiens ou de roches associées (roches vertes, quartzites, grès), soit encore, dans la zone de ... de calcaires, schistes ou grès ou conglomérat primaire ou infra-cambrien.

Ce socle est surmonté par des formations d'altération(et, pour la zone ... par des formations du Continental Terminal). Ces formations généralement argileuses ou argilo-sableuses, peuvent être peu ou mal consolidées, voire fluentes, et contenir des blocs erratiques de roche dure.

A titre indicatif l'épaisseur d'altération devrait être, dans la majorité des cas, inférieure à ...m dans ... , mais supérieure à ... m dans la zone ... où elle pourra atteindre 60 m et plus.

La profondeur moyenne des forages devrait être d'une cinquantaine de mètres. La profondeur des ouvrages n'excédera 70 m qu'exceptionnellement.

Il est rappelé que les informations précédentes ne sont données qu'à titre indicatif. Quelles que soient les conditions géologiques, l'Attributaire s'engage :

- à traverser au moins 60 m de formations d'altération
- à atteindre dans le socle une profondeur maximale de 90 m.

ARTICLE 4 - MODE D'EXECUTION DES FORAGES

Le forage des formations d'altération sera réalisé en rotary à l'air ou au marteau fond-de-trou. La traversée de niveaux non consolidés pourra cependant nécessiter une circulation d'eau, de mousse, voire de boue.

Chaque fois que nécessaire, un tubage provisoire devra être mis en place au droit des formations d'altération, et correctement ancré dans le socle.

Le forage sera poursuivi dans le socle au marteau fond-de-trou.

Le choix des méthodes et matériels à mettre en oeuvre ainsi que celui des diamètres de forage restera à l'initiative de l'Attributaire et sous sa seule responsabilité ; toutefois le forage à l'air sera impératif dans le socle.

ARTICLE 5 - EQUIPEMENT DES FORAGES

Les forages productifs seront tubés aussitôt après leur réalisation. Les consignes d'arrêt des forages et de leur équipement seront communiqués à l'Attributaire, dans l'objectif d'obtenir un débit d'exploitation garanti minimum de 0,7 m³/h, pour une profondeur de pompage compatible avec l'exhaure manuelle.

Il est prévu qu'environ... % des forages, jugés négatifs, ne seront pas tubés.

Les forages productifs seront tubés sur toute leur hauteur en tubes PVC rigide, de 110 mm minimum de diamètre intérieur, vissés, sans manchons.

Le tubage sera crépiné au droit des fissures productives du socle. Exceptionnellement, des niveaux d'arènes grossières de la base du profil d'altération pourront être captés.

Les crépines seront fabriquées en usine et comporteront des fentes de 1 mm d'ouverture.

La base de la colonne comportera un élément de décantation et sera obturée par un bouchon de pied.

Pour permettre une bonne adaptation du plan de tubage à la coupe géologique rencontrée, l'Attributaire devra disposer sur le chantier d'éléments de tubes et crépines de 1m et 3m de longueur. Les quantités utilisées en moyenne par forage seront les suivantes :

- 3 éléments de 1 m de tubes pleins
- 1 élément de 1 m de crépines
- 2 éléments de 3 m de tubes pleins
- 1 élément de 3 m de crépines
- les autres éléments pleins ou crépinés pourront être de 3 à 6 m de longueur.

L'espace annulaire sera comblé avec du gravier de quartz roulé ou, à défaut, avec du gravier concassé, jusqu'à 3 m environ au-dessus des crépines. L'emploi de gravier latéritique est interdit. La granulométrie du gravier sera adaptée à la largeur de l'espace annulaire.

Cet espace sera ensuite comblé par du sable sur une hauteur de 2 m, puis par du tout-venant.

Les 6 premiers mètres de l'espace annulaire, en surface, seront cimentés, après développement des forages.

La tolérance sur la verticalité des tubages sera de 0,5 % jusqu'au niveau statique.

Le tubage PVC dépassera d'au moins 0,50 m la surface du sol. La tête de forage sera fermée par un capot métallique boulonné sur le tubage PVC.

Deux variantes au mode d'équipement précédent sont prévus et seront mis en oeuvre à l'initiative du fonctionnaire chargé de diriger l'exécution du marché :

a. Sur certains forages, la partie inférieure du forage, si elle se révèle stérile, pourra être comblée à l'aide de gravier ou de tout-venant jusqu'à une certaine profondeur à partir de laquelle sera posé le tubage. La hauteur comblée ne pourra être inférieure à 10 mètres par ouvrage. La profondeur du forage sera mesurée avant élaboration du plan de tubage définitif.

b. Sur un certain nombre d'ouvrages, l'étanchéité de l'espace annulaire, nécessaire pour isoler le captage de la base des altérites, pourra être obtenue par la pose d'un packer.

Ces packers ne pourront être posés qu'au droit de niveaux durs et non fissurés et à une cote inférieure à la cote présumée du niveau dynamique. Le trou sera laissé nu sous le packer.

Les soumissionnaires devront préciser dans leur offre, de façon claire et détaillée, les diverses modalités qu'ils comptent adopter pour l'obtention de l'étanchéité de l'espace annulaire :

- dans le cas d'un gravillonnage, diamètre de forage et de tubage, provisoire et définitif, et granulométrie du gravier,
- dans le cas d'un packer, nature, mode de fixation et de mise en place.

ARTICLE 6 - DEVELOPPEMENT DES FORAGES

Le développement se fera à l'air-lift aussitôt après l'équipement du forage, à l'aide d'une colonne d'injection d'air de 1" 1/2.

Il sera poursuivi jusqu'à obtenir de l'eau claire sans particules sableuses ou argileuses.

L'Attributaire devra contrôler la teneur en sable (diamètre de la tache de sable dans un seau de 10 litres).

La durée sera de 2 heures minimum lorsque seules les fissures du socles auront été capées, et de 4 heures minimum lorsque l'on aura capté des niveaux d'arènes.

Si des défauts d'exécution apparaissent lors de la réalisation d'un forage ou pendant le développement, la poursuite des opérations de développement au delà de 4 heures de pompage sera à la charge de l'Attributaire et, si elles ne peuvent aboutir à l'obtention d'eau claire, l'ouvrage ne sera pas réceptionné.

Le débit sera mesuré toutes les 15 minutes pendant le développement. La remontée du niveau d'eau après le développement sera mesurée toutes les 5 minutes pendant trente minutes. La profondeur de l'ouvrage sera contrôlée avant et après développement.

L'Attributaire devra disposer sur le chantier du matériel nécessaire pour la mesure des débits et des niveaux. La précision exigée sera de :

- 10 % pour les débits
- 2 cm pour les mesures de niveaux
- 5 cm pour les mesures de profondeur

ARTICLE 7 - ESSAIS DE DEBIT

Les essais de débit seront faits au moyen de pompes électriques immergées, capables de fournir des débits de 1 à 10 m³/h à 50 m de profondeur.

L'essai type comportera 2 heures de pompage à 1 m³/heure, suivies par 2 paliers de 1 heure à des débits à fixer en cours d'essai. La remontée sera suivie pendant 30 minutes.

Sur certains forages, à l'initiative du fonctionnaire chargé du contrôle des travaux, ces essais pourront être prolongés.

Les débits seront mesurés toutes les 15 minutes, avec une précision de 5 %.

Les niveaux seront mesurés toutes les 5 minutes la première 1/2 heure après toute modification de débit de pompage, puis toutes les 10 minutes au delà. La précision des mesures sera de 2 cm.

Les essais devront être repris, à la demande du fonctionnaire, s'ils sont affectés par un arrêt intempestif du pompage ou des mesures. Ce sera en principe le cas si ces arrêts ont une durée supérieure à 10 % du temps écoulé depuis le début ou la fin du pompage d'essai. La reprise de l'essai interviendra, sauf contre-ordre ou dérogation de l'Administration, quand le rabattement résiduel ne sera plus que 1/10 de celui mesuré avant essai. L'essai interrompu sera à la charge de l'Entreprise.

La profondeur du forage sera contrôlée avant et après l'essai de pompage, avec une précision de 5 cm.

La qualité de l'eau (turbidité) et la teneur en sable (diamètre de la tache de sable) seront notées, notamment en début de pompage.

CHAPITRE III

DEROULEMENT DES TRAVAUX

ARTICLE 8 - PLANNING DES TRAVAUX

Le délai global d'exécution est fixé à ...mois à compter de la notification.

Les délais intermédiaires suivants, comptés à partir de la date de notification, devront en outre être respectés :

Si le pourcentage de forages négatifs se révèle plus élevé que prévu, le nombre de forages d'exploitation équivalents à prendre en compte pour le contrôle des délais d'exécution sera donné par la formule :

$$Fe = 0,8 Fp + 0,5 Fn$$

Fe = forage d'exploitation équivalent

Fp = forage positif tubé et développé

Fn = forage négatif

Il est précisé que l'(les) atelier(s) ne devra(ont) être mis en oeuvre que sur un seul poste de travail 26 jours par mois au maximum.

La date d'interruption des travaux durant la saison des pluies sera décidée d'un commun accord entre l'Administration et l'Attributaire dans la mesure où les conditions d'accès ne perturbent ni la bonne exécution des travaux, ni leur direction et contrôle.

ARTICLE 9 - IMPLANTATION DES OUVRAGES

La liste des villages dans lesquels devront être réalisés des forages sera communiquée à l'Attributaire avec un mois d'avance.

Les implantations, matérialisées sur le terrain par l'Administration ou son représentant, et les itinéraires d'accès seront reconnus avec le représentant de l'Attributaire lors de tournées d'implantations.

L'Administration se réserve toutefois le droit de modifier ces implantations, à temps utile, sans que l'Entreprise puisse prétendre à indemnisation.

Tous les villages seront accessibles en saison sèche. Le débroussaillage éventuel des zones d'implantation et de leurs accès, ainsi que la remise en état des lieux en fin de chantier resteront à la charge de l'Entrepreneur.

Chaque village et chaque ouvrage se verra attribuer un numéro d'identification fixé par l'Administration.

ARTICLE 10 - ECHANTILLONS ET MESURES

1. Echantillons

Pour chaque forage, l'Attributaire prélèvera des échantillons de terrain :

- à chaque longueur de tiges
- à chaque changement de terrain
- à chaque zone de fractures
- à chaque arrivée d'eau

Les échantillons (200 à 300 g) seront conservés dans des sacs plastiques avec les renseignements permettant de les identifier (nom de village, et numéro, numéro du forage, profondeur).

Ils devront pouvoir être présentés à toute demande de l'Administration ou de son représentant.

Les échantillons stockés par l'Attributaire seront tenus à la disposition de l'Administration pendant 3 mois ou lui seront remis sur sa demande.

2. Mesures en cours de travaux

Pendant la réalisation des forages, l'Attributaire devra mesurer :

- la profondeur du socle, des zones fracturées, et des différentes arrivées d'eau
- les débits d'eau en cours de forage, à chaque changement de tiges, à chaque nouvelle venue d'eau notable et en fin de forage, avant équipement
- les vitesses d'avancement pour chaque changement de terrain ou chaque changement de tiges.

Ces différentes mesures seront consignées sur le cahier de chantier.

3. Instruments de mesure

L'Attributaire maintiendra en permanence sur ses chantiers les instruments de mesure adéquats et les mettra à disposition des agents de l'Administration pour que ceux-ci puissent opérer à tout moment les contrôles nécessaires. Faute à lui de le faire, l'Administration les achètera aux frais de l'Attributaire et le montant correspondant sera déduit des sommes qui lui sont dues.

ARTICLE 11 - CAHIER DE CHANTIER ET JOURNAL DES TRAVAUX

L'Attributaire tiendra un cahier de chantier sur lequel seront reportés tous les détails techniques des travaux et notamment :

- les caractéristiques du chantier :
 - . date
 - . appellation
 - . personnel et matériel présents sur chantier
- les éléments relatifs aux opérations de forage :
 - . méthode de forage et outils (type et diamètre)
 - . vitesses d'avancement
 - . tubages de travail (diamètre et longueur)
 - . incidents en cours de forage
- les éléments relatifs aux opérations d'équipement :
 - . plan détaillé de tubage (longueurs et cotes par rapport au sol)
 - . cote du packer éventuel
 - . volume de gravier et cimentation
- les données géologiques et hydrogéologiques et notamment les observations et mesures prescrites à l'article 14.
- les éléments relatifs aux opérations de développement :
 - . profondeur de soufflage
 - . profondeur de l'ouvrage avant et après développement
 - . observation et mesures prescrites à l'article 10.

Tous ces éléments seront mentionnés sur le cahier de chantier au fur et à mesure de la manifestation des événements correspondants.

En cas de retard ou d'erreur dans la transcription de ces éléments, l'Attributaire restera responsable des défauts d'équipement qui pourraient en résulter et ne pourra contester les décisions prises par l'Administration concernant les attachements des travaux correspondants.

Le cahier de chantier sera maintenu en permanence sur le chantier et devra être présenté à toute demande du fonctionnaire chargé de diriger l'exécution des travaux ou de ses représentants.

Les détails techniques mentionnés sur le cahier de chantier seront reportés par l'Attributaire sur un journal de travaux.

L'original du journal de travaux sera remis à l'Administration 48 heures au moins avant chaque réunion mensuelle de chantier, de même que les comptes-rendus d'essais de débit, établis conformément à l'article 7.

ARTICLE 12- DIRECTION ET CONTROLE DES TRAVAUX

La direction des travaux, assurée par le fonctionnaire nommé par l'Administration ou ses représentants, portera sur :

- les implantations des ouvrages
- les décisions sur la poursuite ou l'arrêt des forages, leur équipement ou leur abandon, le plan de tubage. Ces décisions résulteront soit de l'application de consignes générales notifiées à l'Attributaire par notes de service, soit de consignes particulières notifiées sur le chantier ou transmises par radio.

A cette fin, l'Attributaire maintiendra en service un réseau de liaisons radiophoniques avec son chantier et y donnera en permanence accès aux représentants de l'Administration. En particulier, l'Attributaire

L'Administration s'engage à faciliter l'attribution des autorisations et l'affectation des fréquences nécessaires à la mise en service du réseau radiophonique. Les redevances éventuelles correspondantes resteront à la charge de l'Attributaire.

Il est toutefois précisé qu'un retard ou un refus enregistré dans l'obtention des autorisations précédentes ne pourront donner droit ni à une prolongation des délais d'exécution du marché, ni à indemnité.

Le contrôle exécuté par l'Administration portera sur :

- le personnel et le matériel affectés aux chantiers.
- la tenue du cahier de chantier et du journal des travaux, en particulier en ce qui concerne la nature des terrains traversés, les débits mesurés par l'Attributaire et la profondeur des ouvrages.
- la conduite des travaux de forage, d'équipement et de développement, ainsi que celle des essais.

ARTICLE 13 - RECEPTION TECHNIQUE DU MATERIEL

L'Attributaire assurera sous sa responsabilité le libre choix du matériel à employer. Toutefois, à l'issue du premier forage, le matériel mis en oeuvre donnera lieu à une réception technique dans le but de constater :

- la conformité entre les matériels proposés par l'Attributaire dans son offre, notamment en ce qui concerne ceux ayant fait l'objet d'une avance au titre de l'article ... du C.P.S.

- la compatibilité entre les capacités de ces matériels et les délais d'exécution

- leur aptitude à respecter les prescriptions techniques et en particulier celles des articles 3, 4, 5 et 6 du présent C.P.T.

La prononciation de cette réception technique ne libère en rien l'Attributaire de ses engagements aussi bien quant aux délais qu'aux prescriptions techniques.

ARTICLE 14 - RECEPTIONS PROVISOIRES

La réception provisoire des forages sera prononcée au vu des résultats des opérations de développement et des essais de pompage, qui devront corroborer les observations et mesures de débit faites au cours de forage, sauf réserves faites par l'Attributaire dans le carnet de chantier lors de la décision d'équipement du forage.

La réception provisoire sera notifiée à l'Attributaire par le fonctionnaire chargé de diriger l'exécution des travaux, lors des réunions mensuelles de chantier, simultanément avec la prise en attachement des travaux.

Réceptions provisoires et attachements ne porteront que sur des ouvrages terminés (développement, tête de forage, remise en état des lieux et essais) et pour lesquels le journal de travaux et le compte-rendu d'essai auront été remis dans les délais prescrits à l'article 11 (48 heures avant les réunions mensuelles de chantier).

ARTICLE 15 - RECEPTIONS DEFINITIVES

Les réceptions définitives seront prononcées à l'issue du délai de garantie d'un an.

Si, au cours de l'exploitation des forages pendant la période de garantie, une chute de caractéristiques des ouvrages (eau chargée, ensablement de l'ouvrage...) devait être constatée et avoir pour origine un défaut d'exécution, l'Attributaire pourra être mis dans l'obligation, et à ses frais, soit de renouveler les opérations de développement, soit de réaliser un nouvel ouvrage à proximité immédiate.

ARTICLE 16 - GARANTIE DES TRAVAUX

L'Attributaire s'engage à exécuter, avec le matériel qu'il propose, tous les travaux dans les Règles de l'Art quelles que soient les conditions géologiques, dans les limites des profondeurs définies à l'article 3 du C.P.T.

En cas d'incident en cours de forage ou d'équipement (chute de matériel dans le forage, coincement d'outils ou de tubages, ...) pouvant entraîner l'abandon du forage, l'Attributaire pourra être astreint à recommencer un autre forage dans le voisinage immédiat du premier, et produisant, dans le cas d'un forage positif, au moins le même débit que le forage abandonné. Il ne pourra prétendre à aucune rémunération pour le forage abandonné.

CHAPITRE IV

PROVENANCE ET QUALITE DES MATERIAUX

ARTICLE 17 - DISPOSITIONS GENERALES

L'Attributaire soumettra à l'approbation de l'Administration les matériaux qu'il compte employer avec indication de leur nature et de leur provenance.

Tous les matériaux reconnus défectueux devront être évacués par l'Entrepreneur et à ses frais.

L'Attributaire assurera sous sa propre responsabilité l'approvisionnement régulier des matériaux pour la bonne marche du chantier.

Nonobstant l'agrément de l'Administration pour la qualité des matériaux et pour leur lieu d'emprunt, l'Attributaire reste responsable de la qualité des matériaux mis en oeuvre. Il lui appartient de faire effectuer à ses frais toutes analyses ou essais de matériaux nécessaires à une bonne exécution des ouvrages.

Il appartient à l'Attributaire d'effectuer toutes les démarches, d'obtenir toutes autorisations ou accords et de régler les frais, redevances ou indemnités pouvant résulter de l'exploitation des carrières ou gisements et de l'emprise des installations de chantiers.

L'Attributaire ne saurait se prévaloir de l'autorisation de l'Administration en ce qui concerne les lieux d'emprunt pour se retourner contre elle dans le cas d'une action intentée par des tiers du fait de l'exploitation des carrières ou gisements.

ARTICLE 18 - CARACTERISTIQUES DES TUBAGES

Les tubages seront en PVC de diamètre intérieur 110 mm au moins, avec filetage dans la masse. Ils devront présenter toutes garanties de résistance aux efforts de cisaillement, d'écrasement et de tension au cours de leur mise en place et durant l'exploitation des ouvrages (pression extérieure 10 bars au moins).

Ils ne devront pas par ailleurs, posséder des éléments susceptibles de se dissoudre dans l'eau ou de modifier sa potabilité.

Les crépines auront des fentes de 1 mm d'ouverture et seront de fabrication d'usine.

Les tubages seront soumis à l'agrément préalable de l'Administration. A cette fin, des échantillons comportant filetage et crépine, seront remis à l'Administration qui devra prononcer ou refuser la réception technique préalable correspondante dans un délai de 15 jours.

ARTICLE 19 - CIMENT

Le ciment à utiliser sera du ciment Portland artificiel 210/314.

Il devra être livré en sacs de 50 kgs à l'exclusion de tout autre emballage. Tout sac présentant des grumeaux sera refusé.

Les récupérations de poussières de ciment seront interdites.

ARTICLE 20 - GRAVIER

Le gravier introduit dans l'espace annulaire des forages sera du gravier propre de quartz rond et calibré issu de carrières agréées par l'Administration.

L'utilisation de tout autre gravier tel que du concassé de carrière, sera soumise à l'agrément préalable de l'Administration.

L'emploi de gravier de latérite ne sera pas autorisé.

ARTICLE 21 - ORIGINE DES MATERIAUX ET FOURNITURES

L'importation des matériaux et fournitures sera soumise à l'autorisation préalable de l'Administration.

CHAPITRE V CONDITIONS D'APPLICATION DES PRIX

ARTICLE 21 - DEPLACEMENTS

Prix 1 - Préparation et amenée du matériel

Ce prix rémunère la préparation de l'ensemble du matériel et son amenée sur le lieu des travaux, y compris tous frais de transport, d'assurance, de droits statistiques ou péage éventuels.

Il n'est pas applicable à l'amenée éventuelle d'un 2ème atelier de forage si les causes de retard justifiant la mise en oeuvre de cet atelier sont imputables à l'Attributaire.

Prix 2 a - Déplacement entre 2 villages

Ce prix rémunère forfaitairement le déplacement d'un atelier de forage entre deux villages, ainsi que le montage et démontage de l'atelier sur le premier forage réalisé dans chaque village. Pour des déplacements supérieurs à 40 km, une plus-value lui est applicable suivant le Prix 2c.

Il s'applique dès qu'un forage positif ou négatif est pris en attachement.

Il s'applique en sus des prix 1 et 3 pour les premiers villages de chaque campagne (pour chaque atelier).

Prix 2 b - Déplacement dans un village

Ce prix rémunère forfaitairement le déplacement de l'atelier de forage entre deux forages réalisés successivement dans un même village. Il comprend le montage et démontage de l'atelier sur le second de ces deux forages.

Il s'applique seulement si ce forage est pris en attachement.

Pour certains villages comprenant des quartiers isolés, ce prix 2 b n'est applicable que si le déplacement entre les deux sites de forages successifs est inférieur à 3 km ; dans le cas contraire, le déplacement sera rémunéré par application du prix 2 a.

Prix 2 c - Plus-value pour déplacement de plus de 40 km

Ce prix rémunère le kilomètre de transport d'un atelier entre 2 chantiers successifs pour le kilométrage supérieur à 40 km, suivant l'itinéraire retenu lors des tournées d'implantation.

Il s'applique en plus-value au prix 2 a.

Pour les premiers chantiers de chacune des campagnes sur chaque atelier les déplacements sont comptés à partir de ...

Il n'est pas applicable pour le repli des derniers chantiers de chacune des campagnes.

Prix 3 - Repli du matériel

Ce prix rémunère le repli de l'ensemble du matériel à la fin des travaux.

ARTICLE 23 - FORAGE

Prix 4 a - Forage dans les formations d'altération

Ce prix rémunère le mètre linéaire de forage dans les formations d'altération. Il inclut :

- l'exécution d'un avant trou éventuel
- le forage en rotary à l'air ou éventuellement au marteau fond-de-trou ainsi que la mise en oeuvre éventuelle de méthodes de forage à la mousse ou à la boue et toutes autres sujétions
- une pénétration suffisante dans les formations consolidées pour assurer les meilleures conditions pour la poursuite du forage
- la mise en oeuvre d'un tubage de travail si nécessaire et toutes sujétions, y compris l'abandon éventuel de ce tubage.

Prix 4 b - Plus value pour formations d'altération de plus de 40 m

Ce prix s'applique en plus-value au prix 4 a pour le forage des formations d'altération au delà de 40 m de profondeur, jusqu'à des profondeurs maxima de 60 m.

Prix 4 c - Forages dans les formations du socle

Ce prix rémunère le mètre de forage, au marteau fond-de-trou, dans les horizons peu ou pas altérés des formations du socle. Les différentes roches peuvent être dures ou très dures. Il comprend toutes sujétions, y compris la traversée de passées peu ou pas consolidées et de zones fracturées.

Ce prix s'applique uniquement au delà des profondeurs rémunérées par les prix 4 a et 4 b, et jusqu'à des profondeurs maxima de 90 m.

Dans les cas où la colonne de tubes et crépines n'aura pu être descendue jusqu'à la profondeur atteinte en forage, sans que cela puisse nuire à la productivité et à la solidité de l'ouvrage, ce prix ne s'applique que sur la hauteur tubée. Cette dernière clause n'est pas applicable si l'équipement retenu comporte soit le comblement de la partie inférieure et stérile d'un forage, soit la pose d'un packer.

ARTICLE 24 - EQUIPEMENT DES FORAGES

Prix 5 - Tubes pleins

Ce prix rémunère la fourniture et la pose du mètre linéaire de tubes pleins en PVC de 110 mm de diamètre intérieur au minimum, suivant les spécifications des articles 5 et 18 du CPT.

Il inclut le gravillonnage et le comblement de l'espace annulaire, ainsi que la pose d'un bouchon de pied de colonne.

Il ne s'applique pas pour la partie de tubage située au dessus de la surface du sol.

Il s'applique pour des éléments de 1 m, 3 m ou plus, dans les limites des quantités prévues à l'article 5.

Prix 6 - Crépines

Ce prix rémunère la fourniture et la pose du mètre linéaire de crépines en PVC de 110 mm de diamètre intérieur au minimum, suivant les mêmes conditions d'application que le prix n° 5.

Prix 7 - Comblement de la partie inférieure d'un forage

Ce prix rémunère forfaitairement le comblement de la partie inférieure stérile de certains forages par du gravier ou du tout-venant.

Prix 8 - Packer

Ce prix rémunère forfaitairement la fourniture et la pose d'un packer pour réalisation de l'étanchéité annulaire à la base des altérites et toutes sujétions.

Prix 9 - Développement

Ce prix rémunère forfaitairement les opérations de développement à l'air lift. Il comprend :

- l'installation et le démontage de l'équipement d'air lift
- un pompage d'une durée minimum de 2 heures et au maximum de 4 heures
- l'observation de la remontée du niveau d'eau pendant 30 minutes

Prix 10 a - Mise à disposition avec force motrice

Ce prix rémunère l'heure de mise à disposition de l'atelier de forage avec force motrice :

- pour les opérations de développement, au delà des 4 heures prises en compte dans le prix 9.
- pour des opérations spéciales ou des essais qui pourraient être éventuellement demandés par le fonctionnaire chargé de diriger l'exécution du marché.

Il ne s'applique pas pour les soufflages de courte durée nécessaires à l'évaluation des débits en cours ou en fin de forage.

Prix 10 b - Mise à disposition sans force motrice

Ce prix rémunère l'heure de mise à disposition de l'atelier sans force motrice.

Prix 11 - Tête de forage

Ce prix rémunère :

- la cimentation des 6 premiers mètres de l'espace annulaire
- la fourniture du tubage PVC situé au dessus de la surface du sol, sur une hauteur d'au moins 0,50 m
- la fourniture et la pose d'un capot métallique boulonné sur le tubage PVC.

Prix 12 a - Essai de pompage

Ce prix rémunère forfaitairement les essais de pompage d'une durée de 4 heures y compris :

- l'installation et le démontage d'un équipement de pompage conforme aux prescriptions de l'article 5 du C.P.T.,
- l'observation de la remontée pendant 30 minutes,
- toutes sujétions de mesure de débit et de niveaux.

Prix 12 b - Mise à disposition de l'équipement d'essai de pompage

Ce prix rémunère l'heure de mise à disposition de l'installation de pompage au delà des 4 heures prises en compte dans le prix 12 a.

PROJET D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE ...
 REALISATION DE ... FORAGES

CADRE DU BORDEREAU DES PRIX

N° des prix	Désignation	Unité	Prix unitaire F.CFA (en chiffres)
	<u>A. DEPLACEMENTS</u>		
1	Préparation et aménée du matériel. Le forfait : (en lettres)	F	
2a	Déplacement entre 2 villages. Le forfait :	F	
2b	Déplacement dans 1 village. Le forfait :	F	
2c	Plus value au prix 2a pour déplacement de plus de 40 km. Le km :	km	
3	Repli du matériel. Le forfait :	F	
	<u>B. FORAGE</u>		
4a	Forage dans les formations d'altération. Le mètre linéaire :	m	
4b	Plus value au prix 5a pour formations d'altération de plus de 40 mètres. Le mètre linéaire :	m	
4c	Forage dans les formations du socle. Le mètre linéaire :	m	

N° des prix	Désignation	Unité	Prix unitaire F.CFA (en chiffres)
	C. EQUIPEMENT		
5	Fourniture et pose de tubes pleins. Le mètre linéaire :	m	
6	Fourniture et pose de crépines. Le mètre linéaire :	m	
7	Comblement de la partie inférieure d'un forage. Le forfait :	F	
8	Fourniture et pose d'un packer. L'unité :	U	
9	Développement d'un forage. Le forfait :	F	
10a	Mise à disposition de l'atelier avec force motrice. L'heure :	h	
10b	Mise à disposition de l'atelier sans force motrice. L'heure :	h	
11	Tête du forage. L'unité :	U	
12a	Essai de pompage de 4 heures. Le forfait :	F	
12b	Mise à disposition de l'équipement d'essai de pompage. L'heure :	h	

PROJET D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE ...
 REALISATION DE ... FORAGES

CADRE DU DETAIL ESTIMATIF

N° des prix	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire F.CFA	Montant F.CFA
	A. <u>DEPLACEMENTS</u>				
1	Préparation et amenée du matériel.	F			
2a	Déplacement entre 2 villages.	F			
2b	Déplacement dans 1 village.	F			
2c	Plus value pour déplacement de plus de 40 km.	km			
4	Repli du matériel.	F			
	B. <u>FORAGE</u>				
5a	Forage dans les formations d'altération.	m			
5b	Plus value pour formations d'altération de plus de 40 m.	m			
5c	Forage dans les formations du socle.	m			
	C. <u>EQUIPEMENT</u>				
6	Tubes pleins.	m			
7	Crépines.	m			
8	Comblement de la partie inférieure d'un forage.	F			
9	Packer.	U			
10	Développement.	F			
11a	Mise à disposition avec force motrice.	h			
11b	Mise à disposition sans force motrice.	h			
12	Tête du forage.	U			

LISTE DE CONSTRUCTEURS

ACKER - Voir LINDQUIST

ATLAS COPCO - 326 rue du Général Leclerc, 95130 FRANCONVILLE - Tél. 413.54.54

BENOTO INTERNATIONAL - 26 rue de la Trémouille, 75008 PARIS

BOMAG - Bohrmaschinen und Geräte GmbH & CO KG. Richard Strauss Str. 14 D 7800 FREIBURG - R.F.A. - Tél. 761/52999 - Telex 925 212.

BONNE ESPERANCE - (Société Nouvelle de Sondages) : 15 rue des Sablons, 75016 PARIS - Tél. 704.51.52/53 - Telex 611 017 Forages Paris.

BUCYRUS ERIE - P.O. Box 1000. Racine. Wisconsin 53405 U.S.A.

CALWELD - (Division of Smith International Inc) P.O. Box 2875 - Santa Fe Springs - California 90670, U.S.A. Tél. (213)723.08.81 - Telex 657 420.

CHICAGO PNEUMATIC - P.O. Box 1225 Enid. Oklahoma 73701 - U.S.A.

COMPAIR FRANCE - 31 rue de la Justice - Z.I. Vaux le Pénil - B.P. 514, 77015 MELUN Cedex - Tél. 437.91.43 - Telex Compair 690 189.

CRAELIUS - B.P. 630, 95004 Cergy Pontoise Cedex - Tél. 037.47.77 - Telex 697 589.

DUKE & OCKENDEN LTD - River Road - Littlehampton Sussex BN 17 5 DN England - Tél. Littlehampton (09064) 7106 - Telex 87543. -DANDO.

FAILING - Voir LINDQUIST

FLEXIFOAM (Tubages et crépines) - B.P. Ouagadougou - Haute Volta

FORACO - 14 rue Beffroy, 92200 Neuilly - Tél. 747.83.01 - Telex 610 439.

GALINET SA - Zone industrielle de Romamet, 87000 Limoges

GARDNER DENYER (FRANCE) S.A.R.L. - Route de Service Est Orly Frêt 743, 94399 Orly Aéroports cedex - Tél. 687.24.93 - Telex 203 613 F.

HAGUSTA - Voir LE MATERIEL DE SONDAGE

HAUSHERR FRANCE - Z.I. rue Guy Mocquet, 95102 ARGENTEUIL - Tél. 982.09.33 - Telex 696 725 F

HOLMAN - Voir COMPAIR

INGERSOLL RAND - 5-7 Av. A. Einstein - B.P. 113, 78190 Trappes - Tél. 050.61.10 - Telex 696 291/696 292

JOHNSON (filtres crépines), 86530 Naintré - Tél. (49) 90.06.73 - Telex 791 124

LINDQUIST INTERNATIONAL S.A. - 60 rue Richelieu, 75009 PARIS - Tel. 261.84.55 - Télex 210 569 Oloslin

LONGYEAR FRANCE S.A. - 20 Av. Vladimir Komarov, 78191 Z.I B.P.1 Trappes Cedex - Tél. 051.61.17 - Telex 698 288 Longfran

LE MATERIEL DE SONDAGE - 24 rue Charles Fillion, 75017 Paris - Tél. 627.36.35
MISSION Voir HAUSHERR
MOBILE DRILL INTERNATIONAL INC - 3807 Madison Av. Indianapolis - Indiana 46227 -
U.S.A. Telex 2 7352
NORDMEYER - Voir RABANAP
PB - Voir RABANAP
PORTADRILL - Voir LONGYEAR
RABANAP HUDIG FRANCE - 44 rue du Général Leclerc Ballainvilliers, 91160 Longjumeau
Tél. 909.34.50 - Telex 690 658
SALZGITTER MASCHINEN UND ANLAGEN AG - Windmühlenbergstrasse 20 - 22 Salzgitter
Bad R.F.A - Tél. (05341) 302-1 - Telex 954 445 Smag d
SBF PREUSSAG - Voir TUBAFOR
SECMI - (Société Escovienne de Construction Mécanique et Industrielle) 27440 ECOUIS
SMF (usine) Creusot Loire, Division Matériels de forage, B.P. 19, 65001 Tarbes.
SN MAREP - 28 Bd de Grenelle, 75015 Paris
SPEC - Zone industrielle B.P. 101, rue Guy Mécquet, 95102 ARGENTEUIL
STENUICK FRANCE - Bd Marie Stuart, B.P. 2803, 45028 ORLEANS - Tél. (38) 86.50.46
Telex 760 895
SULLAIR - 40 rue de la République, 78920 ECQUEVILLY - Tél. (1) 475.55.40 -
Telex 696 622
TEKNIFOR - 87 rue Taitbout, 75009 PARIS - Tél. 285.24.87
TUBAFOR - B.P. 96, 59393 Wattrelos Cedex - Tél. (20) 26.24.32 - Telex 160 620 F
UMDI - Domine, 86530 Naintré - Tél. (49) 90.03.01 - Telex 790 183
WABCO - Voir LINDQUIST
WALKER NEER - Voir LINDQUIST

B I B L I O G R A P H I E

1. Hydrogéologie, ressources en eau

- (1) BARRERE J. ; SLANSKY M. - 1965
Notice explicative de la carte géologique au 1/2000.000è de l'Afrique Occidentale.
Mémoire BRGM n° 29
- (2) BRGM - 1975
Notices explicatives et cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique Sahélienne.
Fonds d'Aide et de Coopération de la République Française.
- (3) BRGM - 1976
Carte de planification des ressources en eau souterraine. L'Afrique Soudano Sahélienne. CIEH
- (4) BRGM - 1977
Les eaux souterraines du Sahel. Etudes des ressources. Propositions d'études. Typologie des captages. Club des amis du Sahel.
- (5) BOURGEOIS M. (BRGM) - 1979
Carte de planification des ressources en eau de la Cote d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin. CIEH.
- (6) BRGM - 1979
Carte de planification des ressources en eau du Cameroun. CIEH.

2. Politique de l'équipement en points d'eau

- (7) BURGEAP - 1972
Etude comparative des avantages respectifs des puits et forages dans les régions à substratum cristallin d'Afrique de l'Ouest (CIEH).
- (8) BURGEAP - 1978
L'équipement des villages en puits et forages en fonction des conditions hydro-géologiques dans les Etats A.C.P d'Afrique.
Commission des Communautés Européennes
Direction générale du Développement.
- (9) OMS - 1977
Compte-rendu de la conférence de Ouagadougou
Réunion inter-étatique des responsables gouvernementaux de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement en milieu rural - Décembre 1976
Groupe de travail Adhoc "Approvisionnement en eau potable et assainissement en milieu rural" des Organisations internationales.

- (10) Géohydraulique - 1978
Programme d'hydraulique villageoise dans les Etats du Conseil de l'Entente - Etude préparatoire au programme. Conseil de l'Entente.
- (11) Géohydraulique - 1979
Programme d'hydraulique villageoise et pastorale dans les Etats de la CEA0.
Etude préparatoire au programme CEA0.
- (12) TAMS - 1978
L'utilisation des ressources en eau et des terres des régions de Savane.
CIEH.

3. Forages

- (13) EDWARD E. ; JOHNSON, INC. - 1966
Ground water and wells.
A reference book for water well industry (Publié par Crépines Johnson).
- (14) MABILLLOT Albert - 1971
Le forage d'eau Guide pratique - Edité par Crépines Johnson France S.A.
86 Naintré.
- (15) IFP - 1974
Le formulaire du foreur - Edition Technip.
- (16) KEITH E. ANDERSON - 1979
Water well hand book
4th Edition - Revised 1971 by Missouri
water well & pump contractors Assn, Inc PO Box 517,
Belle Mo 65013
- (17) DUPUIS Jean - 1979
La technologie des forages d'eau CTREF Antony - Mémoire n° 11 - Septembre 1979.
- (18) FAISANDIER J. ; 1980
Mécanismes hydrauliques
Editions Dunod Technique.
- (19) K Adou - 1978
Organisation d'une société d'état de forages en Cote d'Ivoire : La Forexi.
Communication présentée aux Journées techniques de la neuvième réunion du
Conseil du CIEH à Comé (Togo) CIEH.
- (20) CIEH - 1979
Formation des foreurs - Communication présentée par le CIEH à la Réunion de la
Commission d'Application des Recommandations du séminaire de Niamey - Paris 1979
CIEH/CEAO/CEFIGRE.
- (21) Géologie et forages d'eau
Revue de l'Union française des géologues n° 50-51 - Décembre 1979.

4. Puits

- (22) BCEOM - 1969
Technique rurales en Afrique volume 7 - Hydraulique pastorale
Secrétariat d'Etat aux affaires étrangères chargé de la coopération.
Edition Eyrolles.
- (23) BURGEAP - 1974
La construction des puits en Afrique Tropicale et "l'investissement humain"
(livre) Editions du Ministère de la Coopération Paris.
- (24) BURGEAP - RENARDET ENG. 1979
Projet de développement des régions cotonnières. Etudes d'implantation et de
surveillance des travaux de 570 points d'eau. R14 Juillet 1979
Min. des travaux publics, des transports, de la construction et de l'urbanisme
Direction centrale de l'Hydraulique. Côte d'Ivoire.

5. Moyens d'exhaure

- (25) CIEH - 1977
Les moyens d'exhaure en milieu rural - République du Tchad, Direction de l'élevage et des Industries animales - Banque mondiale.
- (26) OMS - 1979
Pompes à main destinées à l'approvisionnement en eau potable dans les pays en
voie de développement.
OMS Centre International de référence pour alimentation en eau collective.
Doc. technique n° 10 - Octobre 1978.
- (27) CIEH - 1981
Hydraulique villageoise et moyens d'exhaure