

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères
chargé de la coopération

techniques rurales

en afrique

7

hydraulique pastorale



B. C. E. O. M.

I. E. M. V. T.

212.0-73HY-10490

212.0
73TE

200, -

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères

chargé de la coopération

1217

techniques rurales en afrique

LIBRARY IRC
PO Box 93190, 2509 AD THE HAGUE
Tel: +31 70 30 689 80
Fax: +31 70 35 899 64

BARCODE: 18498
LO: 212.0 73HY

7

hydraulique pastorale



ICDRWS
International Commission for the Development of Rural Water Supply

B. C. E. O. M.

15, square Max-Hymans
PARIS 15e

I. E. M. V. T.

10, Rue Pierre Curie
94- MAISONS-ALFORT

**Cette brochure, qui porte le N° 7 de la collection
" Techniques rurales en Afrique " a été réalisée
par le Bureau Central d'Etudes pour les Equipements
d' Outre-Mer (B.C.E.O.M.) avec le concours
de l' Institut d' Elevage et de Médecine Vétérinaire
des Pays Tropicaux (I.E.M.V.T.) à l'initiative du
Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères chargé
de la Coopération (financement par le budget
du Fonds d'Aide et de Coopération :
marché N° 380/M/69/S du 12 décembre 1969.**

**Copyright by Secrétariat d' Etat aux Affaires
Etrangères chargé de la Coopération, tous droits
de reproduction, de traduction et d' adaptation
réservés pour tous pays.**

S O M M A I R E

	Pages
PRÉAMBULE	7
PREMIERE PARTIE	
I – GÉNÉRALITÉS SUR L'HYDRAULIQUE PASTORALE	11
1 – INTRODUCTION	11
1 - 1 – L'hydraulique pastorale, facteur de développement	11
1 - 2 – Importance de l'eau selon les régions climatiques et domaines géographiques.	11
1 - 3 – Hygiène de l'abreuvement. Caractéristiques d'une bonne eau d'abreuvement.	13
2 – ROLE DE L'HYDRAULIQUE PASTORALE	16
2 - 1 – Plan social	17
2 - 2 – Plan alimentaire	18
2 - 3 – Plan sanitaire	18
2 - 4 – Plan commercial	19
3 – APERÇU HISTORIQUE SUR LES TECHNIQUES D'ABREUUREMENT	20
II – ETABLISSEMENT DES PROGRAMMES ET RENTABILITÉ DE L' HYDRAULIQUE PASTORALE	23
1 – INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAU ET EN PATURAGES	23
1 - 1 – Reconnaissance de la région	23
1 - 2 – Recensement des ressources d'hydraulique souterraine et superficielle	23
1 - 3 – Organisation et rôle d'un bureau d'inventaire des ressources	24
1 - 4 – Étude des ressources en pâturages et des contraintes épidémiologique et agrostologique.	25
2 – INVENTAIRE DU BÉTAIL	31
3 – ELABORATION D'UN PROGRAMME D'HYDRAULIQUE PASTORALE	32
3 - 1 – Hydraulique en élevage traditionnel	32
3 - 2 – Hydraulique pour ranching	36

4 – ASPECTS ÉCONOMIQUES DU PROBLEME	39
4 - 1 – Critères du choix d'un investissement	39
4 - 2 – Estimation des dépenses	39
4 - 3 – Bénéfices apportés par la rationalisation de l'élevage	43
5 – ASPECTS ADMINISTRATIFS	45
6 – ASPECTS SOCIAUX	45
7 – ASPECTS FONCIERS	45
8 – SYNTHÈSE – Documents à fournir pour la préparation d'un programme	46

DEUXIEME PARTIE

I – TECHNIQUES D'HYDRAULIQUE PASTORALE A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES	48
1 - CARACTERISTIQUES DES NAPPES AQUIFERES	48
1 - 1 – Description sommaire et situation géographique des principales nappes de l'Afrique de l'Ouest	48
1 - 2 – Méthodes de détermination des nappes aquifères	56
2 - MOYENS D'EXECUTION DES OUVRAGES D'HYDRAULIQUE PASTORALE	58
2 - 1 – Travaux en régie directe entrepris par l'Administration	58
2 - 2 – Travaux dévolus aux entreprises	60
3 - METHODES DE CONSTRUCTION DE PUIITS EN BETON ARME	61
3 - 1 – Exploitation des nappes phréatiques	61
3 - 2 – Exploitation des nappes profondes	63
3 - 3 – Études de génie civil des puits en béton armé	67
3 - 4 – Débits des puits exploités par les moyens traditionnels	81
3 - 5 – Coûts des puits Ø 1,40 et Ø 1,80 de diamètre utile	82
4 - TECHNIQUES D'EXECUTION DES FORAGES	97
4 - 1 – Considérations générales	97
4 - 2 – Coupes types de forages d'exploitation	102
4 - 3 – Crépines et filtres	110
5 - LES TECHNIQUES D'EXHAURE	115
5 - 1 – Équipements des forages exploités par pompage	115
5 - 2 – Exploitation des forages par des puits en béton	126

II – TECHNIQUES PARTICULIERES A L'AMENAGEMENT PASTORAL DES EAUX DE SURFACE	132
1 – GENERALITES : CARACTERISTIQUES ET IMPORTANCE	132
2 – AMENAGEMENT DES EAUX DE SURFACE	134
2 - 1 – Utilisation des eaux de surface	134
2 - 2 – Rappel des divers types d'aménagement	134
3 – LES MARES ARTIFICIELLES	136
3 - 1 – Les conditions de site	136
3 - 2 – Considérations sur le dimensionnement optimum d'une mare artificielle	139
3 - 3 – Les problèmes techniques	140
3 - 4 – Aperçus économiques	145
3 - 5 – Exemple de réalisation de mare	146

TROISIEME PARTIE

I – ASPECTS TECHNIQUES DE L'EXPLOITATION ET DE L'ENTRETIEN DES OUVRAGES	151
1 - EXPLOITATION DES OUVRAGES	151
1 - 1 – Mode d'exploitation technique	151
1 - 2 – Mode d'exploitation administratif	151
1 - 3 – Mode d'exploitation financier	152
2 – ENTRETIEN DES OUVRAGES	154
2 - 1 – Causes de manque d'eau	154
2 - 2 – Organisation de services d'entretien	158
II – ASPECTS ÉCONOMIQUES	164
1 – EXEMPLE TYPE DE BUDGET DE FONCTIONNEMENT	164
2 – PRIX DE REVIENT DES OUVRAGES	165
2 - 1 – Charges récurrentes des puits	165
2 - 2 – Charges récurrentes des forages	165
3 – RENOUELEMENT DU MATERIEL	166
4 – RECETTES : ORIGINE – AFFECTATION	168

LISTE DES PHOTOGRAPHIES PRISES AU NIGER

	Pages
PLANCHE 1 – A – Buses en B. A. pour puits Ø 1,80 m B – Buses crépinées.	93
PLANCHE 2 – Trois types d'exhaure A – Puisage à main (sédentaires) B – Puisage par traction animale (nomades) C – Station de pompage d'ABALAK	94
PLANCHE 3 – Puits traditionnels (zone nomade) A – Puits Ø 1,80 m – Exhaure par traction animale B – Puits Ø 1,80 m – à abreuvoirs circulaires C – Puits d'EKISMANE Ø 1,80 m	95
PLANCHE 4 – Types de margelles A – Puits de TAHOUA Ø 2,5 m B – Puits d'ASSAOUAS 1,80 m C – Puits Ø 1,80 m pour sédentaires	96
PLANCHE 5 – A – Installations de la station de pompage de TATAHOUSSEN B – Station de pompage classique par groupe moto-pompe	120
PLANCHE 6 – A – Groupe moto-pompe 20 m ³ /h sur forage du Nord TAHOUA B – Forage artésien du MANGA KADZELL (poste de distribution d'eau)	121
PLANCHE 7 – Station de pompage de GUISEL BODI A – Cabine des groupes électrogènes B – Armoires de commande de l'électro-pompe C – Tête de forage électro-pompe	122
PLANCHE 8 – Station de pompage GUISEL BODI A – Rampe à robinets (fontaine publique) B – 6 abreuvoirs de 12 mètres C – Détails – Socle d'un abreuvoir	123

LISTE DES CARTES, SCHÉMAS ET PLANS

PREMIERE PARTIE

	Pages
– Pluies annuelles en Afrique	12

DEUXIEME PARTIE

– Cartes des Nappes de l'Afrique de l'Ouest	53-54
– Puits pastoral Ø 1,80 m	65-66
– Puits d'exploitation Ø 2,50 m	69-70
– Puits Ø 1,40 m	73-74
– Puits Ø 1,80 m par havage	76
– Dispositif de captage	79-80
– Superstructure pastorale	83-84
– Puits de sédentaires	85-86
– Superstructure Tchad	87-88
– Forage 20 m ³ /h	101
– Forage 30 m ³ /h – Nappe phréatique du continental terminal	103
– Forage d'exploitation du Maestrichtien	104
– Forages à gros débits à 100 m ³ /h – 150 à 350 m	106
– Courbes granulométriques types	111
– Station de pompage type Sénégal	115
– Station de pompage type Nord Tahoua	117
– Puits d'exploitation Ø 1,80 m	127-128
– Forage dans puits existant	130
– Alimentation par détournement des eaux d'un cours d'eau	137
– Alimentation par bassin de reprise et puisard	138
– Débouché dans la mare	141
– Dispositif de puisage et d'abreuvement	143-144
– Hafir d'Abu Sinun – Plan d'ensemble des aménagements	147
– Hafir d'Abu Sinun – Plan de la mare	148

TROISIEME PARTIE

(annexes)

– Abaque pour le calcul des pertes de charges turbulentes dans les forages	181-182
– Interprétation de la méthode de Theis – Méthode graphique	187
– Forage de Diakhao (Sénégal) – Profil de l'ouvrage	274
– Forage de Diakhao – Coupe géologique	275
– Sondage de Diakhao	275
– Analyses granulométriques (272,20 m – 284,70 m)	277
– Analyses granulométriques (294,20 m – 301,70 m)	278
– Forage de Diakhao – Essai de réception provisoire du 10-5-67	283-286
– Diakhao – Diagramme d'analyses d'eau	291
– Dispositif des pare-feux	304

ANNEXES

1 - DONNEES PRATIQUES POUR LA MESURE DES DEBITS DES PUIITS ET FORAGES	173
1.1 – Modalités d'exécution d'essais de débits lors des réceptions des forages d'eau	175
1.2 – Interprétation de la méthode de Theis	183
2 - EXEMPLES DE CAHIER DES CHARGES TYPES	189
2.1 – Marché type d'exécution de puits \varnothing 1,80 m	191
2.2 – Cahier des prescriptions spéciales d'un appel d'offres d'exécution de forage d'eau	219
3 - CARACTERISTIQUES DES CREPINES UTILISEES DANS LES FORAGES D'EAU	235
4 - CARACTERISTIQUES DES MATERIELS DE CONSTRUCTION DE PUIITS	243
5 - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES D'UN GROUPE DE POMPAGE	255
6 - RAPPORT TYPE D'EXECUTION D'UN FORAGE D'EXPLOITATION	261
7 - REGLEMENTATION D'EMPLOI DES OUVRAGES HYDRO-PASTORAUX	293
8 - PARE-FEUX ET LUTTE CONTRE LES FEUX DE BROUSSE	301
9 - BIBLIOGRAPHIE	305

PRÉAMBULE

“ Eau tu es la plus grande richesse qui soit au monde ”.

Ainsi s'exprime dans “ Terre des Hommes ” Saint-Exupéry, orfèvre en la matière.
Et il ajoute “ mais tu es aussi la plus délicate ”.

Ceux qui ont vécu et travaillé pour les pasteurs nomades sahariens et sahéliens ou leurs voisins cultivateurs de mil, les sédentaires noirs, ont mesuré la justesse de ce chant du poète et ils diraient aussi volontiers “ mais tu es souvent la plus difficile à mettre à la disposition des hommes ”.

Les pays occidentaux et atlantiques ont tiré, sans en avoir eu bien conscience, leur richesse première de la pluie, de sa bonne répartition et de facteurs écologiques qui à tous égards sont éminemment favorables aux activités humaines.

Les Africains des territoires sahariens et sahéliens, ceux à qui cette étude est destinée doivent lutter et consacrer souvent la majeure partie de leur temps simplement à assurer leur alimentation propre en eau et celle des troupeaux qui les font vivre.

Sous un climat chaud et sec, difficilement supportable, les hommes des zones tropicales doivent faire appel aux nappes souterraines, qui seules sont susceptibles de leur assurer en toutes saisons leurs besoins en eau. La vie de centaines de milliers de pasteurs et de leur troupeau est souvent soumise en saison sèche à la présence ou à l'absence de l'eau au fond d'un puits.

Des nappes aquifères existent heureusement presque partout mais leur qualité, leur débit, leur fiabilité et leur profondeur présentent des caractéristiques très variables de sorte que leur exploitation pose des problèmes techniques de tous ordres.

Le coût relativement très élevé de la construction, de l'entretien et du fonctionnement des ouvrages d'hydraulique souterraine pose en outre des problèmes nouveaux d'implantation et de rentabilité.

Cette brochure, qui porte le n° 7 de la collection “ Techniques rurales en Afrique ” a été réalisée par le Bureau Central d'Études pour les Équipements d' Outre-Mer (B.C.E.O.M) avec le concours de l'Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux (I.E.M.V.T) à l'initiative du Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères (financement par le budget du Fonds d'Aide et de Coopération : marché n° 380/M/69/S du 12 décembre 1969). Elle a pour but de montrer les différents aspects de ces problèmes et d'aider ainsi ceux qui ont la tâche toujours difficile mais passionnante de dispenser dans les immenses étendues présahariennes et soudanaises “ La plus grande richesse qui soit au monde ”.

PREMIERE PARTIE

I – GÉNÉRALITÉS SUR L'HYDRAULIQUE PASTORALE

1 – INTRODUCTION

1-1 – L'hydraulique pastorale, facteur de développement

Lorsque l'on étudie l'élevage tropical, on est amené à diviser l'Afrique en un certain nombre de zones climatiques, sensiblement parallèles à l'Équateur dans lesquelles la pluviométrie constitue un paramètre essentiel.

Cette pluviométrie, pratiquement nulle à la limite du Sahara augmente rapidement lorsqu'on se dirige vers le sud pour dépasser 2 mètres de précipitations annuelles en zone guinéenne, située à environ 1200 km plus loin .

La mise en valeur de la zone sahélienne où la pluviométrie est comprise entre 200 et 400 mm d'eau, ne peut être envisagée que par le développement de l'élevage (bovins, ovins, caprins, camélins)

Dans la zone soudanienne, située plus au sud, où il tombe entre 400 mm et 1.000 mm d'eau, répartis sur trois à quatre mois de l'année, les cultures prennent une importance prépondérante. Cependant l'élevage y conserve une place importante et son amélioration qualitative et quantitative est inscrite dans les plans de développement des États intéressés.

Dans les deux zones sahélienne et soudanienne, l'élevage est possible sous réserve que soient assurés l'approvisionnement en eau, les ressources fourragères, la protection sanitaire.

La zone sahélienne, bien que moins arrosée, constitue l'un des grands domaines de l'élevage en Afrique tropicale. Elle possède en effet des facteurs favorables : la sécheresse qui y règne une grande partie de l'année limite considérablement l'extention des maladies parasitaires en coupant les cycles évolutifs des parasites si néfastes pour le bétail; de même, la rareté ou l'absence des cultures font qu'elles n'entravent pas les déplacements du bétail.

Dans de nombreux cas, l'utilisation des terres portant des pâturages exploitables est limitée étroitement par le manque d'eau et les contraintes considérables que présentent, pour l'éleveur, sa recherche et son exhaure.

Or, précisément dans ces régions, il existe en profondeur des réserves d'eau parfois considérables qu'il importe de détecter et d'amener à la surface à l'usage du bétail.

Le développement de l'élevage ne peut donc être obtenu que par la réalisation d'ouvrages d'hydraulique, accompagnée de la protection et de l'utilisation rationnelle des pâturages ainsi mis à la disposition du bétail. L'hydraulique pastorale apparait donc comme un facteur de développement de ces régions d'une importance considérable, à la condition formelle d'associer à une politique de points d'eau, une politique d'exhaure qui seule est capable de promouvoir les conditions de vie des pasteurs.

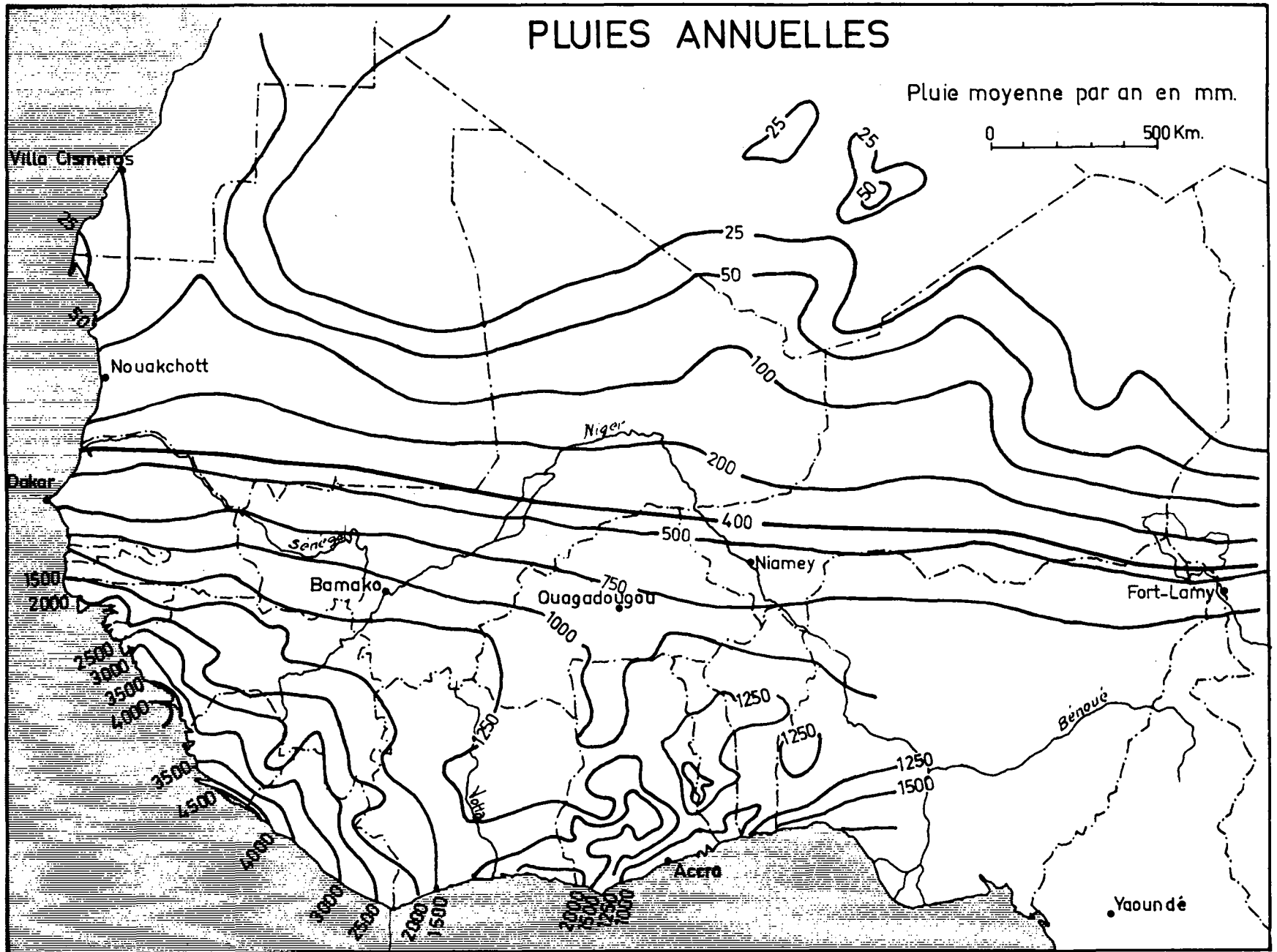
1-2 – Importance de l'eau selon les régions climatiques et domaine géographique

L'importance de l'eau est fonction essentiellement de la pluviosité et de la répartition dans l'année.

PLUIES ANNUELLES

Pluie moyenne par an en mm.

0 500 Km.



Le climat de l'Afrique, compris entre les parallèles 13° et 20° de latitude Nord, se caractérise par deux saisons : une saison humide, de juin à octobre et une saison sèche, d'octobre à mai ou juin.

Ce climat couvre la majeure partie des États du Sénégal, du Mali, de la Haute-Volta, du Tchad et de la totalité des États de la Mauritanie et du Niger.

Les isohyètes suivent très sensiblement les parallèles. La pluviométrie, de 750 mm d'eau par an au niveau du 13^e parallèle, répartie sur 70 jours, se raréfie vers le Nord. Au niveau de Gao ou de Tahoua, respectivement sur les 16^e et 15^e parallèles, on relève 250 à 350 mm d'eau répartis sur 30 à 40 jours.

La pluie qui tombe sur ces immenses territoires conditionne la végétation et les cultures. L'existence des pâturages sahéliens et sahariens, donc la vie des troupeaux et toute l'économie pastorale de ces pays en dépend.

Les cultures disparaissent au nord de l'isohyète 300 mm. Cependant une pluviosité de 200 mm, même inégalement répartie, suffit à assurer la végétation de pâturages exploitables par les troupeaux, quelle que soit la nature des sols : latéritiques, sableux, rocheux.

La ceinture sahélienne, au nord de l'isohyète 250 mm, constitue le domaine des grands pasteurs nomades.

Cette zone pastorale sahélienne occupe une bande de 200 à 350 km de largeur dont l'axe représenté par le parallèle 16° 30' N de l'Atlantique à la boucle du Niger, s'infléchit ensuite vers le 14° parallèle au Tchad.

Les principaux groupes ethniques pastoraux sont les Maures, les Peulh, les Toubbous, les Touareg, les Arabes: Ils entretiennent un cheptel estimé à 15 millions de bovins, 25 millions d'ovins et caprins et un million de chameaux en 1970.

Dans cette zone, le nomadisme est une nécessité : dès que les pluies tombent, les nomades se dirigent avec leurs troupeaux vers le Nord, vers les terres salées, vers les pâturages aqueux dont certains peuvent dispenser de la rude sujétion de l'abreuvement. Ensuite, les troupeaux reviennent vers le Sud, dans des régions mieux équipées en points d'eau permanents et vers les villes des sédentaires où les pasteurs vendent leurs produits pour acheter des denrées alimentaires et des biens de consommation.

Au dessous d'une pluviométrie de 300 mm on ne trouve pratiquement plus de nappes phréatiques pérennes, sinon des nappes très localisées, soit dans les zones de concentration d'eau de surface, soit à la verticale des mares d'hivernage qui, souvent, peuvent abreuver les troupeaux jusqu'en janvier ou février.

Les nappes exploitées sont nécessairement profondes, au moins à 40 ou 50 mètres de profondeur, et non soumises à l'évaporation due à l'extrême sécheresse de l'air.

Au-dessus d'une pluviométrie de 400 mm, les nappes phréatiques contenues dans les produits d'érosion superficiels sont beaucoup plus abondantes et annuellement réalimentées. De plus, les agriculteurs sédentaires possédant des troupeaux moins nombreux ont des besoins en eau moins importants.

1-3 – Hygiène de l'abreuvement. Caractéristiques d'une bonne eau d'abreuvement.

L'hygiène de l'abreuvement des animaux domestiques doit tenir compte des données essentielles du métabolisme de l'eau dans l'organisme animal.

La nécessité d'un apport d'eau de boisson est la conséquence de l'importance et de la multiplicité des rôles qu'elle joue en tant que :

- matériau essentiel dans l'édification de l'organisme animal puisqu'elle représente, en gros, 60 p. 100 du poids de l'adulte et plus de 75 p.100 du poids du jeune animal.
- facteur primordial de l'homéostasie, aptitude de l'organisme à maintenir la constance de ses caractéristiques physiologiques, en particulier maintien de la température interne sous un climat excessivement chaud.
- solvant assurant le transport des métabolites, l'élimination des déchets.

L'hygiène de l'abreuvement doit faire prendre en considération la quantité et la qualité de l'eau à fournir aux animaux domestiques.

1-3-1 — Point de vue quantitatif

Les besoins en eau d'un organisme animal sont déterminés par la nécessité de compenser en permanence les pertes de toutes natures qu'il subit :

- élimination rénale, intestinale, pulmonaire, cutanée.
- productions zootechniques : viande et surtout lait.

Une estimation précise des besoins en eau des animaux domestiques est plus difficile que celle des besoins énergétiques car ils varient dans des limites considérables suivant les conditions d'environnement.

On a fixé les normes suivantes pour le bétail des zones tropicales.

a) Bovins

En élevage extensif, sans possibilité de pâturage de nuit, les animaux consomment 30 à 40 litres d'eau par jour.

Lorsque la température présente des pointes diurnes atteignant 45 à 50° C, que le degré hygrométrique de l'air est très bas (15 %), l'évaporation très forte et la teneur en eau des plantes fourragères très faible, les besoins journaliers en eau des bovins atteignent 50 litres et plus, par adulte.

Dans les meilleures conditions, ces quantités journalières doivent être prises en deux fois.

Si ce volume d'eau n'est pas fourni à l'animal, il subit une baisse d'état considérable.

Si l'abreuvement a lieu tous les deux jours, les animaux boivent alors 50 à 60 litres dans la journée d'abreuvement, mais devant la faiblesse du débit des points d'eau, et surtout devant les difficultés d'exhaure, on les rationne souvent à 30 litres. Cette quantité représente le minimum compatible avec une survie de 3 à 4 mois pour les sujets les plus résistants; en particulier les jeunes accusent alors une mortalité importante, jusqu'à 40 %.

b) Petits ruminants

On compte 3 à 4 litres par jour; 5 litres pour les femelles qui allaitent, pour des animaux élevés sur le mode extensif, abreuvés une fois par jour. Contrairement à une opinion répandue, les caprins boivent autant que les ovins, mais résistent mieux à une disette.

c) Chevaux

Trente à cinquante litres chaque jour, selon saison et activité.

d) Anes

15 à 20 litres chaque jour dans les mêmes conditions.

e) Chameaux

Le chameau résiste à la soif mais non pas à la privation totale d'eau. Il peut supporter une privation de 8 jours à la suite de laquelle il consomme rapidement jusqu'à 100 litres d'eau en une seule fois.

NORMES D'ABREUUREMENT

	Zébus	Taurins	Moutons et chèvres	Chevaux
Avec pâturage de nuit				
saison sèche	21	20		
saison des pluies	16	12,5		
Sans pâturage de nuit	30 à 40			
suivant saison				
Saison sèche			4 à 5	
Suivant saison				30 à 50

1-3-2 — Point de vue qualitatif

Le point de vue qualitatif de l'abreuvement est souvent négligé car on considère, à tort que l'animal, à la différence de l'homme, se contente habituellement de n'importe quelle eau, du moment qu'il en absorbe en quantité suffisante.

Il existe en matière d'abreuvement une règle fondamentale qui veut que le bétail ne consomme que de l'eau pure, c'est-à-dire inodore, incolore, sans saveur particulière, ne renfermant pas de sels minéraux dissous en trop grande quantité, exempte de matières organiques, de formes parasitaires et de germes microbiens pathogènes.

a) Teneur en sels minéraux

Dans les zones arides, il existe des eaux naturelles chargées en sels minéraux (carbonates, chlorures, sulfates de sodium ou de magnésium, sels de fer etc ...)

Ces sels minéraux, en solution dans l'eau à des concentrations excessives peuvent amener des troubles graves chez les animaux qui les absorbent régulièrement.

Les eaux saumâtres renferment une concentration élevée en chlorure de sodium d'origine géologique ou marine. Une concentration de 2 % en chlorure de sodium entraîne chez les moutons diminution de l'appétit, perte de poids, diarrhée.

Les eaux natronées, riches en carbonate de sodium, provoquent des troubles intestinaux graves.

Les eaux de boisson interviennent également de façon indirecte dans l'étiologie de certaines affections telle la maladie des forages évoquée dans la première partie, au chapitre I 2-2 (page 18) et au chapitre II 1-4 (page 25).

b) Présence de matières organiques

L'eau peut également renfermer des matières organiques, qui, par elles-mêmes, ne présentent pas de danger, mais qui témoignent très souvent de contaminations microbiennes.

c) Présence de formes parasitaires et de germes microbiens

Une eau d'abreuvement bonne en elle-même, peut devenir dangereuse du fait des contaminations dont elle a été l'objet.

La contamination de l'eau des mares non aménagées est de règle du fait que les animaux qui viennent s'y abreuver piétinent les abords et y déversent leurs déjections.

Ces eaux renferment d'une part, de très nombreuses formes parasitaires, larves infestantes de fasciolidés, oeufs de nématodes, de cestodes et, d'autre part, des germes de nombreuses maladies infectieuses. L'eau de boisson joue donc un rôle capital dans la transmission des maladies du bétail en milieu tropical.

Dans ce sens les mares jouent un rôle particulièrement important dans l'extension de la cysticercose bovine. Au Tchad, GRABER et THOME indiquent que l'incidence de telles mares sur l'apparition de la cysticercose bovine est de l'ordre de 13 à 20 p. 100 du bétail de boucherie se rendant du Tchad en République Centrafricaine.

Bien souvent, les bêtes achetées dans les zones de production et rassemblées en troupeaux sont acheminées à pied vers des centres de consommation situés à plusieurs centaines de kilomètres. Ces routes commerciales ont des points d'eau constitués le plus souvent par des mares permanentes riches en oeufs de *Taenia saginata* déposés par les individus parasités.

L'infestation des bovins se fait très rapidement, en quelques semaines.

L'infestation parasitaire du bétail par les Trématodes hépatiques, gastriques ou veineux, dont des mollusques pulmonés d'eau douce constituent les hôtes intermédiaires, est grandement favorisée par la présence de mares temporaires qui représentent un milieu très favorable à la pullulation de ces mollusques au moment de leur mise en eau, à partir du mois de juillet, au début de la saison des pluies.

L'eau des mares intervient aussi dans la transmission de graves maladies infectieuses telles que les charbons, la peste bovine.

En conséquence, l'utilisation de ces points d'eau superficiels est à proscrire formellement pour ces raisons d'ordre sanitaire, d'autant plus que les éleveurs amenés à consommer les mêmes eaux s'exposent également à des affections graves.

Indiquons pour terminer que l'eau des puits, même bien aménagés, saine a priori, peut être souillée au moment de l'exhaure lorsque l'on utilise des moyens traditionnels en mauvais état d'entretien.

2 – ROLE DE L'HYDRAULIQUE PASTORALE

Le rôle de l'hydraulique doit être envisagé sur plusieurs plans.

2-1 – Plan social

2-1-1 – Amélioration des conditions de vie des pasteurs

Les populations qui pratiquent le nomadisme ou la transhumance ont un niveau de vie en général très peu élevé. Les pasteurs vivent dans des régions à climat très rude ; cependant ils ont une vie plus ouverte que certaines populations de forêts. Leur nourriture est infiniment plus riche, mieux équilibrée et leurs enfants se portent mieux en général. Il est par contre évident que l'enseignement les atteint très difficilement.

Leur seule ressource est l'exploitation de leur troupeau dont ils doivent impérativement tirer un revenu pour payer l'impôt, nourrir leur famille en achetant du mil aux agriculteurs et l'habiller. De plus, l'instruction, base absolument indispensable à tout développement social, ne peut s'acquérir sans un minimum de supports matériels que seul le revenu du troupeau peut procurer à ces populations.

L'hydraulique pastorale joue donc un rôle de premier plan en permettant dans un premier temps l'abreuvement dans des conditions satisfaisantes du troupeau actuel, et dans un temps ultérieur, l'accroissement des effectifs par l'utilisation des pâturages dans des zones où l'exploitation des nappes d'eau se trouve hors de portée des moyens traditionnels.

2-1-2 – Modification du pastoralat traditionnel.

Le problème des bergers est au centre de l'évolution de l'élevage en milieu nomade. Or on constate de plus en plus une désaffection des bergers pour ce mode d'exploitation en raison surtout de la tâche écrasante que représente pour eux l'exhaure de l'eau à l'aide de moyens rudimentaires, pendant des jours et des nuits.

La création de points d'eau permanents équipés de moyens d'exhaure efficaces, diminuant ou supprimant cette contrainte, suscitera le développement d'un nouveau pastoralat qui remplacera progressivement l'ancien. Cependant la création de ces points d'eau n'élimine pas les bergers qui restent indispensables en raison de la surveillance accrue qu'il faut exercer dans les grands rassemblements d'animaux pour éviter la disparition de certains d'entre eux.

Enfin, l'ouverture de nouveaux puits a entraîné une sédentarisation relative, qui n'est pas sans inconvénients pour le bétail du point de vue nutritionnel, mais qui a permis d'intervenir plus facilement auprès des populations pour diffuser des techniques permettant d'améliorer leur condition de vie et surtout de réaliser la scolarisation d'une partie de la jeunesse facteur primordial de l'évolution sociale.

Le rassemblement d'un nombre important de nomades autour des puits pendant plusieurs mois de saison sèche, permet d'assurer un encadrement administratif utile, bien que temporaire, de donner des soins aux pasteurs et à leur famille aussi bien qu'à leurs troupeaux.

Il existe deux modes d'utilisation des forages :

– soit ouverture toute l'année pour une sédentarisation définitive, cas du Ferlo au Sénégal. Cette solution pose des problèmes considérables car elle devrait s'accompagner d'actions nouvelles de la part des pasteurs et de l'Etat sans lesquelles le troupeau périclité faute de pâturages. C'est ce qui se produit également pour l'utilisation des forages artésiens du Nigéria Nord (Bornou)

– soit ouverture temporaire durant la seule saison sèche, ce qui maintient les transhumances et évite ainsi les désastres alimentaires. Cette formule est appliquée au Niger et au Tchad .

2-2 – Plan alimentaire

Sur le plan alimentaire, l'eau agit sur l'organisme animal par sa qualité et par la quantité ingérée. L'abreuvement entraîne, par voie de conséquence, des répercussions importantes sur les productions animales en milieu tropical aride.

La composition en sels minéraux de l'eau de boisson, directement influencée par les sols qu'elle a traversés, joue un rôle important dans l'alimentation du bétail. Ce rôle est encore accru du fait que la nature de la végétation et sa minéralisation sont également influencées par le sol, de sorte qu'en l'absence d'engrais et d'amendements, ce qui est la règle des pays tropicaux, l'alimentation minérale des herbivores, notamment en calcium, dépend essentiellement des apports de l'eau de boisson.

Les carences minérales de l'eau peuvent compromettre l'élevage dans certaines régions. La carence en iode entraîne des troubles de la fertilité et de la croissance; la carence calcique retentit sur le développement du squelette; la carence en phosphore conduit au pica qui participe à l'étiologie de la " maladie des forages ". Cette maladie est la conséquence de la sédentarisation dans le Ferlo, mais elle n'est pas constatée au Niger ni au Tchad.

Au contraire, les concentrations excessives en certains éléments minéraux ont une influence néfaste : l'excès de fluor dans l'eau de boisson entraîne une maladie caractérisée par des lésions osseuses graves dénommées " darmous ".

Du point de vue quantitatif, l'insuffisance de l'eau dans l'alimentation entraîne des conséquences multiples pour l'organisme animal.

L'insuffisance aiguë provoque une mort rapide.

L'insuffisance chronique, fréquente en saison sèche dans les régions arides, a des conséquences secondaires d'autant plus importantes qu'elle coïncide, à cette époque, avec une diminution considérable de la teneur en eau des herbes de pâturage ou même une disparition de la végétation.

L'insuffisance chronique provoque la réduction du volume des sécrétions digestives, cause d'anorexie et de troubles de la rumination. La réduction de la teneur en eau des fèces est la traduction de l'accroissement de la résorption intestinale qui conduit à la constipation.

La réduction de toutes les formes d'élimination aqueuse a pour conséquence la diminution de la sécrétion lactée d'autant plus sensible que la température extérieure est plus élevée, d'où un retentissement considérable sur la survie des jeunes de moins d'un an.

Dans les régions tropicales où l'abreuvement est limité aux ressources locales, la croissance du jeune bétail se trouve interrompue chaque année par suite de la pénurie d'eau dans l'alimentation. Cette croissance saisonnière se trouve plus sous l'influence directe du régime des pluies que sous l'influence des autres conditions d'environnement.

Au contraire, l'abreuvement quotidien réduit la perte de poids chez les adultes pendant la saison sèche d'où une meilleure rentabilité économique du cheptel.

2-3 – Plan sanitaire

L'hydraulique pastorale peut avoir une action extrêmement bénéfique sur l'évolution de l'état sanitaire du cheptel. Elle intervient d'une façon directe et d'une façon indirecte.

2-3-1 – Action directe

La création de nouveaux points d'eau et l'aménagement des points anciens permettent d'améliorer les conditions d'abreuvement défectueuses dans une région donnée qui sont la source de nombreuses infections bactériennes, virales ou parasitaires.

La multiplication des points d'abreuvement réduit l'importance des effectifs bovins, ovins, caprins, qui se rassemblent en un lieu donné pendant des périodes plus ou moins longues. Cette promiscuité forcée et répétée favorise la transmission des maladies infectieuses qui reconnaissent un mode direct de transmission, telle la péripneumonie contagieuse bovine.

L'amélioration de la qualité de l'eau résulte de l'aménagement des mares naturelles; clôtures, pompes, abreuvoirs, qui empêchent le bétail de les souiller par le piétinement des abords et le dépôt des déjections.

La protection des puits évite leur contamination par des cadavres d'animaux tombés au fond.

2-3-2 – Action indirecte

L'abreuvement régulier en quantité suffisante entraîne l'amélioration de l'état général qui permet à l'organisme animal de mieux résister aux diverses affections.

De plus, il peut, si la qualité de l'eau fournie s'y prête, empêcher certaines carences minérales qui ont une action favorisante sur l'apparition de nombreuses maladies du bétail.

2-4 – Plan commercial

Le rôle commercial de l'hydraulique pastorale, directement lié à des considérations économiques, s'exerce d'une part au niveau des routes commerciales traditionnelles et des marchés à bétail et d'autre part au niveau de l'état d'embonpoint et de la qualité des animaux.

Il permet de régulariser les transactions, de sauvegarder les intérêts des éleveurs en conservant la valeur économique de leurs produits.

Au niveau des routes commerciales, le cheminement le long des routes pauvres en eau, en des zones dépourvues de ressources fourragères, fait que le bétail arrive au terme de son voyage dans un état de fatigue extrême après avoir subi une perte importante de poids portant essentiellement sur la matière noble de l'animal, la viande, et à moindre degré sur la graisse.

Au niveau des marchés de production ou de transaction, où sont réunis les animaux proposés à la vente en vue de leur réexpédition vers une autre destination, il importe de les maintenir en bonne condition d'entretien en attendant leur évacuation.

Au niveau des marchés de consommation ou d'exploitation, assurant par exemple l'approvisionnement d'un abattoir, le temps joue contre l'éleveur au fur et à mesure que le troupeau s'amaigrit : les acheteurs deviennent plus exigeants, sachant qu'à brève échéance l'éleveur sera obligé de céder son bétail aux conditions qu'ils lui imposent.

Dans ces conditions, routes commerciales, marchés à bétail, quelle que soit leur importance, doivent être équipés d'un point d'eau permanent et suffisant, muni de moyens d'exhaure, de réservoirs et d'abreuvoirs. L'équipement hydraulique arrive en tête des motivations qui poussent les éleveurs à fréquenter tel ou tel marché de préférence à un autre.

APERCU HISTORIQUE SUR LES TECHNIQUES D'ABREUUREMENT

Conditions anciennes d'abreuvement et efforts entrepris par l'Administration. Aides extérieures.

Le bétail devant être régulièrement abreuvé, l'éleveur a toujours été préoccupé par le problème de la recherche de l'eau, pour ses bêtes et pour lui-même.

En dehors des cours d'eau permanents, qui sont extrêmement rares surtout en zone sahélienne, les possibilités d'abreuvement varient avec l'époque de l'année. En hivernage, les mares sont nombreuses, tout bas-fond argileux, toute cuvette gréseuse ou basaltique constitue un abreuvoir. A cette saison les besoins en eau sont également beaucoup moins grands car l'herbe verte, gorgée elle-même d'eau, est surabondante dans toute la zone.

La disparition dès le mois d'octobre du plus grand nombre de ces mares a obligé les éleveurs à creuser des puits ou des puisards.

Les puisards utilisent la nappe lorsqu'elle n'est pas trop profonde, située à quelques mètres seulement; les puits permettent de descendre beaucoup plus bas.

La technique de creusement des puits n'a pratiquement pas varié au cours des siècles. Ils sont forés par des équipes de puisatiers de deux ou trois hommes, et leur profondeur maximale est de l'ordre de 100 mètres, la profondeur moyenne de 25 ou de 50 mètres suivant les régions.

Quel que soit leur débit, les possibilités des moyens d'exhaure et l'impossibilité pour les puisatiers autochtones de descendre dans la nappe phréatique, constituent les facteurs limitants de la production des puits.

Les moyens traditionnels d'exhaure sont les " delous ", poches en peau de chèvre ou de moulin légèrement tannée, montées sur une armature de bois et accrochées à une corde faite de feuilles de palmier ou d'écorce de baobab. La contenance est de 20 à 25 litres.

Dans certains cas il existe un système de rappel fait d'une fourche en bois dur et d'une poulie, le delou est alors tiré du puits par un âne, un chameau ou un boeuf.

En raison de la difficulté à creuser ces ouvrages et de la médiocrité de leur rendement, en comparaison des besoins en eau considérables à satisfaire, une politique de l'eau est apparue indispensable dans les régions d'élevage.

Les premiers crédits, d'une certaine importance, affectés avant la guerre 1939-1945 à cette politique, ont conduit à des résultats discutables.

Aucun plan d'ensemble n'ayant été dressé, les études préalables de terrains étant rares et les moyens matériels utilisés assez sommaires, une forte proportion des nombreux puits creusés ne donnèrent pas satisfaction. Certains d'entre eux n'offraient pas un débit plus important que celui d'un puisard indigène.

Avant la guerre, un programme d'hydraulique pastorale fut présenté à la conférence de l'Élevage de Dakar en 1936.

Ce programme prévoyait que les travaux devaient d'abord intéresser les zones actuelles de pâturages et de transhumance, les routes caravanières et ensuite ouvrir à l'élevage de nouvelles zones de pâturages.

A partir de 1936, le Sénégal, seul, avait effectué un apport important dans le domaine de l'hydraulique. Les premières réalisations eurent lieu en 1937 et 1938 à l'initiative du Service de l'Elevage : une série de forages profonds fut entreprise sur la route de transhumance Kaolack-Matam.

Après la guerre qui marque une interruption générale des travaux, la nécessité d'une politique pastorale se faisant sentir de plus en plus, le plan F.I.D.E.S., en 1948, la retenait en ouvrant un chapitre spécial, celui de l'hydraulique pastorale. Le but en était ainsi défini : ouvrir de nouveaux pâturages à l'élevage dans des zones où, faute d'eau ils ne pouvaient pas être exploités, afin de favoriser la multiplication du cheptel.

Dès la mise en place du F.I.D.E.S. les études et les travaux furent confiés à des sociétés comme ce fut le cas pour le Tchad par exemple.

Jusque vers les années 1956, de nombreux puits furent exécutés en régie directe par des brigades de puits organisées par l'Administration.

Par la suite, les crédits F.A.C. et O.C.R.S. , ainsi que les crédits d'organismes internationaux (Fonds Européen de Développement, B.I.R.D.) consacrés à l'hydraulique devinrent très importants et le volume des ouvrages à réaliser considérable. Parallèlement on enregistra un progrès rapide dans les connaissances hydro-géologiques, au sujet desquelles il faut citer le rôle du B.R.G.M.

Notons enfin que la nécessité d'entretenir ces nombreux ouvrages a conduit le Gouvernement de certains Etats Africains à créer des organismes d'entretien alimentés par les fonds des budgets locaux.

Ainsi, en 1963, dans la République du Niger, a été créé l' O.F.E.D.E.S. (Office des Eaux du Sous-Sol) qui a pour objet " d'assurer l'exploitation, c'est à dire l'entretien et le fonctionnement des puits et forages situés en zone rurale ainsi que de leurs superstructures ". (Voir en troisième partie 2-2 page 158 : " l'organisation de services d'entretien ")

II – ETABLISSEMENT DES PROGRAMMES ET RENTABILITÉ DE L'HYDRAULIQUE PASTORALE

Il convient d'envisager les conditions dans lesquelles sont établis les programmes de mise en valeur d'une région au moyen d'aménagements hydro-pastoraux.

Deux cas sont à considérer pour l'établissement de ces programmes

- cas de l'élevage pastoral extensif, qui a pour objet l'exploitation de tous les pâturages naturels disponibles suivant des techniques traditionnelles. L'hydraulique s'inscrit dans le cadre d'une politique générale double; eau et alimentation.
- cas de l'exploitation intensive de type industriel (ranching), qui fait intervenir la rotation des pâturages et implique des aménagements, telle la division en parcelles clôturées ou délimitées par des pare-feux. Ce mode d'élevage, entièrement conditionné par la rapidité de l'augmentation de poids du bétail entretenu sur le ranch, impose la diminution des distances à parcourir et, par conséquent, la densification des points d'abreuvement, mais aussi leur fermeture périodique pour assurer la mise en défense des parcelles de réserve ou en restauration.

1 – INVENTAIRE DES RESSOURCES EN EAU ET EN PATURAGES

1-1 – Reconnaissance de la région

La reconnaissance de la région constitue la première opération de l'établissement des programmes. Elle devra être la plus détaillée possible et comprendre :

- une reconnaissance physique effectuée en utilisant les photographies aériennes couvrant la région, faites si possible à trois époques différentes pour faire ressortir les changements saisonniers : en janvier, mai et septembre. En général le 1/50.000 qui existe à peu près partout donnera satisfaction. Pour des études localisées (par exemple étude d'un ranch) on pourra préférer des échelles de l'ordre du 1/10.000 ou 1/20.000 selon les possibilités. Le résultat sera la connaissance de la physionomie actuelle complète de la région à aménager.
- une reconnaissance de l'occupation humaine, concernant les populations d'éleveurs et les autres populations qu'on peut éventuellement y rencontrer.
- une reconnaissance hydrologique de la région, précisant les possibilités de satisfaire les besoins en eau; pour cela la seule eau à prendre en compte est celle qui est amenée à la surface du sol en quantité suffisante pour couvrir la totalité des besoins en eau du bétail, calculés en période de pointe. En conséquence, le problème de l'exhaure devra être étudié en bonne place dans tout programme hydro-pastoral.
- une reconnaissance des ressources en pâturages. Cette opération consiste en l'étude de la couverture végétale en vue de déterminer la potentialité des pâturages naturels suivant des techniques d'inventaire normalisées. Cette étude fait intervenir des pédologues, des agrostologues, des nutritionnistes, elle utilise des techniques telles que la photo-interprétation, les reconnaissances sur le terrain, et conduit à l'établissement de cartes agrostologiques généralement au 1/100.000^{ème} donnant la situation, l'étendue des pâturages, ainsi que les possibilités de charge à l'hectare.

1-2 – Recensement des ressources d'hydraulique souterraine et superficielle

La présence dans le sol des nappes souterraines est intimement liée à la nature des formations lithologiques du sous-sol. Toutes les formations de couverture marines ou continentales sont susceptibles d'emmagasiner des nappes d'eau à l'exception des faciès argileux et marneux encore que les argiles et les marnes alternent très

souvent avec des formations sableuses ou gréseuses aquifères. Seules les formations anciennes constituées par des schistes des quartzites, des roches vertes, des grès et les roches éruptives et intrusives (basaltes, trachytes, dolérites, granites, syénites, rhyolithes, gneiss) ne contiennent pas d'eau si ce n'est des petites quantités dans les zones d'affleurements altérées en surface.

Dans ces conditions, les cartes géologiques des territoires établies par les services géologiques locaux ou par le B.R.G.M. fourniront, par une simple lecture des formations de couverture, l'étendue des horizons susceptibles d'emmagasiner de l'eau et le contour des socles hydrogéologiques. De telles cartes, tant de synthèse que de détail, sont maintenant nombreuses dans plusieurs pays. (Voir la liste en annexe n° 9 page 310)

Les travaux des géologues seront nécessairement complétés par des études hydrologiques qui pourront être soit générales s'il s'agit d'études de nappes de grande extension géographique, soit locales et détaillées s'il s'agit d'études d'implantation de forages d'exploitation.

Les très nombreux ouvrages de puits et forages, le recensement systématique des points d'eau apportent tous les jours de nouvelles précisions à la connaissance des nappes souterraines.

L'établissement des programmes d'hydraulique souterraine implique au préalable des relevés systématiques des points d'eau de la région à équiper. Ces relevés préciseront la nature des nouveaux ouvrages, permettront de les définir, de les chiffrer, de les implanter judicieusement en fonction des besoins en eau et de la capacité des installations existantes.

L'inventaire des ressources hydrauliques fournira immédiatement une somme importante d'informations. Il conviendra de les faire compléter si possible par un hydrogéologue s'il s'agit de l'exécution d'un programme important de travaux.

Les ressources superficielles en milieu pastoral sont essentiellement constituées par les mares d'hivernage d'importance et de viabilité très inégales. Leur remplissage est asservi à la pluviométrie locale. Leur époque d'assèchement sera soigneusement reportée sur les fiches d'inventaire des ressources hydrauliques .

L'abreuvement des troupeaux aux mares n'implique aucun effort d'exhaure de la part des propriétaires de troupeaux, ce qui explique la surexploitation de celles-ci.

Il faut, d'autre part, faire en sorte que l'ouverture d'un puits ne conduise pas à l'abandon de puisards temporaires , car ceci correspondrait à la diminution de la surface des pâturages exploités.

Il peut donc parfois être utile d'aménager des puisards en même temps que l'on crée de nouveaux ouvrages.

1-3 – Organisation et rôle d'un bureau d'inventaire des ressources hydrauliques

1-3-1 – Matériel

Une action rationnelle d'hydraulique pastorale ne peut être entreprise sans disposer d'un fichier de la totalité des points d'eau. Ce fichier doit couvrir la totalité d'un Etat et comporter des informations sur toutes les ressources en eau : puits, puisards, forages, mares , sources, barrages. L'inventaire des points d'eau doit être établi d'une façon systématique, mis à jour et complété à la fois à l'échelon de la direction de l'hydraulique et au niveau des sections et subdivisions. Il est souhaitable d'affecter au niveau de la direction un agent à la tenue des fiches. Les fiches doivent être standardisées, cartonnées et imprimées suivant les modèles joints, proposés par le C.I.E.H.* ou des modèles

*C.I.E.H. : Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques.

approchés. Généralement les Etats disposent de ces fiches en format 21 x 27. Les Etats qui n'en disposeraient pas pourraient adopter le format européen 21 x 29,7. Les fiches imprimées sont adressées à tous les chefs de division ou subdivision hydraulique. La numérotation des fiches peut s'effectuer à l'intérieur des cartes géographiques au 1/200.000 ou 1/100.000 ou à la rigueur 1/500.000. Cette solution est préférable à une numérotation par circonscription administrative.

Les fiches se rapportant aux ouvrages en cours d'exécution sont complétées systématiquement au fur et à mesure des travaux.

Les ingénieurs, les chefs de division, les chefs puisatiers en tournée, ont avec eux les fiches des points d'eau de la région concernée et les complètent sur le terrain en particulier en saison sèche.

Les mois d'assèchement des mares et des puisards sont très variables d'une année à l'autre et doivent être soigneusement notés ; de même, il faut mentionner le débit extrait ou le nombre d'animaux à l'abreuvement.

Les puits creusés par les autochtones et restés secs font l'objet d'une fiche comportant des indications sur la profondeur et la nature des matériaux extraits.

Parallèlement aux fiches, les informations recueillies permettent la mise à jour des cartes hydrogéologiques au 1/200.000 qui doivent systématiquement comporter l'indication des profondeurs d'ouvrages et de débit. Les fiches mises à jour sont adressées à la direction de l'hydraulique; dans certains cas, celle-ci a intérêt à confier à un hydrogéologue l'inventaire systématique des points d'eau d'une région encore mal reconnue ou des campagnes de mesures périodiques des niveaux d'eau des nappes.

1-3-2 – Bâtiments

Un local en dur très spacieux est réservé au dépôt des caisses de carottes provenant des forages d'eau. Ces échantillons font partie intégrante du bureau d'inventaire des ressources hydrauliques ainsi que les rapports de sondages et les analyses d'eau.

L'inventaire des ressources en eau doit contenir suffisamment d'informations pour définir les caractéristiques des grands ensembles aquifères, la position géographique et les caractéristiques à donner aux nouveaux ouvrages.

Il fournit en outre l'état des ouvrages et permet d'établir des programmes d'entretien. Il constitue un document de base, un moyen irremplaçable et essentiel pour l'établissement de programmes rationnels de travaux.

Les coûts des ouvrages neufs d'hydraulique pastorale sont beaucoup trop élevés pour que l'on puisse prendre le risque d'erreurs d'implantation ou de nature d'ouvrage, erreurs qui naîtraient d'une insuffisance des connaissances des équipements existants ou des ressources réelles offertes par les nappes.

L'inventaire des points d'eau est l'œuvre intégrée de tous ceux qui s'intéressent ou se sont intéressés aux problèmes de l'eau et ont noté leurs observations pour les insérer sur les fichiers. La tenue d'un inventaire est de plus une tâche captivante et peu coûteuse; il suffit de l'organiser et surtout de ne jamais l'abandonner. Un inventaire fait partie du patrimoine intellectuel d'un pays et il ne saurait être question de le négliger.

1-4 – Etude des ressources en pâturages et des contraintes épidémiologique et agrostologique

L'étude des ressources en pâturages, quantitativement et qualitativement conduite ainsi qu'il a été précédemment exposé, devra de plus tenir compte des contraintes suivantes :

INVENTAIRE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES	N° Provisoire	N° I.R.H.	NOM _____
---	---------------	-----------	-----------

Inutilisé Inutilisable _____
 Eau douce.saumâtre.salée.clair.trouble.polluée par _____
 Débit approximatif : _____
 Indiqué par _____
 Sec de _____ à _____
 Irrigation _____ hectares
 Industrie _____
 Alimentation _____
 Nom des villages habitants animaux _____

 Autres points d'eau dans l'escale _____

 Besoins _____

Sans cuvelage bois.maçonnerie.Friry _____

 piliers .fourches en _____

 poulies en _____

 Puisage par : seau.noria.dalou _____

 Pompe à piston Rotative _____
 Moteur : _____ c.v.

 abreuvoirs _____

 bassins _____ m3 _____
 Couverture.dallage anti-bourbier _____
 Exécuté par _____ en _____
 Nombre de buses _____
 Etat du puits _____
 Etat de la margelle _____
 Réparations _____

Puits.Source.Forage.Mare.Rivière _____

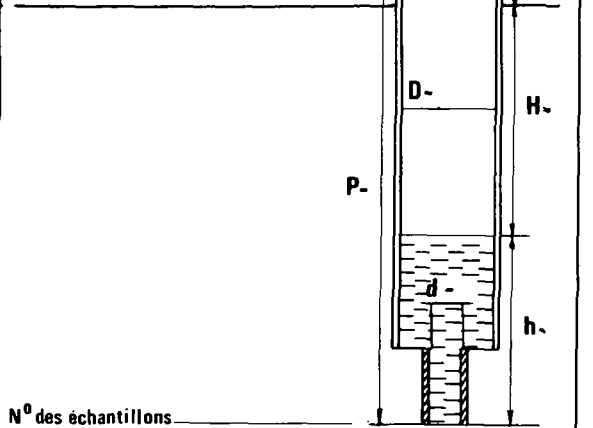
 Longitude _____
 Latitude _____
 Altitude du sol _____
 Altitude de l'orifice _____
 Etat _____
 Cercle _____
 Subdivision _____
 Photo N° _____
 Carte au 1/ _____
 Numéro _____
 de _____
 Edition de _____

Croquis de l'orifice

Température air	Température eau	ρ en ohm. m	Degré hydro-timétrique	pH	Cl		

Coupe géologique par _____

Nom et qualité de l'observateur _____
 Date et heure de la visite : _____
 Observations complémentaires, repère et méthode de nivellement, paturages environnants, accès, etc _____



N° des échantillons _____

Croquis
 Echelle 1/ _____

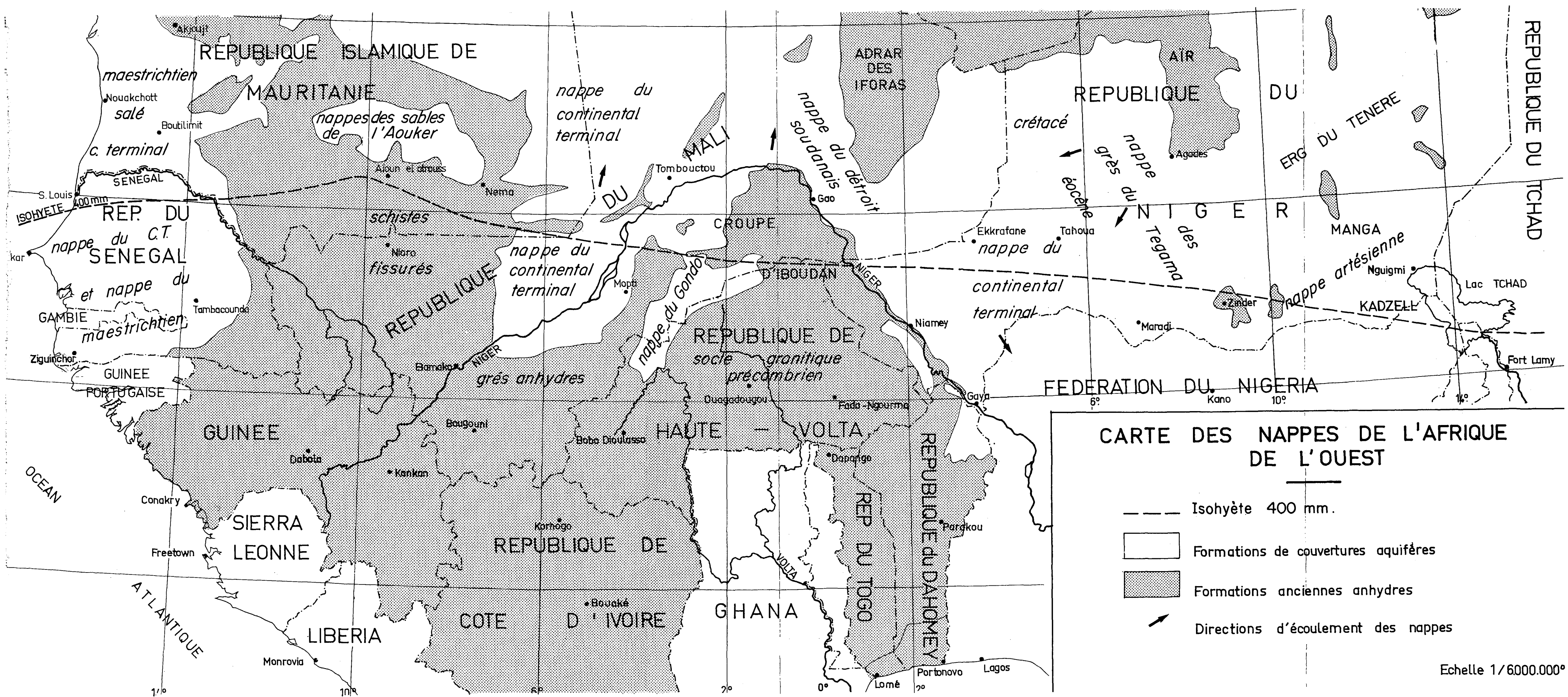
Extrait de carte
 Echelle 1/ _____

INVENTAIRE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES	N° Provisoire _____	N° I.R.H. _____	NOM _____
---	---------------------	-----------------	-----------

Exécuté par _____	Etat _____	Longitude _____
Sondeur _____	Cercle _____	Latitude _____
Sondeuse _____	Carte au 1/ _____	Altitude _____
Pour _____	Numéro _____	Repère d'altitude _____

Densité _____ Boue Viscosité _____ Filtrat _____ cm Résistivité en ohm.m _____ Salinité en g/l Na Cl _____ % de sable _____	AVANCEMENT en minutes/mètres Dates, Outils Pressions, Pertes, etc	Calci } Dolomi } Métrie % Cuttings	Profondeur	Coupe au 1/500 ^e	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE et étage géologique par _____	Tubages, essais, cimentations, observations
--	---	--	------------	--------------------------------	---	---

--	--	--	--	--	--	--



CARTE DES NAPPES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

- Isohyète 400 mm.
- Formations de couvertures aquifères
- Formations anciennes anhydres
- ↗ Directions d'écoulement des nappes

Echelle 1/6000.000°

Sur le plan épidémiologique, il convient de considérer qu'il existe des affections dont l'apparition et l'extension sont liées à l'évolution des techniques d'élevage à la suite de la réalisation de grands travaux d'hydraulique pastorale', telle la " maladie des forages " sévissant en particulier dans la République du Sénégal. Cette affection, en fait, n'est observée que sur des forages fonctionnant toute l'année où les animaux ont été sédentarisés.

Cette affection frappe essentiellement les zébus, les ânes, les chameaux, et avec moins d'intensité, les petits ruminants.

Elle reconnaît deux causes qui découlent l'une de l'autre : un ensemble des carences nutritionnelles qui se compliquent d'une affection toxinique.

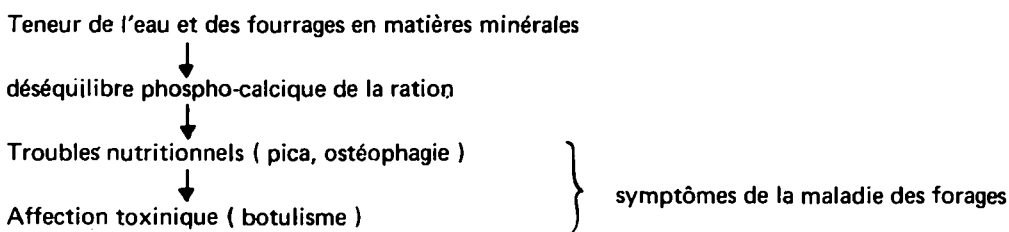
Les carences nutritionnelles entraînent à la fois une hypophosphorose et un déséquilibre du rapport phospho-calcique; une de leurs conséquences, le pica, manifestation d'un appétit dépravé poussant les animaux à manger des substances non alimentaires (ostéophagie, chez les bovins), permet au botulisme de s'installer.

La maladie des forages se manifeste dans des régions à sols pauvres en éléments nutritifs et en sels minéraux, surtout en phosphore. De plus, les eaux de certains forages sont particulièrement riches en calcium, ce qui tend à aggraver encore le déséquilibre phospho-calcique des animaux qui les consomment.

Les forages profonds interviennent pour leur part indirectement dans l'étiologie de l'affection, lorsqu'ils sont ouverts en permanence.

En effet, ils offrent en toute saison l'eau indispensable aux troupeaux; les pasteurs sont donc amenés à transporter à proximité leurs campements dès le début de la saison sèche. Cette sédentarisation de l'élevage nomade a une répercussion certaine sur l'équilibre du milieu naturel qui se traduit par la disparition progressive des herbages dans un rayon de plusieurs kilomètres et l'appauvrissement de la qualité des herbes fourragères dont la physiologie est perturbée par la surcharge. De plus, la sécheresse provoque une raréfaction de la teneur des plantes en phosphore, facteur qui intervient de façon primordiale dans le déséquilibre phospho-calcique déjà cité.

L'évolution de la maladie des forages peut donc se schématiser :



Dans le même ordre d'idées, il convient de rappeler d'autres maladies par carences observées chez le bétail, provoquées par des déficiences du sol en certains éléments et par un déséquilibre physiologique des plantes constituant les pâturages de ces régions.

La carence en calcium entraîne le rachitisme chez les jeunes, la carence en cobalt a pour conséquences : l'anémie, le retard dans la croissance, une faible fécondité sur des moutons (région de Nioro au Mali), la carence en manganèse entraîne le retard dans la croissance chez les jeunes et l'apparition de troubles osseux.

Du point de vue agrostologique il existe des contraintes imposées par la dégradation de la qualité des pâturages due à leur surexploitation et par leur destruction sous l'action des feux de brousse.

1-4-1 — Dégradation de la qualité des pâturages

Dans un pâturage annuel de type sahélien, exploité sur le mode traditionnel, les graines produites par les graminées arrivent à maturité et tombent sur le sol dès la fin de la saison des pluies. Elles sont enfouies par le piétinement du bétail et, ainsi protégées, elles germent dès le début de la saison des pluies suivante. Le problème de la conservation des pâturages dépend donc directement de la grenaison, c'est-à-dire de la quantité et de la qualité des graines produites, qui nécessite un déroulement normal du cycle végétatif des plantes.

Dans le cas où le déroulement de ce cycle est perturbé par le surpâturage qui entraîne la destruction de l'appareil végétatif, la plante réagit pour assurer sa survivance, par une accélération du rythme de développement qui nuit à la qualité de la grenaison. La répétition de ce phénomène plusieurs années consécutives entraîne la disparition de l'espèce.

En conséquence, l'exploitation rationnelle des pâturages sous la dépendance de forages amènera éventuellement à proscrire le surpâturage en hivernage pour permettre le déroulement normal du cycle évolutif des herbes. Ceci conduit à fermer chaque année les forages pendant cette saison et par conséquent impose la contrainte de prévoir des zones de pâturages d'hivernage. En fait, cette technique est déjà pratiquée dans plusieurs régions.

Lorsque le surpâturage d'hivernage a provoqué une diminution importante de la valeur des terrains de parcours, il sera nécessaire de fermer les forages de la zone dégradée pendant 18 mois consécutifs comprenant deux saisons des pluies.

1-4-2 — Destruction par les feux de brousse

Les pâturages desservis par des points d'eau réalisés dans le cadre de l'hydraulique pastorale doivent être protégés contre les destructions massives occasionnées par les feux de brousse sous peine de rendre inutiles des investissements souvent considérables.

Les feux ont un effet destructeur relativement léger pour les pâturages annuels du Sahel dont les graines tombées à terre résistent à la courte durée et à la faible intensité du feu, conséquence du peu de développement de l'appareil végétatif, alors qu'ils ont un gros effet destructeur pour les pâturages vivaces de la zone soudanaise à végétation importante.

Le principe de la lutte comprend deux éléments. Le premier, passif consiste en la création de pare-feux suffisamment nombreux et larges, exécutés en temps voulu, le deuxième, actif, consistant en l'organisation de la surveillance des feux et de l'intervention sur les foyers sans lequel le premier élément est vain.

Sans entrer dans la description détaillée de la technique des pare-feux, il convient d'insister sur plusieurs points :

- Confectionner des pare-feux suffisamment larges (largeur minimale 10 m. largeur optimale 30 m.). Les pare-feux juste assez larges pour laisser passer un véhicule sont rigoureusement inutiles.
- Assurer la remise en état autant de fois que nécessaire.
- Inciter les éleveurs à participer, dans la mesure de leurs moyens, à l'entretien en leur fournissant le petit matériel nécessaire (pelles, pioches ...)

La surveillance, la détection et l'intervention au niveau des foyers nécessitera des installations aux stations (pylone de surveillance) et la mise en place d'équipes d'intervention comprenant des véhicules citernes pour le transport de l'eau et pour le transport du personnel de lutte.

2 – INVENTAIRE DU BETAIL

L'inventaire du bétail, opération indispensable à l'établissement des programmes, portera non seulement sur le dénombrement proprement dit des têtes de bétail, mais aussi sur les possibilités d'extension de l'élevage, sur l'étude des conditions optimales d'équilibre eau-pâturage-bétail et sur la détermination des besoins actuels et futurs en fonction de l'évolution en eau et en pâturages.

Le recensement du cheptel, difficile en élevage nomade, peut être abordé avec plus de facilité dans certaines circonstances.

– A l'occasion d'interventions telles que : vaccinations, déparasitages, castrations.

Les campagnes d'immunisation contre les épizooties, telle la peste bovine, peuvent apporter des renseignements précieux.

– Les rassemblements autour des points d'eau qui existent déjà. On peut avoir une première estimation approchée en examinant la surface dénudée et piétinée par les troupeaux autour de ces points, qui s'étend d'autant plus que la fréquentation est importante. La largeur des pistes qui conduisent aux points, leur direction, permettent de localiser les zones les plus paturées.

Pour effectuer les comptages, on tiendra compte du fait que la majorité du bétail ne boit qu'un jour sur deux. En conséquence, pour recueillir des renseignements valables, il convient de faire les comptages sur deux journées consécutives, du lever au coucher du soleil. De plus, pour tenir compte des variations importantes saisonnières les sondages doivent être effectués plusieurs fois par an :

- en décembre ou janvier pour la saison froide,
- en février ou mars, pour la saison intermédiaire,
- en avril ou mai, pour la saison chaude.

Les possibilités d'extension du cheptel dépendent non seulement de l'accroissement du disponible en eau et des pâturages nouveaux que les aménagements hydro-pastoraux permettent d'ouvrir à l'élevage, mais encore de la densité du peuplement de pasteurs qui exploitent la région.

La connaissance de la taille moyenne des troupeaux constitue un facteur important dans l'évaluation du mode d'exploitation pastorale d'une région donnée.

Ainsi, au Sénégal, il a été démontré que 60 p.100 des troupeaux bovins comprennent moins de 45 têtes et que les troupeaux de plus de 75 têtes ne représentent que 15 p.100 des cas. Ceux de plus de 100 têtes sont une exception.

On estime donc que le troupeau moyen théorique comprend de 40 à 60 têtes, ce qui permet en conséquence d'évaluer le nombre des chefs de familles d'éleveurs qui peuvent théoriquement utiliser dans des conditions optimales, un pâturage de capacité connue.

Le nombre d'animaux que peut exploiter économiquement un éleveur comporte bien entendu une limite supérieure qu'il est utile de déterminer avec le plus d'exactitude possible dans des conditions d'élevage données.

L'extension de l'élevage d'une région peu ou mal exploitée, en supposant résolus les problèmes d'abreuvement et de pâturage, passe donc par un accroissement normal de la population d'éleveurs, dont il conviendra alors de faire une étude socio-démographique, ou par l'installation de nouvelles populations jusqu'alors étrangères à la région.

Les conditions optimales d'équilibre entre l'eau, le pâturage et le bétail seront remplies lorsque, dans une région déterminée, la population d'éleveurs pourra assurer la main d'oeuvre nécessaire pour exploiter l'effectif de bétail correspondant à la fois à des pâturages capables, sans subir de dégradation, d'entretenir ce cheptel en bon état et à un nombre de points d'eau suffisant pour fournir l'abreuvement nécessaire en fonction du climat, du sol et des activités poursuivies.

On évitera dans ces conditions de voir des régions où l'eau sans pâturage remplace le pâturage sans eau (et sans bétail pendant plusieurs mois par an).

L'intérêt pratique du recensement du cheptel, établi dans ces conditions, est de permettre d'estimer, avec le plus petit pourcentage d'erreur possible, le volume des besoins actuels et futurs en eau et en pâturage d'une zone en vue de son aménagement hydro-pastoral.

3 – ELABORATION D'UN PROGRAMME D'HYDRAULIQUE PASTORALE

3-1 – Hydraulique en élevage traditionnel

3-1-1 – Interprétation des renseignements fournis par la reconnaissance et les inventaires

L'étude simultanée des renseignements recueillis à l'issue, d'une part de l'inventaire des ressources en eau et en pâturages, et d'autre part de l'inventaire du bétail et de l'analyse socio-économique du milieu, permettra de déterminer 4 facteurs fondamentaux qui sont :

- la charge théorique en bovins et en petits ruminants des pâturages recensés, éventuellement en chameaux et chevaux, ceci par saison.
- les possibilités matérielles d'exhaure en saison sèche, lesquelles conditionnent l'importance du troupeau que les pasteurs peuvent garder.
- le nombre optimal d'éleveurs nécessaires à l'entretien de ce cheptel en tenant compte de leurs problèmes sociaux, culturels et économiques.
- la possibilité ou l'impossibilité de fournir, par des travaux hydro-pastoraux, l'eau nécessaire à l'abreuvement de ce bétail ainsi que le mode d'exhaure le plus économique selon l'objectif poursuivi.

3-1-2 – La détermination des lieux d'implantation et des débits des points d'eau dépend de la prise en considération de plusieurs données zootechniques (RECEVEUR)

Le mode d'abreuvement traditionnel du bétail zébu des régions sahéliennes repose sur le principe fondamental que, quelles que soient la sécheresse et la température extérieure, les animaux ne boivent qu'un jour sur deux en saison sèche, soit par rareté de l'eau, soit en raison des déplacements nécessités par la recherche du pâturage.

Les zébus possèdent en effet une adaptation physiologique qui leur permet de résister à un régime auquel des taurins ne sauraient survivre longtemps.

On a par ailleurs déterminé qu'au fur et à mesure du déroulement de la saison sèche les nomades tributaires d'un point d'eau utilisent les pâturages d'alentour dans un rayon optimal de 12 kilomètres, le maximum

étant de 15 kilomètres. Un éloignement de 20 kilomètres des points d'eau, ou bien ne permet pas d'utiliser suffisamment les pâturages ou bien impose des déplacements excessifs qui nuisent grandement aux conditions d'entretien.

Ainsi, un réseau de points d'eau espacés les uns des autres de 24 kilomètres, laisse environ 20 p. 100 de la surface des pâturages sans exploitation, si on s'en tient à la distance optimale d'utilisation de 12 kilomètres, et laisse une surface inexploitée très faible, si on recule à 15 kilomètres l'extrême limite des déplacements. Dans ce dernier cas, la quasi totalité des pâturages desservis par le point d'eau se trouve utilisée, ce qui lui assure le maximum de rentabilité pendant la saison la plus difficile.

A titre d'exemple, si nous fixons théoriquement les normes suivantes :

- charge moyenne des pâturages : 10 ha par tête de bétail bovin en saison sèche
- taille moyenne des troupeaux : 50 têtes

on peut admettre :

- que l'exploitation dans un rayon optimal de 12 kilomètres, soit 45.000 ha de pâturages permet l'entretien de 4500 têtes par une population de 90 pasteurs aidés de leur famille ;

- que l'exploitation dans le rayon maximal de 15 kilomètres, soit 70.000 ha permet l'entretien de 7000 têtes conduites par 140 pasteurs et leur famille.

Les normes suivantes seront retenues pour le calcul du débit journalier des points d'eau, d'après l'importance et la nature des effectifs de bétail qui les fréquentent (pondération par l'usage de l'UBT (1) par exemple.)

- Bovins : abreuvement de 60 litres tous les deux jours, soit 30 litres par jour,
- Petits ruminants : 4 litres par jour.

A ces chiffres il convient d'ajouter les besoins des éleveurs (boisson et usages domestiques) estimés globalement à 10 p.100 de la consommation totale du bétail.

Dans ces conditions, le débit de la station de pompage doit être de 150 m³/jour environ dans le premier cas et de 230 m³/jour environ dans le second correspondant à des débits de 5 et 7 l/s pour 8 h. de marche.

Dans la pratique, en fonction des variations saisonnières des besoins en eau, on modifie la durée de fonctionnement du groupe de pompage.

3-1-3 — Détermination de la nature des ouvrages (aspects techniques)

a) Généralités

La nature des ouvrages d'hydraulique pastorale est conditionnée par deux facteurs .

- la profondeur et les caractéristiques piézométriques et de débit de la nappe aquifère.

(1) U.B.T. (Unité Bétail Tropical)

Pour les calculs de charge des pâturages à l'hectare en Afrique Tropicale l'animal de référence est un bovin de 250 kg vif dont le poids s'accroît de 250 g. par jour : 1 UBT

Tableau de correspondance : Petits ruminants 0,1 UBT
Chevaux 1 UBT

- le débit à fournir aux utilisateurs, débit qui sera également asservi à la qualité, l'abondance et la potentialité de reconstitution annuelle des pâturages par les pluies.

Les caractéristiques piézométriques (profondeur de l'eau) influent sur le débit du puits si ce dernier est exploité par les moyens traditionnels des pasteurs.

En fait, le milieu physique détermine la nature de l'ouvrage qui sera nécessairement un forage si la nappe captée se situe au delà de 80 ou 100 mètres de la surface du sol.

b) Exploitation des nappes libres

Au delà de 80 mètres, en nappe libre, les puits coûtent cher en investissements, le puisage est pénible et les débits extraits réduits en raison du temps nécessaire à l'exhaure d'un delou . Aussi les puits supérieurs à 80 m ne sont guère utilisés et il n'est pas conseillé de les construire.

En revanche, jusqu'à une profondeur de 70 mètres il est conseillé de creuser des puits en béton de diamètre \emptyset 1,80 m. utile.

Les puits exploitant des nappes en charge pourraient atteindre des profondeurs supérieures mais à moins que la nappe soit contenue dans des formations dures (calcaires) , la nappe en charge, détruit fréquemment à la base le cuvelage en béton non encore consolidé. Il est toujours dangereux pour le personnel puisatier de percer le toit d'une telle nappe. Les cartes hydro-géologiques devront fournir le contour de la nappe phréatique libre pour éviter tout incident.

S'il s'agit de construire des puisards de 10 ou 20 m dans une zone susceptible d'être inondée des puits de \emptyset intérieur 1,40 m seront entièrement constitués par une colonne de buses.

c) Exploitation des nappes en charge (ROURE)

Généralement profondes (au delà de 80-100 m) celles-ci seront exploitées par forages, seule solution pour les atteindre. En revanche, le mode d'exploitation des forages sera déterminé par la cote de l'eau à l'intérieur du tubage et son niveau de rabattement sous un débit de 5,10 ou 20 m³/heure.

1^{er} cas : Le niveau de rabattement de la nappe dans le tube d'exhaure est supérieur à 55 m du sol sous un débit de 5 m³/h. Le forage est exploitable par pompage, d'où diamètre de la chambre de pompage en 10" (dix pouces)

2^{ème} cas : Le niveau de rabattement est inférieur à 55 m pour un débit de 5 m³/h. Le forage est exploitable par un puits sur forage de 1,80 m de diamètre utile.

3^{ème} cas : Le niveau de rabattement est inférieur à 55 m sous un débit de 10 à 20 m³/h. Le forage est exploitable par un puits sur un forage de 2,50 m de diamètre utile.

Ces dispositions sont développées dans la deuxième partie de la présente étude 5-2 page 126

Les exploitations par pompage entraînent des sujétions considérables et la mise au point de programmes; il faut un minimum de 20 à 30 installations complètes de pompage pour rentabiliser les moyens d'entretien de réparation et de fonctionnement. Les coûts annuels d'exploitation des forages de 20 m³/h sont de l'ordre de 2 millions par ouvrage, charges d'amortissement non incluses.

La solution exploitation du forage par puits latéral devra être appliquée chaque fois que les conditions énumérées ci-dessus seront réunies dans le but évident de réduire les charges récurrentes.

3-1-4 — Etablissement d'un programme d'hydraulique pastorale

Un programme d'hydraulique pastorale ne peut être établi valablement sans disposer :

1^o) D'un atlas hydrogéologique portant l'emplacement en nature et les caractéristiques de débit et de profondeur de la totalité des ouvrages d'hydraulique en service :

- emplacement, nature et diamètre des puits
- emplacement et débit des forages
- emplacement et viabilité des mares

2^o) D'un atlas des pâturages mentionnant :

- leur densité, leur valeur pour établir les charges optimales en troupeaux qu'ils peuvent supporter
- les principales zones et directions de transhumance ainsi que les routes d'évacuation du bétail.

3^o) D'une analyse socio-économique du potentiel humain et animal appelé à fréquenter la zone.

Le programme retenu après synthèse des données comportera :

- Des ouvrages neufs pour utiliser des zones de pâturages riches manifestement inexploitées faute de points d'eau.
- Des ouvrages de remplacement de points d'eau existants mais insuffisants ou détériorés.

Certains ouvrages tels que puits traditionnels de diamètre insuffisant ne correspondent pas aux possibilités offertes par les pâturages et par les nappes.

Il ne saurait y avoir des règles fixes quant à l'emplacement et à la nature des ouvrages mais l'expérience permet de dégager certaines directives pour l'établissement d'un programme d'exploitation rationnel des pâturages :

1^o) Les troupeaux se déplaçant dans un rayon de 12 à 15 km, en s'abreuvant tous les deux jours, les ouvrages devraient être placés à 25 km les uns des autres.

2^o) Les forages ou puits neufs seront éloignés au minimum de 20 km des mares permanentes ou s'asséchant après le mois de février.

3^o) Les ouvrages seront toujours placés dans des vallées pour se rapprocher de la nappe ou des niveaux statiques, pour réduire ainsi les coûts d'investissement et d'exploitation et éventuellement permettre l'exploitation d'un forage par un puits latéral.

4^o) Compte tenu de l'irrégularité de la pluviosité sur une même zone d'une année à l'autre, un quadrillage de points d'eau sera établi ou complété en fonction des ouvrages existants.

5^o) Il serait souhaitable de prévoir pour une même région une association judicieuse des 3 modes d'exhaure :

- forages exploités par pompage (nappes profondes à grand débit persistant)
- forages exploités par puits latéral (niveau d'eau à moins de 55m du sol)
- puits d'une profondeur maximale de 80 m sur les nappes libres.

6°) D'autres facteurs interviendront notamment pour le choix de l'emplacement .

- les forages exécutés au titre de constructions de route et qui pourront être exploités en saison sèche par les troupeaux notamment de commerce.
- la possibilité de traiter des ouvrages routiers en barrages-déversoirs pour créer des points d'eau de surface (sous réserve des conditions sanitaires)
- la nécessité de satisfaire des ethnies différentes exploitant les mêmes points d'eau.

En ce qui concerne l'exploitation, la reconstitution impérative des pâturages implique de n'ouvrir les forages qu'en saison sèche, disposition qui présente en outre deux avantages :

- a) réduction des frais d'exploitation
- b) impossibilité de sédentarisation autour du forage

En règle générale il convient toujours de tenir prêt un programme d'ouvrages qui prennent le relais des ressources en eau de surface offertes aux pasteurs

3-2 – Hydraulique pour ranching

Les points à étudier en vue de l'établissement d'un programme de réalisations d'hydraulique pour ranching sont techniquement comparables à ceux qui ont été évoqués ci-dessus pour l'élevage traditionnel.

Cependant, l'élevage en ranching se distingue du précédent par les particularités suivantes toutes dominées par des critères économiques et financiers.

Dans ce mode d'élevage le but est d'obtenir le maximum de poids vif du bétail dans le minimum de temps sur un espace bien délimité, le plus souvent clôturé. La rentabilité de l'établissement impose un accroissement de poids minimum journalier de 200 g. à 250 g. par tête selon les prix d'achat et de vente et les conditions de gestion.

Pour obtenir ce résultat, il faut mettre le bétail dans les conditions d'entretien les plus favorables :

- contrôle sanitaire permanent
- abreuvement à volonté chaque jour,
- alimentation suffisante
- limitation des déplacements journaliers.

Le nombre d'animaux entretenus en permanence fixera la densité des ouvrages d'hydraulique ainsi que leur débit.

La densité du réseau d'ouvrages d'hydraulique dans un établissement d'élevage en ranching est conditionnée par la nécessité d'éviter au bétail la fatigue occasionnée par les déplacements effectués pour se rendre des pâturages à l'abreuvoir et inversement.

“ La distance optimale entre le point le plus éloigné du pâturage et l'abreuvoir ne doit pas excéder 3,5 km., soit 7 km. entre deux points d'eau pour du bétail amélioré de haute productivité ” (RECEVEUR- 1966)

La surface des pâturages exploitables est dans ce cas de 3.850 ha. sur lesquels on peut entretenir, dans les meilleures conditions, 950 à 1300 bovins, ce qui représente une charge d'une tête pour 3 à 4 ha. selon la saison, l'âge des animaux et la qualité du couvert herbacé.

sieurs contraintes :

Cette nécessité d'obtenir des pâturages le maximum de rendement économique impose plu-

- Organiser la rotation des pâturages et conserver 20% du domaine en défens.
- Détruire les broussailles qui réduisent la surface utile et hébergent des insectes vecteurs de maladies du bétail.
- Confectionner et entretenir des pare-feux.

Le débit journalier des ouvrages sera calculé en tenant compte de ce que le bétail élevé suivant ce mode doit recevoir au moins 50 litres d'eau chaque jour, même au plus fort de la saison sèche, la règle étant " ad libitum ".

Le lecteur désireux d'approfondir les problèmes de l'élevage en ranching pourra se reporter à la brochure de la même collection intitulée " Le ranching : technique et économie " ainsi que dans la note " Le ranching pôle de développement du monde sahélien " citée en bibliographie.

Par contre, il semble intéressant de citer ici deux expériences récemment tentées en Afrique de l' Ouest.

Deux ranchs ont en effet été créés pour une exploitation rationnelle des pâturages, une amélioration de la qualité du bétail et assurer une production régulière en animaux de boucherie.

Ces installations fonctionnent , mais il s'agit encore de tests dont il est difficile de tirer des enseignements définitifs sur leur rentabilité, compte tenu des subventions dont elles ont bénéficié. Il s'agit du ranch d' EKRAFANE au Niger et de N'DOLI au Sénégal.

1 °) Le ranch d' EKRAFANE (1)

Situé au Niger, à la pointe Nord du triangle Sanam-Abala-Frontière malienne, il s'étend sur 110.000 ha . en bordure de cette frontière.

Le ranch dispose de 5 forages dont un à EKRAFANE exploitant la nappe profonde du continental terminal et qui sont désignés par les géologues sous le vocable " forages du complexe pastoral du Tamesna ". Les débits obtenus sont de l'ordre d'une vingtaine de m³/heure et plus (DIGDIGA)

Les forages se situent à 15 km. les uns des autres. Les installations comportent une cabine de pompage équipée d'un seul moteur, un réservoir de 80 m³ et quatre abreuvoirs de 12 mètres. Elles sont donc beaucoup plus légères et moins onéreuses que les installations de forages pastoraux du Nord TAHOUA. Les charges récurrentes annuelles seraient de l'ordre de un million par forage. Une rotation des troupeaux de bovins, environ 1.300 têtes est prévue autour des forages: De l'hivernage au mois de février les troupeaux s'abreuvent à un même forage, puis sont transférés sur les autres forages au fur et à mesure de l'épuisement des pâturages cirvoisins aux captages.

Un tel système ne peut fonctionner sans une association avec les éleveurs qui vivent sur la périphérie pour la fourniture au ranch d'animaux jeunes. C'est la raison pour laquelle la zone à l'Est et au Sud est aussi équipée par trois installations modernes de pompage dont DIGDIGA et TCHEN BERKAWEN

Destinés à l'exportation, les bovins viennent à pied à l'abattoir de NIAMEY distant de 300 km. environ et perdent entre 2 et 6% de leur poids sur le parcours selon la saison. Il est prévu 9 à 10.000 bovins dont 6 à 7.000 tués annuellement, chacun pouvant fournir 200 kg: de viande. On compte sur un bénéfice net de 20 F. par kilo. Le ranch dispose de l'autonomie financière, mais l'expérience est encore trop récente pour établir un bilan et en tirer des conclusions.

La mise en charge du ranch est d'ailleurs plus lente que prévue.

(1) voir en bibliographie le rapport sur la gestion du ranch.

2°) Le ranch de N'DOLI

Ce ranch occupe au Sénégal une surface de 80.000 hectares.

L'installation hydraulique présente la particularité d'un forage unique dans la nappe maestrichtienne à partir duquel rayonnent 3 antennes gravitaires.

Les installations hydrauliques comprennent :

- * un forage de 70 m³/heure équipé d'un groupe moto-pompe de 50 m³/heure
- * un réservoir au sol de 300 m³ près du forage
- * un réservoir en élévation de 150 m³ près du forage
- * trois antennes gravitaires en Ø 175 mm et trois petits réservoirs aux extrémités
 - 3 abreuvoirs sur chacune des 2 antennes
 - 1 abreuvoir sur une antenne
 - 1 abreuvoir près de la station

Le coût annuel d'exploitation reviendrait à 8 F le m³, tous frais compris, notamment : les amorçages, les incidences de révision toutes les 6.000 heures pour le groupe et 12.000 heures pour la pompe, le carburant, les vidanges, l'amortissement des tuyauteries et des installations d'abreuvement.

Le ranch peut contenir 10.000 têtes de bétail. On estime les besoins à 40 litres par jour, soit 400 m³/jour ou 50m³/heure pendant 8 heures par jour. Compte tenu des éléments jeunes, la moyenne de consommation maximale est de l'ordre de 30 litres/jour par tête.

En fait, le nombre d'heures de pompage dépend du nombre d'animaux :

- 3.000 têtes en décembre 1969
- 700 à 800 têtes en janvier 1970
- 2.000 têtes en février 1970

Ces variations proviennent des difficultés d'approvisionnement en animaux d'embouche.

Les animaux sont abattus à Dakar distant de 280 km. Ils sont exportés ou consommés sur place.

Le ranch est cloisonné par clôtures approximativement en 15 îlots de 2.000 ha., 2 îlots de 5.000 ha. et 2 îlots de 15.000 ha.

Un production continue maximale en animaux de boucherie—compatible avec la charge que peuvent supporter les pâturages— est seule de nature à rentabiliser de telles installations.

Elle est de plus conditionnée par deux facteurs :

- un approvisionnement régulier en animaux jeunes ou en adultes, capables d'une bonne reprise de poids.
- un marché suffisamment rémunérateur pour la fourniture d'une viande de qualité et donc dans une large mesure une libéralisation des prix à la consommation.

L'eau est évidemment un élément primordial de l'embouche puisque l'abreuvement non rationné permet en toutes saisons une assimilation complète de l'herbe et des facteurs nutritifs, évitant ainsi la perte de poids saisonnière et la croissance compensatrice qui lui succède en élevage traditionnel.

4 – ASPECTS ECONOMIQUES DU PROBLEME

4-1 – Critères du choix d'un investissement

L'étude des aspects économiques peut permettre de prendre en toute connaissance de cause, la décision d'investir ou non. Mais elle ne doit pas intervenir en fonction des seuls critères économiques : entrent aussi en ligne de compte les facteurs sanitaires et sociaux, les problèmes de scolarisation, etc ...

L'étude est donc à envisager sous des angles différents selon qu'elle se rapporte au programme relatif à l'élevage traditionnel ou à l'élevage en ranching.

4-1-1- Pour l'élevage traditionnel elle se heurte au fait qu'il n'existe que des paramètres assez difficiles à déterminer : coût des troupeaux, valeur de la fraction exploitée, emploi des revenus, situation du marché local ou extérieur etc...

Le critère prix de revient de l'eau, envisagé à lui seul, n'a pas de sens quand la méthode des forages est la seule à pouvoir maintenir l'élevage pastoral dans une zone où on ne peut faire aucune autre spéculation. L'aspect socio-économique du problème doit alors être envisagé.

Ainsi dans le compte des forages du Sénégal, il conviendrait de considérer le fait que l'implantation de cultures le long du fleuve a chassé le bétail de ses zones de transhumances l'obligeant à rechercher de nouveaux parcours ou à disparaître.

Au Niger, pour réserver, au Sud, aux cultures les surfaces indispensables, on maintient le cheptel plus au nord grâce aux forages et aux puits.

En conséquence la politique des forages s'inscrit dans un contexte beaucoup plus vaste que le seul aspect hydraulique.

4-1-2 – Pour l'élevage en ranching on dispose par contre de critères économiques précis tels que : amortissement des investissements, charges récurrentes des ouvrages hydro-pastoraux qui ne doivent pas dépasser une certaine fraction de la valeur de la viande produite.

Le prix de revient de l'eau, dont la fourniture prend ici un caractère industriel, a une limite supérieure qui est déterminante pour le choix de la nature des ouvrages à réaliser. En particulier la profondeur à laquelle se situent les réserves d'eau à amener à la surface ne doit pas être trop grande.

4-2 – Estimation des dépenses

Les investissements nécessaires à l'exécution des ouvrages d'hydraulique pastorale varient avec la profondeur des nappes et la nature des ouvrages, dont on peut distinguer trois types. (voir tableau page 43)

4-2-1 – Puits ordinaires Ø 1,80 m.

Puits exploitant une nappe libre,

– profondeur moyenne de l'ouvrage 50 m.

– coût en francs CFA 1970 valable pour un programme minimal de 50 puits, au Niger.

– Installation et démontage de l’atelier		85.000 F.CFA
– Fonçage et cuvelage		
de 0 à 10 m : 10 m à 24.000		240.000
de 10 à 20 m : 10 m à 25.000		250.000
de 20 à 30 m : 10 m à 26.000		260.000
de 30 à 40 m : 10 m à 27.000		270.000
de 40 à 50 m : 10 m à 30.000		300.000
– Plus-values pour terrains durs		
20 m à 15.000		300.000
– Buses de fond de 1 m. de hauteur		
6 buses à 24.000		144.000
– Fonçage dans la nappe		
4 m. à 22.000		88.000
– Massif filtrant – dalle de fond		30.000
– Superstructures pour puits nomades		155.000
– Construction des abreuvoirs circulaires		
6 abreuvoirs à 6.000		36.000
– Essais de débit à la réception		50.000
	Coût total	2.208.000

Un puits de 60 m. coûterait 300.000 F.CFA de plus soit 2.500.000 F.CFA

Les charges récurrentes d’entretien annuel sont faibles de l’ordre de 30.000 F.CFA

Pour un amortissement du capital à 6% sur 15 ans, les charges annuelles d’amortissement et d’entretien s’élèvent à :

$$2.500.000 \times 0,103 = 257.000 + 30.000 \# 300.000 \text{ F. /an}$$

On peut admettre qu’il est possible de tirer d’un tel puits 30 m³ /j , soit à raison de 40 l/jour
 et par tête de bovin : $\frac{30.000}{40} = 750$ têtes

L’investissement par tête serait de l’ordre de 3.500 F et les charges annuelles (amortissement – entretien) de l’ordre de 400 F.

4-2-2 – Forages exploités par puits Ø 1,80 m.

Il faudrait pratiquement distinguer deux cas en fonction de la profondeur des forages.
Nous examinerons le cas d'un forage d'une profondeur de 150 m. dans les grès du TEGAMA au Niger.

a) Forage

	–	Installation : montage et démontage	3.000.000 F.CFA
–	–	Forage en 22" (1) 10 m à 25.000	250.000
	–	Forage en 17" 1/2 90 m à 20.000	1.800.000
	–	Forage en 9" 5/8 60 m à 12.000	720.000
	–	Carottage électrique	250.000
	–	Fourniture et cimentation tube de 20" 6 m. à 30.000	180.000
	–	Fourniture et mise en place	
		– 100 m tubes 10" à 14.000	1.400.000
		– 50 m tubes 6" à 11.000	550.000
		– 10 m crépines 6" à 30.000	300.000
	–	Développement du forage	200.000
	–	Cimentation 20m. à 20.000	400.000
	–	Travail en régie 30 h. à 8.000	240.000
	Total		9.290.000

ou 61.000 F le mètre linéaire

coût des forages au Niger jusqu'à 200 m – 60.000 F. le m.

b) Puits Ø 1,80 m – Profondeur 60 m.

Coût du puits	2.500.000
Total forage et puits	11.790.000
Total arrêté à	12.000.000 F. CFA

Les charges récurrentes d'entretien du puits sont évaluées à 50.000 F.CFA /an.

Pour une mise de fonds empruntée au taux de 6% sur 15 ans, les charges annuelles réelles seraient de :

$$12.000.000 \times 0,103 = 1.236.000 \text{ F.} + 50.000 \text{ #} = 1.300.000$$

(1) Rappelons que 1" = un pouce = 25,4 mm.

Dans l'hypothèse d'une extraction journalière de 6 m³/heure pendant 15 h. soit 90 m³

Le cheptel alimenté atteindrait un effectif de :

$$\frac{90.000}{40} = 2.250 \text{ bovins}$$

L'investissement par tête serait de l'ordre de 5.000 F, et les charges annuelles de 550 F.

Un puits de Ø 2,50 sur forage qui devrait permettre d'alimenter 3.000 bovins accroîtrait la rentabilité de l'opération.

4-2-3 – Forages exploités par pompage

Au Niger, les installations d'exploitation par pompage du Nord Tahoua fournissent un débit de 20 m³/h et peuvent fonctionner de 5 h. à 23 h/j, soit 100 à 460 m³/j, en moyenne 400 m³/j.

De mars à juillet, un bovin s'alimente en eau une fois tous les deux jours et absorbe en moyenne 60 l ou 30 l/j en moyenne par jour :

$$\text{soit } \frac{400.000}{30} = 14.000 \text{ bovins environ}$$

en pointe les troupeaux atteignent 15.000 bovins

Les installations décrites dans la 2^{ème} partie § 512 p. 109 coûteraient :

– 1 forage de 150 m.	9 millions
– 1 cabine de pompage	1 million
– 1 pompe Alta	2 millions
– 2 moteurs Vendevre	3 millions
– 1 réservoir de 300 m ³	3,5 millions
– 6 abreuvoirs de 12 m.	1 million

soit un total de 19,5 à 20 millions

L'investissement par animal serait ramené à 1.500 francs environ, mais la formule admet implicitement que d'autres ressources d'eau assurent l'abreuvement pendant 6 mois (hivernage + mares) et la présence d'un atelier très outillé s'occupant au moins de 20 installations.

Les charges annuelles d'entretien sont de 2 millions pour 6 à 7 mois d'exploitation. (1)

Dans l'hypothèse d'un emprunt à 6 %, d'une durée égale à la viabilité du forage, soit 20 ans l'amortissement annuel s'élèverait à 1.750.000 F, plus 2 millions d'exploitation soit 3.700.000 F de charges totales, soit 250 F. de charges annuelles par animal. Le renouvellement de l'équipement ne grève donc pas forcément l'économie de l'opération.

En fait souvent le pompage permettra la survie d'animaux qui seraient condamnés les années d'extrême sécheresse et de rareté de ressources fourragères.

Les trois types de point d'eau, puits, puits sur forage et forage exploité par pompage doivent harmonieusement se compléter, compte tenu entre autres éléments, de leurs caractéristiques économiques rappelées dans le tableau ci-après (sous réserve des remarques faites). Il est probable qu'à terme une politique très stricte d'ouverture des forages sera ordonnancée en fonction de l'ensemble des ressources en eau d'une région. Au nord du 15^{ème} parallèle l'élevage est la seule ressource agricole. L'Etat en tire de larges profits. Les possibilités d'extension et de sauvegarde reposent

(1) Mourlevat, Hlavek, Dupuis.

exclusivement sur des ouvrages d'hydraulique souterraine. Au Niger, en 20 ans, on a pu observer deux hécatombes de 200 à 400.000 bovins dues à l'insuffisance des points d'eau et les pertes en capital sont estimées pour la dernière (1968-69) à 4 milliards de francs CFA.

4-3 – Bénéfices apportés par la rationalisation de l'élevage

4-3-1– Elevage traditionnel

La rentabilité d'un ouvrage hydro-pastoral est alors déterminée par la valeur vénale de la fraction exploitable du troupeau qui l'utilise, en tenant compte de la plus-value de l'ordre de 30 p. 100, apportée au capital bétail, par l'amélioration de l'état d'entretien et de l'exploitation plus poussée qui en découle.

Pour l'élevage bovin conduit sur le mode extensif le coût étant exclu le taux d'exploitation est estimé entre 8 et 10 p. 100 en moyenne . La valeur du bétail et ce taux varient considérablement suivant les régions, mais on peut admettre en pratique une majoration de 1 à 2 points si l'eau est distribuée sans restriction.

Tableau comparatif des coûts d'investissement et charges récurrentes
suivant le type d'ouvrage.

TYPES D'OUVRAGES	Coût d'investissement	Charges récurrentes d'entretien par an	Débit envisagé	Investissement par tête de bovin	charges annuelles (amortissement et entretien)	charges annuelles par tête de bovin
puits ordinaires Ø 1,80 m de profondeur 60 m (4 - 2 - 1 - page 47)	2 500 000	30 000	30 m ³ /j	3 500	300 000	400
forage de 150 m exploité par puits de 60 m (4 - 2 - 2 - page 48)	12 000 000	50 000	90 m ³ /j	5 000	1 300 000	550
forage de 150 m avec pompage de 60 cv	20 000 000	2 000 000	400 m ³ /j	1 500	3 700 000	250

(1) Mourlevat, Hlavek, Dupuis

A titre d'exemple, au Sénégal, on a calculé qu'un forage sans antennes, pour élevage extensif, revenant à 27 millions de francs CFA desservant 45.000 ha. de pâturages, utilisés dans le rayon optimal de 12 kilomètres, peut abreuver 6.500 têtes de bétail bovin. La fraction exploitable de ce cheptel est 8 p.100.

L'investissement par tête est donc de 4.150 francs CFA.

La fraction exploitable du troupeau est de 520 têtes, estimées 15.000 francs CFA l'unité, représentant une valeur de 7.800.000 francs CFA.

Le même aménagement avec antennes, exploité dans les mêmes conditions, revenant à 90 millions, permet d'entretenir 13.000 têtes, ce qui correspond à un investissement de 6.900 francs CFA par tête. La fraction exploitable soit 1040 têtes a une valeur de 15.600.000 francs.

Ainsi, pour un revenu exactement double de celui apporté par la première solution, on a engagé, en choisissant la deuxième solution, un investissement supérieur au triple du précédent.

Au Tchad, des points d'eau revenant en moyenne à 3.500.000 F. CFA pièce, abreuvent un effectif de l'ordre de 600 têtes. L'investissement par tête, soit 5.000 francs CFA. est supérieur au prix moyen de la tête de bétail qui s'y abreuve : 4.500 francs. Le revenu annuel de l'exploitation de ce troupeau s'élève à 206.000 francs.

Le bénéfice retiré de la réalisation d'un programme hydro-pastoral peut se trouver réduit à néant lorsque le facteur limitant de l'amélioration de l'élevage est constitué par le manque de ressources fourragères. L'amélioration de l'abreuvement n'entraîne alors aucune augmentation numérique du troupeau dans les années qui suivent son installation.

La rentabilité des ouvrages hydro-pastoraux en élevage traditionnel, doit donc se rechercher sur d'autres plans, tels que le plan social exposé dans les " Généralités " du présent dossier. En particulier l'existence de ces ouvrages libère les éleveurs de la contrainte de creuser et d'entretenir des puits coutumiers, opération qui n'est pas sans danger puisque chaque année plusieurs d'entre eux se trouvent ensevelis au fond des puits qu'ils forent.

Les Etats intéressés par ces programmes d'hydraulique pastorale devront être parfaitement conscients de l'importance des charges récurrentes qu'ils auront à supporter.

4-3-2 — Ranching

Pour ce qui concerne l'élevage en ranching, on tient compte de l'incidence des frais d'amortissement des ouvrages hydro-pastoraux et des charges récurrentes correspondantes sur le coût de la production du bétail. (voir techniques Rurales en Afrique N° 13 : le ranching)

L'analyse du compte d'exploitation d'un ranch fait apparaître que ces frais d'amortissement figurent dans les amortissements techniques par tête entretenue et doivent être calculés sur les périodes suivantes :

- moteurs équipant les forages : amortissement sur 5 ans
- pompes : 10 ans
- forages proprement dits : 15 ans
- abreuvoirs : 15 ans
- réservoirs : 20 ans
- canalisations : 20 ans
- bâtiments — abris pour installations : 20 ans

A titre indicatif, les forages du ranch d'embouche d'Ekrafane, dans la République du Niger, représentent une charge d'amortissement de 3,60 F.CFA par kilogramme de viande produite sur le ranch. (Voir bibliographie : Bailhache, et Robinet , Marty et Robinet)

Il est suggéré que cette charge devrait être supportée par l'Etat, car ces ouvrages constituent un bien foncier restant utilisable dans le cadre de l'aménagement pastoral de la région, si l'activité du ranch venait à être interrompue.

Les charges récurrentes représentées par les frais d'exhaure et de distribution de l'eau, fonctionnement et entretien courant du matériel, sont à inclure dans les charges d'exploitation au poste "frais fixes de gestion."

5 – ASPECTS ADMINISTRATIFS

Les autorités gouvernementales auront à intervenir sur le plan administratif pour :

– organiser la réglementation de l'utilisation des puits qu'il est nécessaire de fermer, chaque année, pour assurer la sauvegarde de certains pâturages, ou plusieurs années consécutives, pour permettre la régénération de pâturages dégradés. (voir annexe N° 7)

Dans certains cas, ce problème de fermeture des points d'eau pourra prendre un aspect politique.

– mettre en place une structure administrative, même temporaire, à l'usage des populations nomades qui viennent à se sédentariser à proximité des points d'eau à certaines périodes de l'année (état civil ...)

– créer des brigades, services ou offices, pour entretenir et faire fonctionner les ouvrages car les éleveurs ne peuvent pas, par leurs propres moyens, assurer l'entretien de puits en ciment. (voir troisième partie § 2.2 p. 158 " organisation de services d'entretien" § 1 p. 164 " Exemple type de budget de fonctionnement ".)

6 – ASPECTS SOCIAUX

L'utilisation de points d'eau permanents amène une amélioration considérable dans le mode de vie des populations nomades : la disposition d'eau en quantité suffisante pour les soins d'hygiène corporelle et les usages domestiques. Elle permet en outre d'assurer, durant la période sèche, les soins aux hommes et aux animaux et de dispenser un enseignement aux enfants.

Il convient de prévoir dans ce sens des aménagements à caractère social qui sont toujours très appréciés des utilisateurs :

- fontaines équipées de canelles pour le remplissage des récipients,
- bacs pour le lavage du linge à proximité de la fontaine,
- douches.

7 – ASPECTS FONCIERS

L'établissement d'ouvrages hydro-pastoraux pourra poser des problèmes fonciers, soit en eux-mêmes soit secondairement à un projet de caractère commercial comme un ranch d'élevage ou d'embouche.

On devra tenir compte des droits coutumiers concernant l'utilisation des pâturages desservis par ces nouveaux ouvrages et des pistes de transhumance qui y conduisent.

Les aspects fonciers seront à envisager d'autant plus que, dans certaines régions, des campements de nomades viennent se fixer à proximité des points permanents. Une partie de leurs occupants se sédentarise et reste sur place en toute saison. Ces nouveaux sédentaires ont alors tendance à considérer les terres qu'ils occupent comme leur propriété et ils y établissent des cultures de mil.

8 – SYNTHÈSE – DOCUMENTS A FOURNIR POUR LA PRESENTATION D'UN PROGRAMME

Les renseignements de divers ordres fournis par les reconnaissances, les recensements, les inventaires seront rassemblés dans une étude synthétique.

A cette étude seront joints les documents suivants :

- photographies aériennes prises à des saisons différentes
- cartes détaillées indiquant la situation des eaux superficielles d'hivernage, les nappes, la répartition des pâturages, ainsi que leur valeur, la répartition des groupements humains peuplant la région considérée et des troupeaux qu'ils exploitent,
- Atlas technique donnant la nature et la description des ouvrages à réaliser,
- Atlas économique et financier qui permettent de prendre la décision d'investir.

DEUXIEME PARTIE

I – TECHNIQUES D'HYDRAULIQUE PASTORALE A PARTIR DES EAUX SOUTERRAINES

1 – CARACTERISTIQUES DES NAPPES AQUIFERES

Une description précise des nappes souterraines qui constituent les principales ressources en eau des zones à vocation pastorale sortirait du cadre de cette étude en raison de leur nombre et de la diversité des formations lithologiques qui les emmagasinent. Les nappes de l'Afrique de l'Ouest tropicale sont aujourd'hui bien connues grâce aux contributions apportées par les études géologiques et hydrogéologiques, aux innombrables réalisations de puits et forages ainsi qu'à l'inventaire systématique des points d'eau dans chaque Etat. Nous en exposerons une synthèse sommaire en indiquant leur mode de gisement qui conditionne les moyens à mettre en oeuvre pour assurer leur exploitation.

1-1– Description sommaire et situation géographique des principales nappes de l'Afrique de l'Ouest

1-1-1– Les nappes superficielles

a) Nappes des sables éoliens

Les nappes contenues dans les sables se situent dans les vallées ennoyées sous une couverture dunaire, au dessus des schistes précambriens, dans la région de Nioro-Nara au Mali, Aioun el Atrouss, Timbedra-Nema, et dans l'Aouker en Mauritanie.

L'eau de bonne qualité est atteinte par des puits de 10 à 20 mètres de profondeur.

Ces nappes existent sur les bordures littorales en lentilles d'eau douce flottant au-dessus de la nappe salée mais elles n'intéressent que très peu les pasteurs.

b) Nappes des fonds de mare

Dans les zones désertiques, on remarque que les pentes très faibles, la pluviosité médiocre (inférieure à 400 mm) et l'ensablement des vallées favorisent les concentrations d'eau de ruissellement dans des mares disposées en chapelet au fond des vallées.

Le niveau statique de ces nappes très localisées se situe bien au-dessous du plan d'eau de la mare. Elles sont exploitées par des puisards de 3 à 20 m. de profondeur et de faible diamètre, mais leur nombre en fait des points d'eau très importants, souvent seuls capables en saison sèche d'abreuver les troupeaux : Télémcés, Tillia au Niger. Ces nappes bénéficient du drainage en profondeur des fonds de vallée et des apports directs d'eau superficielle.

c) Nappes alluviales – nappes d'altération

Dans les zones sahéliennes à climat désertique, les nappes alluviales continues sont pratiquement inexistantes en raison de l'insuffisance des pluies, de la perméabilité très faible des alluvions argileuses ou des sables dunaires très remaniés et par conséquent très fins.

Les oolites limonitiques qui proviennent du démantèlement des carapaces ferrugineuses de surface, recèlent des nappes très localisées mais susceptibles d'alimenter un village et son troupeau; c'est le cas de nombreux villages de l'Ader Doutchi au Niger.

Des nappes alluviales très localisées existent dans les sables grossiers des vallées encaissées de l'Aïr ou de l'Adrar des Iforas mais elles ne sauraient constituer des ressources d'eau très importantes.

De très nombreux puits pastoraux sont creusés dans les dépôts quaternaires au Tchad, au Niger, ou en Mauritanie.

En règle générale, les zones à vocation pastorale de l'Afrique tropicale se situent entre les 15^{ème} et 19^{ème} parallèles dans des zones de pluviométrie comprise entre les isohyètes, 300 millimètres au Sud à 50 mm au Nord et qui ne comportent pratiquement en surface aucun ruissellement. L'eau s'écoule, au cours des tornades, dans les mares ou s'infiltré dans les revêtements dunaires plus ou moins fixés par la végétation.

1-1-2 – Nappes des systèmes aquifères

a) BASSINS SEDIMENTAIRES DU TCHAD

Nappe du Continental Terminal

Les faciès du Continental Terminal dans la région de Pala, Moundou, Goré, Fort Archambault, sur lesquels coulent les fleuves Chari et Logone, contiennent une nappe aquifère continue exploitable par puits ordinaires. Le Continental Terminal d'âge tertiaire est constitué comme au Niger, au Mali et au Sénégal, de dépôts sableux plus ou moins colmatés et compacts avec des intercalations de niveaux de kaolin, d'argilites, de minces couches de cuirasses latéritiques. Ce Continental repose au Tchad soit directement sur le substratum cristallin imperméable soit sur les horizons crétacé ou crétacé moyen continental.

Un forage d'une profondeur de 365,90 m. n'a pas atteint la base du Continental terminal à Fort Lamy.

Sur un programme de 122 puits bétonnés en diamètre 1,40 m exécutés de 1961 à 1963 avec des moyens mécaniques, les débits spécifiques suivants furent obtenus :

– débits très faibles	moins de 0,25 m ³ /h/mètre	: 15 puits
– débits faibles	0,25 à 1 m ³ /h/mètre	: 17 puits
– débits moyens	1 à 5 m ³ /h/mètre	: 42 puits
– bons débits	5 à 10 m ³ /h/mètre	: 31 puits
– très bons débits	plus de 10 m ³ /h/mètre	: 17 puits

Les rabattements de nappe varient de 13 mètres pour un débit de 0,10 m³/h/mètre à 1 mètre pour un débit de 10 m³/heure. La profondeur de ces puits (variable de 5 mètres à 90 mètres) montre que certains étaient creusés dans des alluvions quaternaires.

Les indications ci-dessus éclairent sur le débit des puits des nappes phréatiques des formations sableuses ou argilo-gréseuses du Tchad.

b) BASSINS SEDIMENTAIRES DU NIGER

– Nappe du Continental Terminal

La région de Dosso, Filingué, Tahoua, possède une nappe phréatique continue dans des grès argileux mio-pliocènes. Elle s'achève en biseau sec sur les argiles papyracées de l'éocène de l'Ader-Doutchi à l'est et sur le socle hydrogéologique à l'ouest. Exploitée par de très nombreux puits de villages de 40 à 60 m. (Laham : 52 m), cette nappe fournit des débits assez faibles.

De nombreux forages dont certains sont artésiens exploitent la nappe profonde du Continental Terminal.

– Nappes éocène et crétacée – Ader–Doutchi–Damerghou

Les horizons marins, éocènes et crétacés, constitués par des argiles bariolées, des calcaires, des marno-calcaires, sont par nature peu productifs en eau. Des nappes à faible débit suffisent parfois à alimenter des puits de village ou des puits

pastoraux ou à provoquer de fortes remontées d'eau dans les tubes de forage (forage d'ENDEMBOUTEM dans la vallée du Tadiss)

– Nappe du Continental Intercalaire

Emmagasinées dans des séries gréseuses très épaisses provenant du démantèlement des formations anciennes de l'Aïr et de l'Adrar des Iforas, les nappes du Continental Intercalaire nigérien se situent entièrement en zone pastorale. En raison de leur extension géographique considérable dépassant 800.000 km² et de leur puissance, ces nappes offrent aux pasteurs nigériens des ressources en eau inépuisables évaluées à des dizaines de milliards de m³.

La nappe des grès du Tegama, libre et exploitable au Nord des auréoles crétacées et éocènes par des puits de 40 à 80 m. de profondeur s'écoule à l'est et au Sud-Ouest sous une pente de l'ordre de 0,4-10⁻³. Les transmissivités ont une valeur moyenne de 2.10⁻³ m²/s à 1.10⁻² m²/s sous l'Ader Doutchi.

Les débits spécifiques des forages varient de 0,2 m³/h/m à 10 m³/h/m (Abalak)

Les systèmes aquifères du NIGER sont décrits par l'hydrogéologue J.GREIGERT dans une étude intitulée " les eaux souterraines de la République du NIGER " T.P. NIAMEY 1968.

c) BASSINS SEDIMENTAIRES DU MALI

– Nappe du Continental Terminal

Au Mali, le fleuve Niger de Koulikoro à Ansongo joue le rôle de réservoir de mise en charge de la totalité des grands ensembles hydrauliques souterrains du Mali et de la partie Sud-Est de la Mauritanie.

La nappe libre du Continental Terminal est exploitable entre le Bani et le Niger, au Nord de Niafunké, Goundam, Tombouctou, Gao, par des puits de profondeur variable de 30 à 70 mètres.

Le mur de ce faciès et de la nappe est constitué au sud par les grès primaires, au nord du fleuve par le substratum imperméable, et dans le détroit soudanais par les argiles papyracées éocènes.

– Nappes crétacées

Un fossé de subsidence du détroit soudanais situé entre les schistes primaires du Gourma et les massifs cristallins de l'Adrar des Iforas est constitué à la base par le crétacé moyen et supérieur aquifère, surmonté par des formations éocènes et par le Continental Terminal. De très nombreux forages ont pénétré dans les formations sableuses du crétacé. Ces forages peuvent être pour la plupart exploités par des puits.

Le Continental Intercalaire sableux en bordure de l'Adrar, aquifère, est beaucoup moins développé qu'au Niger.

– Faciès aquifères précambriens

Les séries des schistes plissés du Gourma de Rharous et du massif Mossi peuvent contenir des faciès de grès fins glauconieux aquifères : Les reconnaissances des filons aquifères dans les grès fins ou les quartzites des socles primaires réputés stériles doivent faire l'objet d'études de détails par des hydrogéologues spécialisés, suivies par des forages d'exploration.

Les débits seront faibles mais pérennes et suffisants pour l'alimentation des troupeaux.

– Calcaires dolomitiques de la plaine du Gondo

Sous une épaisseur de 30 à 70 mètres de Continental terminal, les calcaires dolomitiques du Gondo contiennent des nappes souvent perchées, de très faible débit.

– Schistes précambriens – Région Nioro-Nara

Un forage profond de 242 m, creusé entièrement dans les schistes, est resté sec à Nara.

L'eau se situe dans les strates des schistes au sommet de la série. Les dolérites saines sont anhydres; altérées elles peuvent contenir un peu d'eau.

– Grès siliceux de Sikasso

Un forage de 100 mètres entièrement dans des grès durs siliceux est resté sec à Sikasso.

– Grès de base

Ces grès sont aquifères en profondeur et parfois en charge.

d) BASSINS SEDIMENTAIRES DU SENEGAL

– Nappe du Continental Terminal

De très nombreux puits profonds de 60 à 80 m. exploitent la nappe du Continental terminal au Sud du fleuve Sénégal entre Dagana, Linguère, Matam.

Ces puits peuvent fournir 30 m³/jour d'eau de bonne qualité. La nappe mise en charge par le fleuve repose à l'Est sur le substratum précambrien. A l'Ouest et au Nord la nappe imprégnée des niveaux calcaires et marneux de l'éocène.

– Nappes éocènes

Les formations lithologiques de calcaires marins éocènes et de marnes non fissurées ne sont pas favorables à la rétention de nappes importantes. Les puits, de faible débit, restent souvent secs et doivent être approfondis par des forages. Les nappes dans ces calcaires sont ascendantes.

– Nappes du Maëstrichtien

La nappe maëstrichtienne au Sénégal occupe la totalité de la surface Ouest du Sénégal, de St Louis à Bathurst du Nord au Sud, et de Dakar à Tambacounda d'Ouest en Est.

La nappe parfaitement connue est exploitée par plus de cinquante forages qui traversent le Continental terminal et l'éocène avant de pénétrer dans des sables, des argiles ou des intercalations d'argiles et sables maëstrichtiens. Les débits des forages varient de 50 à 100 m³/h mais peuvent atteindre 200 à 300 m³/h sous de faibles rabattements.

L'épaisseur du Maëstrichtien est supérieure à 300 m, le toit de la nappe s'établissant vers la cote – 200 mètres. Le niveau d'équilibre constant s'établit à la cote + 5 mètres.

C'est la nappe la plus importante de l'Afrique de l'Ouest.

e) BASSINS SEDIMENTAIRES DE LA MAURITANIE

– Nappes phréatiques quaternaires littorales

A l'exception de la nappe d'eau douce alimentée par le fleuve Sénégal, ce sont des nappes à caractère pelliculaire de débit médiocre, flottant sur la nappe salée continue.

Nappe phréatique du Continental terminal

Cette nappe, qui couvre une surface importante au Sud de la Mauritanie de Mederdra à Boutilimit (nappe du Trarza) est activement exploitée par des puits pastoraux.

Elle n'est autre que l'extension vers le Nord de la nappe du Continental terminal du Sénégal. Les puits profonds d'une cinquantaine de mètres fournissent un débit de l'ordre de 1,5 à 4 m³/h. La nappe de bonne qualité est mise en charge par le Sénégal.

Les forages d'Idini alimentant Nouackchott fournissent 15 m³/h sous 8 m de rabattement à 30 ou 40 m de profondeur.

– Nappes éocènes

Les sables éocènes au nord de Kaédi, situés au-dessus des calcaires, dolomies ou marnes, ne fournissent qu'un débit médiocre d'une eau très minéralisée, exploitée par des puits de 40 à 50 m. Ainsi, au ranch de quarantaine de Kaédi, à 25 km au Nord de cette ville, pour un forage infructueux, trois ont donné un débit de l'ordre de 30 m³/h; les pH sont de 5,4 à 6, l'eau de l'un d'eux a une teneur de 17 mg/l de fer.

– Nappe maëstrichtienne profonde

Extension à la région d'Aleg, Boghé et Kaédi, de la nappe maëstrichtienne du Sénégal, elle est encore mal reconnue.

A Idini, à 60 km à l'Est de Nouakchott, la nappe maëstrichtienne est saumâtre.

– Nappes du Hodh et de l'Aouker

Les schistes fissurés précambriens de la région de Nioro-Nara au Mali s'étendent au Nord dans le Hodh et l'Aouker. La nappe stratifiée semble plus généralisée dans le Hodh que plus au Sud. Les schistes s'inclinent de 250/270 mètres sur l'axe Nioro-Nara à une altitude inférieure à 175 m. dans l'Aouker où l'ensablement atteint 100 mètres. Dans les schistes, les puits ont une profondeur inférieure à 20 mètres, et dans les sables de l'Aouker de 20 à 30 mètres.

1-1-3– Débits spécifiques des puits et forages

Les débits spécifiques des puits, en saison sèche, sont très variables en fonction de la perméabilité des terrains qui contiennent les nappes.

Les débits spécifiques suivants ont été observés dans les puits du Mali mais peuvent être transposés à toutes les formations de même nature.

Débits/heure par mètre dans la nappe :

– alluvions sableuses, sablo-argileuse, sables et gravier	1000 à 4000 litres
– sables à granulométrie variable	1000 à 2000 "
– argiles plus ou moins gréseuses	100 à 500 "
– grès argileux continental terminal	300 à 1000 "
– latérite plus ou moins argileuse	500 à 1000 "
– carapaces, concrétions ferrugineuses	500 à 8000 "
– grès primaires siliceux	0 à 500 "

– schistes précambriens , en surface	50 à 200 litres
– dolérites altérées en surface	50 à 100 "
– argiles kaoliniques	20 à 100 "
– arkoses très variables	50 à 200 "
– calcaires marno-calcaires	50 à 200 "

Dans ces dernières formations, le débit est très faible et les nappes souvent perchées, en charge, finissent par s'assécher. Ou bien elles peuvent fournir dans un système karstique des débits importants; il ne s'agit pas alors de nappes, mais d'eau circulant dans des fissures (strates)ou cassures .

En règle générale, dans les puits, les hauteurs d'eau sont inversement proportionnelles au débit de la nappe.

1-2 – Méthodes de détermination des nappes aquifères

Les reconnaissances et la détermination des caractéristiques des nappes aquifères impliquent des études scientifiques relevant de disciplines diverses.

La présence de l'eau dans le sol dépend évidemment des apports météoriques mais surtout de la nature et de la puissance des formations lithologiques susceptibles de l'emmagasiner. La zone tropicale en particulier, celle qui interesse l'hydraulique pastorale au Nord du 14 ème parallèle, reçoit peu d'eau et l'évaporation en absorbe immédiatement plus de la moitié mais les réserves d'eau souterraines sont telles que les prélèvements par puits et forages ne sauraient en entamer le capital.

1-2-1 – Etudes géologiques et hydrogéologiques

Les grands ensembles aquifères sont liés aux formations sédimentaires gréseuses, sableuses, argilo-sableuses, d'origine continentale. Ces formations présentent des extensions considérables; c'est ainsi qu'au Niger la nappe dite des grès du Tegama, en surface libre, occupe plus de 500 000 km² et le mur de cette nappe n'a pas été atteint par les forages ou les puits. Jusqu'en 1950 la notion même de nappe souterraine était mal connue. Une nappe imprègne la totalité du faciès qui peut l'emmagasiner quelle que soit sa position stratigraphique. Les études et les déterminations géologiques fixent conjointement les positions géographiques, les extensions et la puissance des nappes. La carte des nappes se superpose à la carte géologique. Les différences de débit des ouvrages reflètent des perméabilités très variables des terrains productifs d'origine continentale ; latéralement un niveau sableux aquifère peut passer à un même niveau plus argileux beaucoup moins productif.

1-2-2 – Nivellements

Les nivellements barométriques en première reconnaissance, les nivellements de précision ensuite apportent des informations de premier ordre ayant trait à la pente piézométrique de la nappe en surface libre et à sa direction d'écoulement. Les zones d'alimentation sont ainsi connues, de même que le niveau du toit des nappes en charge.

Le niveau statique d'une nappe à l'intérieur d'un tube de forage peut ainsi être déterminé à priori, à quelques mètres près, connaissant la cote d'implantation au sol d'un forage et la pente de la nappe. Sous un climat désertique, la surface d'une nappe peut se présenter en cuvette, la pente étant due à son évaporation.

1-2-3 – Etudes géophysiques

Les études géophysiques par procédés sismiques ou par sondages électriques permettent de définir :

– La profondeur et les courbes altimétriques du bed-rock qui offre généralement des résistivités bien supérieures aux formations superficielles sédimentaires (cas des granites, des schistes métamorphiques de toutes les formations cristallines)

- Par déduction, la puissance maximale des formations aquifères.
- Les courbes d'équi-résistivité des nappes qui permettent de circonscrire les zones d'eau douce et l'implantation de forages d'eau de bonne qualité pour l'alimentation humaine.

1-2-4 — Travaux de puits et de forage

Ces ouvrages mettent à jour les nappes et révèlent leurs caractéristiques , profondeur, niveau piézométrique, qualité , débit, puissance et caractéristiques de l'horizon productif, etc...

1-2-5 — Analyses chimiques

- Détermination quantitative des anions
Cl , SO₄ , CO₃H , CO₃ , NO₃ , Fe
- Détermination quantitative des cations
Ca , Mg , Na , K , NH₄
- Détermination du résidu sec , en mg à 110°
- Détermination du pH, de la résistivité. .sistivité.

L'eau des grands systèmes aquifères présente les mêmes caractéristiques chimiques.

1-2-6 — Les carottages électriques des forages

Les carottages électriques consistent à établir une courbe de résistivité des terrains sur toute la hauteur du forage. Les terrains sableux gorgés d'eau douce présentent des résistivités très supérieures aux terrains argileux ou marneux anhydres ou imprégnés d'eaux saumâtres. Les carottages électriques doivent être exécutés d'une façon systématique. Les courbes de résistivité sont très nettes, interprétées compte tenu de la résistivité des boues et des cuttings recueillis. Elles circonscrivent très nettement les niveaux aquifères à capter.

1-2-7 — Les analyses granulométriques des carottes

Les analyses granulométriques sur le chantier sont indispensables pour savoir si les niveaux aquifères sont auto-développables ou pour fixer la granulométrie du gravier filtre si l'on veut éviter un ensablement rapide de l'ouvrage et la destruction prématurée de la pompe d'exhaure.

1-2-8 — Mesures de fluctuation du niveau des nappes

Des mesures systématiques, mensuelles, échelonnées, sur plusieurs années consécutives sont exécutées pour évaluer en fonction des saisons les fluctuations de niveau des nappes phréatiques : Ces mesures sont confiées à des brigades spécialisées qui utilisent des repères du nivellement général et procèdent systématiquement à des analyses d'eau sommaires sur chaque point d'eau :

(chlore, degré hydrotimétrique, pH , température)

L'ensemble des informations recueillies est concrétisé sur les fiches de l'inventaire des points d'eau et sur les cartes hydrogéologiques.

Pour montrer l'importance et le rôle des études hydrogéologiques, nous indiquerons que, jusqu'en 1938, des centaines de tonnes de ciment et de fers à béton furent ensevelis dans des ouvrages qui, au départ, étaient voués à rester secs.

Ces ouvrages étaient d'ailleurs creusés d'autant plus nombreux et profonds que les terrains ne contenaient pas d'eau ou que la nappe était inaccessible par puits.

Dans l'étude des nappes, un règle d'or est l'observation méthodique de ce qui existe. Tous les puits ne sont pas connus. La profondeur et la coupe par les déblais d'un puits abandonné fournissent autant sinon plus d'informations qu'un puits en eau entièrement bétonné et dont les déblais ont disparu.

2 – MOYENS D'EXECUTION DES OUVRAGES D'HYDRAULIQUE PASTORALE

2-1 – Travaux en régie directe entreprise par l'Administration.

2-1-1 – Rôle des brigades de puits

Jusqu'aux années 1954-1956, dans les états de l'Afrique de l'Ouest tous les puits furent exécutés en régie directe par des brigades organisées et équipées par les services administratifs. Ces services consacraient la totalité de leur activité à l'exécution de puits neufs et à la surveillance des travaux de forage. Ensuite, le financement de programmes très importants d'hydraulique pastorale impliquait d'avoir recours à des entreprises pour l'exécution simultanée d'un grand nombre d'ouvrages.

Cependant plusieurs états s'aperçurent qu'il était beaucoup plus efficace, compte tenu du nombre considérable de puits existants, d'améliorer le débit de ceux-ci en les approfondissant et si besoin était en les rénovant, qu'en construisant des ouvrages neufs onéreux avec leurs ressources propres.

Les délais de remise en état d'un puits par approfondissement au derrick et mise en place d'un captage moderne par une équipe spécialisée sont de 10 à 20 jours. La construction d'un puits de 60 m nécessite 10 à 12 mois de travail. Les prix sont proportionnels au temps. Le mètre cube d'eau potentiel est infiniment moins cher dans le premier cas.

Confier des travaux d'entretien à des entreprises s'avère malaisé en raison de l'état très divers des puits à reprendre, de la nature de l'aquifère, de la nécessité d'exercer une surveillance permanente. Aussi ce travail peut valablement être exécuté par des brigades spécialisées de l'administration ou d'un office para-étatique. Dans ces conditions les activités des nouvelles brigades seront orientées essentiellement vers les travaux d'entretien et de réparation. Les équipements seront adaptés à la nature des travaux. L'outil de travail principal devient le derrick de 1.500 kilos susceptible d'extraire avec un cuffat de 400 litres un débit supérieur au débit de pointe tiré par les utilisateurs. Par ailleurs cet engin permet la descente de buses lourdes en béton.

Au Niger, à l'échelon des départements 4 brigades parfaitement équipées et desservies assurent la remise en état des puits et l'achèvement des puits neufs creusés au titre de l'hydraulique humaine.

2-1-2 – Equipements des brigades de puits neufs

Le fonçage d'un puits, hors de la nappe, implique l'utilisation d'un lot de matériel assez sommaire constitué essentiellement par :

- 1 treuil à mains et un câble métallique de 7 à 9 mm, appareil posé directement sur le puits, ou
- 1 poulie simple suspendue à une chère métallique
- des moules métalliques de coffrage de hauteur 0,60 m au moins, 3 jeux de moules pour l'exécution des bétons banchés et vibrés du cuvelage
- 1 cercle de guidage (diamètre de fonçage)
- des outils ordinaires : barres à mines, pelles, pioches
- des tamis pour la préparation des sables et graviers

- 1 compresseur et des marteaux en terrains durs
- du matériel de sécurité ou de secours :
 - 2 cordes de chanvre en bon état – une ceinture de sûreté –
 - 1 câble métallique en réserve longueur 100 mètres
 - des casques de mineur – une trousse de premier secours –
 - 1 lampe tempête pour la détection du CO₂,
- 1 citerne de 1000 litres en acier galvanisé montée sur pneumatiques et tractable par Land Rover.

Ce matériel de fonçage doit équiper les brigades affectées à l'exécution des puits neufs ou être mis par une division de puits à la disposition d'un village pour l'exécution d'un ouvrage au titre de l'hydraulique humaine.

Le transport des matériaux et des buses de fond est assuré par les véhicules lourds d'une division puits.

2-1-3 – Equipements des brigades d'entretien

A ces brigades sont dévolues les travaux d'approfondissement des puits qui finissent par s'ensabler à la suite de la destruction des buses et dont les débits par conséquent sont des plus réduits.

Dans la majorité des cas les puits ont été creusés avec des moyens traditionnels insuffisants pour les approfondir dans la nappe.

Une équipe ou brigade d'entretien disposera du matériel suivant :

- 1 derrick d'une force de levage de 1000 ou 1500 kg
(derrick de 1500 kg très généralement utilisé)
- moteur diesel-air transmission par courroie trapézoïdale ; vitesse de levage minimale 30 m/min
- derrick installé sur chassis de véhicule susceptible d'être tracté par camion
- 1 cuffat à eau cylindrique de 400 l se remplissant par la base
- 1 cuffat à remblais de 50 l
- 1 benne preneuse hémisphérique Benoto de 55 l
- 1 moule à cuvelage, puits Ø 1,80 m ou Ø 1,40 m
- 1 moule à abreuvoir Ø intérieur 1 m
- 1 camion Berliet 2 ponts LG 4 à bennes pour 2 ou 3 brigades
- 1 compresseur spiros de 4000 l/min 7 bars
- des marteaux brise-bétons FAM de 34 kg et des aiguilles en cas de terrains aquifères durs
- moules à buses

4 équipes d'entretien des puits impliquent une cinquième équipe se réservant au centre de la division puits à la construction des buses

- moules à buses pour puits Ø 1,80 m Ø intérieur 1,40 m
- moules pour la trousse coupante
- hauteur des buses 1 m , solidarisées par 3 boulons

(Les moules à buses comportent 4 tronçons intérieurs et 6 extérieurs. Ils sont généralement perforés et fabriqués localement avec des tôles de 4 mm d'épaisseur pour éviter les déformations.)

1 chèvre de 10 tonnes avec palan de 10 tonnes, hauteur de levage : 3 m, au siège de chaque division puits pour levage des buses sur camion et chargement du matériel lourd.

N.B. On trouvera en annexe N° 4 la description des caractéristiques des matériels de construction de puits.

2-2 – Travaux dévolus aux entreprises

Les programmes importants d'hydraulique pastorale en puits et forages financés par des organismes internationaux (FED, BIRD) ou par le Fond d'Aide et de Coopération sont en général confiés aux entreprises.

Les sources de financement conduisent à des appels à la concurrence largement ouverts après présélection.

Les moyens à mettre en oeuvre en personnel et matériel pour exécuter les travaux dans un temps relativement limité dépassent très largement ceux de l'administration occupée par ailleurs à l'entretien et au fonctionnement des ouvrages d'hydraulique pastorale et villageoise.

Les travaux à confier aux entreprises sont :

- Les études de géophysique et de nivellement.
- Les programmes de puits présentant une importance ou des difficultés particulières.
- Les programmes de forages de reconnaissance et d'exploitation.
- Les équipements des forages d'exploitation
 - . Fourniture et pose de matériel de pompage
 - . Construction des superstructures
 - . Cabines de pompage, réservoirs, abreuvoirs, antennes pour la création de points d'eau à partir des forages .
- La construction de puits sur forages
- Les réseaux d'eau (éventuellement)

3 – METHODES DE CONSTRUCTION DE PUIITS EN BETON ARME

Ces méthodes doivent être nécessairement adaptées à la nature et à la tenue des terrains stériles et productifs à traverser, au débit spécifique de la nappe et à sa profondeur ainsi qu'au débit d'utilisation.

3-1 – Exploitation des nappes phréatiques

Les terrains à traverser et à pénétrer sont des sables et argiles alluvionnaires, des sables argileux plus ou moins latéritisés, des sables dunaires, des formations meubles ou des formations très dures, notamment des schistes ou des dolérites.

3-1-1 – Nappes à moins de 10 mètres du sol

a) terrains consolidés.

S'il s'agit de grès argileux consistants, non fluents, la solution consiste à creuser un puits sans cuvelage (ou à l'aide d'une simple projection de béton de stabilisation des parois) et à le buser entièrement. Les buses préfabriquées en béton armé et vibré seront descendues dans la nappe au diamètre maximum — \varnothing 1,40 ou \varnothing 1,80 utile. On utilise des pompes à air comprimé.

b) carapaces ferrugineuses en surface

- * Il faut ancrer le cuvelage en surface sur la carapace.
- * On exécute le cuvelage par banchage de bétons armés au fur et à mesure de l'approfondissement de l'ouvrage.
- * Dans les puits classiques on utilise des buses de fond correspondant aux diamètres : \varnothing 1,40 — \varnothing 1,80 m ou \varnothing 2,50 m utile.
- * Sur une profondeur de 10 m le cuvelage peut être considéré comme suspendu à l'encrage par traction sur les fers verticaux qui seront soigneusement vérifiés — $R_a = 12 \text{ Kg m/m}^2$
- * Ces puits peuvent également être entièrement busés dans le cas où la nappe se situe immédiatement sous la carapace.

c) terrains bouillants

- * Alluvions récentes, sables dunaires, arènes : la seule technique valable est un fonçage par havage dans des puits de \varnothing 1,40 — \varnothing 1,80 ou \varnothing 2,50 m de diamètre utile avec une épaisseur de 0,15 m pour la colonne en béton armé, dosé à 350 kg.
- * On utilise des pompes à air comprimé.
- * On placera un massif de gravier annulaire derrière les buses si l'on constate des arrivées de sable à travers la buse primaire. La granulométrie du filtre de graviers sera déterminée en fonction de la granulométrie des sables à retenir.

d) terrains durs, schistes de Nara-Nioro

- * On exécute un cuvelage en surface jusqu'aux schistes, au diamètre utile.
- * Le fonçage est réalisé par tirs de mines ; aucun revêtement n'est nécessaire.
- * L'approfondissement dans la nappe a lieu à l'aide de pompes à air comprimé et de tirs de mine.
- * On a pu constater un accroissement du débit spécifique lors de l'approfondissement de puits creusés dans les schistes productifs. En revanche la reprise de puits dans les schistes improductifs s'avère très aléatoire et les puits seront arrêtés sur des dolérites compactes et sèches.
- * Dans ces schistes et les calcaires durs, les buses et les massifs de gravier sont inutiles.

3-1-2 — Nappes situées entre 10 et 20 mètres du sol

a) Grès argileux consolidés

La méthode précédente s'applique pour des puits définitivement busés en 1,40 ou 1,80 m de diamètre utile.

b) Carapaces ferrugineuses en surface

Prévoir des puits entièrement busés, avec projection d'un béton à 300 kg de 2 ou 3 cm sur les passages meubles à stabilisation douteuse.

c) Terrains alluvionnaires

Les puits peuvent être construits par havage à l'intérieur d'une colonne qui descend verticalement.

Les colonnes en béton mobiles dépassent rarement 15 m de profondeur, mais avec une nappe à quelques mètres du sol seulement.

d) Terrains durs

On procède comme dans le cas précédent.

Jusqu'à une profondeur de 20 mètres les pompes à air comprimé légères avec compresseur de 2500 l/minute conviennent parfaitement.

3-1-3 — Nappes situées entre 20 et 30 mètres du sol

Dans le cas d'exécution d'un programme de puits par une entreprise, le cahier des prescriptions spéciales devra imposer l'utilisation d'un matériel puissant et bien adapté au fonçage dans la nappe (compresseurs, pompes à air comprimé, benoto) et capable de descendre les buses (treuils mécaniques installés sur camion ou auto-moteurs).

Le but à atteindre est l'obtention d'un débit à la réception de l'ouvrage de l'ordre de 6 à 10 m³/h minimum, c'est-à-dire un débit double du débit d'utilisation, et ceci pour éviter un chavirement des buses dans la nappe ou un surcreusement par les utilisateurs.

Au Mali par exemple les formations du continental terminal, bien que très hétérogènes étaient suffisamment consolidés pour que l'on puisse creuser des puits jusqu'à une profondeur de 30 m en stabilisant simplement, si nécessaire, les parois par une projection de béton. Les puits ainsi creusés pouvaient être facilement busés en Ø utile 1,20 ou 1,40 m ; le cuvelage se prolongeait alors dans la nappe, de façon monolithique, par des buses perforées de même diamètre. Ces dernières, fabriquées en béton armé de 350 ou 400 kg de ciment, vibrées sur un chantier dûment contrôlé sont transportées sur place par camions.

* La hauteur minimum des buses emboitables est 1,00 mètre

* On pénétrera au maximum dans la nappe par havage à l'intérieur des buses, et on placera un massif de gravier filtre au fond.

En cas de venues de sables à travers la buse primaire, on mettra en place une colonne intérieure de buses et du gravier calibré dans l'espace annulaire.

Les puits busés jusqu'à 20 ou 30 mètres sont préférables aux puits cuvelés sous réserve qu'ils soient achevés avec un matériel mécanique puissant et approprié.

Dans les formations de grès argileux du Macina (nappe du continental terminal) une vingtaine de puits de diamètre intérieur utile 1,20 m furent construits sans incident selon cette méthode. Certains de ces puits atteignaient 35 mètres.

3-2 — Exploitation des nappes profondes de 30 à 80 mètres appartenant à des systèmes aquifères

3-2-1 — Puits dans les terrains consolidés ou durs

Les puisatiers africains dans les zones de parcours des populations pastorales nomades ont creusé des puits de 0,70 à 1,00 m de diamètre jusqu'à des profondeurs de 80 - 90 mètres. Ces puits présentaient des parois nues ou étaient coffrés de paille ou de branchage au droit des niveaux sableux ou argileux. En général ces puits périssaient soit :

- * par l'orifice qui s'effondrait
 - implantation au fond des vallées parfois inondées
 - surcharge d'eau et de terre à l'orifice
- * par la base
 - ensablement de l'ouvrage
 - effondrement au niveau de la zone aquifère

Les puits doivent être implantés sur des zones planes et sur terrain dur à quelques mètres au-dessus du fond du talweg ou sur des surfaces non inondables.

Il ne faut pas exclure les puits sans cuvelage dans les grès durs, les calcaires, les schistes, mais il s'avérerait dangereux de foncer des puits dans des grès argileux, d'un diamètre supérieur à 1 m ou 1,10 m sur des profondeurs supérieures à 40 ou 50 mètres.

La méthode de construction des puits devient alors classique (plan du puits pastoral de 1,80 m de diamètre page 65) et consiste à confectionner le cuvelage au fur et à mesure de l'avancement des travaux en profondeur.

Le cuvelage de la partie hors d'eau sera indépendante de la partie busée dans la nappe pour éviter qu'un chavirement des buses ou un approfondissement du puits dans la nappe n'affecte le cuvelage.

Les cuvelages s'obtiendront :

- * soit par une projection de bétons sur le parement, généralement en 3 couches avec mise en place de l'armature après projection de la 1ère couche, la troisième couche est constituée par un enduit de 1,5 à 2 cm de mortier. Les reprises sont de 1,40 m de hauteur.
- * soit par banchage qui implique l'utilisation de 2 moules de coffrages de 0,60 m de hauteur. Cette deuxième méthode est préférable. Il est possible d'utiliser des bétons vibrés, de composition plus homogène.

La paroi est laissée brute de décoffrage (\emptyset 1,40 — \emptyset 1,80 — \emptyset 2,50 m). En terrains durs, les épaisseurs de cuvelages peuvent être réduites à 0,09 mètre.

Dans les grès et calcaires extraits aux explosifs, après dégrossissage au pic, les parois peuvent rester brutes ou recevoir un enduit par projection dosé à 300 kg de ciment.

Les armatures ne seront jamais en contact ni avec les terrains, ni avec l'eau mais enrobées au minimum de 0,02 m de béton.

A partir de profondeurs de 40- 50 m, les vitesses de fonçage et de cuvelage sont faibles : 3 à 8 mètres/mois sans matériel spécial. Il devient alors souhaitable de mécaniser les chantiers (compresseur, marteaux, treuil mécanique et cuffats de 50 à 150 litres qui remonteront très rapidement les déblais et l'eau et permettront éventuellement des mesures de débit).

La partie filtrante sera obligatoirement achevée avec du matériel de levage motorisé.

3-2-2 — Terrains fluents

Il est assez rare d'avoir à creuser des puits de 40 à 60 mètres de profondeur à travers des sables dunaires fluents. Ce cas se présente au Nord de Goundam et de Tombouctou où la nappe du continental terminal ne peut être atteinte qu'après une traversée de plusieurs dizaines de mètres de sables secs fluents (poussière siliceuse). Ces sables surmontent directement une carapace ferrugineuse — témoin de l'ancien sol — coiffant les grès argileux.

Le problème de construction de ces ouvrages est un problème de transports des matériaux pour la confection des bétons et de l'eau à jeter au fond du puits pour donner une certaine cohésion à ces sables. On fait les reprises de bétonnage tous les 0,20 à 0,40 mètres.

Cette technique fut remplacée par l'emploi de buses métalliques type ARMCO, clavetées de l'intérieur, lesquelles pénètrent directement dans la nappe. Elles sont ancrées en surface par un massif en béton. De très nombreuses sujétions furent supprimées par l'emploi de ces buses métalliques qui ne sont pas des buses spéciales mais qui ont été conçues pour être posées horizontalement. Les buses et leurs accessoires sont galvanisés ou en métal inoxydable.

3-2-3 — Nappes situées entre 80 et 150 mètres

Au delà de 80 ou 85 mètres de profondeur les conditions d'exploitation des nappes par traction animale — moyen traditionnel des pasteurs — deviennent très difficiles. Les débits extraits s'amenuisent avec la profondeur en raison du temps de puisage et de l'effort à consentir.

Au delà de 80 mètres, il est souhaitable d'avoir recours à des forages de 100 à 150 mètres de profondeur.

Les grands ensembles aquifères contenus dans des formations sédimentaires (nappe des grès du Tégama, nappe profonde du continental terminal, nappes éocènes du Détroit Soudanais, ou du Sénégal) sont généralement en charge, ennoyés sous des formations plus récentes imperméables notamment de l'éocène.

Les niveaux statiques de ces nappes, libérés dans les tubes de forage s'établissent souvent très près de la surface du sol dans les vallées.

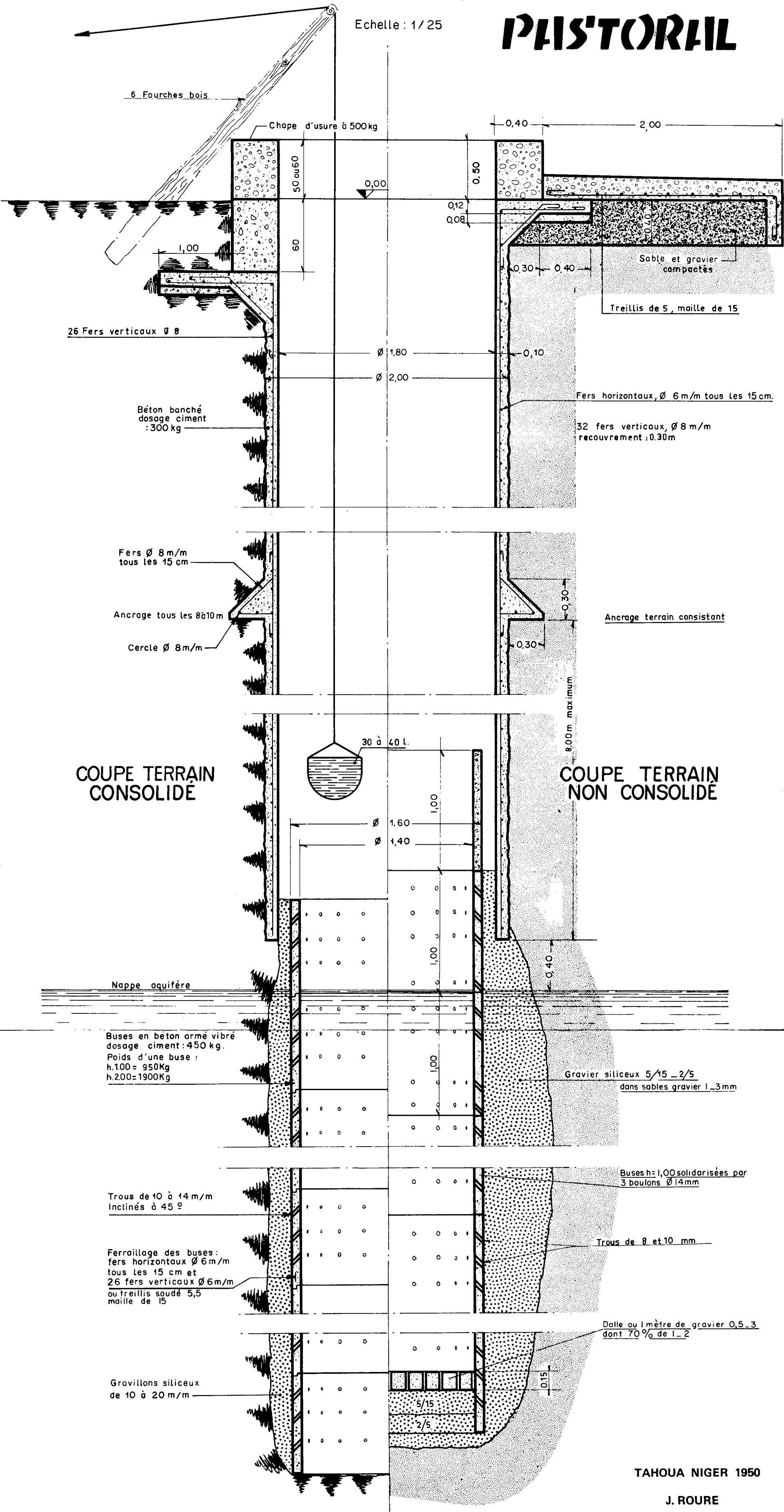
3-2-4 — Nappes situées à plus de 200 m de profondeur

La nappe artésienne deltaïque quaternaire du Manga Kadzell, la nappe profonde du continental terminal au Niger, la nappe maëstrichtienne du Sénégal, se situent à plus de 200 m de profondeur et doivent être exploitées par des forages dont les caractéristiques seront déterminées en fonction de l'utilisation prévisible.

PUITS Ø 1,80

PASTORAL

Echelle : 1/25



3 - 3 – Études de génie civil des puits en béton armé

3 - 3 - 1 – Matériaux des puits de 1,80 m de diamètre utile

a) Puits type des pasteurs en zones Sahélienne et présaharienne

Cuvelage paroi en béton d'une épaisseur de 0,10 m

(en terrains durs : grès, calcaires, calcaires marneux, marnes stratifiées hors d'eau, schistes, l'épaisseur peut être réduite à 0,09 mètre)

* béton banché section $S = 0,5960 \text{ m}^2$ ($e = 0,10 \text{ m}$)

* ciment 250 – 315 dosage 300 kg/m³ : 180 kg au m

* sables 2 – 5 mm 400 l X 0,596 = 238 l/ml

* gravier 5 – 15 800 l X 0,596 = 476 l/ml

* armatures :

– fers horizontaux de répartition : 1 Ø6 tous les 0,15 m

– fers verticaux (traction) : 30 Ø8 mm

* poids d'armature au mètre 25 kg

* poids du cuvelage $e = 0,10$: 1 500 kg au m

* section d'armature tendue $A = 30 \times 0,5 = 15 \text{ cm}^2$

$\sigma_a \times A = 1400 \text{ kg F/cm}^2 \times 15 \text{ cm}^2 = 21000 \text{ kgF}$

R métal : 21 tonnes en traction

* contrainte admissible béton en traction : 5,1 kg F/cm²

* = 5960 X 5,1 = 30 tonnes .

* ancrages en principe tous les 21/1,5 = 14 mètres

* en pratique un ancrage en terrain dur tous les 8 ou 10 mètres de cuvelage.

Buses perforées dans la nappe

* diamètre intérieur : 1,44 m

* diamètre extérieur 1,60 m $S = 0,3820 \text{ m}^2$

* hauteur d'une buse 0,80 mètre moulure d'emboîtement

* ciment dosage 400 kg de ciment portland artificiel

classe 250 à prise lente poids 120 kg par buse

* armatures :

– fers horizontaux 6 Ø 6 1 tous les 0,15 m

– fers verticaux 26 Ø 8 1 tous les 0,18 m

Terrains durs (grès)

* puits entièrement busés – buses épaisseur de 0,10 m

3 - 3 - 2 – Matériaux des puits de Ø 2,50 m par mètre de puits

a) Calcul des puits d'exploitation des forages

Cuvelage (paroi en béton épaisseur 0,10 mètres hors d'eau)

* diamètre intérieur utile : Ø 2,50 m

* diamètre extérieur : Ø 2,70 m minimum

* béton banché section : 0,817 m³ au m/l

- * ciment 250/315 dosage à 300 kg/m³ = 245 kg/m/l
- * sables 2 à 5 mm : 326 litres au ml
- * gravier 5 – 15 : 654 litres au ml

Cuvelage sous le niveau statique de la nappe (épaisseur 0,15 m)

- * béton banché dosé à 350 kg : 1,249 m³/ml
- * ciment 250/315 – 437 kg au mètre de puits
- * armatures :
 - fers horizontaux : 1Ø6mm tous les 0,15 m
 - fers verticaux : 45 Ø 8 mm
- * poids d'acier au mètre : 35 kg au m/l
- * section armature tendue : 22,5 cm²
- * R traction métal : 31 tonnes (glissement)
- * poids du béton 3 tonnes/mètre – épaisseur 0,15 m

Calcul du cuvelage immergé Ø = 2,50 m

- * hauteur d'eau maximale dans les puits : exemple 12 mètres
- * contrainte extérieure due à la poussée des terrains immergés

$$Q = A \Delta \frac{h^2}{2} \quad A = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \text{ sans surcharge}$$

$$\Delta = 1900 \text{ kg/m}^3 \quad \varphi = 30^\circ \text{ (marnes) } \operatorname{tg}^2 = \frac{1}{3} = 0,33$$

$$Q = 0,33 \times 1900 \times 72 = 45 \text{ tonnes/mètre de cuvelage}$$

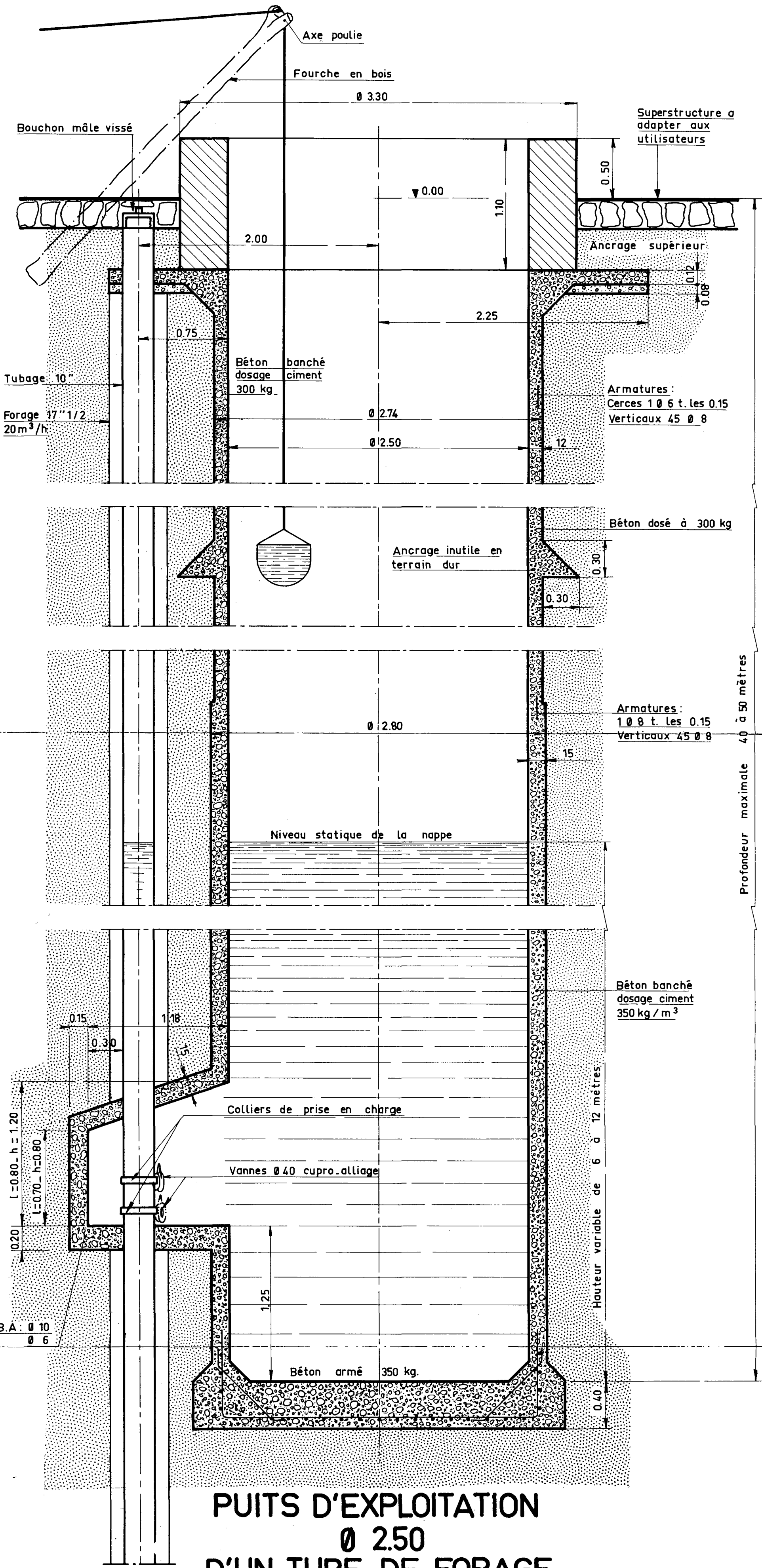
- * section de béton : (é = 0,15 m) = 1500 cm²/mètre
- * T_b, admissible en compression simple : 57 kg/cm² (300 kg)
- * résistance du béton du cuvelage en compression
 - R = 1500 X 57,0 = 85 tonnes/mètres
- * contrainte du béton du cuvelage puits vide
 - 45 000/1500 = 30 kg/cm² maximale
- * contrainte intérieure du béton dûe à la charge de l'eau
 - F = 1200 X 12 X 1,25 = 18 tonnes/mètres
- * contrainte de traction du béton sous la charge intérieure
 - 18 000/15 X 100 = 12 kg/cm²
- * section théorique des cerces horizontaux (traction)
 - 18 000/14 kg/mm² = 1285 mm²
- * cercles horizontaux 1 Ø 8 tous les 0,15 m suffisants
- * pour éviter les poinçonnements le quadrillage des armatures sera au maximum de 15 cm X 15 cm
- * il est nécessaire de respecter la section de béton de 0,15 m

Buses des puits Ø 2,50 m

- * diamètre intérieur : 2,00m

PUITS Ø 2,50

FORAGE 20m³/h



PUITS D'EXPLOITATION Ø 2.50 D'UN TUBE DE FORAGE

SYSTEME J. ROURE

Echelle : 1 / 25

* diamètre extérieur	: 2,20 m
* hauteur des buses	: 0,60 m $V = 0,396 \text{ m}^3$
* poids 1 buse	: 990 kilos
* armatures	: 5 \emptyset 8 mm horizontaux par buse : 42 \emptyset 8 mm verticaux

b) Génie civil des puits d'exploitation des forages

Les éclatements de cuvelage par la pression extérieure des terrains sont surtout à craindre quand il s'agit de formations lithologiques qui foisonnent au contact de l'eau. C'est le cas des marnes.

Au niger, au Nord de Tahoua, dans la vallée du Tadiss à ENDEMBOUTEN, le cuvelage d'un puits de 2,50 m de diamètre utile adjacent à un forage éclata en Juillet 1952, trois semaines après sa mise en eau sous la pression extérieure de marnes encaissantes.

Ces marnes absolument sèches avaient été extraites aux explosifs au moment du fonçage. L'erreur commise avait été de creuser le puits à une profondeur de 45 m avant l'exécution du forage dans lequel le niveau statique s'établit en définitive à 22 m du sol. La hauteur d'eau de 23 m était trop importante et le cuvelage n'avait pas été doublé par une colonne de buses. Dans ce cas la pression différentielle sur le béton a été de :

$$166 - 35 = 131 \text{ T/m}$$

soit, une contrainte de compression différentielle du béton de $87 \text{ kg/cm}^2 > 57 \text{ kg/cm}^2$ (béton à 300 kg).

Le cuvelage éclata d'un seul coup sur toute la hauteur immergée. Les marnes avaient été mises en contact de l'eau d'autant plus qu'une galerie emplie de gravier de 4 m de long au fond du puits donnait accès au tubage du forage.

Des enseignements de génie civil furent tirés de cet échec.

Les puits sur forage de 1,80 m utile construits dans le cercle de Gao au Mali, conformément aux dispositions des plans ci-joints, ont parfaitement tenu et furent très activement exploités par les pasteurs avec leurs moyens traditionnels d'exhaure.

Les buses intérieures procurent une sécurité complémentaire mais en terrain dur, non marneux, elles peuvent être supprimées et le tube guide de commande de vanne fixé, par collier.

3 - 3 - 3 – Matériaux des puits de 1,40 m de diamètre utile

Cuvelage paroi en béton d'une épaisseur de 0,10 m
(en terrains durs : grès durs, calcaires, calcaires marneux, schistes, l'épaisseur peut être réduite à 0,09 m).

- * béton banché section : $2,0106 - 1,5393 = 0,4713 \text{ m}^3/\text{ml}$ ($\epsilon = 0,10 \text{ m}$)
- * ciment 250/315 dosage 300 kg/m^3 : 141 kg/ml
- * dosage 318 kg/m^3 pour 150 kg de ciment au m
- * sables 2 à 5 mm 400 l X 0,4713 = 188 l au m
- * gravier 5 / 15 800 l X 0,4713 = 377 l au m

* armatures :

- fers horizontaux de répartition 1 Ø 6 mm tous les 0,15 m
- fers verticaux (traction) 26 Ø 8 mm tous les 0,18 m

* poids d'acier au mètre de puits : 21 kg au mètre

* poids d'acier chutes 5 % : 22 kg au mètre

* section armature tendue $A = 26 \times 0,5 = 13 \text{ cm}^2$

$$G_a \times D = 1400 \text{ kgF/cm}^2 \times 13 \text{ cm}^2 = 18000 \text{ kgF}$$

$$R \text{ traction métal} = 18 \text{ tonnes}$$

* poids au mètre du coulage : 1170 kg/mètre

* contrainte admissible du béton en traction : 5,1 kg/cm²

* $C_b = 4713 \times 5,1 = 24 \text{ tonnes}$

* un ancrage tous les 18/1, 17 = 15 mètres

(en pratique un ancrage tous les 8 ou 10 mètres)

Buses de fond

* diamètre intérieur : 1,04 m

* diamètre extérieur : 1,20 m

* hauteur des buses : 1,00 mètre, volume : 0,2815 m³

* dosage 400 kg ciment 250/315 à prise lente

* poids ciment : 112 kg par buse

* fers horizontaux : 7 Ø 6 mm – tous les 0,15 m

* fers verticaux : 22 Ø 8 mm – 1 tous les 0,15 m

Terrains durs

* puits entièrement busés – épaisseur des buses : 0,10 m

3-3-4 – Puits busés Ø intérieur : 1,80 m – 1,40 m – 1,20 m.

Les puits entièrement busés avec pénétration de buses perforées de même diamètre dans la nappe peuvent être construits en hydraulique pastorale en terrains suffisamment solides, notamment dans les grès et les calcaires.

a) Caractéristiques de ces ouvrages :

Puits Ø 1,80 m de diamètre utile

– diamètre intérieur : Ø 1,80 m

– diamètre extérieur : Ø 2,00 m

– diamètre à creuser : Ø 2,20 m

– hauteur de la buse dosée à 400 kg : 1,00 m

– poids de la buse : 1.490 kg = 1 500 kg

Puits Ø 1,40 m de diamètre utile

– diamètre intérieur : 1,40 m

– diamètre extérieur : 1,60 m

– diamètre à creuser : 1,60 m

– hauteur de la buse : 1,00 m

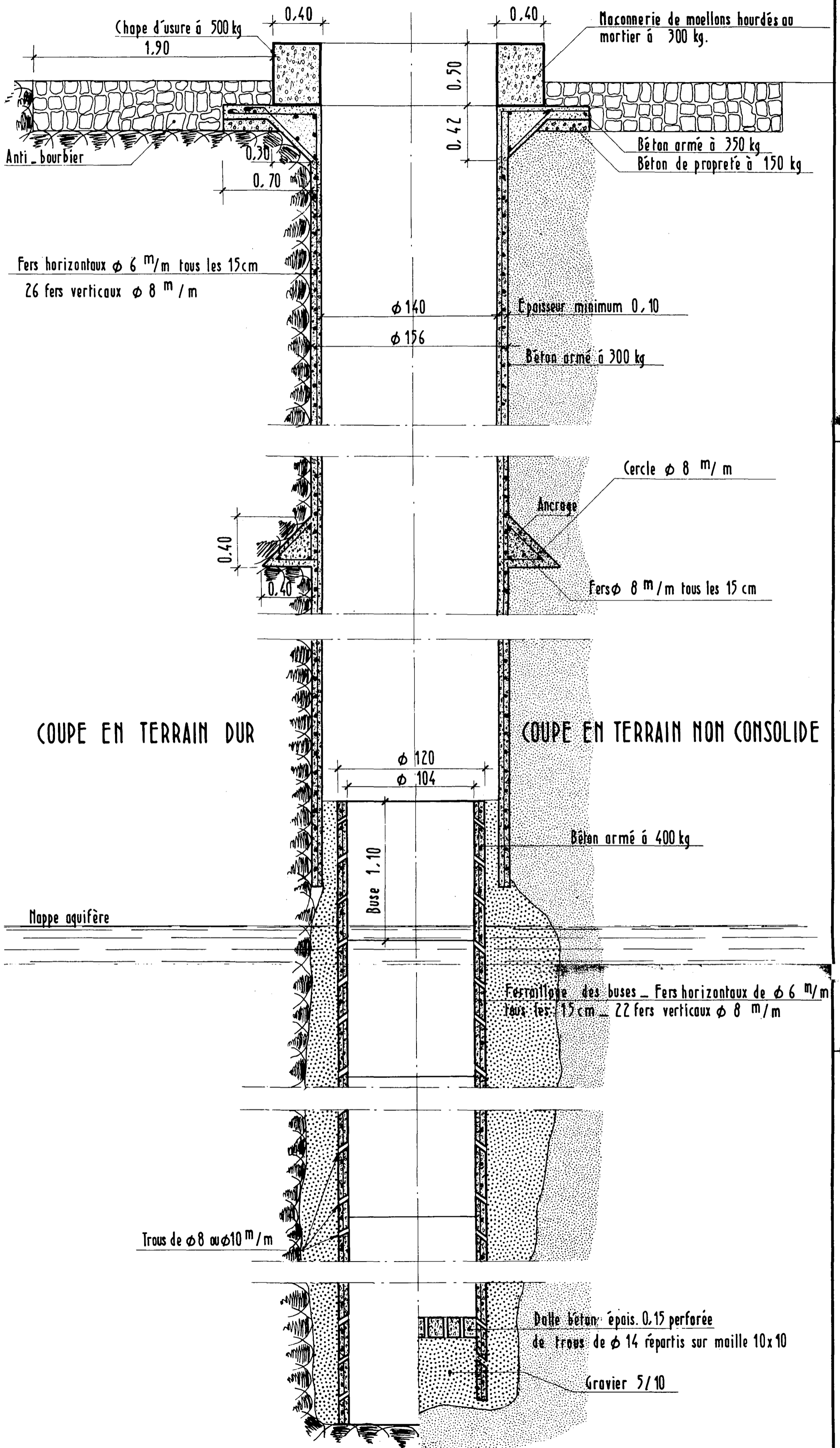
– poids de la buse : 1 178 kg = 1 200 kg

PUITS Ø 1,40

Profondeur - 60 m. env.

Superstructure simplifiée

Ech: 1/25



Puits Ø 1,20 m de diamètre utile

– diamètre intérieur	: 1,20 m
– diamètre extérieur	: 1,40 m
– diamètre à creuser	: 1,60 m
– hauteur de la buse	: 1,00 m
– poids de la buse	: 1 030 kg

Une campagne de puits busés de Ø intérieur 1,20 m fut exécutée au Macina (Mali) en 1958 dans des grès argileux du moyen Niger. Les puits furent fonçés sans cuvelage jusqu'à des profondeurs de 32 - 35 mètres. Les travaux furent achevés sans incident, mais il s'agit là de profondeurs limites dans des formations peu consistantes et humides

b) Avantages :

Les buses vibrées offrent des cuvelage parfaitement homogènes et résistants. L'entretien de ces puits, s'ils sont bien exécutés, est nul.

c) Inconvénients :

L'emploi de cette technique exige des moyens puissants, notamment en pompage : utilisation de pompes à air comprimé et de treuils mécaniques.

Il est absolument indispensable d'obtenir aux essais des débits deux ou trois fois supérieurs au débit maximal d'exploitation pour éviter un affouillement et le chavirement dans la nappe des buses filtrantes. Les reprises sont difficiles.

Il faut mettre en place un massif filtrant et une dalle perforée au fond du puits.

Le fonçage non suivi de cuvelage présente toujours des risques en terrain peu consolidé, surtout à partir d'un diamètre supérieur à 1,60 m au fonçage.

Des dispositions seront prises pour désolidariser la margelle de la colonne de buses. Par ailleurs, le bourrage de l'espace annulaire entre le terrain et la paroi extérieure des buses s'effectuera au moyen d'une argile tassée à la main et non de sable. La pénétration dans la nappe sera toujours maximale par havage à l'intérieur des buses perforées.

3-3-5 – Puits Ø 1,80 m de diamètre par havage

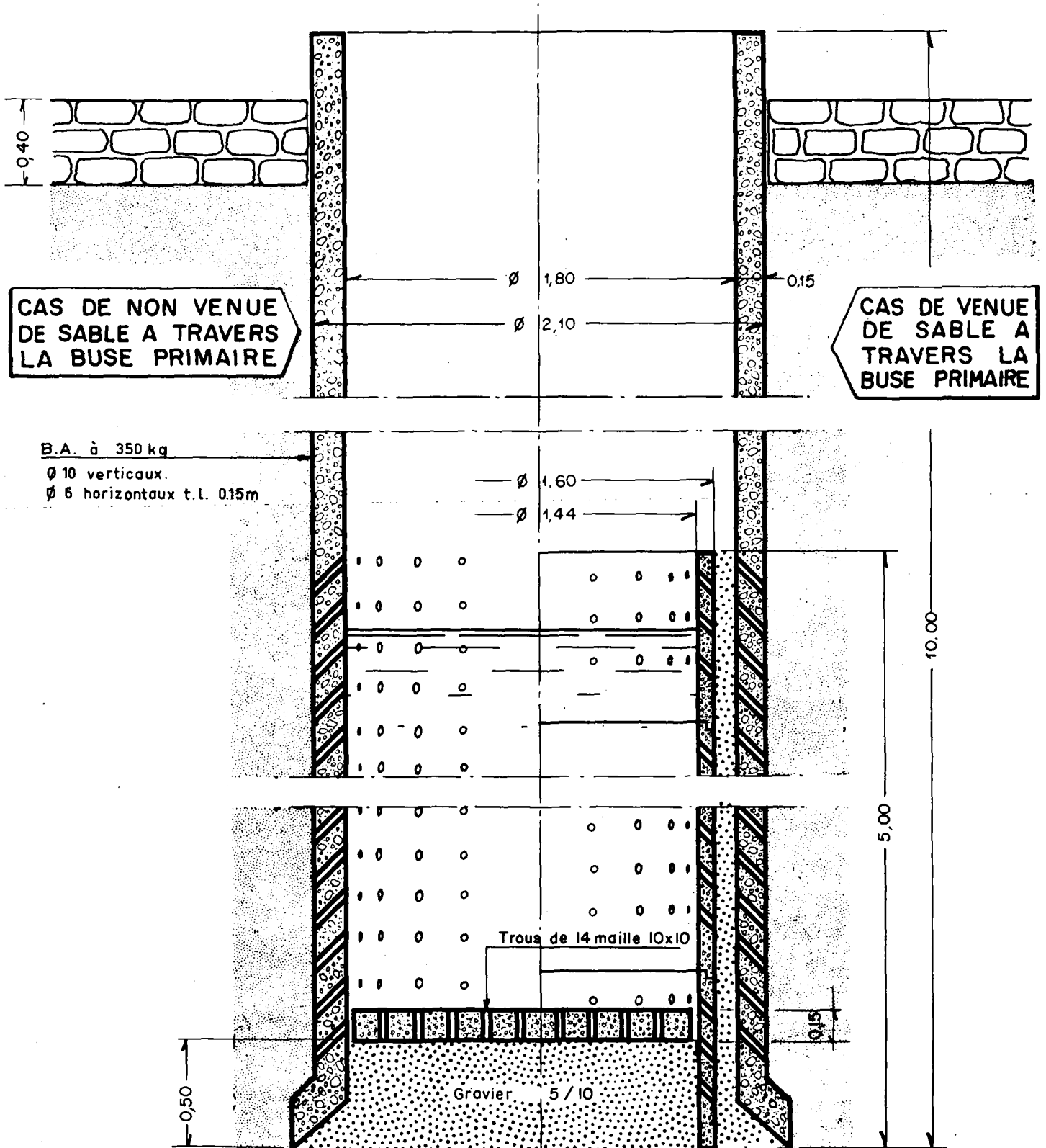
Dans les terrains alluvionnaires sableux, argilo-sableux peu consistants et dans le cas où la nappe phréatique se situe à moins de 5 mètres de la surface du sol, la technique la plus rationnelle consiste à creuser des puits par havage dont le cuvelage sera en béton banché dosé à 350 kg de ciment.

Cuvelage

– diamètre intérieur	: Ø 1,80 m
– diamètre extérieur	: Ø 2,10 m
– épaisseur	: 0,15 m
– volume béton	: 0,918 m ³ au m de puits
– armatures :	
– cerces horizontaux	: 1 Ø 8 tous les 0,15 m
– fers verticaux	: 38 Ø 10 tous les 0,15 m

PUITS Ø 1,80

PAR HAVAGE



- les cinq premiers mètres de buses seront perforés.
- la première buse comportera un sabot en forme de trousse coupante fortement ferrillée.
- on utilise une benne preneuse hémisphérique type BENOTO pour le fonçage dans la nappe. Afin d'éviter de fortes venues de sable derrière le massif filtrant il est préférable d'effectuer le fonçage dans la nappe sans pompage d'eau, par conséquent à niveau constant.

En terrain dur non fluent un compresseur et une pompe à air comprimé pourront être utilisés pour permettre un travail manuel et mesurer le débit.

Buses de fond

En cas de venues importantes de sables fins au travers de la buse perforée primaire on met en place une colonne de buses perforées ou de buses crépinées (éléments de crépines en métal inoxydable pente 1 mm 15 X 15 cm).

- diamètre extérieur : 1,60 m
- diamètre intérieur : 1,44 m
- et un filtre de granulométrie échelonnée et correspondant à la dimension des sables.
- gravier 2 – 5 au fond du puits et dalle perforée ou 1 m de gravier en remplacement de la dalle.
- débit d'essai : 2 fois le débit d'utilisation.
- margelle désolidarisée de la colonne mobile.

Ces puits sont généralement d'une exécution délicate. En raison même de l'hétérogénéité des terrains aquifères, il est difficile de s'assurer d'une descente parfaitement verticale de la colonne. Ces puits achevés fournissent généralement des débits importants.

3-3-6 – Développement et dispositifs de captage

Les développements des puits dans la nappe et la mise en place d'un dispositif de percolation évitant la pénétration du sable à l'intérieur de l'ouvrage constituent les travaux les plus délicats de construction de puits.

La pénétration dans la nappe sur une profondeur suffisante et l'obtention d'un débit minimum de 4 à 5 m³/heure impliquent l'utilisation d'un matériel de levage motorisé (cuffats de 300 à 400 litres ou pompes à air comprimé).

a) Massif filtrant à l'extérieur des buses

C'est un procédé généralement utilisé pour faciliter la descente de la colonne de buses perforées; les graviers ne seront placés qu'après avoir obtenu le débit désiré. Le gravier récupéré au fond de l'ouvrage est retamisé et réemployé.

b) Massif filtrant à l'intérieur des buses

Ce procédé nécessite un espace annulaire aménagé à l'intérieur d'une buse.

Viroles métalliques

La buse peut être constituée par deux viroles concentriques en forte tôle de 3 à 4 mm d'épaisseur. Ces viroles sont entretoisées par des tubes 20/27 disposés suivant des plans horizontaux, et à l'intérieur desquels sont posés des boulons de serrage à tête ronde. Les viroles au même titre que les tubes crépinés des forages portent des fenêtres de 1 à 3 mm de large disposées suivant des génératrices espacées de 5 centimètres. L'espace annulaire de 0,20 m de large (longueur des tubes 20/27) est rempli de gravier 2 – 5 et 5 – 15 ou de dimensions appropriées. La première buse crépinée immergée de 1 mètre environ de la hauteur est conçue en trousse coupante. Les buses sont solidarées entre elles par des cornières circulaires et des boulons.

Buses creuses en béton armé

Au Tchad un important programme de puits fut réalisé avec des buses filtrantes en béton armé constituées par des éléments préfabriqués, creux, puis remplis de gravier calibré. Les buses étaient édifiées en surfaces par assemblage d'éléments superposés sur une hauteur de 1,50 m environ puis immergées. L'eau percolait à travers les joints des éléments horizontaux puis à travers le filtre de gravier. (schéma page 76).

En fait, l'épaisseur de la couche de gravier de 5 centimètres aurait été insuffisante pour une exploitation du puits par pompage. La colonne, robuste, de réalisation simple, évite la pénétration des sables dans les puits exploités avec des procédés traditionnels et procure une économie de gravier.

Ce dispositif pourrait être amélioré par la mise en place d'un massif de gravier à l'extérieur des buses filtrantes.

c) Buses perforées et buses crépinées

Au Niger, l'OFEDS a pratiquement résolu le problème de captage dans les puits de \varnothing 1,40 ou 1,80 m de diamètre utile par des buses pleines en béton perforées ou crépinées.

Ces buses de 1,00 m de haut ne comportent pas de moulures d'emboîtement (voir planche n° 1) mais sont rendues solidaires les unes des autres par 3 boulons de 14 mm. Trois étriers de fer de 6 mm sont noyés dans le béton des buses suivant une génératrice. Aux extrémités de ces étriers sont soudées des plaquettes en acier sur lesquelles sont fixées les boulons ou qui sont percées pour les recevoir. (deux des 3 boulons apparaissent sur la trousse coupante non décaffrée de la première photo).

Les buses peuvent comporter :

- soit des trous perforés inclinés à 45° – \varnothing 8 mm (420 trous pour une buse \varnothing 1,80 m)
- soit des plaquettes de crépines inoxydables de dimension 15 X 15 cm de côté – (fentes de 1 mm mises à raison de 2 par faces extérieures). Ces plaques de crépines sont fixées au coulage dans des buses captant des sables très fins. Elles sont onéreuses mais efficaces :

– buses pour puits \varnothing 1,80 m

- diamètre intérieur : 1,40 m
- diamètre extérieur : 1,60 aux 6 arêtes : 1,70 m
surépaisseur de 0,05 sur arc de 20°

(les trous cylindriques servent au passage d'aciers verticaux, solidarissant plusieurs buses puis noyés dans un coulis de ciment).

– buses pour puits \varnothing 1,40 m

- diamètre intérieur : 1,00 m
- diamètre extérieur : 1,20 m – \varnothing 1,30 extérieur aux 6 arêtes.

Les moules intérieurs des buses des puits 1,80 : \varnothing 1,40 peuvent servir de moules de coffrages des puits \varnothing 1,40 m

Les autres caractéristiques de construction sont les suivantes :

- * ferrailage : treillis de fils soudés 5,5 mm – maille de 15 X 15 cm
cette armature légère se révèle suffisante.

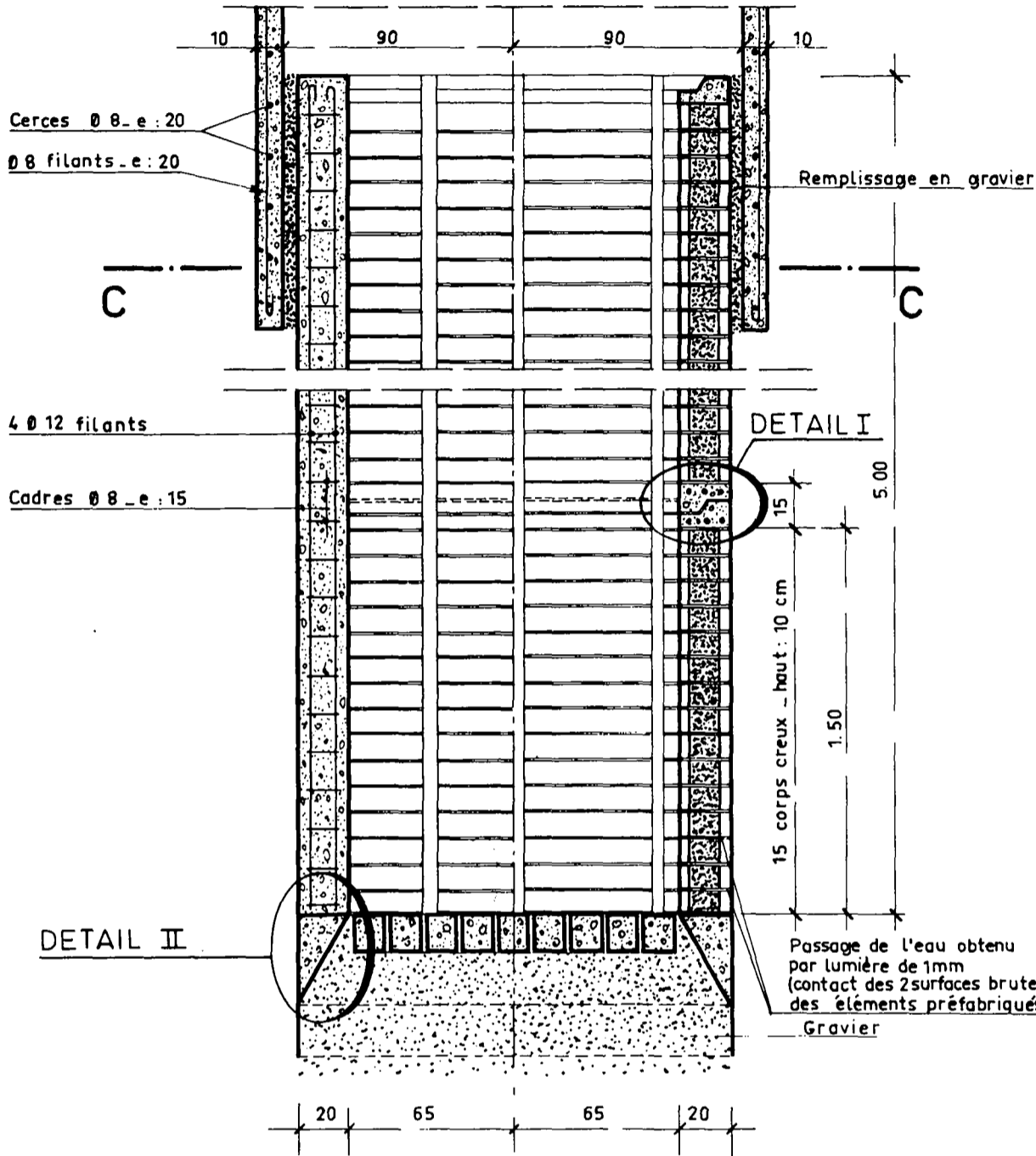
DISPOSITIF

DE CAPTAGE

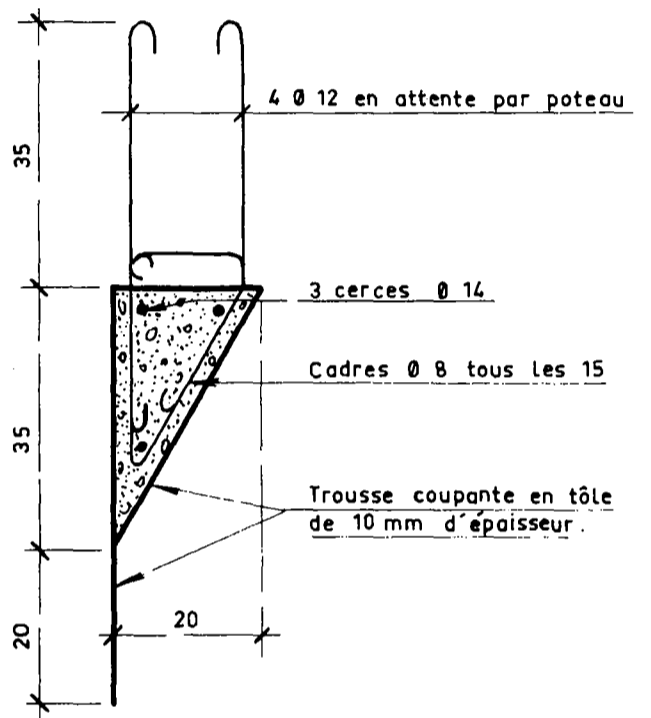
Echelle : 1 / 25

1/2 COUPE A - A

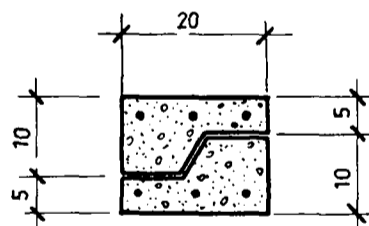
1/2 COUPE B - B



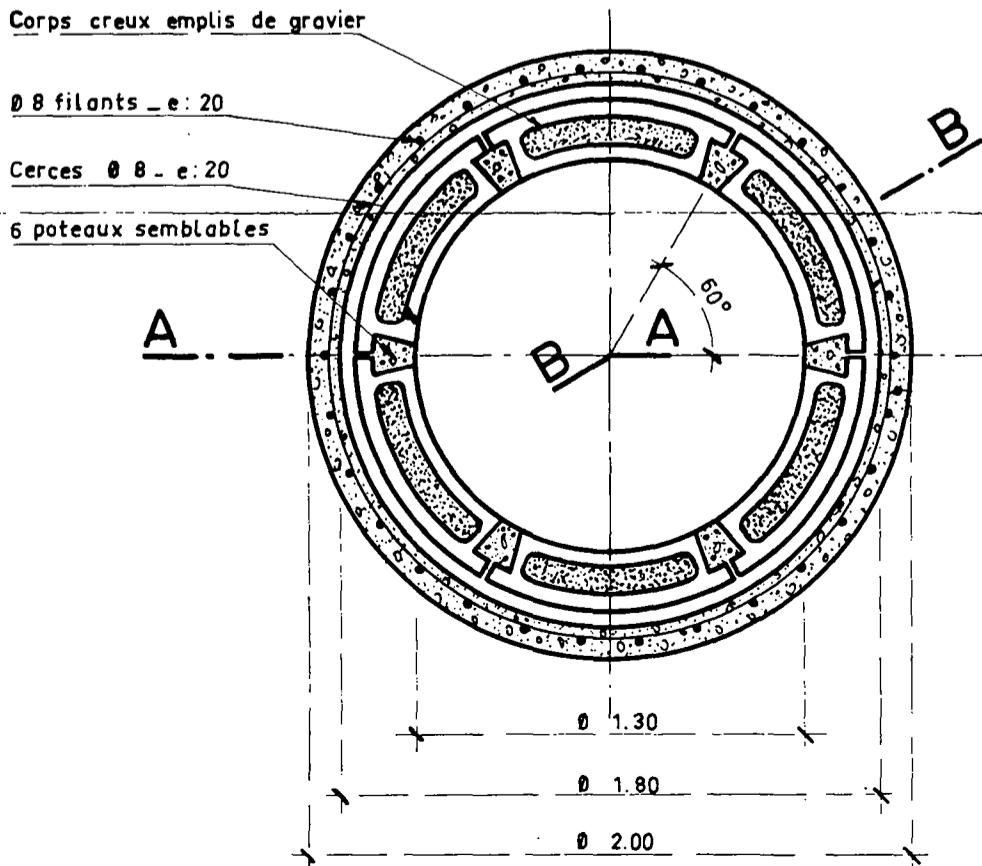
DETAIL II - Ech : 1 / 10



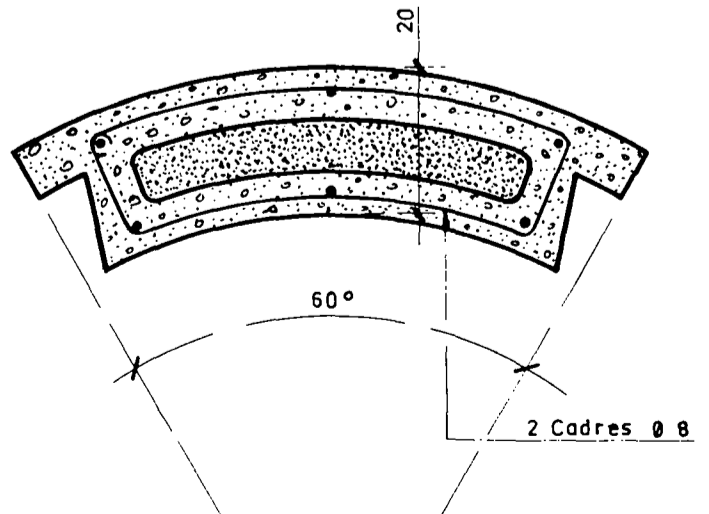
DETAIL I - Ech : 1 / 10



PLAN COUPE C.C



DETAIL D'UN ELEMENT



- * bétons dosés à 400 ou 450 kg.
sables 1 – 3 mm – graviers 4 – 10 mm
- * graviers à l'extérieur des buses – épaisseur minimale : 5 à 10 cm
graviers 1 à 3 mm de diamètre – graviers de 3 à 10 mm en terrains durs.

3-3-7 – Superstructures des puits en béton armé

Les superstructures sont conçues différemment suivant la destination de l'ouvrage à l'usage des ruraux ou à l'usage des pasteurs.

a) Puits ruraux Ø nominal 1,40 – 1,80 – 2,50 mètres.

Ce sont les femmes et les enfants qui tirent l'eau du puits pour l'utilisation familiale ou l'abreuvement des troupeaux.

Une plateforme en béton, surélevée, jouera le rôle d'anti-bourbier, permettra le remplissage des récipients et l'eau de chute sera récupérée dans les abreuvoirs attenants à la plateforme.

b) Puits pastoraux Ø nominal 1,80 – 2,50 mètres

Les puits coûtent cher ; en règle générale les superstructures sont négligées bien qu'elles ne représentent qu'un huitième ou un dixième du prix d'un ouvrage de 50 à 60 mètres.

Ces superstructures consistent un facteur favorable à une amélioration des volumes journaliers extraits et peuvent améliorer relativement la qualité de l'eau pour l'alimentation humaine, aspect qui ne doit pas être négligé.

Les superstructures pastorales viseront à :

- * permettre une installation aisée des fourches en bois
- * éviter les pertes de temps de manutention manuelle en surface
- * éviter les pertes d'eau en surface et le gaspillage
- * tenir les animaux éloignés de l'orifice du puits
- * permettre un remplissage direct des récipients d'eau de boisson.

Les superstructures pastorales que nous proposons semblent répondre à ces divers critères.

En zone nomade, avec moyens d'exhaure par traction animale, on ne peut éviter la formation d'un tumulus à l'orifice de l'ouvrage, tumulus qui peut s'élever pour se stabiliser vers une hauteur de 4 mètres au-dessus de la cote d'origine du sol. Il devient alors nécessaire d'élever mètre par mètre la margelle et le bâti et prévoir exclusivement des abreuvoirs circulaires mobiles que l'on élèvera avec le tumulus.

3 - 4 – Débits des puits exploités par les moyens traditionnels

L'exhaure dans les puits pastoraux s'effectue au moyen d'une corde et d'un dellou en cuir de 30 à 60 l de capacité. La traction, par l'intermédiaire d'une fourche et poulie est assurée par un boeuf porteur ou un chameau.

La vitesse de l'animal, au travail, est de 3 km/h, soit 0,84 m/sec.

- * temps de traction d'un puits de 80 m : 95 '' = 1 minute 35 ''
- * temps de traction d'un puits de 40 m : 47 ''

Le cycle complet de remplissage, d'extraction et d'abreuvement avec un dellou comporte :

– Puits de 80 mètres

* temps de remontée	:	1' 35''
* temps de manutention en surface:	:	3'
* temps de descente du dellou	:	1' 30''
* temps de remplissage	:	1'

7' 05'' soit 8'

DUPIRE M. note qu'au puits d'EKISMANE au Niger profond de 82 mètres un cycle de puisage et d'abreuvement dure en moyenne 11 minutes dont 4' pour la traction et 7 de temps mort.

– Puits de 40 mètres

* temps de remontée	:	50''
* temps de manutention en surface:	:	3'
* temps de descente du dellou	:	30''
* temps de remplissage	:	1'

5' 20'' soit 6'

On observe que les temps de traction ne sont pas les plus importants et qu'il est nécessaire pour augmenter la cadence de puisage et les débits de disposer d'abreuvoirs et diminuer les temps morts.

– Débit d'un puits de \varnothing 1,80, profondeur 80 mètres, dellous de 50 litres

- * avec une fourche : $7,50 \times 50 = 375$ l/heure
- * avec 5 fourches 1875 l/heure, avec 6 fourches 2250 l/heure
- * sur 15 heures/jour 6 fourches = 33 m³/jour
- * sur 20 heures/jour avec 5 fourches = 37 m³/jour/40 m³/jour maximum

– Débit d'un puits \varnothing 1,80, profondeur 40 mètres, dellous de 50 litres

- * avec 1 fourche : $10 \times 50 = 500$ l/heure
- * avec 5 fourches 2500 l/heure avec 6 fourches 3400 l/heure
- * sur 20 heures/jour en pointe avec 5 fourches = 50 m³/jour

On tire de ces chiffres les débits minimum des puits utilisés avec les moyens traditionnels :

Puits de 80 m	2250 l/h X 1,5	=	3300 l/h = 4 m ³ /h
Puits de 40 m	3000 l/h X 1,5	=	4500 l/h = 5 m ³ /h

En définitive, en exhaure traditionnelle, les puits seront réceptionnés au débit de 5 m³/h, ce qui correspond à un système de captage peu élaboré.

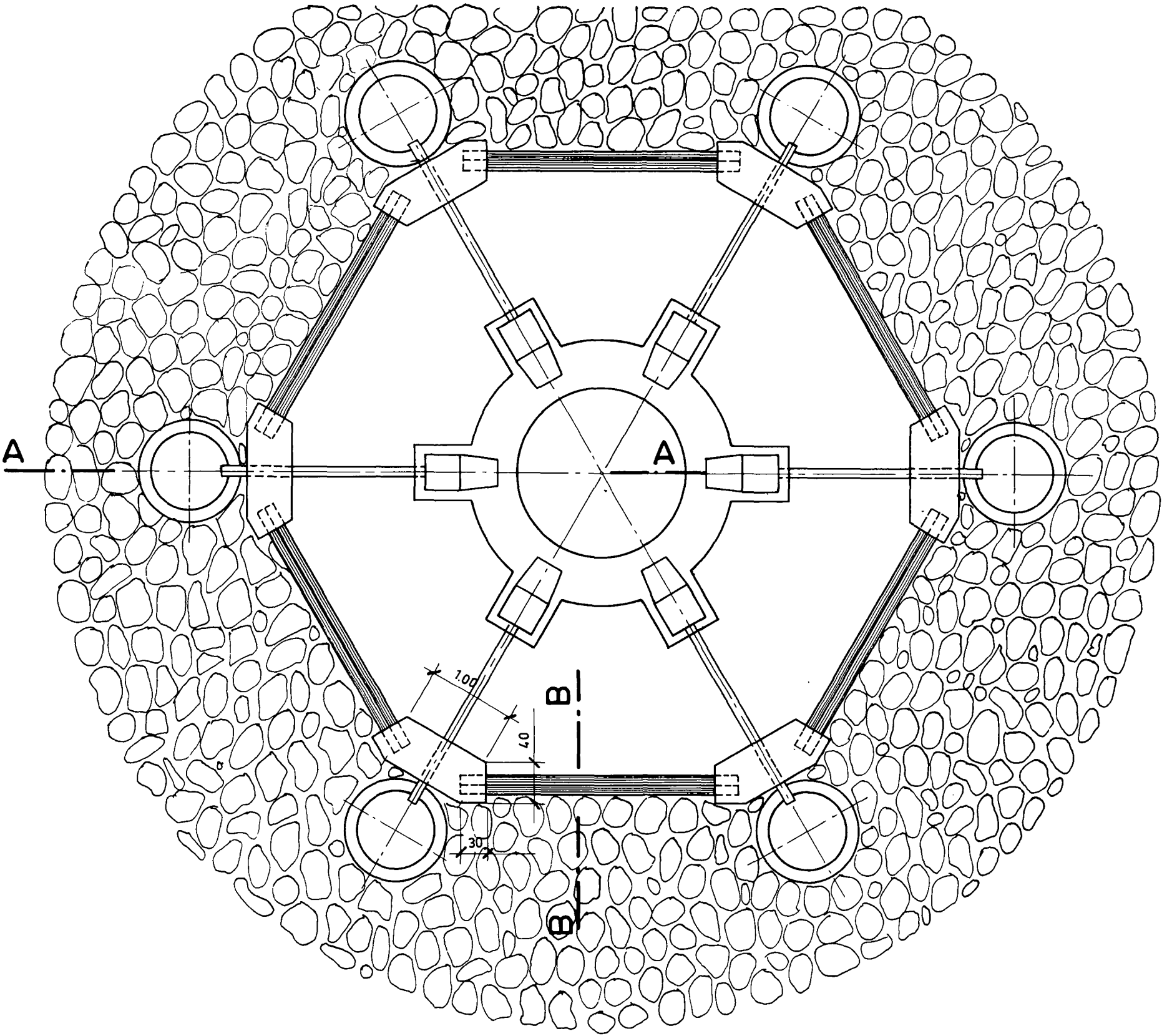
3 – 5 – Coûts des puits \varnothing 1,40 et \varnothing 1,80 de diamètre utile

SUPERSTRUCTURE

Echelles : 1/50 - 1/20

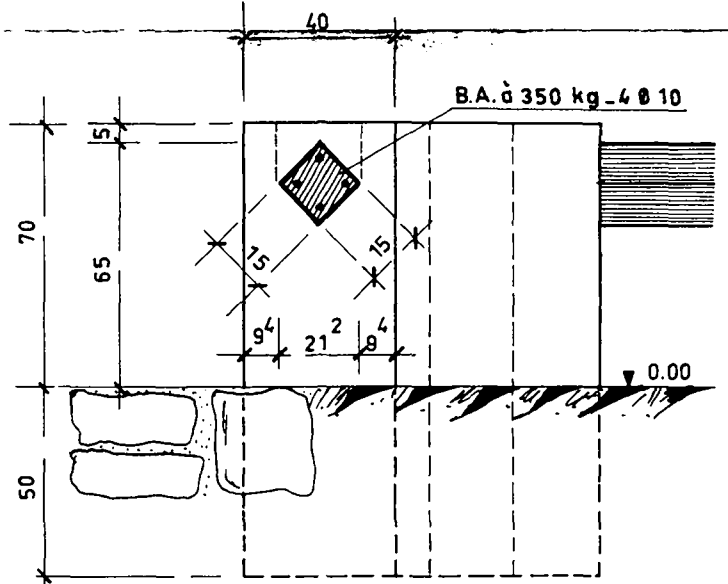
PASTORALE

PLAN

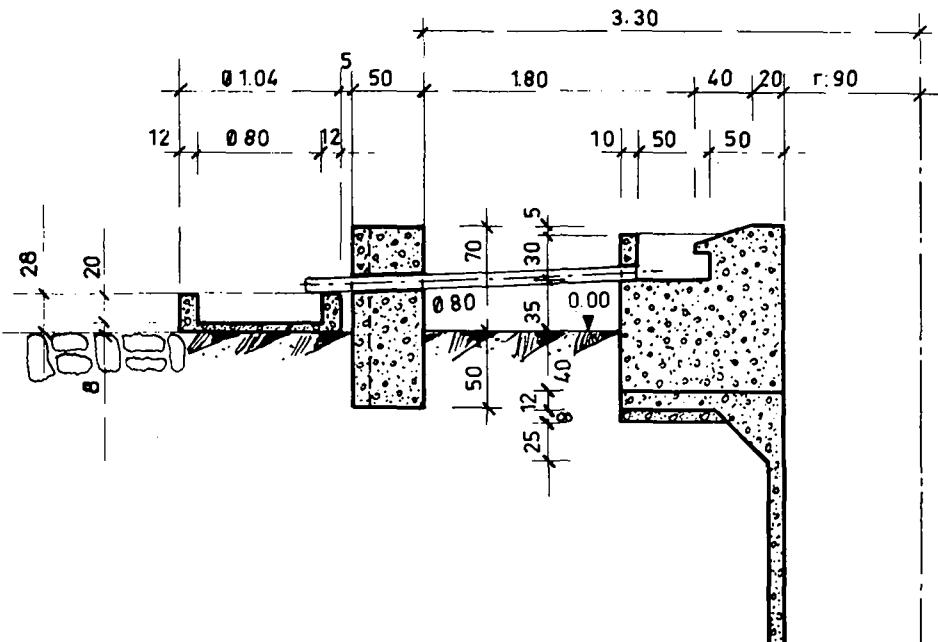


COUPE B.B

Ech : 1/20



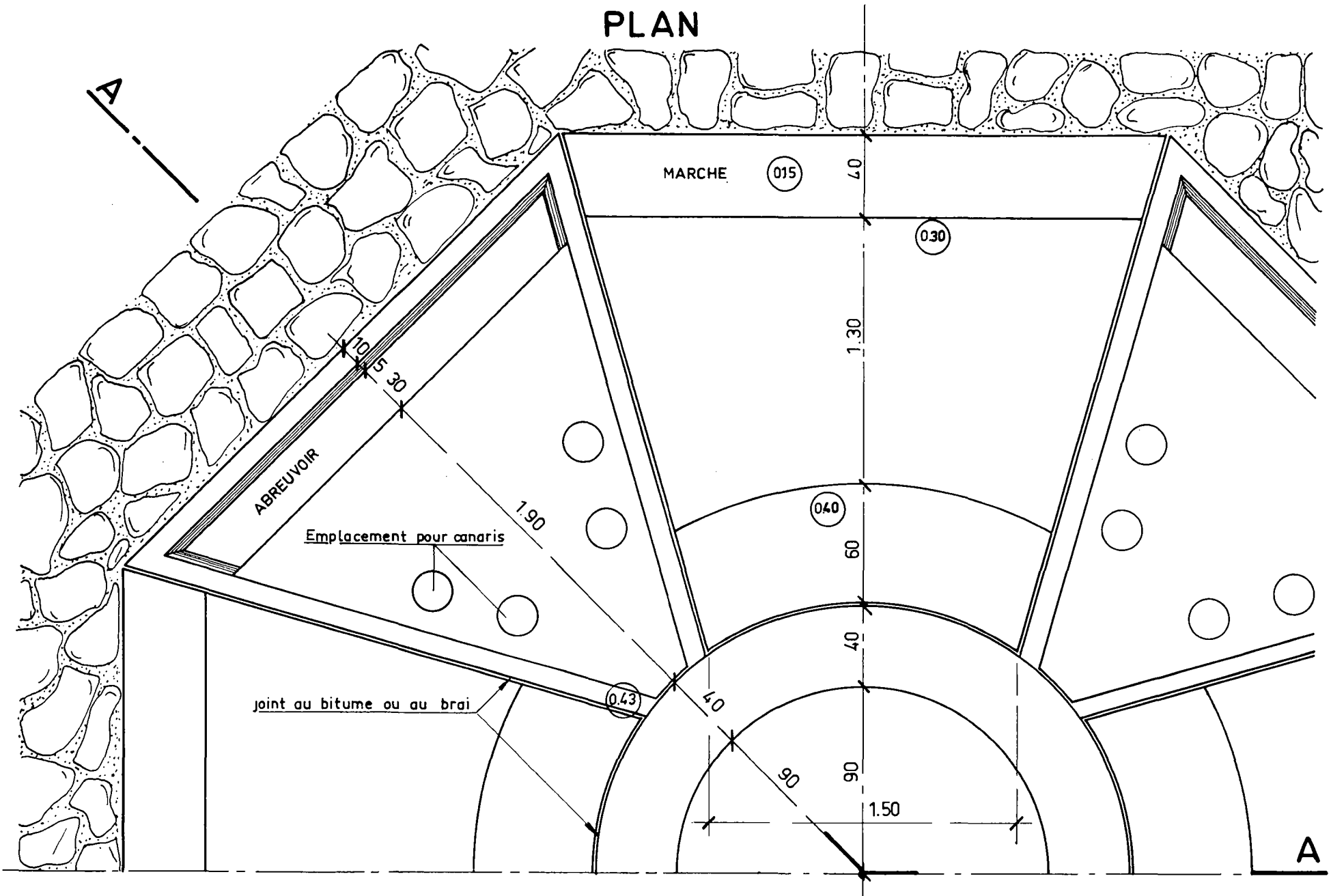
COUPE A.A



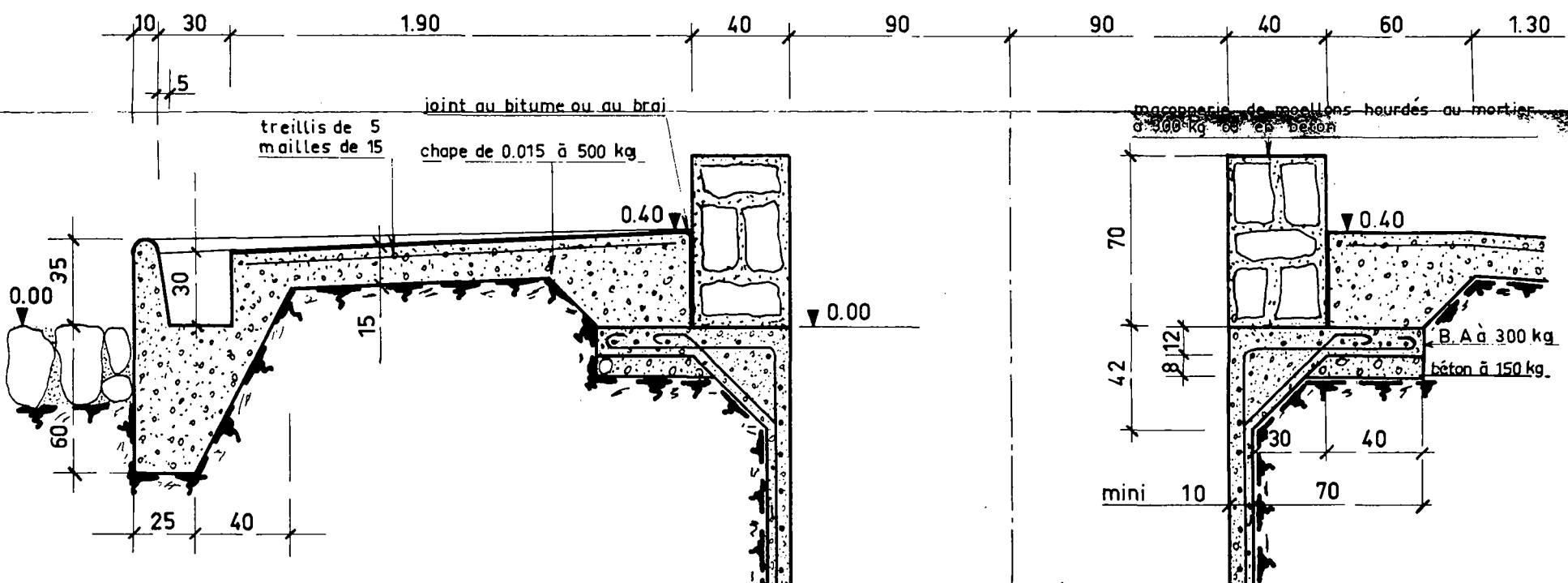
PUITS' DE S'IDENTAIRES

Echelle : 1 / 25

PLAN



COUPE A - A

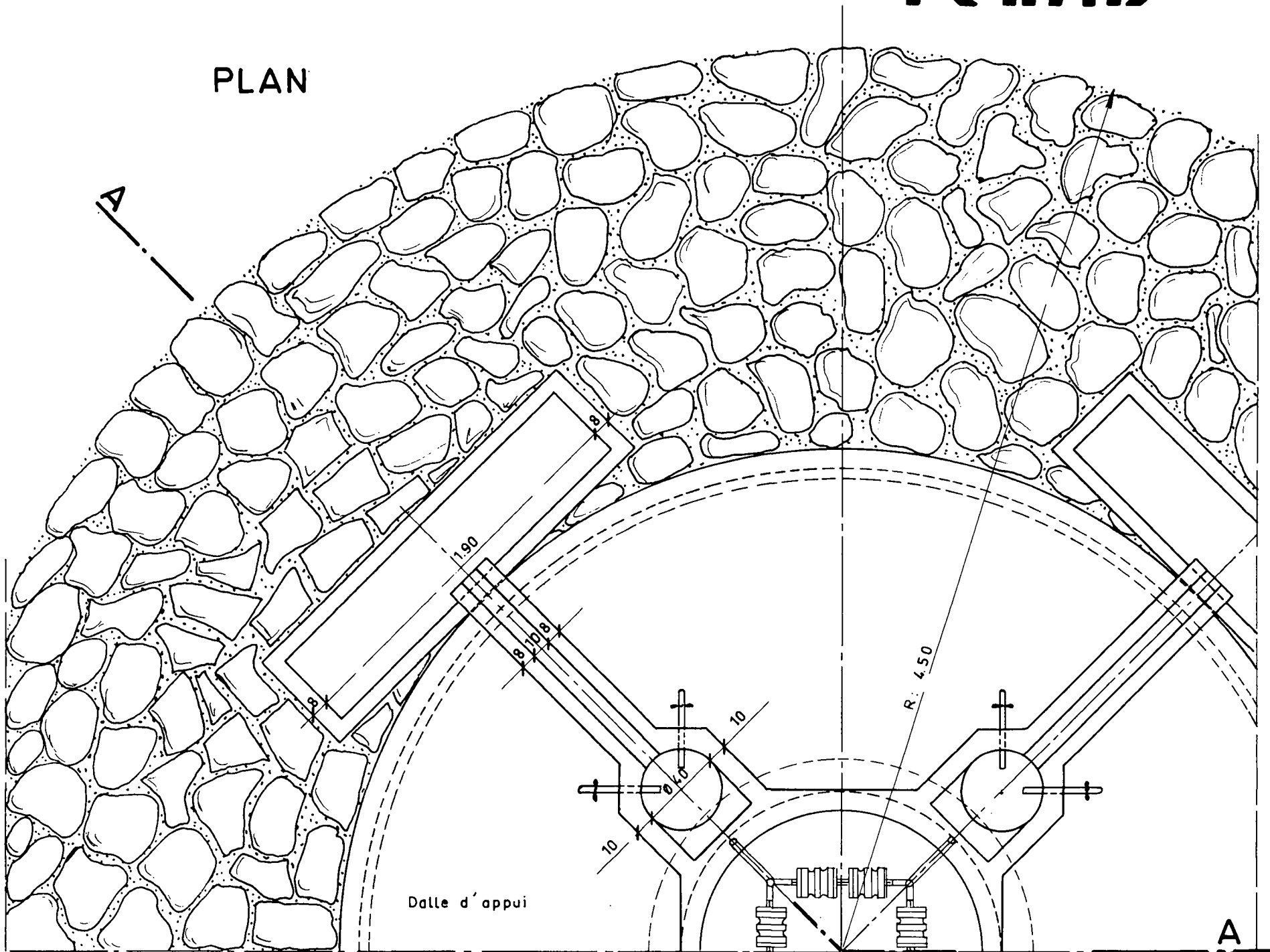


SUPERS'STRUCTURES

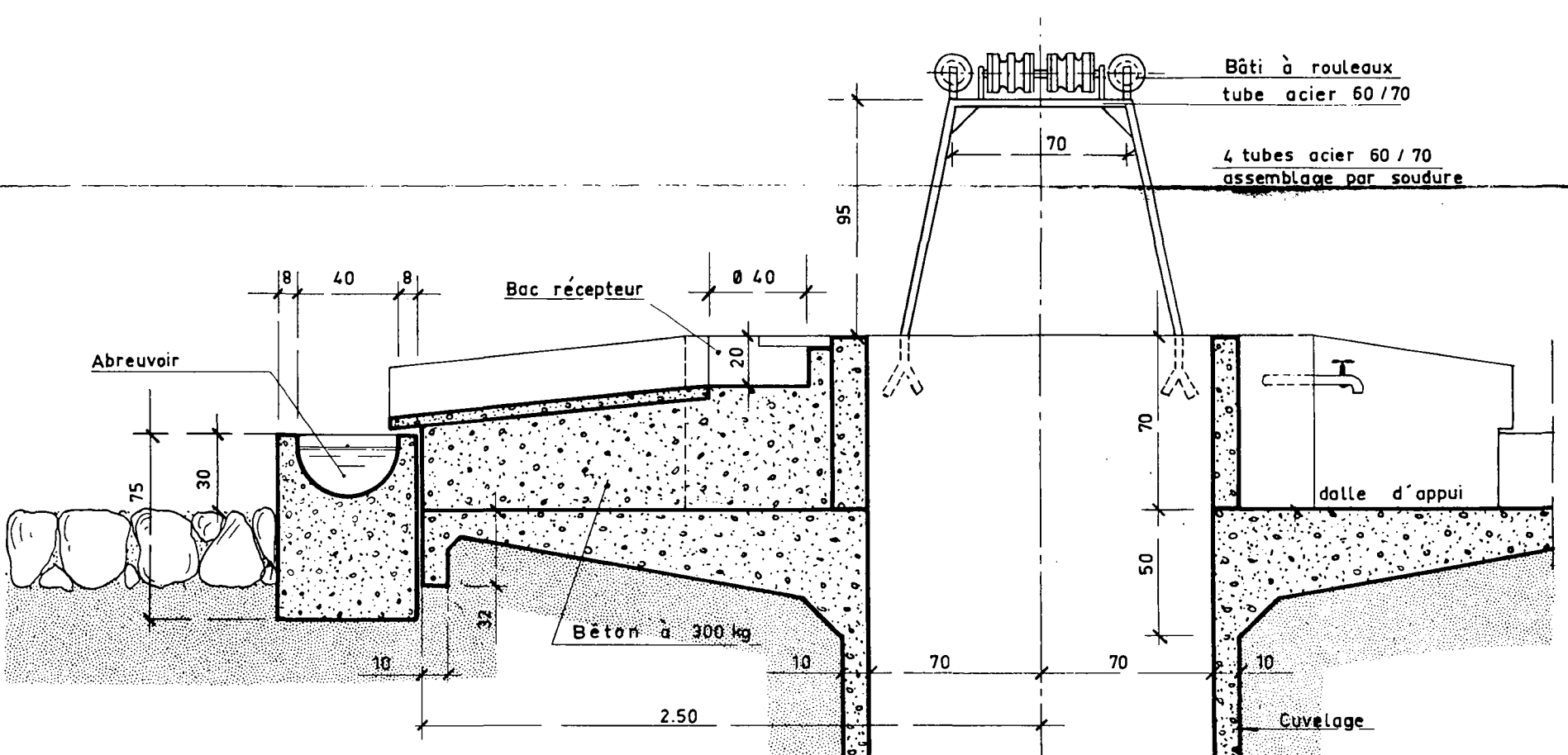
Echelle : 1 / 25

TCHAD

PLAN



COUPE A - A



Les coûts des puits en béton armé peuvent varier dans une proportion de 30 à 80 % suivant qu'ils sont exécutés par des entreprises, des équipes du Service de l'Hydraulique ou au titre d'un investissement humain.

La continuité d'exécution des puits en régie, l'emploi d'un personnel ayant bénéficié d'une formation continue, l'utilisation d'un matériel et d'une infrastructure amortis en raison de sa pérennité d'emploi ou acquis sur des subventions ou aides extérieures expliquent dans une certaine mesure les prix de revient plus avantageux des ouvrages réalisés par les équipes de l'Hydraulique.

Des devis estimatifs de puits exécutés par des entreprises font ressortir pour une même région le mètre linéaire des puits Ø 1,80 et Ø 1,40 respectivement à 49 800 F. CFA et 42 300 F. CFA

$$\text{soit un rapport de prix } \frac{\text{Ø 1,80}}{\text{Ø 1,40}} \text{ de } 1,18$$

En ce qui concerne les puits pastoraux, les volumes puisés journallement dans des puits Ø 1,80 et Ø 1,40 sont proportionnels au nombre de fourches installées dans l'hypothèse d'un débit possible indépendant du diamètre nominal ce qui est généralement le cas et d'un même temps d'utilisation de l'ouvrage. Les troupeaux des pasteurs s'abreuvent aux heures chaudes de la journée entre 9 h et 17 h, soit pendant 8 h/j. Le nombre de fourches est en principe proportionnel à la longueur de la circonférence nominale :

$$\begin{aligned} * \text{ rapport des diamètres } & \frac{1,80}{1,40} = 1,20 \\ * \text{ rapport des surfaces } & \frac{0,90^2}{0,70^2} = 1,65 \end{aligned}$$

Ces deux rapports sont supérieurs au rapport des prix de revient comparatifs des puits Ø 1,80 et Ø 1,40 m de diamètre utile.

Dans la pratique le puits Ø 1,80 m de diamètre utile est exploité simultanément par 6 fourches et poulies : voir la photo du puits d'Ekismane au Niger. (Cette photo prise en février 1970 est intéressante car elle montre que le bâti métallique non adapté, ne sert rigoureusement à rien : les utilisateurs continuent à utiliser leurs moyens traditionnels). En revanche 4 fourches peuvent être installées sur des puits de 1,40 m de diamètre utile.

Le rapport d'utilisation $\frac{6}{4} = 1,5$ est nettement supérieur au rapport des coûts (1,18) des ouvrages de Ø 1,80 et Ø 1,40 utiles. Il devient dans ces conditions aberrant de construire des puits de Ø 1,40 m pour l'équipement en points d'eau des zones à vocation pastorale à moins que le débit de la nappe trop faible, ne justifie l'adoption d'un diamètre Ø 1,40 m.

Les appels d'offres devraient s'attacher à préciser la nature et le degré de dureté des roches à extraire. Les coûts des fonçages en terrain durs (calcaires, grès) nécessitant des explosifs ne sont pas couverts en général par les prix de plus-values, ce qui explique les prix élevés des fonçages en terrain meubles ou de faible dureté (grès argileux).

EXEMPLE DE BORDEREAU DE PRIX
POUR LA CONSTRUCTION DE 500 PUIITS AU NIGER
RÉPARTIS EN 18 LOTS

Diamètre utile : 1,80 m – Profondeur moyenne : 60 m

n° des prix	Désignation des travaux (prix en lettres)	Unités	Prix en chiffres
	1 – TRANSPORT – INSTALLATIONS DU CHANTIER		
1 – 01	Installation et montage de l'atelier et toutes sujétions L'unité :	u	45 000
1 – 02	Démontage et repliement de l'atelier, le puits étant prêt à être réceptionné provisoirement L'unité :	u	38 000
	2 – FONCAGE – CUVELAGE		
	Fonçage et cuvelage en terrain ordinaire y compris toutes sujétions		
2 – 01	de 0 à 10 m de profondeur le mètre linéaire :	ml	23 700
2 – 02	de 10 à 20 m de profondeur le mètre linéaire :	ml	24 500
2 – 03	de 20 à 30 m de profondeur le mètre linéaire :	ml	25 200
2 – 04	de 30 à 40 m de profondeur Le mètre linéaire :	ml	26 500
2 – 05	de 40 à 50 m de profondeur le mètre linéaire :	ml	30 000
2 – 06	de 50 à 60 m de profondeur le mètre linéaire :	ml	33 700
2 – 07	de 60 à 70 m de profondeur (ne concerne pas le lot N°) le mètre linéaire :	ml	36 500
2 – 08	de 70 à 80 m de profondeur (ne concerne pas les lots N°) le mètre linéaire :	ml	39 500

n° des prix	Désignation des travaux (prix en lettres)	Unités	Prix en chiffres
2 – 09	de 80 à 90 m de profondeur (ne concerne pas les lots N°) le mètre linéaire :	ml	41 000
2 – 10	de 90 à 100 m de profondeur (ne concerne pas les lots N°) le mètre linéaire :	ml	48 000
2 – 11	plus-value dans le cas de terrain dur pour toutes profondeurs de 0 à 100 m, y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	ml	14 000
2 – 12	plus-value pour blindage perdu en traversée de terrain bouillant et fluant pour toutes profondeurs de 0 à 100 m, y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	ml	11 000
3 – BUSES EN BÉTON ARMÉ			
3 – 01	fourniture et mise en place de 1 m de buse en béton armé y compris le massif filtrant et toutes sujétions le mètre linéaire :	ml	23 200
3 – 02	fonçage dans la nappe de 0 à 10 m y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	ml	22 000
3 – 03	plus-value au prix 3 – 02 en cas de terrain dur nécessitant l'explosif, y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	ml	14 000
3 – 04	fourniture et mise en place d'une couche de 50 cm de gravillons et d'une dalle de 15 cm d'épaisseur dans le cas d'une nappe en charge, y compris toutes sujétions l'unité :	U	24 000
3 – 05	construction d'une dalle de 15 cm d'épaisseur au fond des puits possédant une « réserve », y compris toutes sujétions l'unité :	U	15 000
4 – COLONNE FILTRANTE MÉTALLIQUE			
4 – 01	fourniture et mise en place de colonne filtrante métallique, y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	ml	54 000

n° des prix	Désignation des travaux (prix en lettres)	Unités	Prix en chiffres
4 – 02	fonçage dans la nappe de 0 à 10 m, y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	ml	22 000
5 – CONSTRUCTION DE SUPERSTRUCTURES			
5 – 01	réalisation d'une superstructure du type A sur puits en zone secondaire, y compris toutes sujétions l'unité :	U	260 000
5 – 02	réalisation d'une superstructure du type B (sans les 6 abreuvoirs) sur puits en zone nomade, y compris toutes sujétions l'unité :	U	155 000
6 – DIVERS			
6 – 01	l'heure de travail en régie de l'atelier avec force motrice l'heure :	h	2 500
6 – 02	l'heure de travail en régie de l'atelier sans force motrice l'heure :	h	800
6 – 03	essai de débit lors de la réception définitive y compris toutes sujétions l'unité :	U	50 000
6 – 04	construction et pose d'une dalle en B.A. sur les puits en cas d'échec l'unité :	U	17 000
6 – 05	construction d'un abreuvoir circulaire en B.A. pour des puits en zone nomade l'unité :	U	6 000

Bordereau établi en 1969.

PLANCHE 1.



A – Buses en béton armé au Niger pour puits \varnothing 1,80 m – 1er plan : une trousse coupante.



B – Buses « crépinées » plaques de crépines 15 X 15 cm.
Fentes 1 m/m pour puits \varnothing 1,80.



PLANCHE 2.

NIGER

3 types d'exhaure

A – Puisage à mains (sédentaires).



B – Puisage par traction animale
(nomades)



C – Station de pompage

d' ABALAK.

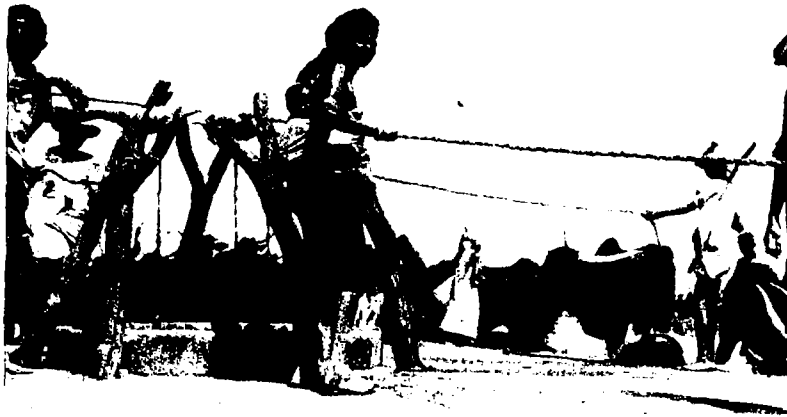


PLANCHE 3

NIGER

Puits traditionnels

(Zone nomade)

A – Puits Ø 1,80

Exhaure par traction animale.



B – Puits Ø 1,80

à abreuvoirs circulaires

équipe d'entretien



C – Puits d'Ekismane

Ø 1,80 - 6 poulies

profondeur 80 m.

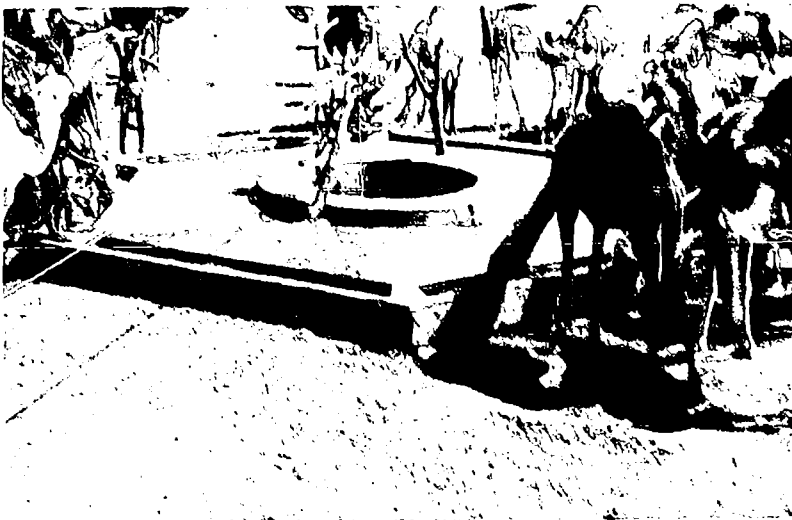
(à remarquer le bâti métallique
non utilisé).



PLANCHE 4.

Types de margelles au Niger

A – Puits Ø 2,50 (ville de Tahoua)
profondeur 20 m.



B – Puits Ø 1,80 d'Assaouas
(Agadez).



C – Puits Ø 1,80
pour sédentaires
au Niger.

4 – TECHNIQUES D'EXÉCUTION DES FORAGES

4 - 1 – Considérations générales

Les travaux de forages exigent la mise en œuvre d'un atelier de forage coûteux et les services d'un personnel très spécialisé. En règle générale les travaux de forage font l'objet de programmes bien délimités et ne se poursuivent pas de façon continue sur un territoire. L'amortissement et les responsabilités d'exécution des travaux conduisent les États à confier les forages à des entreprises spécialisées. L'expérience faite par certains États a montré que les sondeuses acquises par l'Administration n'ont pu être utilisées avec profit ni amorties. Il n'y a donc pas lieu de revenir sur l'erreur que constitue l'achat de sondeuses de capacité supérieure à 100 ou 200 m, lesquelles fonctionnent en trois postes de 8 heures, horaires dont s'accommodent mal des agents payés par l'État.

En revanche l'emploi de sondeuses rotatives légères est à conseiller pour la recherche rapide des nappes phréatiques.

4-1-1 – Implantation – Diverses méthodes de forage

L'implantation d'un forage devra être étudié en fonction de son utilisation :

- * Au centre géographique ou à proximité immédiate des zones à desservir s'il s'agit d'exploiter une nappe profonde pour une alimentation urbaine.
- * Au minimum à 20 km d'un point d'eau permanent ou d'une mare importante et dans une vallée pour s'assurer d'une consommation rationnelle des pâturages réduire l'investissement initial et les dépenses énergétiques d'exhaure des forages pastoraux.
- * Sur une élévation de terrain s'il s'agit de créer plusieurs points d'eau par une alimentation gravitaire à partir d'un réservoir construit au sol. Le diamètre de la tuyauterie de l'antenne sera fonction de la charge disponible pour un débit gravitaire de 2 l/sec. au minimum (Ø 80 ou Ø 100). Ce schéma est plus souple qu'un refoulement dans les antennes.

Un forage n'est autre qu'une méthode moderne de recherche de gîtes aquifères et d'exploitation d'un gîte reconnu apte à le satisfaction des besoins en eau. Dans de nombreux cas, les forages au maëstrichtien et au continental intercalaire recoupent les nappes crétacées ou éocènes, voire la nappe du continental terminal. Les dispositions techniques seront prises pour repérer, analyser, mesurer et isoler par cimentation les nappes des calcaires, en particulier celles dont le résidu sec est supérieur à 1 gramme/litre. Les nappes contenues dans les sables maëstrichtien ou du continental intercalaire sont bonnes et accusent des résidus secs inférieurs à 500 mg/litre.

Si des précautions élémentaires ne sont pas prises une nappe risque d'en alimenter une autre et de la contaminer au point de vue salure par circulation d'eau entre la paroi du terrain et les tubes d'exploitation. Pour éviter en ensablement prématuré des forages et la destruction consécutive des pompes, les dimensions du gravier filtre entourant les crépines seront déterminées en fonction de la courbe granulométrique de la formation aquifère à capter (en général gravier de 0,7 à 2 mm de diamètre).

Les développements, la hauteur du gravier derrière la crépine et le tube de même diamètre qui la prolonge, les cimentations pour isoler soit les nappes perchées soit des argiles, les carottages électriques pour circonscrire les formations les plus productives en eau et au droit desquelles seront placées les crépines, sont des opérations délicates et coûteuses qui doivent faire intervenir des spécialistes.

Les forages artésiens ou semi-artésiens qui fournissent des débits inférieurs à 5 ou 6 m³/heure peuvent être crépinés et tubés en 4 pouces voire en 2" 1/2 mais ces diamètres éliminent toute intervention ultérieure dans le tube de forage en cas de colmatage.

Les forages au rotary procurent des vitesses d'avancement supérieures aux forages au trépan. Ils impliquent l'injection dans les tiges d'une boue épaisse pour l'ascension continue des cuttings. Cette boue stabilise le terrain mais colmate les nappes à faibles débits qui peuvent présenter des caractéristiques piézométriques intéressantes. S'il s'agit de reconnaissances notamment dans les calcaires ou les grès durs et d'obtenir des débits de l'ordre de 10 à 20 m³/heure, il sera préférable d'employer une sondeuse au battage par trépan et câble fonctionnant à l'eau claire sans injection jusqu'à une profondeur de 150 m. Les nappes éocènes du Déroit Soudanais et les grès, calcaires et schistes au Mali ont été reconnus par battage. R. BREMOND signale des forages au battage de 50 m tubés en 18 pouces avec 40 m d'eau dans les formations sablo-argileuses de Tiaroye au Sénégal. Les coûts des sondages au battage sont du même ordre de grandeur que les coûts des sondages au rotary mais les aléas d'exécution sont moindres. Par ailleurs, les forages au battage assurent une meilleure verticalité.

Tous les forages devront être équipés d'une ligne d'air et d'un manomètre pour les mesures de rabattement sous l'effet des pompes. La ligne d'air n'est autre qu'un tube métallique de 6 à 10 mm plongeant dans la nappe d'une hauteur h qui est fonction du rabattement. Les ouvrages d'exploitation seront tous équipés de cet appareillage de contrôle du rabattement de la nappe.

En règle générale, le matériel de sondage est bien adapté par les entreprises aux terrains qu'elles connaissent. En revanche, il faudrait que ces entreprises soient équipées pour procéder sur place aux analyses granulométriques d'échantillons de formations productives extraites par carottage après avoir été repérées sur le graphique des carottages électriques.

4-1-2 — Établissement des Cahiers des Prescriptions Spéciales de forage

En règle générale, les ingénieurs ne peuvent valablement établir un Cahier des Prescriptions Spéciales de forages sans disposer au préalable d'une étude effectuée par un hydrogéologue qui précisera, pour chacun des ouvrages projetés, la coupe des formations lithologiques probables, les caractéristiques des différentes nappes possibles notamment la nature des faciès productifs, les niveaux piézométriques, etc

Les caractéristiques techniques des ouvrages seront conditionnées par les débits à obtenir, les ressources offertes par les nappes et leur profondeur.

Dans la majorité des cas il est souhaitable de prévoir une reconnaissance du terrain en 4" 1/4 dont les résultats seront immédiatement portés à la connaissance du directeur des travaux.

a) Diamètre des chambres de pompage

— diamètre extérieur maximal du corps de pompe plus 10 cm, soit 5 cm d'espace annulaire

Ø extérieur des corps de pompe Alta de 20 m³/h : 140 mm

Ø extérieur des corps de pompe KSB de 20 m³/h

pour h = 80 m : 194 mm

Ø extérieur du moteur : 136 mm

deux gammes de chambres de pompes et de crépine paraissent se généraliser en fonction des débits :

1 ère gamme tubage 13''3/8 crépines de 8''5/8

2 ème gamme tubage 9''5/8 ou 10 crépines de 6''

(9''5/8 de diamètre extérieur, épaisseur 8 mm)

Les tubages pénètrent d'un mètre ou deux dans les formations à capter.

b) Cimentations

- en tête de forages sur 10 ou 20 m (contre les infiltrations superficielles).
- au toit de la nappe sur 30 à 50 m (en raison de la remontée de la nappe, toujours plus ou moins en charge).

La boue généralement colmate les nappes entre les deux espaces annulaires cimentés.

c) Crépines

Après cimentation, reprise du forage en 12''1/4 ou 8'' 1/2. La boue au fond de l'ouvrage est fluidifiée par une injection d'hexamétaphosphate dilué à 5 ou 10 % avant la descente des crépines et du gravier.

Les crépines en métal inoxydable sont mises en place suspendues à une colonne de même diamètre, de 30 à 40 m et aux tiges. On dévisse ensuite le train de tiges.

- les ouvertures et la hauteur sont à déterminer en fonction de la granulométrie de l'aquifère – crépines Johnson ouverture 1/4 de mm, pour aquifères fins de l'ordre de 0,1 à 0,5 mm.
- la vitesse maximale de l'eau est 1 cm/sec. Il conviendra de tenir compte pour cela de ce que 50 % de la surface d'ouverture des crépines sont obstruées par les parois du gravier.
- en aucun cas la crépine ne doit être dénoyée. Suivant le débit spécifique du forage, le niveau de sécurité au-dessous du niveau de pompage dans le cas d'une nappe libre devra être au minimum de 10 m.
- dans tous les cas le diagramme de carottage électrique fournira les indications sur la position des crépines au droit des formations à capter.

Les crépines Johnson sont excellentes, mais, de construction très délicate, ne permettent pas un pistonnage à l'intérieur à moins qu'elles ne soient doublées intérieurement par un tube nervuré.

d) Gravier de quartz

- granulométrie des graviers à déterminer en fonction de la granulométrie de l'aquifère, diamètre maximum des graviers : 3 mm, sauf dans les formations non fluentes.

M. ZANOTTI prescrit dans tous les cas 20 % de gravier de 3 mm pour constituer un squelette au massif filtrant.

- épaisseur annulaire minimale 5 cm.
- hauteur minimale 5 à 10 m au-dessus des crépines et dans l'espace annulaire entre les 3 tubes.

e) Développement du forage

- changement de boue (prévoir un poste de 8 heures).

- lavage de la formation à l'eau claire afin d'évacuer toute trace de boue (prévoir un poste de 8 heures).
- pistonnage provoquant une agitation intense sur toute la hauteur de la formation à capter pendant un temps minimal de 4 heures.
- nettoyage à l'émulseur et pompage afin de vider le forage de l'eau chargée de sable et boue résiduels.
- essais de débit et pompage de réception.

S'il s'agit d'un ouvrage dans une zone non explorée les débits d'exploitation ne seront fixés qu'après des pompages de longue durée aux termes desquels les prélèvements d'eau seront effectués.

Ces prescriptions techniques sont essentiellement liées à la nature des aquifères et des ouvrages et il ne saurait y avoir de règles fixes en la matière.

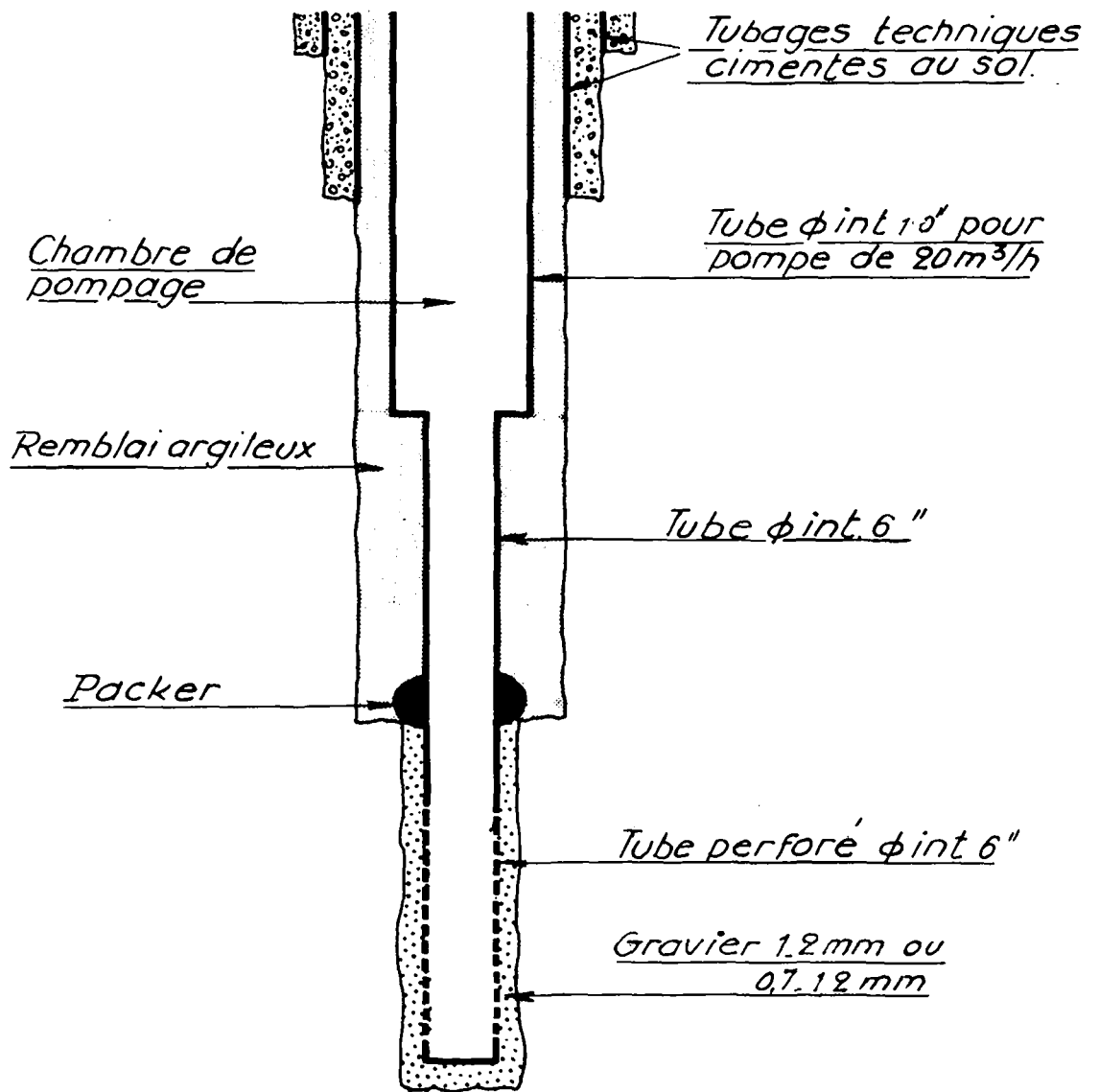
Les développements des forages doivent durer au minimum de 4 à 5 jours.

Information sur les vitesses d'avancement en terrains gréseux :

en 16" ou 17" 1/4	1 m à l'heure
en 12" 1/4	0,75 m à l'heure
en 9" 3/4	1 m à l'heure
en 6" 1/4	3 m à l'heure
en 4" ou 4" 1/2	3 m à l'heure

FORAGE 20 m³/h

SCHEMA



4 - 2 – Coupes types de forages d'exploitation

4-2-1 – Forage au battage ou au rotary de 20 m³/h

Exploitation des nappes du paléocène et des grès du continental intercalaire au Niger.

(formations du Farak aux formations du Tiguédi).

Les ouvrages d'une profondeur de 120 à 160 m comportent :

- * 1 tubage technique cimenté au sol de 16" 1 = 1 mètre
- * 1 tubage technique cimenté au sol de 12" 1 = 4 mètres
- * 1 tubage utilisé en chambre de pompage de 8 ou 10"

Au Niger le diamètre des chambres de pompage est obligatoirement égal ou supérieur à 10".

- * 1 tubage intérieur de 6"
- * 1 tube crépine de 6" en métal inoxydable.

Des crépines et tubages de 6" sont à conseiller et permettent éventuellement de les doubler par des crépines et tubes de 4" et de placer dans l'espace annulaire 6" – 4" un gravier calibré en cas d'arrivée de sables fins.

De tels ouvrages peuvent être exploités par des puits, auquel cas et obligatoirement, le toit de la nappe sera cimenté sur une hauteur minimale de 15 à 20 m.

– coût d'un ouvrage de 150 m environ par l'application des prix du bordereau des prix types valables au Niger en 1968-70 pour une dizaine d'ouvrages :

55 000 à 60 000 francs CFA le mètre linéaire,
y compris les opérations de cimentation et de carottage électrique

4-2-2 – Forage au rotary de 30 à 40 m³/h

Nappe du continental terminal – profondeur 40 à 70 mètres.

– Constitution du forage

- * forage exécuté en 17" 1/2 sur toute la hauteur
- * tubage de tête en 18" sur 4 mètres
- * tubage d'exploitation en 8" ou 10"
- * crépine en 8" et gravier calibré

– Coût de l'ouvrage : profondeur estimée : 40 mètres

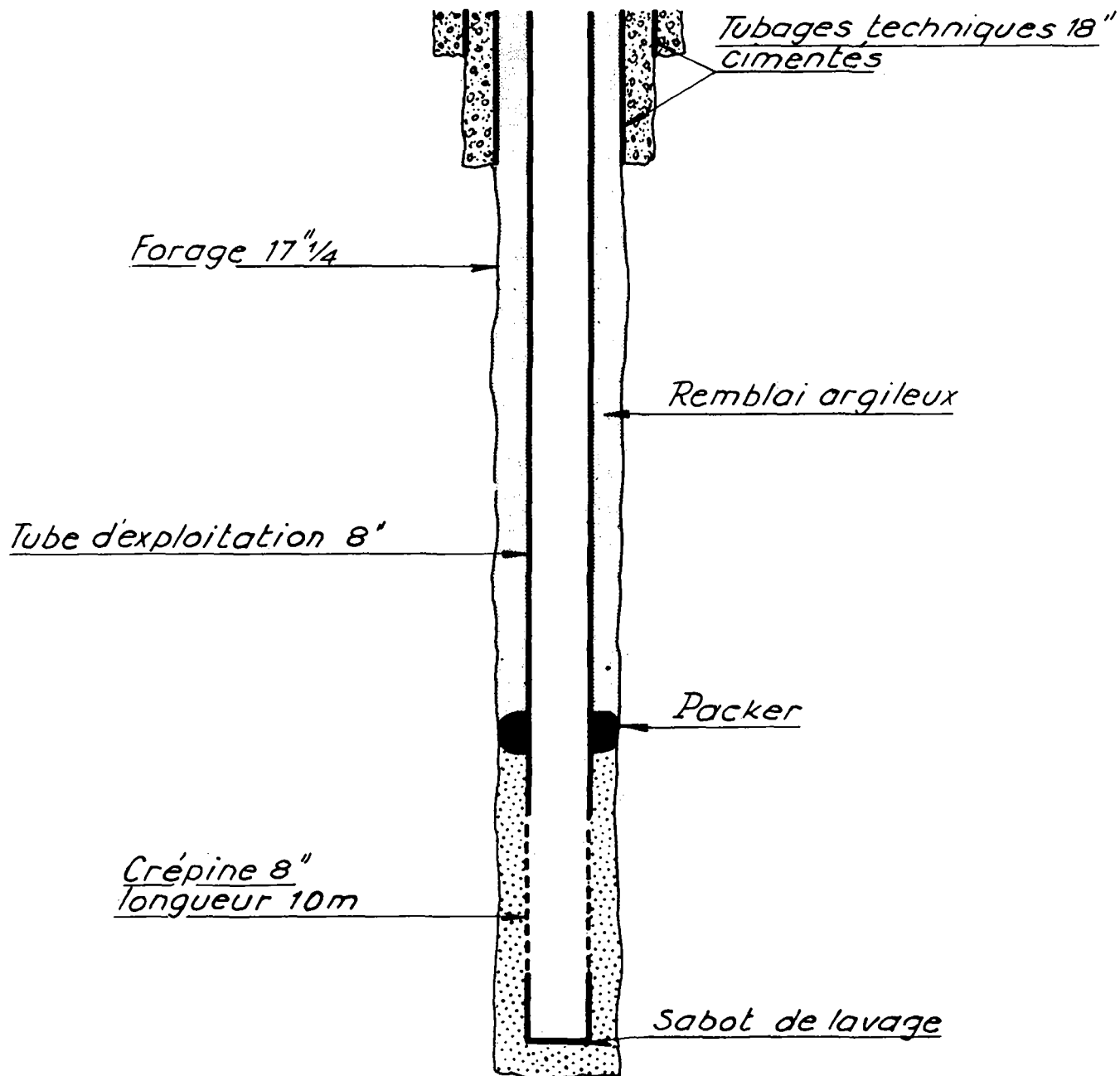
		F. CFA
* transport aller et retour de l'atelier		3 000 000
* tubage technique 18"	25 000 X 4	100 000
* forage de 17" 1/2	20 000 X 4	800 000
* tubage de 8"	15 000 X 30	450 000
* crépine de 8"	45 000 X 10	450 000
* gravier et développement (1)		2 000 000
* imprévus		380 000
	Total :	7 100 000
* 1 pompe de 30 m ³ /heure		1 800 000

(1) dans le cas où le niveau statique se situe à quelques mètres du sol le gravier sera déposé de l'orifice au fond de la crépine.

FORAGE 30 m³/h

Nappe phréatique du continental terminal.

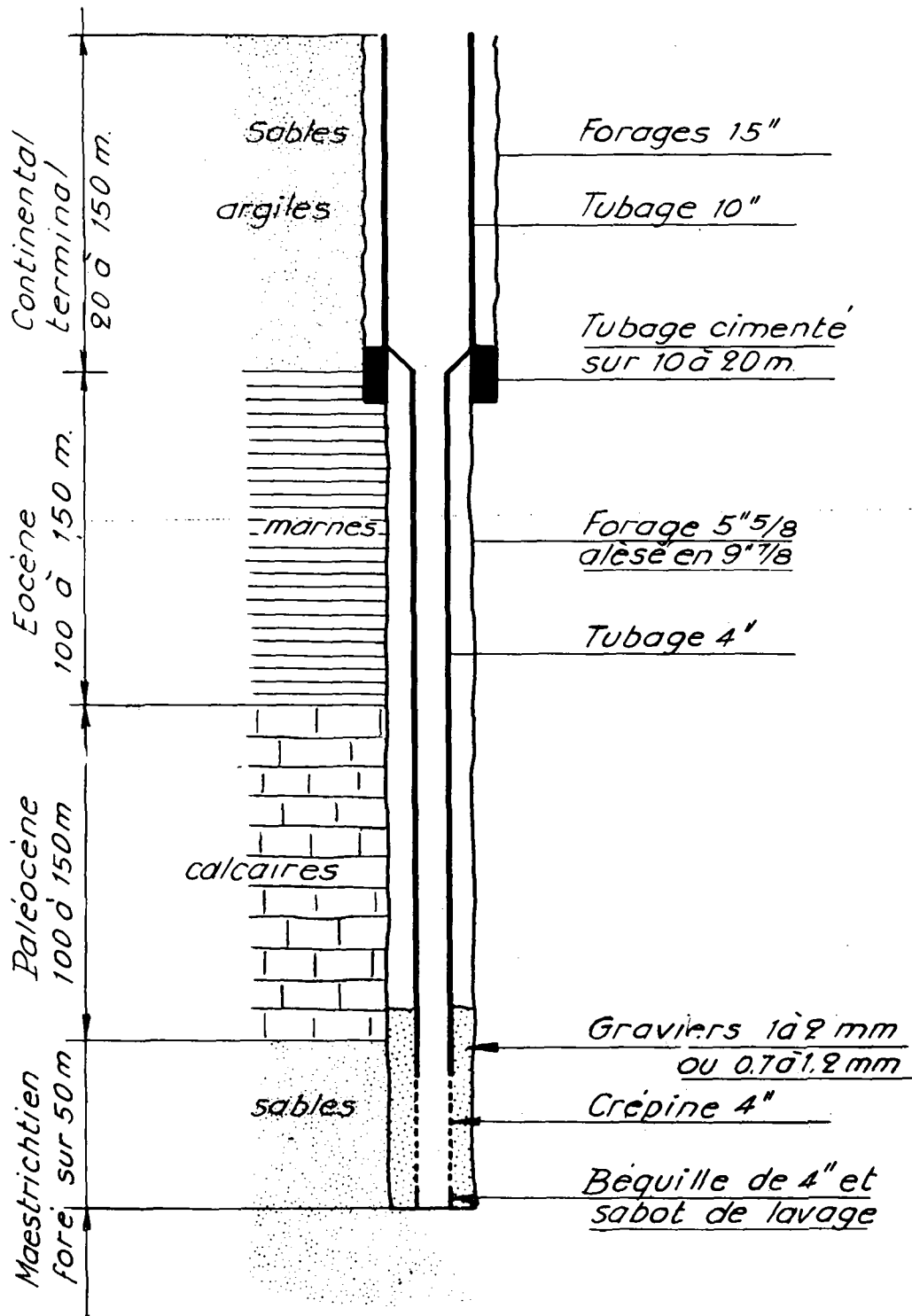
SCHEMA



FORAGES D'EXPLOITATION DU MAESTRICHTIEN

DEBITS D'ESSAIS 50 m³/h
DEBITS D'EXPLOITATION 20 m³/h

SCHEMA



4-2-3 — Forage au rotary de 20 m³/h

- * Exploitation de la nappe semi-artésienne du Maëstrichtien du Sénégal.

Compte tenu du niveau piézométrique de la nappe maëstrichtienne, sensiblement à la cote zéro, à quelques mètres de la surface du sol, la République du Sénégal envisage l'exécution d'un programme d'hydraulique pastorale basé sur le principe des puits sur forages.

Au Nord du Ferlo, les conditions altimétriques permettent l'exploitation par des puits Ø 1,80 m de diamètre utile, de forages qui seraient réceptionnés à des débits garantis de 20 m³/h. L'exécution d'un forage au rotary de 20 m³/h à une profondeur de 300 à 350 mètres comporterait les opérations suivantes :

- * forages en 15'' jusqu'aux marnes éocènes
- * tubage en 10'' jusqu'aux marnes, cimenté sur une dizaine de mètres à la base.
- * forage en 9'' 7/8 jusqu'au Maëstrichtien

— en cas de pertes de boue les nappes éocène et paléocène seraient testées

- * forage en 5'' 5/8 dans 50 mètres de Maëstrichtien
- * carottage électrique
- * alésage en 9'' 7/8 jusqu'à la base du forage
- * mise en place d'une crépine en acier inoxydable Johnson de 4'' sur 10 m et tubes de 4''.

— sables grossiers ou moyens 0,3 — 1 mm Johnson ouverture 0,5 mm

— sables fins 0,2 à 0,4 crépine double 6'' et 4'' entre gravier

- * gravillonnage graviers 0,7 — 1,2 ou 1 à 2 mm
- * développement au jet par le sabot laveur
- * dévissage du 4'' à 10 m dans le 10''
- * confection d'un joint au plomb ou en caoutchouc
- * essais de débit à 40 m³/h

Le prix d'un tel ouvrage ressortirait à 40 000 F. CFA le mètre environ.

Il s'agit d'une solution économique de forage préconisé par les services techniques du Sénégal.

4-2-4 — Forages à gros débit 50 à 200 m³/h dans le maëstrichtien du Sénégal ou forages dans les grès du continental intercalaire du Niger.

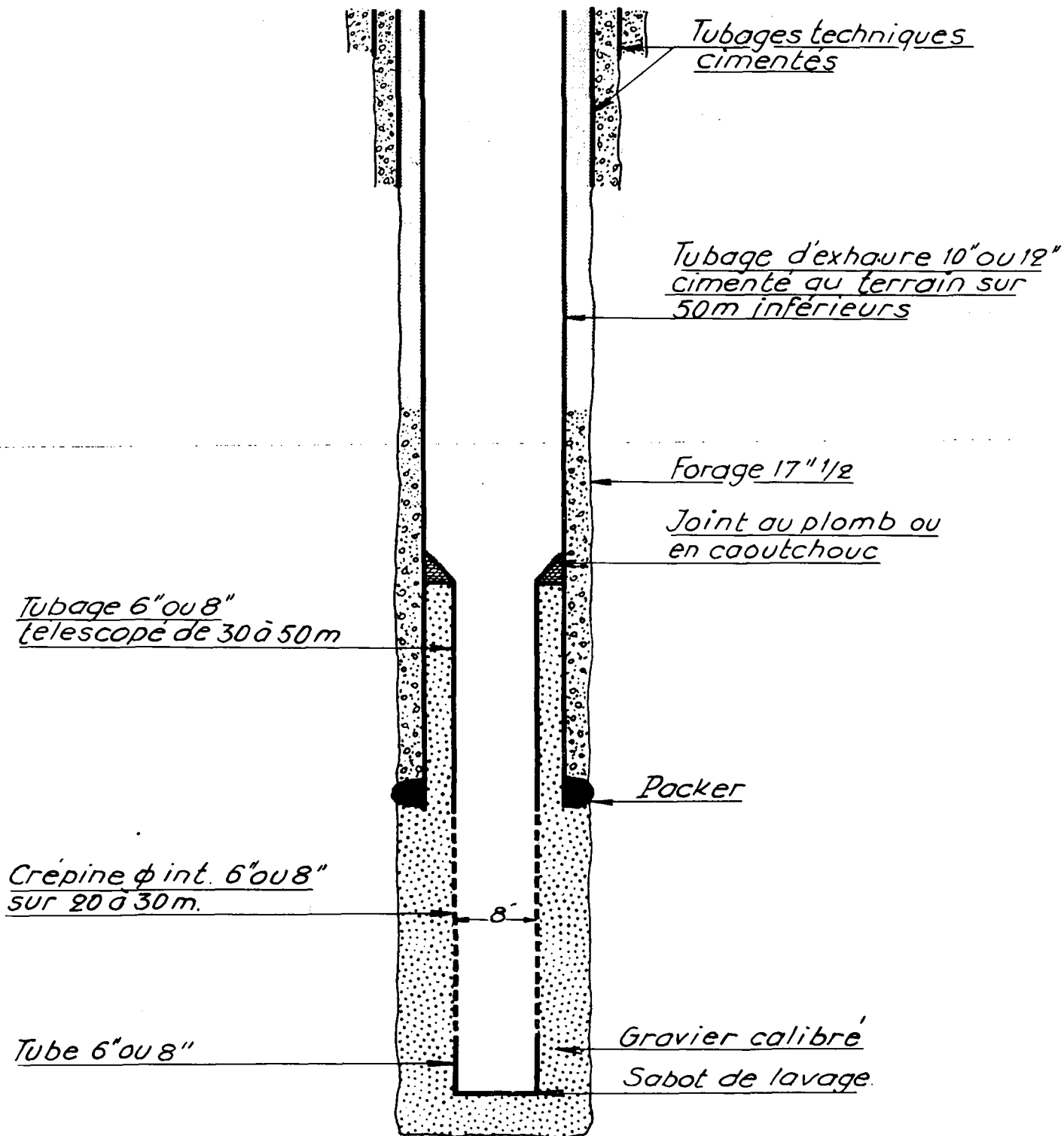
La nappe maëstrichtienne du Sénégal peut être exploitée par des forages à gros débit dont certains fournissent depuis une dizaine d'années notamment à Taïba 150 à 200 m³/heure et fonctionnent 24 heures sur 24. En fait, au Sénégal la majorité des 70 ou 80 forages exploitant la nappe maëstrichtienne est équipée de moto-pompes fournissant 50 m³/Heure.

Au Niger les nappes contenues dans le groupe des grès d'Agadez ou la série de l'Izegouande peuvent être exploitées par des forages de conception analogue mais leur débit n'est que de quelques dizaines de mètres cubes/heure. Ces ouvrages exécutés par des Failling 1500 ou d'autres appareils similaires peuvent atteindre 250 à 450 mètres et se caractérisent par une reconnaissance rapide en 4'' 1/4 et un réalésage en 16 ou 17'' 1/2 sur toute la hauteur du forage.

FORAGE A GROS DEBIT

> à 100m³/h - 150 à 350 m.

SCHEMA



Ce type de forage permet d'isoler des nappes de salures très différentes (nappes en charge des calcaires éocène ou paléocène, nappe nitratée de l'Izegouande) par une cimentation sur une cinquantaine de mètres au-dessus de la nappe à exploiter.

– Constitution du forage :

- * 2 tubages techniques cimentés au sol
- * 1 tubage d'exploitation en 10 ou 12" jusqu'au niveau de la nappe à capter
- * 1 crépine de 8" et gravier calibré

la crépine est surmontée par un tubage de même diamètre pénétrant sur 30 à 50 m à l'intérieur du tubage de 10 ou 12"

- * cimentation de surface et cimentation entre le terrain et le tube de 10 ou 12" sur 30 ou 50 m.

– Coût d'un ouvrage d'une profondeur de 300 m exploitant la nappe maëstrichtienne

* amenée, montage, repliement atelier		4 000 000
* tubages techniques en 18"	25 000 X 5	125 000
* forage en 17" 1/2	20 000 X 300	6 000 000
* carottage électrique		400 000
* tubage d'exploitation 10"	14 000 X 280	3 920 000
* crépines 8"	50 000 X 20	1 000 000
* tubage 8"	12 000 X 50	600 000
* gravier développement		2 000 000
* cimentation 30 m X 20 000		600 000
* imprévus — divers		500 000
	Total :	19 145 000

soit environ 65 000 francs le mètre linéaire.

Dans les grès d'Agadez ou de l'Izegouande, la chambre de pompage serait en 10" et les crépines et le tube ascensionnel en 6".

BORDEREAU DE PRIX TYPE
POUR L'EXÉCUTION DE 10 FORAGES DE 20 m³/h
DANS LES GRÉS DU TEGAMA AU NIGER

Profondeur moyenne : 150 m

n° des prix	Désignation des travaux (prix en lettres)	Prix en chiffres F. CFA
1	Amenée et montage de l'atelier et des installations de chantier, y compris toutes sujétions l'unité :	1 500 000
2	Démontage et repliement de l'atelier et des installations de chantier y compris toutes sujétions l'unité :	1 500 000
3	Forage en Ø 22 " de 0 à 25 m de profondeur quelle que soit la nature du terrain et y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	25 000
4	Forage en Ø 17"1/2 de 0 à 100 m de profondeur quelle que soit la nature du terrain et y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	20 000
5	Forage en Ø de 15" de 0 à 200 m de profondeur quelle que soit la nature du terrain et y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	15 000
6	Forage en Ø de 9"5/8 de 0 à 400 m de profondeur quelle que soit la nature du terrain et y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	12 000
7	Forage en Ø de 9"5/8 de 400 à 800 m de profondeur quelle que soit la nature du terrain et y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	15 000
8	Carottage mécanique y compris toutes sujétions l'unité :	230 000
9	Carottage électrique y compris toutes sujétions l'opération :	400 000
10	Plus-value aux prix n° 3 à 7 par km d'éloignement du point d'eau et par mètre linéaire foré le km/mètre linéaire :	75
11	Fourniture, mise en place et cimentation d'un tube Ø 20", y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	30 000

n° des prix	Désignation des travaux (prix en lettres)	Prix en chiffres
12	Fourniture, mise en place et cimentation d'un tube Ø 16" y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	20 000
13	Fourniture et mise en place d'un tube Ø 10" intérieur (acier mi-dur sans soudure et d'au moins 7 mm d'épaisseur), y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	14 000
14	Fourniture et mise en place d'un tube Ø 6" intérieur (acier mi-dur sans soudure et d'au moins 7 mm d'épaisseur), y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	11 000
15	Fourniture et mise en place de crépines simples Ø 6" intérieur, en acier inoxydable, y compris le massif filtrant et y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	30 000
16	Installation par développement du forage, y compris toutes sujétions l'unité :	85 000
17	l'heure de travail en régie de l'atelier avec force motrice, y compris toutes sujétions l'heure :	15 000
18	l'heure de travail en régie de l'atelier, sans force motrice, y compris toutes sujétions l'heure :	8 000
19	Cimentation; y compris toutes sujétions le mètre linéaire :	20 000

Bordereau établi en 1970

4 - 3 – Crépines et filtres

Le captage de l'eau d'un terrain aquifère s'effectue au moyen d'un massif de gravier filtre et d'une crépine qui n'est autre qu'un tube de forage percé d'ouvertures.

L'ensemble du système doit permettre le passage de l'eau tout en interdisant aux éléments fins entraînés par la vitesse de pénétrer dans l'ouvrage et de le colmater.

La composition granulométrique du gravier filtre, la dimension des ouvertures du tube crépine, feront l'objet de déterminations en fonction de la courbe granulométrique du niveau reconnu productif. Les forages s'ensablent et périssent parce que les dimensions des filtres ne sont pas adaptés à la composition du terrain.

Les formations sableuses aquifères, sous certaines conditions pourront être auto-développées, le massif de gravier étant constitué par le terrain lui-même dont la perméabilité aura été augmentée par pistonnage et élimination des particules fines.

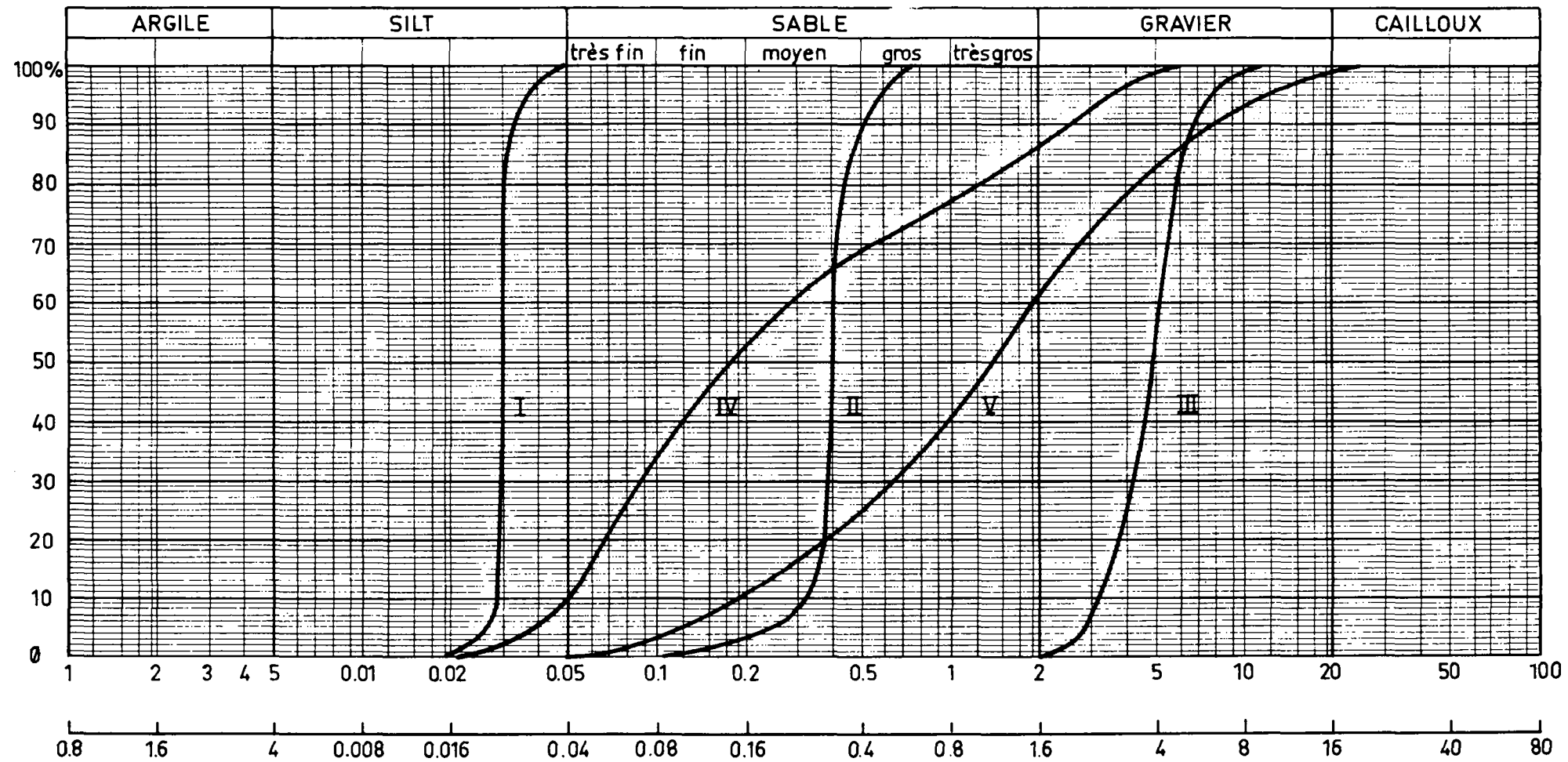
En raison de l'hétérogénéité des formations aquifères il est indispensable d'établir sur place, les courbes granulométriques de plusieurs échantillons de terrains obtenus intacts par carottage.

4-3-1 – Courbes granulométriques

Elles sont établies par tamisage des échantillons de terrains aquifères après séchage.

Exemple de tamisage de l'échantillon n° 5 (graphique ci-contre)

Tamis maillon mm	Poids retenu en %	Poids cumulé en %	% tamisé
5 mm	14	14	86
2 mm	26	40	60
1 mm	20	60	40
0,5 mm	15	75	25
0,2 mm	15	90	15
0,05 mm	10	100	0



COURBES GRANULOMETRIQUES TYPES

Les formations aquifères peuvent être homogènes ou hétérogènes :

- monogranulométriques – courbes n° I, II et III (formations homogènes).
- multigranulométriques – courbes IV et V (formations hétérogènes) (page 111).

Un échantillon pourrait se caractériser par un calibre moyen de 50 %; exemple échantillon n° III : calibre 50 % = 4,8 mm, mais cette définition ne serait valable que pour des formations très homogènes.

Allen Hazen considère un diamètre effectif tel que 10 % de l'échantillon sont plus fins, 90 % sont retenus ce qui correspond au diamètre laissant passer 10 % en poids de l'échantillon (d_{10}) et un coefficient d'uniformité (C_u) déterminé par la pente de la courbe granulométrique du terrain :

$$\text{– d'après Allen Hazen} \quad : \quad C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$\text{– d'après Terzaghi} \quad : \quad C_u = \frac{d_{70}}{d_{20}}$$

Sur les courbes du graphique :

$$\text{* échantillon n° III} \quad : \quad C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{5,2}{3,2} = 1,62$$

$$\text{* échantillon n° IV} \quad : \quad C_u = \frac{0,28}{0,05} = 5,6$$

4-3-2 – Autodéveloppement des forages

Allen Hazen autorise l'autodéveloppement d'une formation aquifère sableuse si sa courbe granulométrique répond aux deux conditions suivantes :

$$\text{a) – } d_{10} \geq 0,25 \text{ mm}$$

$$\text{b) – } \frac{d_{60}}{d_{10}} \geq 2$$

La première condition interdit l'autodéveloppement de formations constituées par des éléments fins inférieurs à 25 mm ; la seconde implique une formation multigranulométrique. En pratique il est nécessaire d'éliminer 50 à 80 % des éléments d'une formation qui peut être développée et constituer un filtre autour de la crépine. Au Sénégal on a constaté une augmentation du débit spécifique de certains forages autodéveloppés exploitant la nappe sableuse du maëstrichtien.

4-3-3 – Massif de gravier filtre

Ce massif est nécessaire quand la courbe granulométrique présente 2 caractéristiques :

$$d_{10} < 0,25 \text{ mm et } 1 < C_u < 5$$

Le rôle du gravier filtre, dont l'épaisseur autour de la crépine sera comprise entre 80 et 350 mm, est d'accroître la perméabilité de la formation aquifère et de retenir les éléments fins qui pourraient être entraînés par la vitesse de l'eau et pénétrer à l'intérieur de l'ouvrage. Le gravier filtre doit stabiliser le terrain tout en facilitant la percolation de l'eau.

La courbe granulométrique du gravier de diamètre D sera comprise entre D₀ et D₁₀₀ et sera fonction de la courbe granulométrique de la formation aquifère.

Détermination de D en fonction de d.

– dans les formations multigranulométriques les conditions d'après Terzaghi sont les suivantes :

$$1^{\circ}/ \quad \frac{D_{15}}{d_{85}} < 4 \qquad 2^{\circ}/ \quad \frac{D_{15}}{d_{15}} > 4 \qquad 3^{\circ}/ \quad \frac{D_{60}}{D_{10}} \leq 2$$

La dernière règle correspond au coefficient d'uniformité Cu du gravier qui sera monogranulométrique, Dans les formations monogranulométriques :

Johnson USA préconise :

$$D_0 = 7 d_{10} \qquad Cu = \frac{D_{100}}{D_0} = 2$$

Johnson France :

$$D_{30} = 4 d_{30} \qquad \text{formations monogranulométriques}$$

$$D_{30} = 6 d_{30} \qquad \text{formations hétérogènes avec } Cu \leq 2,5$$

Exemple d'application de la règle de Johnson USA

$$d_{10} = 0,03 \qquad D_0 = 7 \times 0,03 = 0,21$$

$$D_{100} = 2 \times 0,21 = 0,4$$

soit un gravier de 0,2 à 0,4 mm de diamètre.

Il existe d'autres règles notamment celle de Truelsen qui indique 3 cas :

- a) $Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 3$ le gravier devra laisser passer 75 à 85 % de la formation, soit : d₇₅
- b) $3 < Cu < 5$ le gravier devra laisser passer 90 à 95 % de la formation, soit : d₉₀
- c) $Cu > 5$ danger d'éboulements des gros éléments après élimination des fins. on recherchera une formation de Cu au plus égal à 5 avec d'autres échantillons.

4-3-4 – Crépines

les dimensions et des ouvertures de crépines seront liées à la granulométrie du gravier filtre :

On fixe généralement e (maximal) = D_{10}

Selon d'autres auteurs :

e	=	D_{85} Terzaghi
e	=	$D_0 = 7 D_{10}$ d'après Johnson USA
e	=	D_{60} d'après Johnson France

Les pourcentages de vide des crépines varient de 3,6 à 40 % pour des fentes : e 0,5 mm suivant les fabricants (voir en annexe les caractéristiques).

4-3-5 – Taches de sable

Aux réceptions des forages la tache de sable se concentre en un cône au fond d'un litre d'eau auquel on donne un mouvement tourbillonnaire.

La tache de sable s'apprécie par son diamètre exprimé en mm. On la notera aux essais toutes les cinq minutes.

Exemple : essais à 50 m³/h

7 h 45 eau claire	:	tache de sable \varnothing 1 mm
7 h 50 eau trouble	:	tache de sable 0 mm
7 h 55 eau légèrement trouble	:	tache de sable \varnothing 2 mm

D'après R. Brémond la qualité physique de l'eau est :

- bonne si la tache est \leq à 0,5 mm en régime permanent et \leq à 1 mm au démarrage
- passable si la tache est \leq à 1 mm en régime permanent et \leq 5 mm au démarrage
- mauvaise si la tache est $>$ à 1 mm en régime permanent d'exploitation.

Une tache supérieure à 3 mm en régime permanent condamne l'ouvrage qui est refusé aux essais définitifs. Le volume de sable peut être évalué en considérant un rapport 2/3 – 1/3, entre la base et la hauteur du cône observé au fond de la bouteille d'un litre. Il est possible de déterminer le diamètre à 1/2 mm près.

4-3-6 – Caractéristiques des crépines

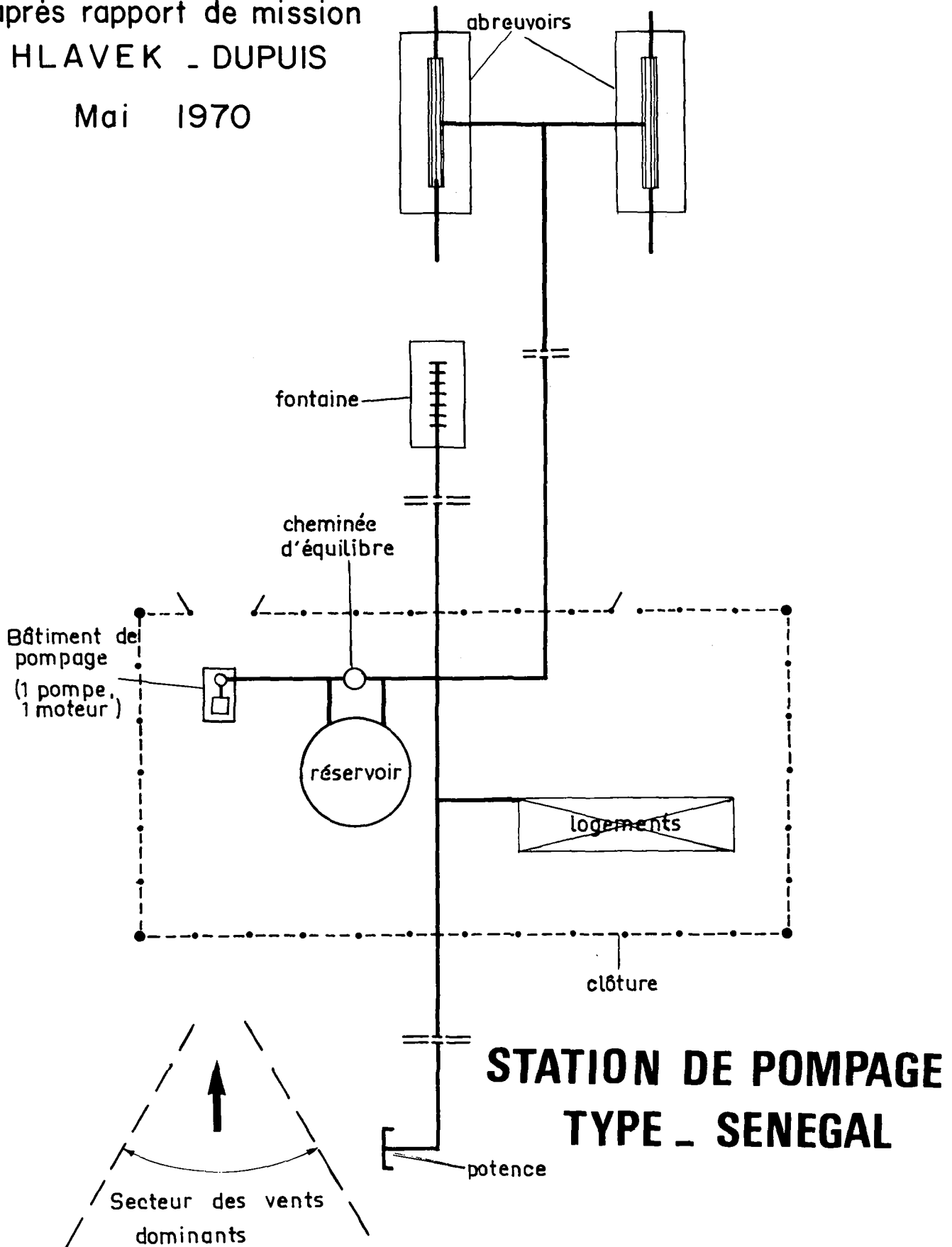
Les caractéristiques des crépines de 4-6-8-10 pouces sont fournies en annexe n° 3.

4-3-7 – Mise en place des massifs de gravier

Les massifs de gravier autour des crépines seront placés de façon telle qu'après tassement ils assurent un filtre au droit des crépines (gravier filtre plusieurs mètres au-dessus des crépines en particulier si la formation sableuse à capter est surmontée par des argiles). Le passage de l'eau provoque toujours une action plus ou moins érosive à l'intérieur d'un massif et il convient de parer à ce phénomène qui se traduit par un tassement.

D'après rapport de mission
HLAVEK - DUPUIS

Mai 1970



échelle . 1/500

5 – LES TECHNIQUES D'EXHAURE

5 - 1 – Équipements des forages exploités par pompages

5 - 1 - 1 – Installations de forages au Sénégal

Les premiers forages pastoraux exploitant la nappe maëstrichtienne au Sénégal furent exécutés avant la dernière guerre mondiale. Les forages étaient équipés de moto-pompes LAYNE de 50 m³/h et les installations au sol outre la cabine de pompage comportait 1 réservoir de 200 à 500 m³ au sol, 1 abreuvoir pour ovins et caprins en forme de T de 30 m X 60m une fontaine à 6 canelles, 1 logement pour mécanicien et une chambre de vanne.

De telles installations essentiellement conçues pour les pasteurs étaient génératrices de fondation de centres importants et le forage fonctionnait pour l'alimentation humaine. Les débits de pompage sont surabondants par rapport aux besoins réels des troupeaux et les forages fonctionnent toute l'année.

Les 70 forages profonds du Sénégal se subdivisent en quatre groupes en fonction des débits :

1 groupe équipé de moto-pompes de 100m³/h et trois autres groupes équipés de moto-pompes de 75, 50 et 30 m³/h. Le groupe des pompes de 50 m³/h est de loin le plus important. Les crépines sont de 8'' et de 6'' pour les forages de 30 m³/h.

L'atelier de l'Hydraulique de Louga est chargé de l'entretien des ouvrages. Il semble que l'on s'oriente actuellement vers la réalisation de programmes moins ambitieux qui consisteraient à réaliser des forages de 20 m³/h tubés en 4'' et exploités par des puits de Ø 1,80 m de diamètre. Ce changement de vue servirait essentiellement l'élevage.

L'expérience des forages du Ferlo a certainement eu un poids important dans cette nouvelle orientation. En effet, on a constaté dans cette région des durées de fonctionnement des pompages souvent très faibles; ce qui traduit une installation plus puissante que ne le nécessitent les besoins, donc un investissement superflu.

Le besoin journalier moyen doit pouvoir être assuré en 7 ou 8 heures les périodes de demandes plus fortes se traduiront par un allongement de la durée de fonctionnement, ce qui est très admissible. Le débit à retenir pour la pompe est donc facile à déterminer : Les consommations moyennes journalières les plus fréquemment constatées sont de l'ordre de 150 à 250 m³ . ce qui correspond donc sensiblement à une pompe de 20 à 30 m³/h. (8 h de marche).

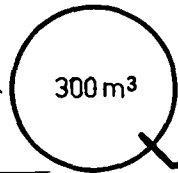
A l'inverse, le sous-équipement doit tout autant être évité car il entraîne de longues durées d'utilisation. Les conséquences sont d'une part un manque de sécurité pour les périodes de pointe et d'autre part une usure plus rapide du matériel, donc des charges supplémentaires de renouvellement et d'entretien.

5 - 1 - 2 – Installation de pompes au Niger

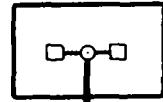
A partir des années 64, après l'échec du fonctionnement de quelques éoliennes placées sur des forages de 6'' , la République du Niger s'oriente résolument vers des installations de forages de 20 m³/h dotées chacune d'une importante infrastructure. Ces forages essentiellement pastoraux fonctionnent de décembre aux premières pluies au cours de la saison sèche où les seules ressources exploitables sont les systèmes aquifères. Cette politique d'utilisation des forages revêt de multiples avantages. Elle réserve en premier lieu aux pasteurs des pâturages intacts en décembre ; elle évite une occupation permanente par une sédentarisation autour du forage et réduit au maximum les charges récurrentes. Notons que les forages ne sont pas ouverts si les pâturages n'ont pas été reconstitués par les pluies d'hivernage. Au Niger, les installations de forage comportent :

- * un forage tubé en 6'', chambre de 10'', débit 20 m³/heure, eau vers 80 m
- coût : 150 m à 60 000 F le m = 9 millions CFA.

Réservoir en béton non couvert, radier sur sol.
Hauteur d'eau : 3,00m

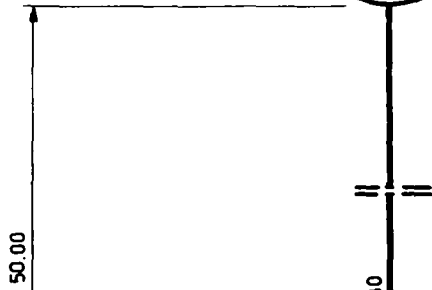


Forage.



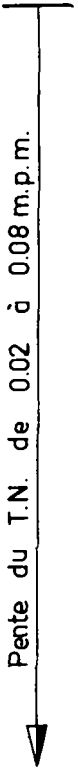
Batiment de pompage.
(1 pompe, 2 moteurs)

Ø 80



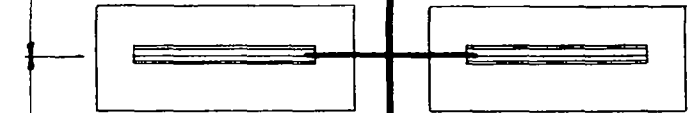
50.00

Ø 80



20.00

Ø 60 + vannes



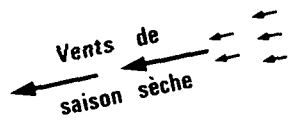
20.00



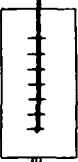
30.00

Ø 60

Socles en béton de 7,00 x 17,00 x 0,40m supportant 6 abreuvoirs métalliques de 12,00m



Rampe de distribution par robinets.



Puisard.



STATION DE POMPAGE TYPE NORD TAHOUA

Echelle : 1/500

- * une cabine de pompage en tôle ossature métallique coiffant le forage, suffisamment haute pour relever la colonne de pompage.
— coût de la cabine de pompage : 1 million environ.
- * une pompe Alta de 20 m³/h à double renvoi d'angles,
— coût : 2 millions.
- * deux moteurs Vendevre 2 cylindres 30 CV diesel air,
— coût : 1,5 X 2 = 3 millions.
- * une cuve de 3000 litres de fuel enterrée.
- * un réservoir en élévation de 300 litres alimentant directement les moteurs (sans réservoir individuel)
300 litres correspondant à 60 heures de pompage et par conséquent à une vidange d'huile.
- * un réservoir d'eau cylindrique en béton posé au sol hauteur 3 m ; capacité 300 m³.
— coût du réservoir : 3, 5 millions.
- * six abreuvoirs métalliques largeur 0,60 m longueur 12 mètres placés sur socle en béton, largeur 7 mètres, épaisseur 0,30 m.
— coût 100 000 X 6 + génie civil, abreuvoirs à 20 m les uns des autres.
- * une fontaine (robinets sur tube) pour remplissage des peaux de bouc destinée à l'alimentation humaine.

L'ensemble d'une telle installation revient entre 15 et 20 millions suivant la profondeur du forage.

Les caractéristiques de fonctionnement de 16 forages pastoraux en service dans la préfecture de Tahoua au cours de l'exercice 1968 -1969 sont les suivantes :

- fonctionnement entre 5 heures et 23 heures/jour
- débits journaliers : 100 à 400 m³ en moyenne
- volumes pompés en 8 mois par forage variable de 25 000 à 80 000 m³
- volume total : 740 000 m³
- consommation 146 000 litres de gaz oil et 6 200 litres d'huile moteur
- alimentation troupeau de 5 000 à 15 000 bovins s'abreuvant tous les 2 jours à raison de 40 à 45 l par bovins en moyenne et par jour.

L'évolution des matériels se poursuit. Ainsi les moteurs Vendevre cités ci-dessus ne se fabriquent plus. L'exhaure dans les forages par des moto-pompes à axe rotatif vertical est parfois abandonné au profit de l'électro-pompe immergée qui présente un certain nombre d'avantages :

- rendement meilleur
- facilité de mise en place et de dépose, l'électro-pompe étant suspendue au tubage hors du bâtiment de pompage.
- simplification des appareillages : en particulier suppression des arbres rotatifs et de leurs coussinets, organes fragiles qui en outre encombrant la colonne de refoulement.
- pannes très peu fréquents du groupe électro-pompe

Cependant cette solution, satisfaisante sur le plan technique, présente actuellement certains risques :

- pannes fréquentes des dispositifs d'automatisme, de contrôle, et de sécurité.

- nécessité de disposer d'électriciens dans le personnel d'entretien.

5 - 1 - 3 — Gestion et coût d'exploitation des forages

Le problème de l'entretien et de l'exploitation des ouvrages est traité de façon plus approfondie dans la troisième partie. Mais dans le cadre de ce court paragraphe, on peut déjà attirer l'attention sur un point qui est perdu de vue dans beaucoup de pays : lorsque l'effort de doter une région en forages et en gros matériel d'entretien a été accompli, il semble que le problème est résolu pour toujours. C'est là un grave oubli car les ouvrages ne sont malheureusement pas éternels, et le matériel non plus : il est indispensable de prévoir les ressources nécessaires à leur renouvellement et ce poste de dépense est très important ; il atteint en effet le même ordre de grandeur que le poste fonctionnement et entretien.

Rappelons à titre d'exemple qu'au Niger le coût de fonctionnement d'un forage pastoral, d'un débit de 20 m³/h ressort à environ 2 millions de francs CFA non compris les charges d'amortissement.

5 - 1 - 4 — Exhaure de l'eau des tubes de forage par des éoliennes

a) Préambule

L'éolienne est très controversée comme moyen d'exhaure en hydraulique pastorale. En fait, ce matériel peut fonctionner de façon parfaitement satisfaisante, mais nous ne saurions trop recommander d'étudier sérieusement les conditions d'utilisation et les caractéristiques du matériel à choisir, avant de décider l'acquisition et la mise en place d'une éolienne. L'expérience du Mali est très instructive à cet égard.

Entre 1956 et 1960 furent installées dans la région de Gao une vingtaine d'éoliennes de marque AERMOTOR et une quinzaine de marque CAME. Les secondes se révélèrent très vite insuffisamment résistantes pour les conditions d'emploi qui leur étaient imposées.

Un contrat passé avec un installateur permit d'assurer de 1959 à 1962 des conditions excellentes de fonctionnement des éoliennes ; pendant toute cette période celles-ci donnaient entièrement satisfaction. L'entretien est revenu à environ 8 millions de francs CFA par an. D'autres modalités furent ensuite tentées, mais des difficultés, notamment le manque de devises, empêchèrent l'acquisition de pièces de rechange pour les éoliennes et aussi pour les véhicules. Par suite le service d'entretien déclina rapidement.

Robustesse et contrôle permanent s'avèrent donc les deux premières conditions pour le bon fonctionnement des éoliennes. Ces deux impératifs sont absolument dominants.

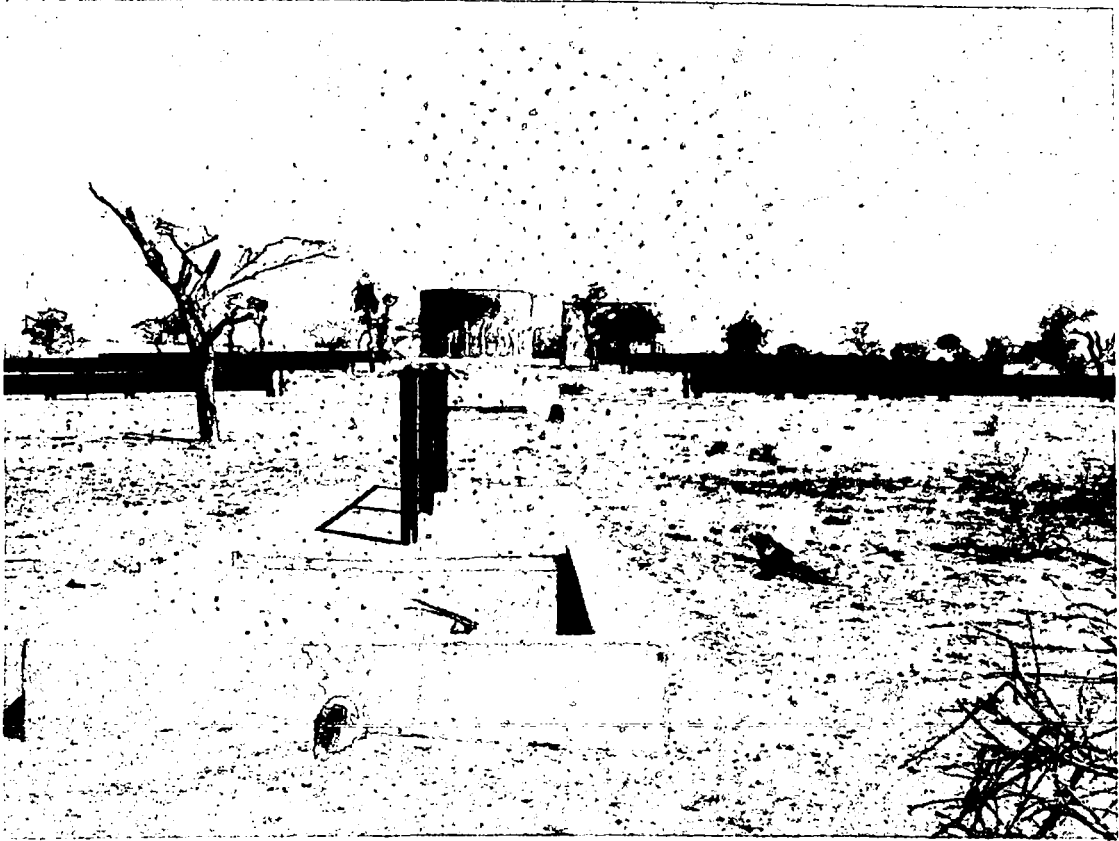
b) Les causes de panne

Mais ce ne sont pas cependant les seules causes d'arrêt du fonctionnement des éoliennes. Ainsi le rapport de mission au Mali de MM. DUPUIS et HLAVEK fait pour le Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères, intitulé « La division de l'hydraulique rurale » indique que certaines pannes se sont produites sur les éoliennes en dépit d'un entretien régulièrement assuré et parfois même quelques jours après les interventions de la brigade spécialisée.

Ceci implique d'abord la nécessité d'une possibilité d'alerte en cas de panne inopinée et d'interventions « à la demande » de la part de la brigade d'entretien en plus de ses contrôles périodiques. Il en résulte une augmentation du coût d'entretien.

En second lieu, l'analyse des causes de telles pannes met en évidence des risques tels que le tarissement du forage, l'entraînement de sable dans l'eau pompée, etc. . . . La solution ne réside pas dans l'étude du forage (débits, granulométrie . . .) faite isolément. Les caractéristiques du forage, celles de l'éolienne, les modalités de la distribution de l'eau et le régime des vents forment un tout indissociable.

PLANCHE 5.



A – NIGER – Installations de la station de pompage de Tatahoussen (Nord Tahoua)
(cabine de pompage, réservoir de 300 m³ – 6 abreuvoirs métalliques,
un poste de distribution d'eau au premier plan).

B – Station de pompage classique au Niger par groupe moto-pompe
(In Ouagueur Nord Tahoua)

Vue prise du réservoir de 300 m³.

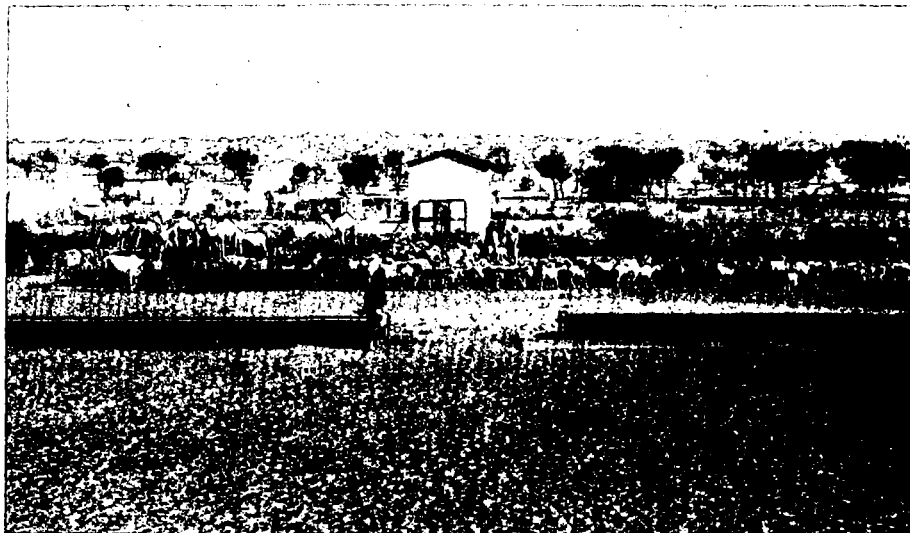
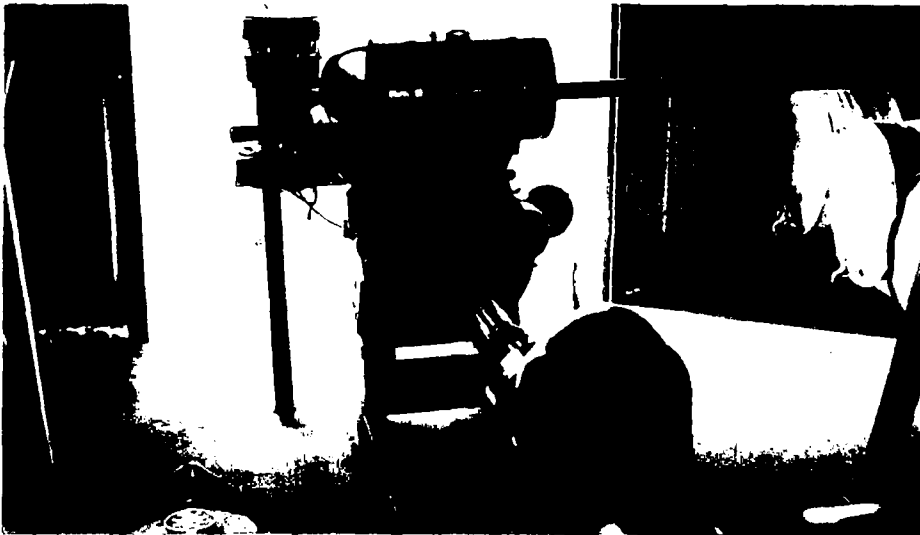


PLANCHE 6 .



A – Groupe moto-pompe
20 m³/h.

sur forage du Nord Tahoua.



B – Forage artésien du
Manga Kadzell tubé en 2".

(poste de distribution d'eau)

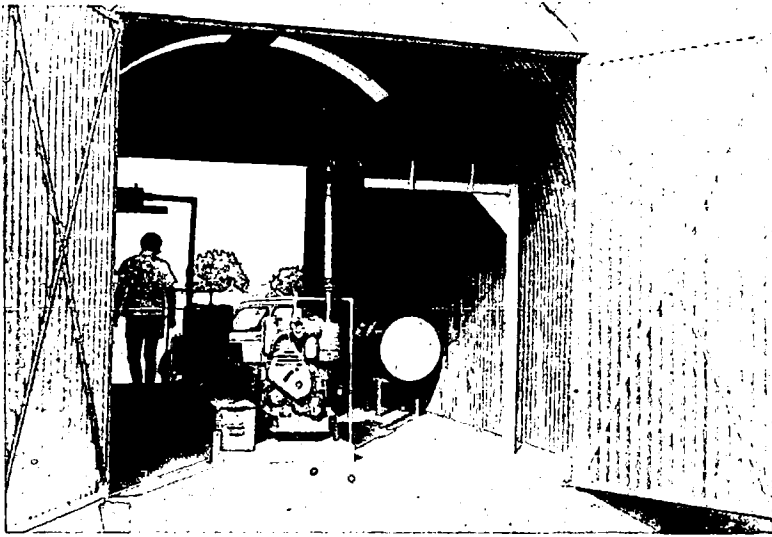


PLANCHE 7 -

Station de pompage de Guissel Bodi NIGER

A - Cabine des groupes électrogènes.



B - Armoires de commande de
l'électro-pompe.



C - Tête de forage électro-pompe
immergée.
(capot relevé).

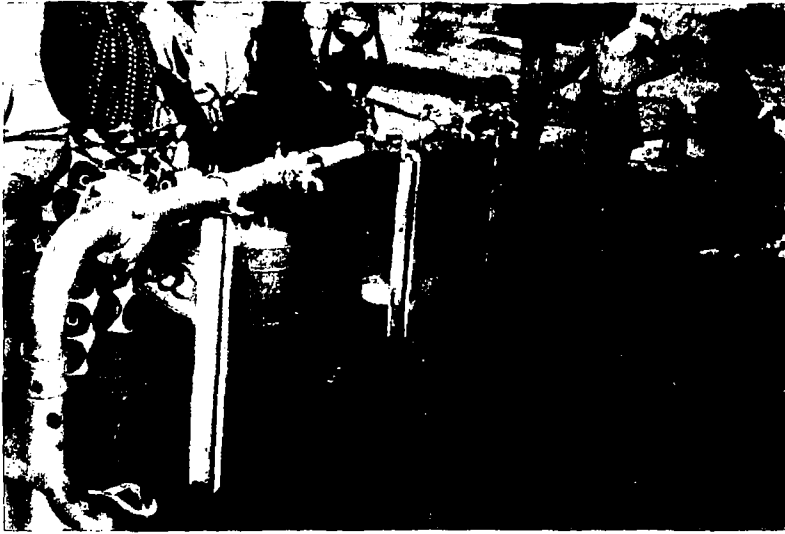


PLANCHE 8 .

Station de pompage de
Guissel Bodi NIGER.

A – Rampe à robinets
(fontaine publique).



B – 6 abreuvoirs de 12 mètres.

(réservoir au fond).



C – Détails socle d'un abreuvoir.

Photos J. ROURE - 1970.

Cette nécessité apparait à travers l'étude des pannes constatées qui sont presque toujours un manque d'eau ou une usure anormale due à l'entraînement de sable dans l'eau. L'origine peut être diverse ; par exemple :

- forage insuffisant ou qui s'est colmaté
- choix d'une pompe de débit trop élevé
- connaissance insuffisante de la nappe et des variations de son niveau, conduisant à un mauvais choix du niveau d'aspiration
- débit de pompage brusquement accru par augmentation de la force du vent (pompe au débit trop fort pour la gamme de vent à exploiter ; ou bien panne du dispositif de mise en drapeau).

Ainsi, il apparait que le débit maximum de la pompe qui correspond à la vitesse d'effacement doit être inférieur au débit minimum du forage. Au passage de la saison sèche à l'hivernage on note les vents les plus forts, ce qui correspond bien au cas ci-dessus : débit maximum de la pompe et débit minimum du forage.

La dimension du réservoir doit aussi tenir compte des vents (fréquence et durée des périodes sans vent) des forages (possibilités de débit de la pompe) ainsi bien sûr que des besoins (moyens et de pointe).

c) Les conditions de bon fonctionnement des éoliennes

En définitive on peut formuler un certain nombre de conditions impératives qui sont nécessaires pour qu'une installation avec éolienne donne satisfaction :

- choix d'un matériel robuste et rustique
- implantation dans une région où le régime des vents est favorable
Les vitesses de vent utiles sont comprises entre la « vitesse d'amorçage » et la « vitesse d'effacement, ou de mise en drapeau ». En pratique les zones favorables sont situées au Nord du 17^{es} parallèle et dans certaines conditions entre le 15^e et le 17^e.
- implantation au nord du 15^{es} parallèle, et mieux du 17^{es}
- implantation sur des surfaces planes, horizontales, très dégagées. Placer une éolienne sur un piton pour qu'elle soit mieux exposée au vent est un leurre. La mettre dans une vallée pour réduire la hauteur manométrique entraîne de plus grandes périodes d'arrêt faute de vent.
- limitation de la hauteur manométrique à 90 m en raison de l'inertie du train de tiges entraînant le piston de la pompe.
- installation à proximité les uns des autres d'un nombre minimum d'appareils (15 à 20) permettant l'organisation de l'entretien par une brigade spécialisée.
- possibilité de protéger l'éolienne par sa mise en drapeau lors de l'apparition de vents violents (arrêt d'hivernage)
- installation d'un réservoir-tampon
- désignation d'un responsable (chef local) pour contrôler l'utilisation des installations, et donner rapidement l'alerte en cas de panne.

A ces conditions, énoncées depuis longtemps (rapport BCEOM –RENAULT ENGINEERING) il y a lieu d'ajouter celles qu'a fait apparaître l'étude des pannes des éoliennes du Mali (région de Gao) :

- nécessité de déterminer les caractéristiques du forage et de choisir l'éolienne et la pompe en fonction des régimes des vents et des caractéristiques de la nappe, et pas seulement des besoins en eau.

d) Conclusion

En résumé, nous répéterons donc que l'utilisation des éoliennes ne peut s'envisager qu'avec des appareils robustes et une organisation sûre d'entretien. En outre certaines conditions impératives indiquées ci-dessus doivent être remplies.

Enfin, il faut bien connaître le régime des vents et les caractéristiques de l'aquifère pour choisir un matériel qui leur est bien adapté compte tenu des besoins en eau, sans oublier en outre que le volume moyen extrait par une éolienne tourne autour de 15 à 30 m³/jour maximum, même si la nappe a des possibilités plus importantes.

Pour terminer, rappelons à titre indicatif que :

- le coût d'une éolienne de 20 - 53 avec 60 m de tubes de 4 pouces 1/4, un réservoir métallique de 50 m³, un abreuvoir de 12 m est de 5 à 6 millions CFA.
- le coût d'un forage au trépan crépiné en 4 pouces, tubé en 6 pouces est de 5 millions CFA.

5 - 1 - 5 – Les pompes solaires

Dans les régions tropicales comprises entre les parallèles 0 et 40 ° de latitude, de part et d'autre de l'équateur, l'énergie globale solaire qui parvient à la surface de la terre est comprise entre 1400 et 2300 kwh par m² et par an. L'on admet en général, dans les calculs des pompes solaires, une énergie de 700 Kcal/h/m², soit 600 watts/m² pour une durée de 3000 heures d'ensoleillement par an.

Le pompage par utilisation de l'énergie solaire est une innovation récente due aux travaux du Professeur MASSON, Doyen Honoraire de la Faculté des Sciences de Dakar et de Monsieur J.P. GIRARDIER, Directeur des Etablissements P. MENGIN à Montargis.

Les prototypes de moteurs solaires fonctionnent à Dakar depuis 1963 et au Niger (Nord Niamey). Le premier prototype d'une surface d'isolateur de 6 m², actionnait une pompe débitant 600 l/heure à 14 mètres. Un deuxième prototype de 300m² développait une puissance de 2,5 à 3 CV et assurait un pompage de 40 m³/h à 10 mètres.

L'on s'oriente actuellement en production industrielle, vers des stations de pompage solaires avec des surfaces d'isolateurs de 90 m² fournissant une énergie de 1,5 CV. Les moteurs solaires correspondant actionnent des hydro-pompes de 5 à 6 m³/h à 150 tours/minute, refoulant sur une hauteur de 30 à 35 mètres, une eau à 30°. la durée journalière de fonctionnement est de 5 à 6 heures.

a) Principe des moteurs solaires

L'énergie solaire reçue sur un isolateur plan chauffe un circuit d'eau qui circule par thermo-siphon et vaporise un fluide (chlorure de méthyle) dans un échangeur. Le fluide se détend dans un moteur à piston et redevient liquide dans un condenseur refroidi par l'eau pompée du puits. Le fluide est refoulé dans l'échangeur par une pompe de réinjection actionnée par le moteur à piston.

Il s'agit du cycle thermique de Carnot dont le rendement thermique est de 7 à 8 % pour l'application considérée. Ce rendement dépend de la température de l'eau pompée utilisée pour la condensation.

En fait, le rendement à l'arbre moteur est de 1,5 à 2,5 % et le rendement en eau pompée de 0,7 % de l'énergie solaire reçue par l'isolateur. Mais cette notion de rendement n'a qu'un intérêt relatif, car l'énergie motrice est gratuite.

Un insolateur de 90 m² actionne un moteur de 1,5 CV. soit :

- puissance à l'arbre, par m² 1 100 Watts/90 m² = 12,2 Watts/m²
- puissance en eau pompée 6,6 watts/m²
- énergie reçue par les insolateurs $12,2 \text{ watts/m}^2 \times \frac{100}{2} = 610 \text{ watts/m}^2$

b) Réalisations

En pratique, l'arbre du moteur solaire actionne une presse hydraulique MENGIN qui fonctionne à 150 tours/minute à la vitesse du moteur solaire.

L'énergie est communiquée à une hydro-pompe classique par deux tuyauteries 15/21 en acier – le tube de refoulement est un Ø 40/49.

Les encombrements des hydro-pompes sont les suivantes :

- type C	:	Ø extérieur	:	265 mm	débit	:	5,5 m ³ /h
- type D	:	Ø extérieur	:	315 mm	débit	:	8 m ³ /h

Ces débits sont fournis pour 170 tours/minute
Hauteur de refoulement : 35 à 40 mètres.

Le prix d'une installation avec insolateur de 90 à 100 m² - moteur solaire complet de 1,5 CV, presse hydraulique, hydro-pompe type C et tous accessoires, montage inclus, ressort à 90 000 F.F, soit 4,5 millions CFA.

Les frais de fonctionnement et d'entretien sont très faibles. Il est souhaitable de prévoir un gardien (200 à 300 000 F. CFA l'an).

Il est utile d'installer un réservoir de stockage de 10 fois le débit horaire de la pompe.

Des études faites, il ressort que les moteurs solaires sont rentables dans une gamme de puissance située entre la puissance d'une pompe manuelle et des puissances à l'arbre allant de 7 à 10 CV.

Les perspectives d'utilisation de l'énergie solaire aux pompes sont séduisantes tout particulièrement pour les zones à vocation pastorale comprises entre les parallèles 14 et 20 ° de latitude Nord et qui sont les plus ensoleillées du globe. Mais il faut attendre pour porter un jugement définitif sur ces pompes, de connaître leur comportement en brousse, loin de la surveillance attentive du constructeur. Des essais sont d'ailleurs envisagés dans ce sens.

Il est donc encore prématuré de recommander les pompes solaires dans des programmes opérationnels de développement rural, surtout au SAHEL.

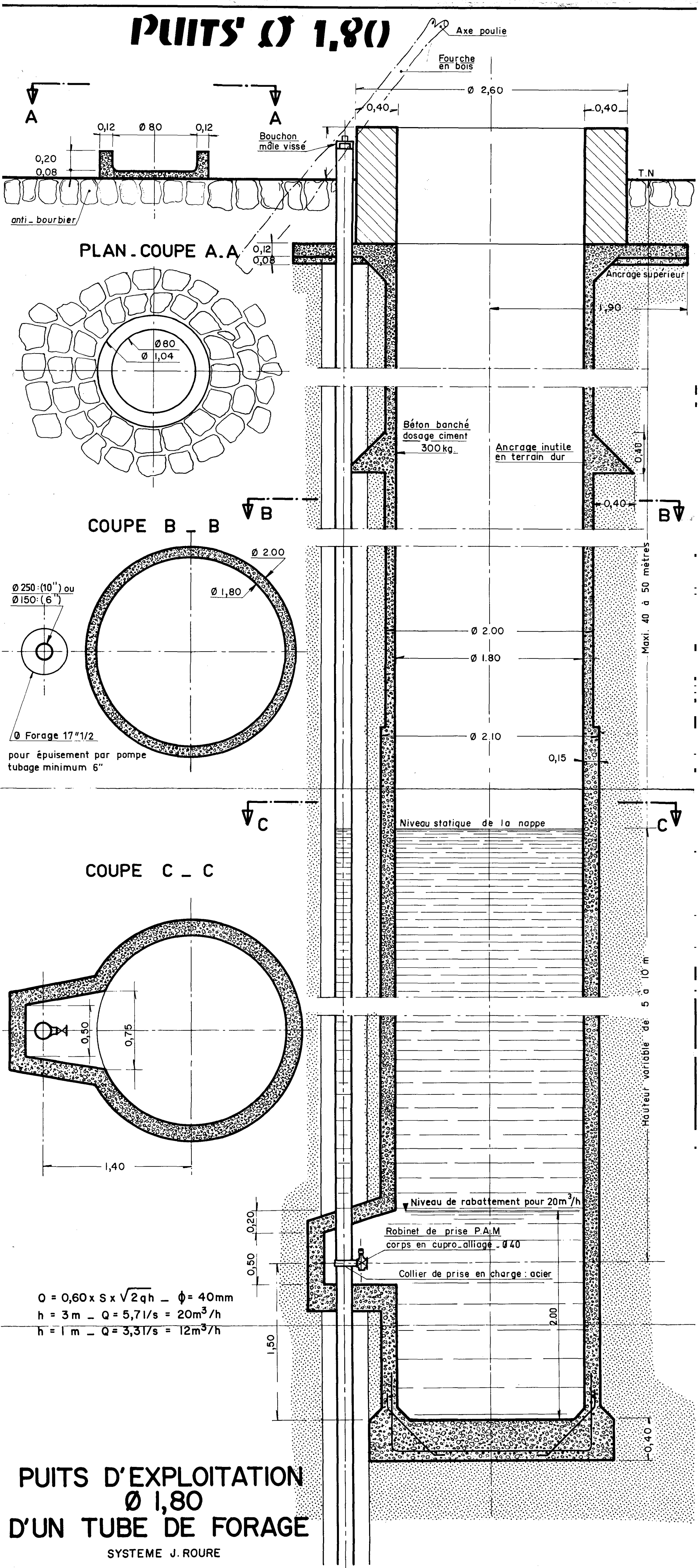
5 - 2 – Exploitation des forages par des puits en béton

5 - 2 - 1 – Puits d'exploitation des forages Ø 1,80 - Ø 2,50 m utiles

Le principe des puits d'exploitation des forages repose sur la collecte dans un puits à fond bétonné de l'eau ascendante des nappes profondes à l'intérieur d'un tube de forage. L'eau est extraite ensuite par les pasteurs à l'aide de leurs moyens traditionnels en fourches, poulies et dellous.

Les cubages d'eau journaliers extraits des puits de 1,80 m de diamètre, avec les moyens traditionnels en poulies, cordes

PUITS Ø 1,80



**PUITS D'EXPLOITATION
Ø 1,80
D'UN TUBE DE FORAGE**

SYSTEME J. ROURE
Echelle : 1 / 25

dellous et traction animale peuvent varier de 25 à 60 m³/jour suivant la profondeur des ouvrages et surtout suivant leur débit.

On peut fixer une profondeur économique du puits à 55 mètres tant en investissement qu'en exploitation. Dans ces conditions le rabattement de la nappe, aux essais, dans un tube de forage ne devra pas être inférieur à 55 mètres du sol sous un débit de 5 à 10 m³/heure.

Cette technique trouve de fréquentes applications : nappes du continental intercalaire (Mali), des sables maëstrichtiens (Sénégal), formations détritiques des grès du Tégama (Niger) nappes ascendentes des calcaires (quelques zones d'affleurements peuvent être seules atteintes près des puits) . . . En pratique les règles de recherches différeront selon les cas : la nappe maëstrichtienne étant bien connue, on pourra à l'avance fixer le mode d'exploitation, donc d'exécution du forage. Par contre, les nappes continentales du Mali ou du Niger ayant des caractéristiques très variables, on fera une reconnaissance rapide en 4''1/4 pour déterminer la nappe, ce qui permettra de fixer la méthode de captage. De même un forage ne devra pas forcément être arrêté à la rencontre d'une nappe d'eau contenue dans les calcaires, car les formations continentales ou marines sous-jacentes peuvent emmagasiner des nappes en charge à moins de 150 m de profondeur..

Dans la vallée de l'Oued AZAOUAK, à l'Est de MENAKA, au Mali, deux puits sur forage durent s'arrêter sur des nappes perchées créées par une remontée de la nappe captée, ascendente entre la paroi extérieure du tube d'exploitation et la paroi creuse . En l'occurrence, il est obligatoire de cimenter sur 20 ou 30 m le toit de l'aquifère à la base du tube pour éviter de pareils incidents et éventuellement de s'assurer de l'étanchéité du joint de tubes télescopiques.

Le tube de forage peut être percé par une perceuse pneumatique. On préfère généralement tarauder au moyen d'un collier de prise en charge et munir l'orifice Ø40 mm d'une vanne et éventuellement d'un clapet anti-retour.

Les puits sur forage fournissent aux utilisateurs une eau abondante. Il présentent sur les installations de pompage des avantages certains :

- * investissements moindres
- * charges d'exploitation nulles si ce n'est des travaux de réfection des superstructures (réfection des abreuvoirs circulaires) évalués à 200 000 F. FCA environ, tous les 3 ans.
- * débits extraits compatibles avec les charges en troupeaux que peuvent supporter les pâturages.

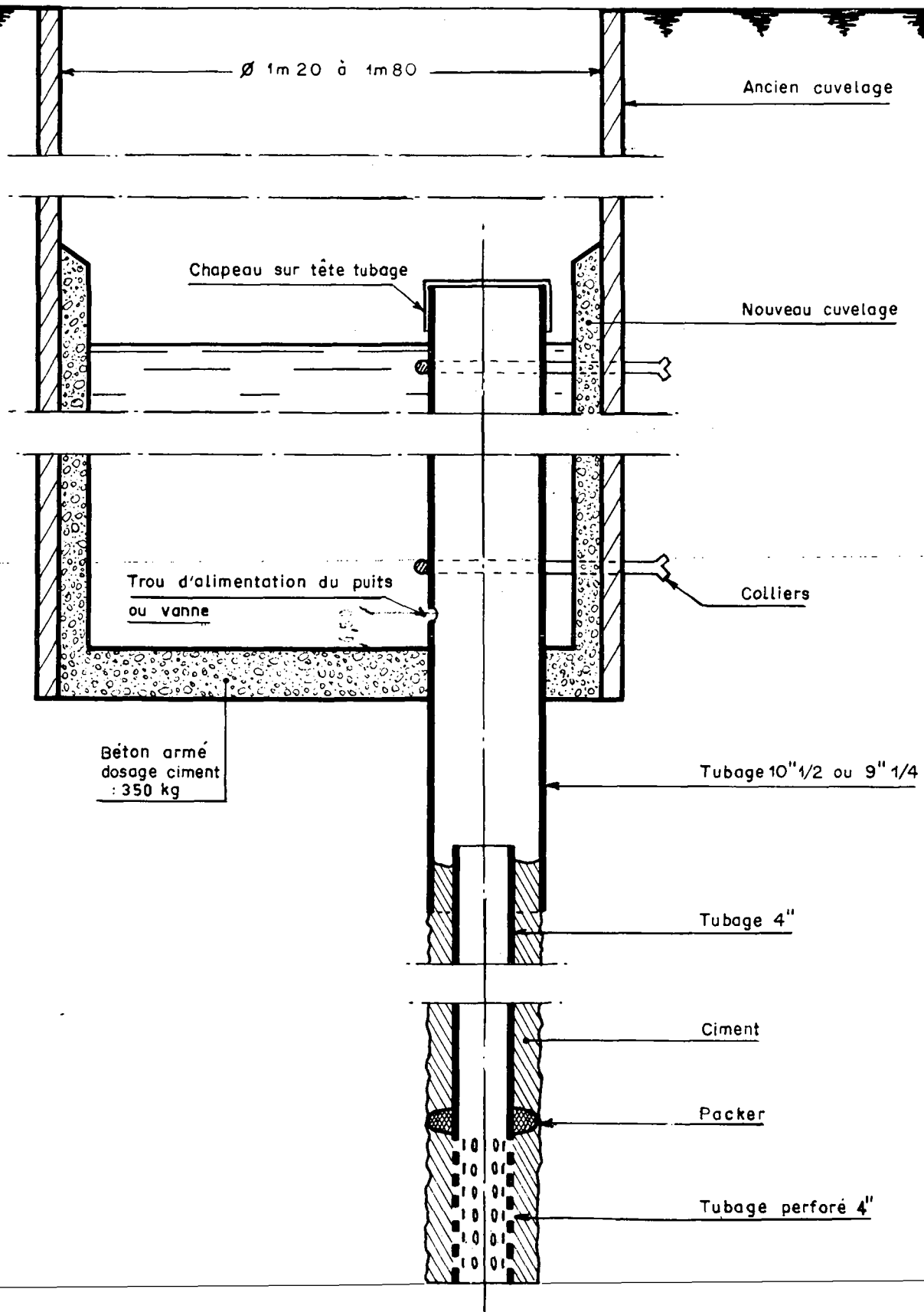
Nous reprenons la règle de principe conditionnant les puits pastoraux sur forages :

Chaque fois que le niveau de rabattement d'une nappe dans un tube de forage se situe à moins de 40 mètres du sol, le forage est exploitable par un puits Ø 1,80 m si le débit de rabattement est de 5 à 10 m³/heure, ou par un puits de diamètre 2,50 m utiles, si le débit de rabattement est de 10 à 20 m³/heure.

Notons en outre, que la position du niveau statique par rapport au sol est très importante, le puits réservoir jouant un rôle de volant d'eau.

FORAGE DANS PUIITS EXISTANT

(SCHEMA)



5 - 2 - 2 – Forage exécuté dans un puits existant

Il est assez rare d'avoir à exécuter des forages dans des puits secs existants bétonnés, mais abandonnés à 60 ou 80 m de profondeur avant d'avoir atteint la nappe.

Ce cas se produit dans les calcaires éocènes du Sénégal où des puits sont restés stériles et leur approfondissement à la nappe aurait été soit très onéreux soit techniquement très difficile s'il s'agit d'ouvrages de faible diamètre utile devant dépasser des profondeurs de 90 à 100 mètres.

Il devient alors nécessaire de mettre en eau ces ouvrages par l'exécution des forages qui atteindront les nappes ascendantes paléocène ou maëstrichtienne. Les caractéristiques de tels forages sont les suivantes :

- * exécution du forage en 17 " 1/2
- * tubage de tête en 9" 1/4 ou 10" 1/2 cimenté
- * tubage d'exploitation en 4" jusqu'au niveau de la nappe : cimentation entre le tube technique et tube d'exploitation
- * tube perforé de 4" s'il s'agit d'une nappe dans les calcaires sans entrainement de sable
- * crépine Ø intérieur 4" et massif de gravier calibré s'il s'agit d'exploiter une nappe contenue dans des sables : 6 à 8 mètres de crépine
- * essais de débit dans le tubage et le puits
- * tube technique prolongé dans le puits au-dessus du niveau statique et coiffé d'un chapeau vissé
- * perçage de trous pour l'alimentation du puits

Avant la mise en eau il sera souhaitable de procéder à un examen du cuvelage existant. Il est à conseiller, dans presque tous les cas, de doubler la paroi en béton par un béton banché armé jusqu'à la hauteur du niveau statique en utilisant un plancher mobile. On bétonne le fond du puits.

II – TECHNIQUES PARTICULIÈRES A L'AMÉNAGEMENT PASTORAL DES EAUX DE SURFACE

1 – GÉNÉRALITÉS : CARACTÉRISTIQUES ET IMPORTANCE

Les eaux de surface présentent une grande importance dans l'alimentation du bétail. Elles sont directement à sa disposition sans intervention de l'homme. C'est donc à l'origine la première des ressources utilisées et ce n'est que lorsque celle-ci vient à manquer que le bétail a recours aux eaux souterraines.

Deux caractéristiques en font toutefois une ressource peu sûre : d'une part les eaux de surface sont rarement pérennes dans la zone géographique qui nous intéresse ici et en tout cas leur abondance est très variable. D'autre part, la qualité en est irrégulière. Fréquemment elle est au moins douteuse, et l'est de plus en plus à mesure que l'on avance dans la saison sèche. C'est pourquoi les installations permettant d'utiliser les eaux souterraines ont pris une importance croissante alors qu'à l'origine elles n'étaient qu'un complément des eaux de surface destiné à attendre la réapparition de celles-ci.

Ce caractère précaire, tant sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif, fait maintenant des eaux de surface un simple appoint dans les régions dépourvues d'eaux souterraines ou tout au moins où celles-ci sont d'utilisation difficile. C'est ce qui explique la place modeste occupée par ce chapitre dans la présente brochure.

C'est un lieu commun de dire que, seule, la pluie est à l'origine des eaux de surface. Mais dans les régions sahéniennes ou soudaniennes elles en proviennent si directement qu'on ne peut en traiter qu'en fonction de la saison des pluies. A cette période, l'eau se trouve un peu partout, s'écoulant de tout côté sous forme de ruisseaux plus ou moins importants. La plupart sont très éphémères mais quelques-uns ont néanmoins un caractère temporaire ou saisonnier. Il s'agit alors d'eaux relativement saines mais généralement très chargées en matériaux variant selon la nature des terrains collecteurs. Très vite, lorsque cesse l'alimentation par les pluies, ces eaux disparaissent par infiltration ou se rassemblent dans des dépressions naturelles où elles forment des lacs et des mares. Ceux-ci sont la principale source naturelle d'abreuvement des troupeaux dans les zones de pâturages éloignées des grands fleuves permanents. Selon les caractéristiques de ces réservoirs leur utilisation pourra être plus ou moins longue : nature du sol (infiltration), topographie (profondeur, surface), climatologie (évaporation).

Schématiquement, les zones arides situées surtout en bordure du Sahara réunissent les conditions les plus défavorables : pluies moindres, ensoleillement maximum, nébulosité presque nulle, vents fréquents. Ces divers facteurs varient ensemble dans un sens favorable en allant vers le Sud.

Les grands fleuves pérennes que sont le Sénégal et le Niger ainsi que quelques-uns de leurs affluents constituent le deuxième type d'eau de surface utilisée par les animaux pour leur abreuvement. La différence fondamentale réside dans le fait qu'il s'agit d'eau courante. Plus à l'Est, le Chari et le Logone sont aussi des ressources importantes, mais qui n'ont pas la particularité très frappante pour les deux premiers fleuves cités de couler réellement au milieu d'un désert.

Au Sud de ceux-ci on retrouve en effet des régions arides parfois même désertiques mais où cependant ce caractère est moins accusé que vers le Nord.

De ce schéma résulte le grand mouvement de transhumance. La saison des pluies conduit les troupeaux vers le Nord (ou vers les régions arides au sud des grands fleuves) où de vastes pâturages neufs se constituent alors que ceux des vallées fluviales se sont épuisés par la concentration des troupeaux. L'eau est alors abondante, l'herbe jeune excellente. Le bétail demeure là aussi longtemps que les mares le permettent et redescend progressivement vers le fleuve : d'une part les mares du Nord s'assèchent plus rapidement que celles du Sud et d'autre part les troupeaux doivent se rapprocher de l'eau pérenne au cours de la saison

sèche pour ne pas risquer d'en être coupés par une distance trop longue ne comportant pas de points d'eau.

La qualité des eaux de surface est variable selon leur nature. La composition chimique ne pose pas de problème soit que l'utilisation d'une seule mare est trop brève pour que se manifeste les effets d'une éventuelle carence, soit que les eaux proviennent du ruissellement sur des aires assez vastes pour que leur nature chimique soit diversifiée. Le véritable problème est d'ordre sanitaire. Les eaux des fleuves ou celles des ruisseaux temporaires sont généralement satisfaisantes. Par contre celles des mares ne demeurent bonnes que pendant un temps limité. En l'absence même d'animaux, ces eaux stagnantes chauffées toute la journée par le soleil, sont l'objet de fermentations et deviennent croupissantes surtout lorsque l'importance de la mare s'est réduite sous l'effet de l'infiltration et de l'évaporation. A cela s'ajoute le fait que les animaux venant s'abreuver pénètrent dans l'eau et la souillent par leur immersion et par leurs déjections. Ainsi une mare peut se transformer en un véritable bouillon de culture de toutes sortes de germes et notamment de ceux responsables des épizooties. C'est là le point capital de l'utilisation des eaux de surface auquel il faut donner la plus grande attention dans les aménagements qui sont envisagés.

Ainsi le problème de l'aménagement des eaux de surface s'intègre dans le cadre général de l'équipement des points d'eau mais en gardant quelques caractéristiques qui lui sont propres, notamment sur le plan capital de la transmission des maladies contagieuses ou parasitaires (voir 1ere partie , 1 - 3 - 2-pages 15 et 16).

2 – AMÉNAGEMENT DES EAUX DE SURFACE

2 - 1 – Utilisation des eaux de surface

Dans un programme de points d'eau, un maximum d'importance sera bien entendu donné aux eaux de surface lorsqu'il n'existe pas d'eaux souterraines ou que celles-ci sont trop profondes pour être utilisables. Là où les nappes sont incapables de satisfaire à la totalité des besoins, les eaux de surface devront assurer le complément nécessaire.

Toutefois, même dans les régions riches en eaux souterraines, les eaux de surface ne devront pas être négligées car elles pourront constituer une ressource bon marché et permettre un arrêt temporaire de l'exploitation de la nappe. Celle-ci pourra alors se reconstituer partiellement ; il ne faut en effet pas oublier qu'une nappe même abondante ne peut jamais constituer une ressource inépuisable.

L'aménagement peut avoir des objectifs variés. Ce peut être d'assurer temporairement l'abreuvement autour d'un pâturage mal utilisé faute d'eau en arrière-saison ou bien sur un itinéraire de parcours mal jalonné de points d'eau. Ce peut être aussi de permettre l'exploitation d'un pâturage pendant toute la saison sèche et il faudra alors assurer la permanence du point d'eau d'une saison de pluies à l'autre.

Dans tous les cas, une préoccupation est essentielle : le maintien de la qualité sanitaire de l'eau. Tout aménagement doit comporter un dispositif évitant les souillures de l'eau. On devrait même concevoir l'installation de dispositifs sanitaires sur les points d'eau naturels importants ; mais en fait une telle pratique est malheureusement inusitée.

2 - 2 – Rappel des divers types d'aménagement

Dans un cours d'eau, temporaire ou permanent, l'eau est utilisée directement sans aménagement. Elle est toujours réputée bonne : En fait, il arrive qu'une eau courante soit souillée ; elle peut alors conserver et transmettre des germes comme ceux du choléra et de la fièvre jaune, ou des parasites intestinaux, etc . . . Mais on constate que dans la réalité, les troupeaux se déplacent vers la rivière pour s'y abreuver, sans précautions spéciales.

Les aménagements ne concernent donc pratiquement que les eaux stagnantes. Mais ils peuvent être des améliorations des réserves naturelles ou des créations de réserves artificielles. Ces dernières peuvent faire appel à des dérivations d'écoulements naturels pour leur alimentation ; elles peuvent à l'inverse collecter directement des eaux pluviales. On a donc toute la gamme d'aménagements qu'il n'est pas possible de classer de façon rigide car toutes les combinaisons sont envisageables.

Une prise de dérivation peut être installée sur un cours d'eau permanent ou temporaire. Elle détourne tout ou partie du débit. Parfois simple échancrure dans la berge, elle va d'autre fois jusqu'à la prise par épi ou barrage. Une réserve naturelle peut être aménagée, notamment par approfondissement pour accroître le volume d'eau disponible. L'aménagement des abords, la création d'un dispositif de puisage sans pénétration des animaux dans l'eau, permettent une amélioration des conditions sanitaires.

La création d'une réserve artificielle peut se faire à partir d'un barrage établi en travers d'un thalweg où s'écoulent les eaux en saison des pluies. Elle sera parfois réalisée en creusant une cavité dans laquelle on conduira les eaux de ruissellement soit par détournement d'un collecteur pluvial naturel soit par canaux de récupération de la nappe ruisselante : ce sont les mares artificielles.

Citons enfin la citerne qui a parfois été utilisée pour accumuler l'eau de pluie en la mettant à l'abri de l'évaporation et de la lumière. Elle est très peu utilisée dans un but pastoral car de construction difficile et onéreuse. Nous ne la mentionnons ici que pour mémoire en rappelant seulement son principe : une aire maintenue sans végétation recueille la pluie, et par sa pente naturelle la conduit vers la citerne. L'aire devra être clôturée pour des raisons de propreté et de conservation, et circonscrite par

un bourrelet de terre et un sillon empêchant des écoulements de l'aire de collecte vers l'extérieur et inversement. A l'entrée de la citerne un dispositif de décantation évite le comblement de celle-ci par les matériaux entraînés. Le volume de la citerne et la superficie de l'aire de collecte sont directement liés entre eux en fonction de la hauteur de pluie.

Pour les aménagements autres que la citerne, une grosse importance doit être donnée à l'hydrologie qui conditionne la disposition et l'emplacement de l'ouvrage ainsi que des dispositifs de collecte. Le contrôle des débits solides est également nécessaire. Enfin des dispositifs pour garantir le maximum de propreté à l'eau stockée sont indispensables. Les indications relatives à toutes ces préoccupations figurent dans le paragraphe suivant relatif aux mares artificielles.

Les techniques de réalisation et la description des ouvrages de prise par dérivation d'un cours d'eau ou par barrage d'un thalweg sont développés dans les brochures de la collection « Techniques rurales en Afrique » concernant les ouvrages en gabion et les petits barrages en terre.

Les mares artificielles étant avec le barrage en terre, le type d'ouvrage le plus utilisé pour l'exploitation des eaux de surface, il lui est consacré un chapitre particulier dans lequel le lecteur trouvera des indications valables pour les divers petits ouvrages de collecte ou de dérivation des eaux pluviales.

3 – LES MARES ARTIFICIELLES

Dans la plupart des pays d' Afrique, les régions à la fois affectées par une longue période de sécheresse, et sans ressources proches en eaux courantes ou en eaux souterraines, sont très vastes. Le stockage des eaux de pluies reste alors le seul moyen pour satisfaire les besoins de l'élevage. Le présent chapitre est donc consacré aux mares artificielles qui constituent un des principaux procédés de conservation de l'eau de pluie.

3-1 – Les conditions de site

L'emplacement d'une mare artificielle est essentiellement tributaire de 2 facteurs primordiaux : la nature des sols et les conditions hydrologiques.

3-1-1 – La nature des sols

Le problème le plus ardu à résoudre dans l'implantation d'un bassin de stockage est la découverte d'un site qui présente les conditions d'imperméabilité satisfaisantes.

L'imperméabilisation artificielle d'une cuvette est souvent très coûteuse quand on ne dispose pas des matériaux voulus sur place, aussi doit-on chercher un site où la couche de terrain impénétrable soit la plus épaisse possible. Cette recherche est rendue plus délicate par le fait que, afin de réduire l'évaporation par rapport aux volumes stockés, les mares artificielles doivent avoir d'assez grandes profondeurs.

Des sondages à la tarière ou éventuellement au pénétromètre doivent donc précéder l'implantation d'une mare artificielle pour s'assurer que le site remplit cette condition primordiale.

3-1-2 – Conditions hydro-climatologiques

Il faut s'assurer également des possibilités d'un remplissage satisfaisant du bassin : c'est la seconde condition de base du site choisi.

On peut distinguer deux modes principaux de remplissage ou d'approvisionnement pour les mares artificielles :

- * Mise en communication avec des plans d'eau existants, soit par dérivation de rivière soit par prise sur des lacs ou des mares préexistantes. Ceci nécessite une étude hydrologique préalable pour connaître les disponibilités selon les années de ces eaux courantes ou dormantes.
- * Récupération directe des eaux de ruissellement d'un bassin versant donné. C'est le mode d'approvisionnement le plus fréquent et qui n'entraîne aucune dépense annexe pour la dérivation des eaux.

Une étude pluviométrique et climatologique est nécessaire pour connaître d'une part les ressources en eaux météorologiques et d'autre part les pertes en surface que subira le futur plan d'eau.

L'étude de la pluviométrie doit comporter :

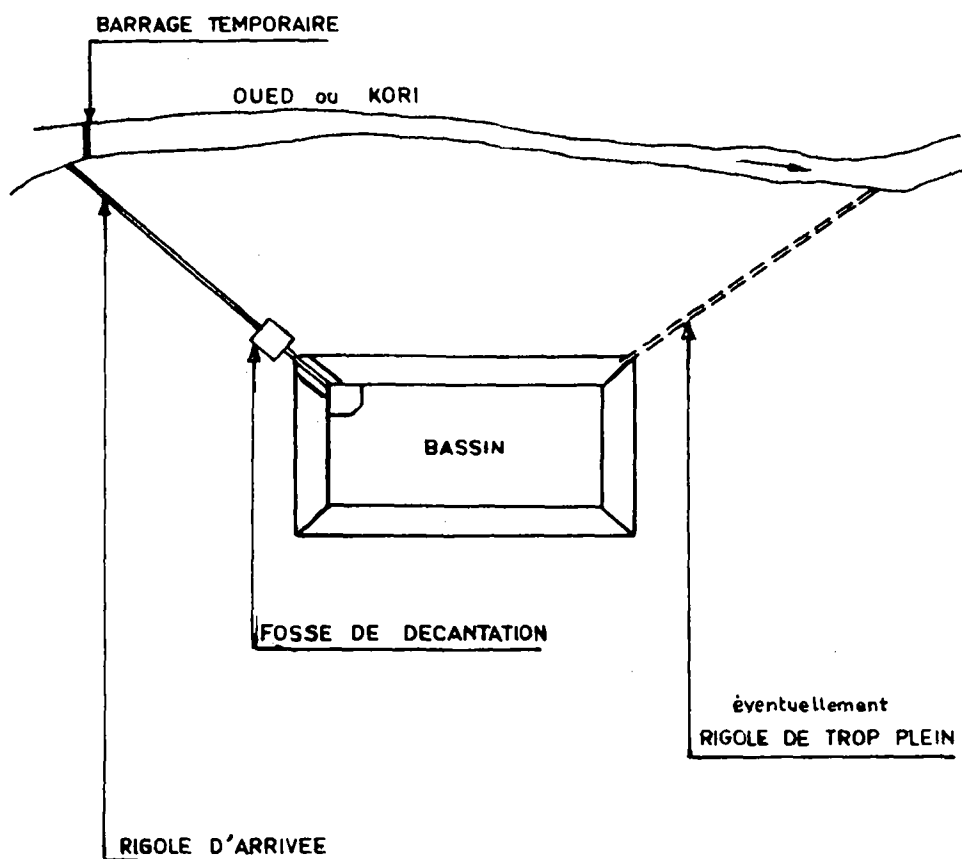
- a) l'étude de la variabilité interannuelle des précipitations
- b) le classement des pluies minimales pour l'ensemble de la région climatologique intéressée.

Ces études permettent de connaître la fréquence prévisible du remplissage de la mare artificielle envisagée.

Quant à l'étude de la climatologie, elle doit porter sur les conditions thermiques de la région, les conditions d'ensoleillement, l'évapotranspiration pour déterminer les moyens de lutte éventuels contre les pertes par évaporation, et si possible

CROQUIS TYPE DE MARE

ALIMENTATION PAR DETOURNEMENT DES EAUX D'UN COURS D'EAU

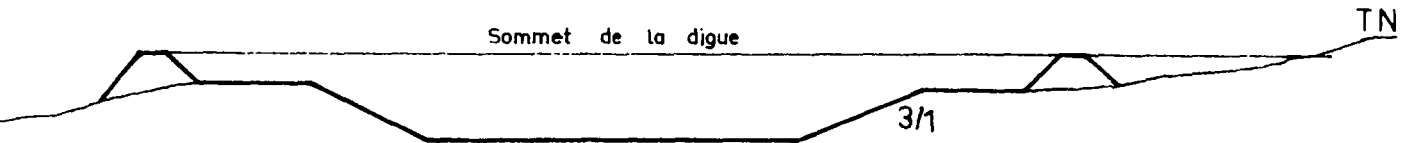


ECHELLE 1 / 2500°

CROQUIS TYPE DE MARE

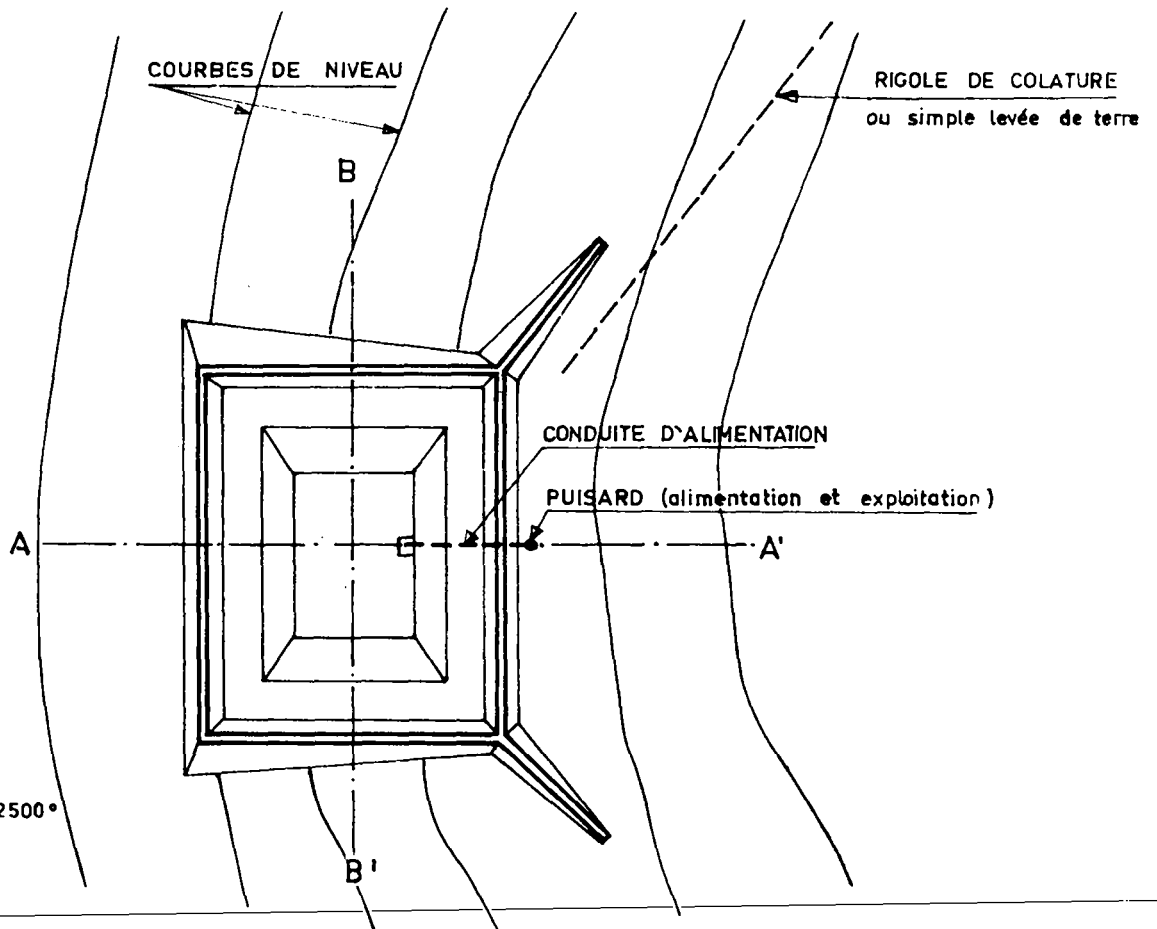
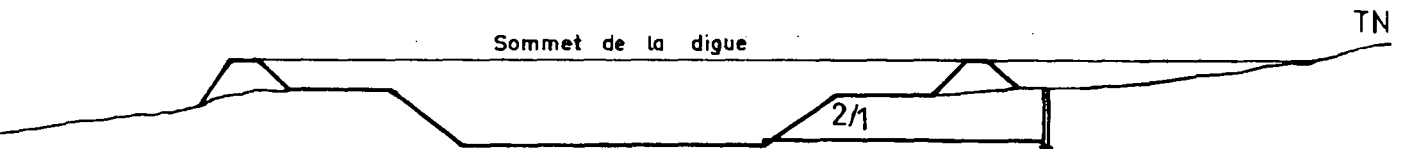
ALIMENTATION PAR BASSIN DE REPRISE ET PUISARD

COUPE B-B'



ECHELLE 1/1000°

COUPE A-A'



ECHELLE 1/2500°

le régime des vents.

3 - 2 – Considérations sur le dimensionnement optimum d'une mare artificielle

3-2-1 – Volume utile

Le chapitre I (généralités) de cette brochure indique dans son paragraphe 1 - 3 quels sont les besoins en eau des troupeaux. Le chapitre II (établissement des programmes) précise au 3-1-2 les possibilités d'exploitation des pâturages autour d'un point d'eau. Nous en retenons les chiffres globaux suivants :

- * besoins en eau du bétail :
bovins : ration minimum (survie) 30 litres par jour ; ration normale : 50 litres par jour.
petit bétail : 4 litres par jour.
- * charge des pâturages : 10 ha par tête de bovin
- * rayon d'utilisation des pâturages : optimum : 12 km
maximum : 15 km

Une mare permet donc le pâturage d'environ 45 000 ha normalement et 70 000 au maximum ; il s'agit donc d'alimenter 4 500 bovins avec un maximum possible de 7 000. En période normale le besoin par jour sera de $4\ 500 \times 50 = 225\ 000$ l, et en période de pénurie $7\ 000 \times 30 = 210\ 000$ litres.

Pour assurer les besoins de l'alimentation en eau pendant toute la durée de la saison sèche soit 8 mois environ, c'est donc une capacité utile de 50 à 55 000 m³ au moins que doit offrir la mare artificielle. Cela correspond à un volume total nettement plus important. Si l'aménagement conduit à un volume moindre, la mare ne pourra desservir qu'une surface réduite (mares voisines plus proches) ou n'assurer l'alimentation que pendant une période limitée de la saison sèche (pâturages temporaires, mares utilisées comme appoint).

Le mode d'exécution dépend essentiellement du volume des terrassements. Si les conditions hydrologiques et la nature des sols permettent de réaliser une mare de 50 à 55 000 m³ de capacité utile, il ne sera généralement pas possible de faire les travaux manuellement. La possibilité d'utiliser une main d'œuvre non spécialisée est parfois un élément déterminant en faveur de la réalisation de petites mares. L'utilisation d'engins mécaniques de terrassement conduit à donner une forme très allongée au bassin au lieu d'une forme presque carrée. La pente des parois d'extrémité sera au plus de 3 de base pour 1 de hauteur. Le volume limite conduisant à choisir l'exécution manuelle ou mécanique est très variable : il dépend de la nature du sol, de la facilité d'amener les engins à pied d'œuvre, de l'existence d'une main d'œuvre proche sous employée, de la possibilité de faire appel à « l'investissement humain », etc. . . Chaque mare est donc à cet égard un cas d'espèce.

3-2-2 – Dimensionnement général

Par suite de l'évaporation intense qui règne dans la majeure partie des régions de l'Afrique, il faut que la superficie de la mare artificielle soit la plus faible possible par rapport à son volume, ce qui impose :

- * une assez grande profondeur compte tenu des caractéristiques de la couche limite.
- * des pentes maxima pour les berges, compte tenu de la tenue des terrains.

Il a été adopté, par exemple pour une série de mares artificielles creusées en 1962 au Nord Cameroun sur programme FED et pour les Hafirs au Soudan, une profondeur de l'ordre de 7,5 m (nous ne connaissons pas d'exemple dépassant 9 m).

Dans une mare plus profonde l'eau s'échauffe moins vite, et c'est là un facteur non négligeable de maintien de la qualité de l'eau.

Il faut toutefois mentionner un point important sur le plan pratique allant à l'encontre de la règle de la profondeur maximum. Les déblais doivent toujours être déposés loin des bords de la mare pour que leur affaissement sous l'effet de la pluie et du ravinement n'entraîne pas une retombée de terre dans le bassin (il faut au minimum 5 ou 6 m entre le pied du cordon de déblais et le bord de la mare). Si les remblais sont utilisés pour constituer la partie haute des parois de la mare, et même s'ils sont sommairement compactés, la même précaution doit être prise ; il résulte une zone peu profonde sur tout le pourtour du bassin.

L'évaporation peut atteindre et dépasser 2 m à 2,50 m par an. Il y a d'autre part en fin de saison sèche une couche de 0,30 m à 0,50 m d'eau impropre à la consommation des troupeaux. La hauteur d'eau non utilisable est donc en définitive de 3 m environ. Ainsi dans le cas des exemples ci-dessus où la profondeur totale est de 7,50 m la profondeur utile n'est que de 4,50 m; la capacité totale de la mare devra alors être de l'ordre de :

$$50/55\ 000\ m^3 \times \frac{7,5}{4,5} \neq 85/90\ 000\ m^3$$

En plan la forme générale des mares est rectangulaire. En admettant comme pente du talus de côté 2/1 et comme pente du talus d'extrémité 3/1 (exécution aux engins), on peut admettre comme dimensions générales les suivantes (pour une profondeur de 8 m) :

Ouverture : 298 m X 54 m
Fond : 250 m X 22 m

3 - 3 — Les problèmes techniques

3-3-1 — Ouvrages d'entrée de l'eau

L'admission directe des eaux par déversement est déconseillée, qu'elle soit collectée en nappe ou au niveau d'un petit ravineau. La protection des berges exigerait un dispositif coûteux.

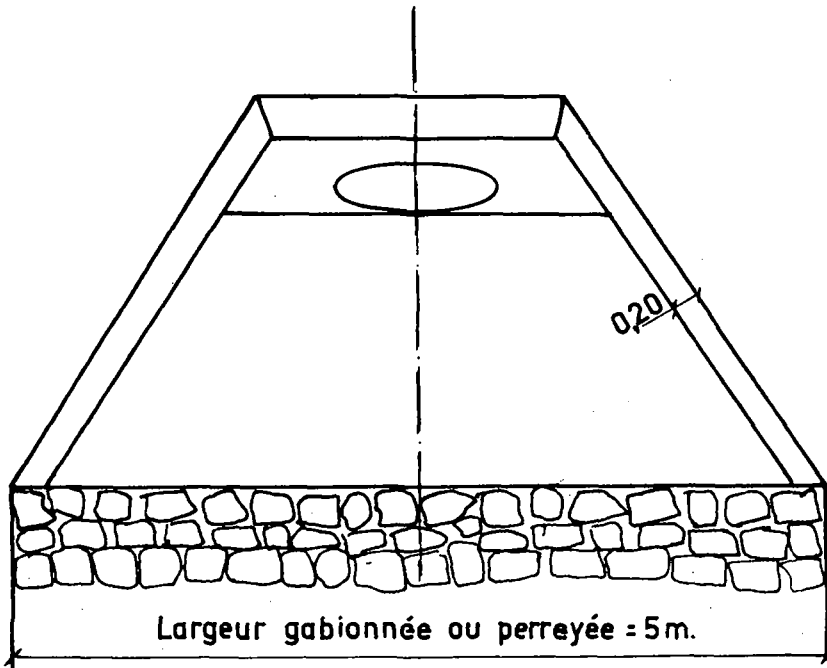
L'alimentation par mise en communication avec une mare naturelle peut se faire par une conduite (éventuellement vannée). Elle permet un remplissage relativement régulier, mais nécessite généralement un endiguement de protection souvent onéreux.

L'alimentation par collecte directe des eaux de ruissellement d'un petit bassin se fait par des rigoles légèrement inclinées par rapport aux courbes de niveau ou par dérivation d'un petit ruisseau naturel, qui doivent aboutir à un dessableur. C'est généralement un simple bassin de 5 à 10 m de côté et de 1 m à 1,50 m de profondeur. Si des éléments fins sont entraînés jusqu'à la mare ils auront généralement un effet bénéfique en réduisant la perméabilité du fond et des parois de celle-ci. L'eau est introduite dans la mare par une conduite issue du dessableur.

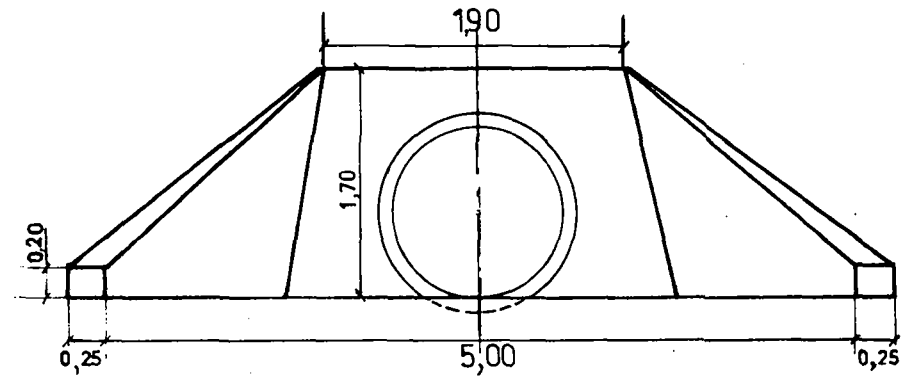
Toutefois le débit obtenu par ce second type d'alimentation est très variable. En particulier dans les zones de pluviométrie faible (à partir de 350 ou 300 mm) la superficie du bassin versant nécessaire au remplissage de la mare est très grand ; quelques km². Les débits de crue peuvent alors être considérables (quelques dizaines de m³ par seconde) en raison de l'accroissement de surface et de la plus grande irrégularité de la pluie par rapport à la moyenne. Il faut alors prévoir des ouvrages régulateurs de l'alimentation qui peuvent rendre inacceptable le coût de l'opération.

La conduite d'alimentation débouche dans le fond de la mare par un ouvrage en béton prolongé d'une protection en gabions ou en perré.

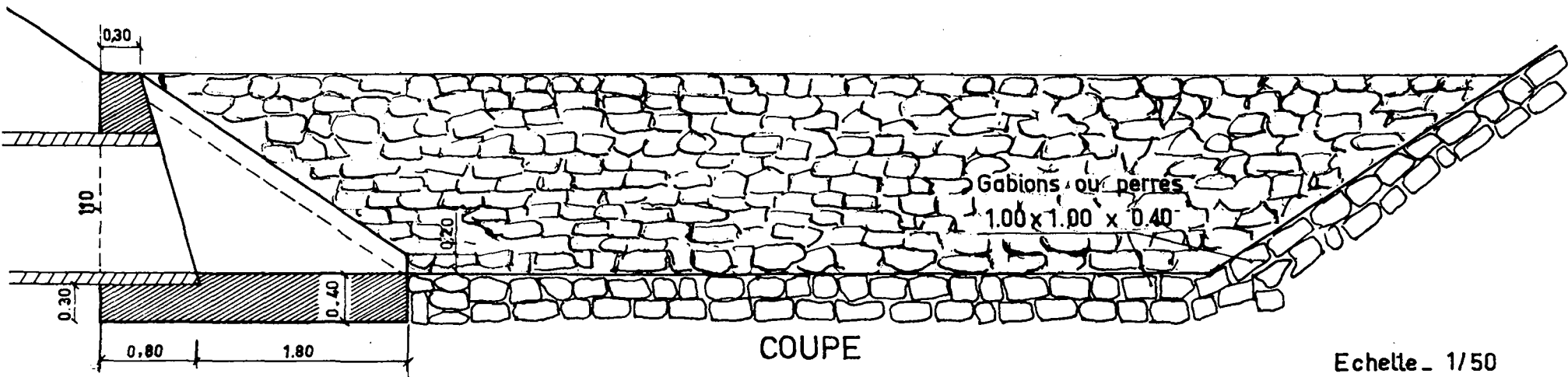
DEBOUCHE DANS LA MARE



PLAN



VUE FACE



COUPE

Echelle 1/50

3-3-2 — Puisage de l'eau

Le libre accès des animaux est à condamner pour des raisons sanitaires. Une clôture de fils de fer barbelés bien entretenue peut être efficace, à condition d'être placée sur de solides supports ; l'augmentation de coût qui en résulte est tout à fait justifiée. Il est souhaitable de doubler la clôture d'une haie d'épineux. Celle-ci, en cachant le plan d'eau à la vue du bétail joue, indirectement un rôle très efficace pour la conservation de la clôture.

L'abreuvement peut alors se faire par un puisard communiquant avec la mare par une conduite crépinée. Celui-ci étant peu profond (8 m au maximum), le puisage peut facilement se faire au seau. L'aménagement sera complété par une aire assainie comportant des abreuvoirs, analogue à celles décrites dans le chapitre sur les eaux souterraines.

3-3-3 — Lutte contre l'évaporation

La première mesure pour lutter contre l'évaporation est la réduction de la surface de la mare. Elle entraîne un approfondissement ce qui pose quelques problèmes pour l'étanchéité. Toutefois le gain ainsi réalisable ne porte au mieux que sur quelques % du volume total

Un moyen utilisé fréquemment est un talus de 5 à 6 m de hauteur en terre disposé perpendiculairement à la direction des vents dominants. Ce talus qui sert de brise vent doit être situé à une distance de garde d'une dizaine de mètres du bord le plus proche de la mare pour éviter l'entraînement des déblais dans la mare par les eaux de ruissellement. Un brise vent végétal peut aussi être envisagé, mais il faut être assuré de la survie de la plante utilisée.

D'autres procédés ont été essayés comme par exemple, les films monomoléculaires d'alcools saturés à longue chaîne (hexadécanol , octodécanol). Mais de nombreux inconvénients se sont révélés à l'usage :

- destruction par le vent,
- diminution de l'efficacité par l'effet de la température (au-delà de 30° la résistance du film décroît très rapidement),
- renouvellement fréquent nécessaire (la dose d'entretien est de 50 g à 250 g par hectare et par jour),
- résultats très variables et incertains. Dans les meilleures conditions, on ne pourrait escompter qu'une réduction de 15 à 20% de l'évaporation

Une autre méthode qui semble présenter une meilleure efficacité est l'utilisation de perles de polystyrène (Styropor) ; elle a en effet permis, en expérimentation sur de petits bassins de l'ordre de 100 m², une réduction de l'évaporation dépassant 50 %. Le prix est relativement modique et la mise en œuvre est facile. Toutefois des difficultés sont apparues vis à vis de l'action du vent et de la conservation des perles lors des variations de niveau du plan d'eau.

En définitive dans l'état actuel des choses on est encore très démuné dans la lutte contre l'évaporation, les seules méthodes pratiquement utilisables étant la réduction de la surface libre et le brise-vent.

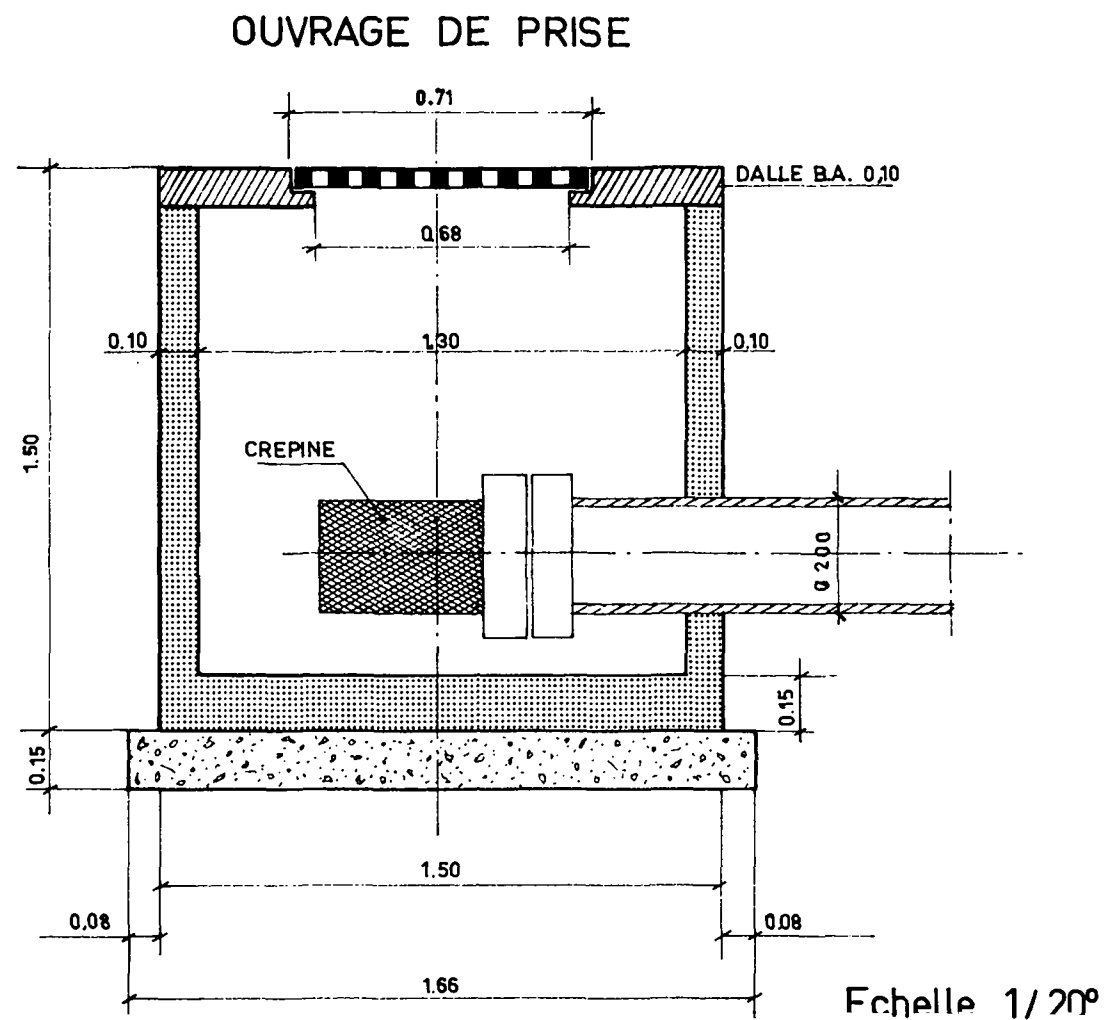
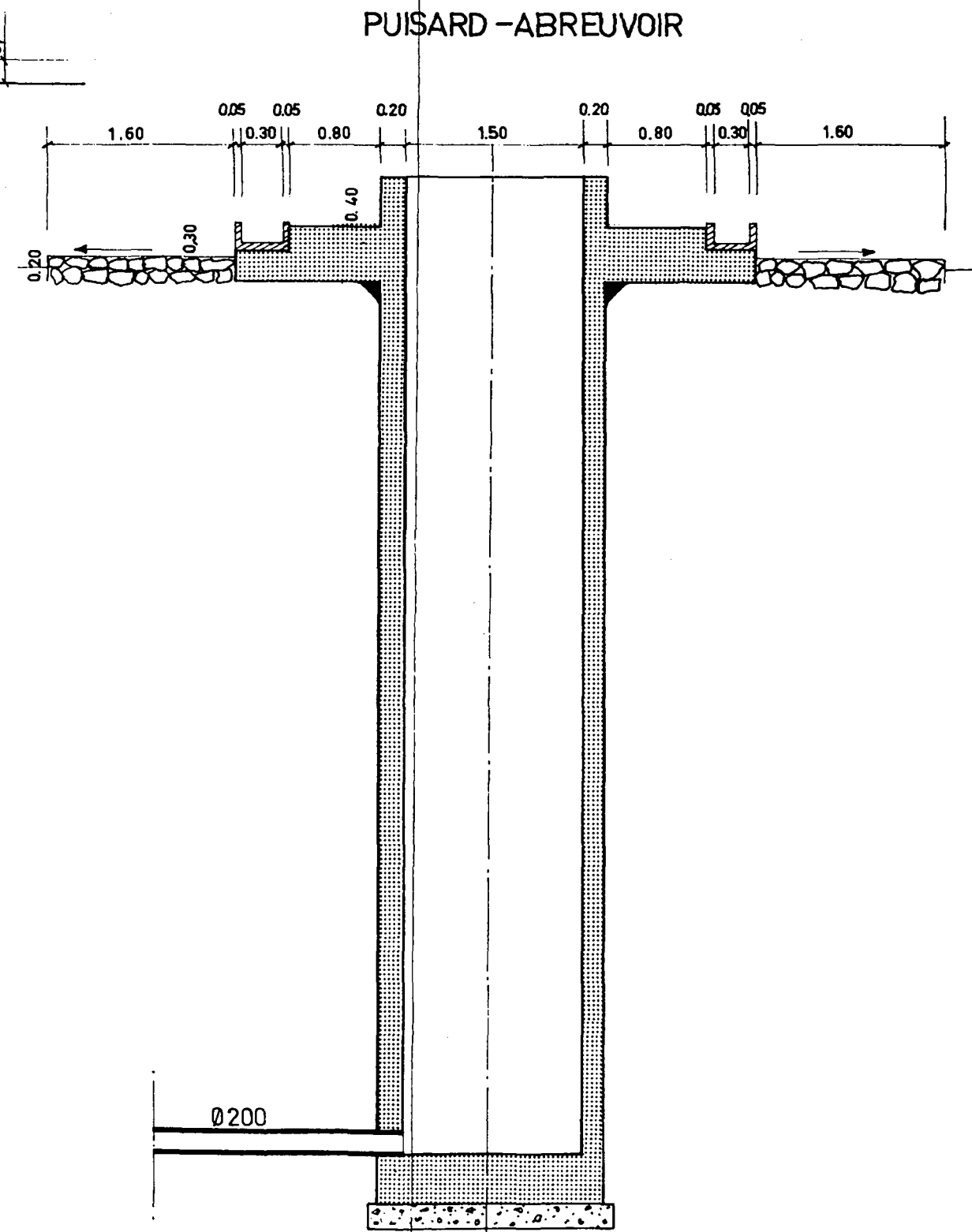
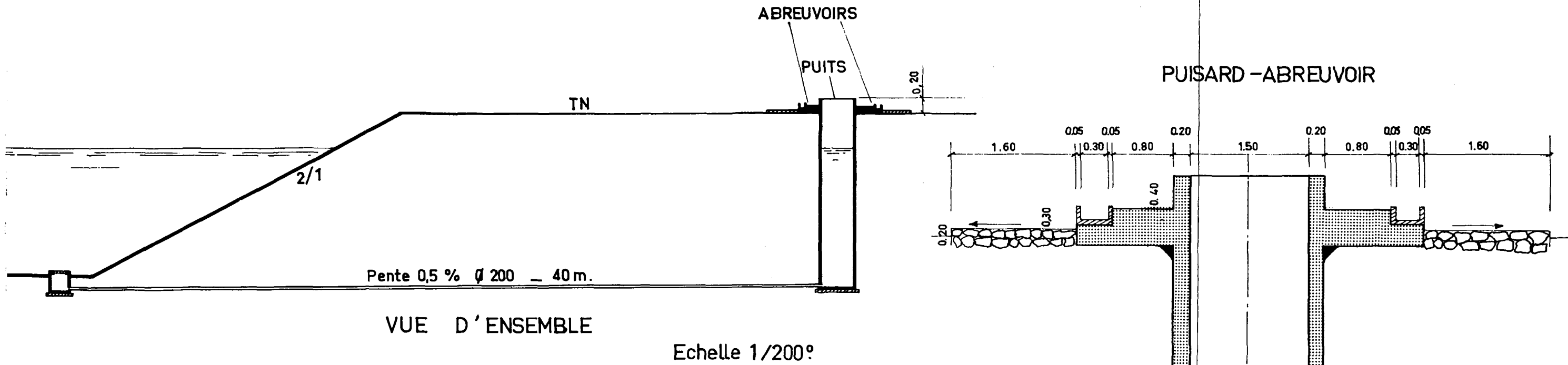
3-3-4 — Pertes par infiltration

L'existence de couches de matériaux imperméables d'étendue et surtout d'épaisseur suffisantes en un site donné est relativement rare. Aussi doit-on parfois avoir recours à des procédés d'étanchéisation artificielle.

a) Etanchéisation par matériaux imperméables naturels

C'est le moyen le plus économique, les matériaux provenant des fouilles proprement dites de la mare ou des zones avoisinantes. Le plus souvent on réalise la couche imperméable au moyen de plaques de 25x25x20 cm environ, posées jointives.

DISPOSITIF DE PUISAGE ET D'ABREUVEMENT



Echelle 1/50°

La mise en œuvre de ce procédé peut être assurée par une main d'œuvre locale non spécialisée confectionnant ces dalles, les transportant et les posant. On peut tabler raisonnablement sur une surface revêtue de 1,5 à 2 m² par homme et par journée de 8 heures avec des distances de transport courtes.

b) Étanchéisation par film plastique fabriqué industriellement. Cette méthode est utilisée pour des productions riches : horticulture en France, USA, abreuvement de moutons au Tanganyika.

Mais le procédé est très cher, difficile à mettre en œuvre (soudures des bandes) et pose des problèmes de maintenance et de transports dans les régions écartées; de la sorte, il est pratiquement inutilisable pour les mares de la région sahélienne.

c) Autres procédés utilisés : ce sont la bentonite, bon marché et l'émulsion bitumineuse plus coûteuse car peu durable. Mais il n'est pas établi que ces deux procédés soient utilisables pour des réserves destinées à l'abreuvement des animaux.

3 - 4 – Aperçus économiques

Nous donnons ci-après un aperçu général du coût d'une mare artificielle tant pour sa réalisation que sur le plan de l'entretien et de l'amortissement.

Les prix unitaires ne sont que des prix moyens pratiqués en Afrique et les résultats ne sont que des ordres de grandeur. Ils sont toutefois utiles dans l'estimation rapide de la rentabilité d'une mare artificielle.

3-4-1 – Investissement

Prenons comme base les dimensions générales indiquées au paragraphe 3 - 2 , à savoir :

* capacité totale	=	85 000 m ³	capacité utile	=	53 000 m ³
* ouverture	=	298 m X 54 m			
* fond	=	250 m X 22 m			
* profondeur	=	8,00 m			

Le prix total des terrassements (à raison 200 F CFA/m³ à l'entreprise) donne : 10 600 000 F CFA. Les aménagements d'amenée d'eau et le dispositif de puisage peuvent être estimés à 3 ou 4 millions.

Dans le cas le plus favorable où la mare est entièrement réalisée en déblai, et où il existe une couche imperméable suffisante pour éviter des travaux d'imperméabilisation, le prix total de réalisation est donc de 14 500 000 F CFA environ.

3-4-2 – Charges annuelles

Les frais d'entretien de la mare peuvent être estimés forfaitairement à 20 000 F CFA/an. En fixant d'autre part la durée de vie de la mare à 15 ans, on a, avec un intérêt du capital 5 % un amortissement de : 1 393 000 F CFA. Le total des charges annuelles atteint donc 1 593 000 F CFA.

3-4-3 – Coût du m³ d'eau

Chaque mètre cube d'eau utilisable reviendrait donc annuellement à 26,3 F CFA et le mètre cube stocké à 16,3 F CFA. L'investissement initial ressort à 273 F CFA par m³ utilisable et à 170 F CFA par m³ stocké. Rappelons que les chiffres ci-dessus concernent un cas favorable : mare de grande dimension, et où le site ne nécessite aucun frais supplémentaire d'imperméabilisation.

3-4-4 – Autres dépenses

Dans le cas où l'on doit exécuter un revêtement imperméable au moyen de matériaux trouvés sur place, sur une mare ayant les dimensions données ci-dessus la surface à revêtir est de 17 000 m². Compte tenu des temps indiqués plus haut, il faut compter environ 10 000 journées de travail. A raison de 500 F CFA/j la dépense d'imperméabilisation de la mare s'élève à 5 000 000 F CFA.

En estimant à 12 ans la durée de vie d'un tel revêtement on parvient ainsi à un supplément d'amortissement annuel de 550 000 F CFA soit un prix de revient total de 36,7 F CFA environ par m³ utilisable, et de 22,8 F CFA environ par m³ stocké.

Dans le cas où les matériaux imperméables, ne peuvent être trouvés à proximité de la mare, ce type de revêtement revient plus cher car s'ajoute le prix du transport. L'abandon du revêtement ou l'utilisation d'une autre technique d'imperméabilisation peut alors se révéler préférable.

Une bâche en matière plastique pour le revêtement de la mare ci-dessus (17 000 m²) supposée située dans la région centrale de l'Afrique coûterait environ 5 000 000 F CFA compte tenu du prix du film plastique, du transport, des soudures et de la mise en place. La durée de vie d'une telle bâche ne peut guère être supérieure à 5 ans de sorte que le prix de revient supplémentaire pour un mètre cube d'eau utilisable est supérieur à 20 F CFA. Ceci condamne pratiquement ce type de protection.

En théorie le calcul devrait être fait en rapprochant le coût supplémentaire non pas du volume utile total mais du volume d'eau économisé sur l'infiltration. Il est à peu près impossible d'estimer sérieusement celui-ci et en pratique l'imperméabilisation n'est utilisée que lorsqu'on est amené à créer une mare dans une région privée d'autres ressources et dont le sol est perméable au point de rendre impossible la création d'une mare sans cette précaution. Le calcul ci-dessus peut alors être considéré comme valable.

3-4-5 – Conclusion

En terminant, il y a lieu de se demander quelle règle suivre pour choisir entre la réalisation d'une mare et l'utilisation de l'eau souterraine. La question ne se pose que lorsque les nappes sont difficilement accessibles.

Si la profondeur de l'eau ne dépasse pas une cinquantaine de mètres, c'est en général le puits qui est choisi à moins que le débit de la nappe n'assure pas convenablement la satisfaction des besoins.

La comparaison avec le forage ne se place pas sur le même plan. La profondeur des forages pastoraux (non artésiens) atteint souvent 250 à 300 m dans des régions où des mares seraient réalisables sans difficultés particulières. Les profondeurs plus grandes sont relativement rares ou concernent des zones très sèches. Le véritable critère de choix est à la fois d'ordre économique et sanitaire. Le présent chapitre donne les éléments pour déterminer le prix de revient de l'eau avec les mares. Les autres chapitres indiquent la méthode pour déterminer celui de l'eau souterraine. Lorsqu'aucune des deux techniques ne s'impose à priori de façon nette, une fois réglés les aspects sanitaires, la décision devra résulter de la considération du prix de revient.

3 - 5 – Exemple de réalisation de mare

L'exemple ci-après a été choisi en Afrique anglophone pour donner au lecteur une information plus diversifiée. Il s'agit d'une mare exécutée au Soudan dans la province du KORDOFAN. Elle se trouve à 35 km au Nord Ouest d'EL OBEID capitale de cette province (soit environ 13° Nord et 30° Est).

Le premier plan est un plan de situation montrant le dispositif de collecte des eaux.

Le second montre les caractéristiques propres de la mare.

HAFIR D 'ABU SINUN

PLAN D'ENSEMBLE DES AMENAGEMENTS

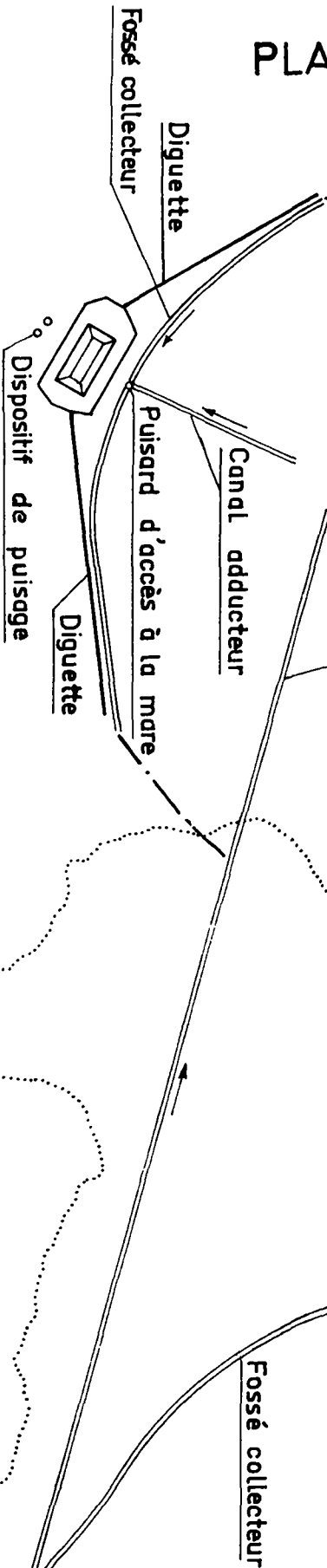


Limite du bassin versant

Terrain sédimentaire

Dépôts fluviolacustres

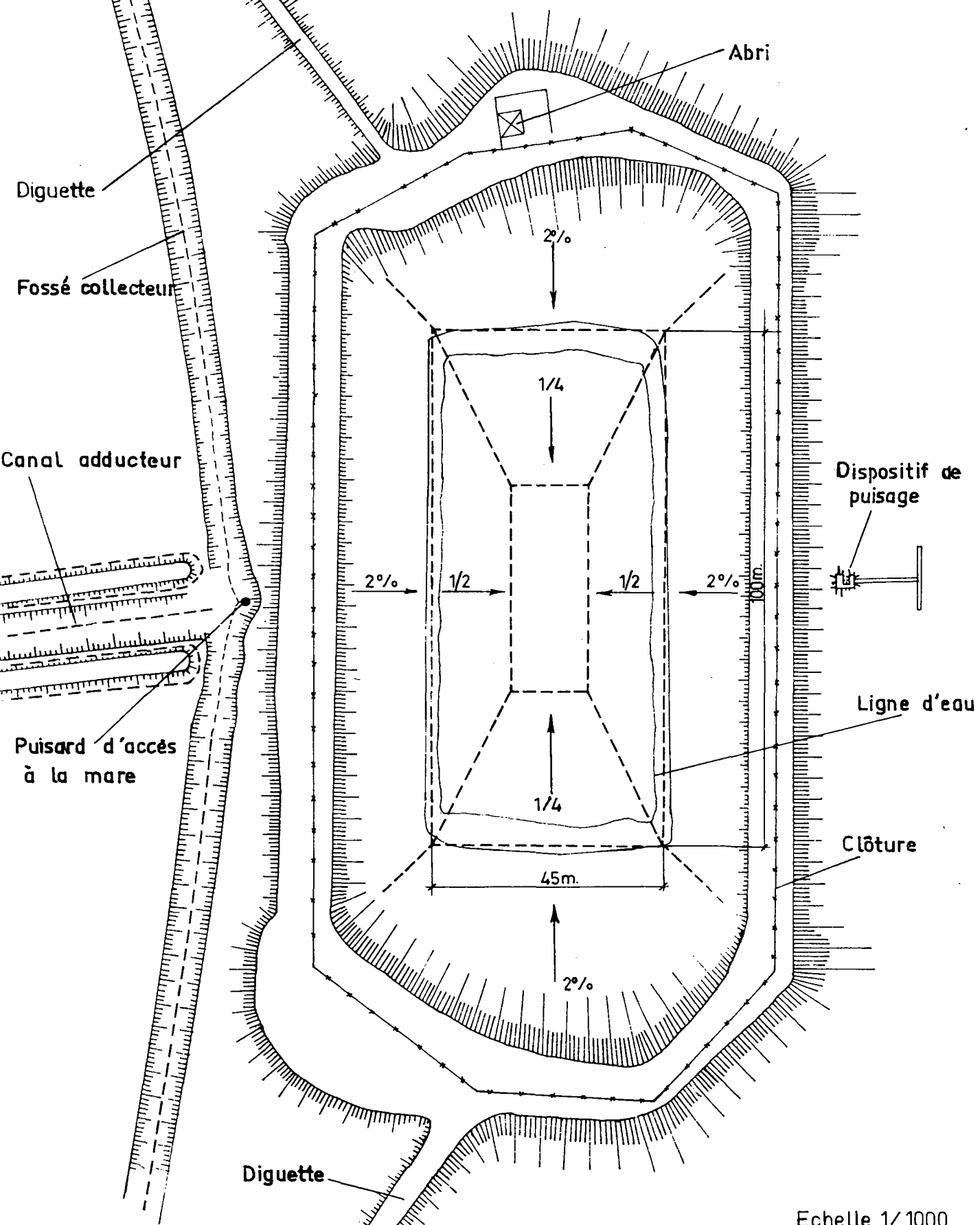
Collines rocheuses



ECHELLE 1/10000

HAFIR D'ABU SINUN

PLAN DE LA MARE



Echelle 1/1000

--- Contour donné à la construction
 - - - - - Forme actuelle deux ans après la construction

TROISIEME PARTIE

I – ASPECTS TECHNIQUES DE L'EXPLOITATION ET DE L'ENTRETIEN DES OUVRAGES

1 – EXPLOITATION DES OUVRAGES

1 - 1 – Mode d'exploitation technique

L'exploitation des ouvrages hydro-pastoraux obéit à des règles techniques précises dont le respect prend une importance primordiale. En effet, si on vient à les enfreindre, on aboutit à l'échec total du programme d'aménagement pastoral d'une région.

Ces règles concernent le fonctionnement et l'entretien des installations.

Le fonctionnement des stations de pompage doit être assuré par un mécanicien qualifié affecté sur place à temps complet, dont les tâches seront la mise en marche et l'arrêt des moteurs, la réalisation des vidanges, des dépannages simples, l'amorçage.

Il doit être à même, en cas de pannes entraînant des réparations complexes, de reconnaître celles-ci et de faire appel au personnel spécialisé du chef-lieu ; en cas de panne irréparable, de prévenir les autorités administratives pour organiser le déplacement du bétail vers une autre station de pompage.

Le fonctionnement doit être contrôlé à l'aide d'instruments convenables tels que compteurs d'heures sur les moteurs compte-tours pour calculer le débit des forages, compteurs de débit d'eau généraux et secondaires dont la présence est indispensable pour juger de l'utilisation des installations.

L'entretien mécanique régulier des stations comprend :

- des contrôles périodiques,
- une révision générale annuelle en fin de saison d'utilisation entraînant le remplacement du matériel usé.

1 - 2 – Mode d'exploitation administratif

Il revient aux autorités administratives d'établir une réglementation concernant les problèmes posés par l'utilisation d'ouvrages hydro-pastoraux. Certains de ces problèmes pourront revêtir un caractère politique, il conviendra en particulier de prendre en considération les droits coutumiers déjà existants.

Cette réglementation aura deux caractères :

1-2-1 – La réglementation à caractère général concerne :

- * l'attribution des stations de pompage et des zones des pâturages qui y sont rattachés à des groupements d'éleveurs.
- * l'utilisation des stations de pompages et des zones de parcours en dépendant.
- * la détermination de la charge des pâturages en têtes de bétail des principales espèces domestiques.
- * l'aménagement des pare-feux et l'organisation de la lutte contre les feux de brousse.
- * la fixation des redevances pour l'utilisation des ouvrages.

1-2-2 – La réglementation à caractère local concerne :

- * la fixation des dates d'ouverture et de fermeture des installations.
- * le contrôle de fonctionnement des installations et éventuellement les mesures à prendre en cas de non fonctionnement.

Il est indiqué en annexe des exemples de décrets relatifs à la réglementation d'emploi des ouvrages hydro-pastoraux.

1 - 3 – Mode d'exploitation financier

Plusieurs modes d'exploitation financiers ont été mis en œuvre avec des résultats très variables. Ils consistent, soit en une participation directe des éleveurs à l'entretien des ouvrages d'hydraulique pastorale, soit en une participation indirecte des collectivités locales d'une région d'élevage.

1-3-1 – La participation directe

On part du principe suivant lequel les charges d'exploitation des installations doivent être supportées par les bénéficiaires de la mise en place des ouvrages hydro-pastoraux. Ceci a pour but de faire admettre, dès la mise en service de ces aménagements, que l'eau fournie n'est pas un dû, mais bien au contraire, un service rendu qui a sa contre-valeur en argent.

Cependant, il se présente une difficulté dans l'application de ce principe : la rentabilité de l'eau n'apparaît qu'à moyen terme alors que les charges sont immédiates.

Dans ces conditions l'État peut, au début, supporter en grande partie les charges de fonctionnement à la place des bénéficiaires, qu'il leur transférera progressivement en totalité lorsqu'ils auront vu, entre temps, leurs revenus augmenter.

La participation directe, même fixée à un taux très bas, par exemple faible taxe par tête de bétail abreuvé, apparaîtrait donc recommandable a priori car elle permettrait d'aboutir progressivement au transfert total des charges aux utilisateurs.

En fait ce mode d'exploitation est apparu utopique. Des essais ont été faits dans ce sens, pendant 3 ans, de 1955 à 1957 au Tchad. Il s'est révélé impossible de faire payer à la tête de bétail ou au troupeau et tout contrôle est revenu plus cher que le montant des recettes encaissées. Il a donc été abandonné.

1-3-2 – La participation indirecte

Cette participation fait supporter les charges d'entretien à des collectivités locales des régions d'élevage équipées d'ouvrages hydro-pastoraux. Les ressources indispensables sont alors assurées par la plus-value des rentrées fiscales générales.

Cette participation apparait comme la seule solution applicable ici, malgré les inconvénients qu'elle présente; en cas de retard dans les rentrées fiscales les dépenses à effectuer immédiatement peuvent gêner l'équilibre du budget de l'État, et de plus il faut renoncer à voir s'établir dans l'esprit des utilisateurs la notion de participation financière pour un service rendu.

2 – ENTRETIEN DES OUVRAGES

2-1 – Cause de manque d'eau

2-1-1 – Puits

L'ensablement

Dans les formations aquifères sableuses, argilo-sableuses ou gréseuses, l'ensablement, c'est-à-dire le colmatage du fond du puits par le sable est la cause principale du manque d'eau. En particulier, si la formation productive est constituée par des éléments fins, l'envahissement du puits est très rapide. Ce colmatage est dû le plus souvent à l'absence d'un gravier filtre à interposer entre le terrain et les buses. Dans les puits traditionnels et les puisards, les buses n'existent pas. Le gravier filtre doit également être placé au fond de l'ouvrage. Le vide créé par l'exhaure de l'eau et le rabattement de la nappe crée une sous-pression qui entraîne le sable au fond du puits.

Les puits creusés par les autochtones s'ensablent très rapidement car ceux-ci ne disposent pas de moyens suffisants pour pénétrer dans la nappe, placer des buses et les entourer d'un massif de gravier.

Les utilisateurs curent eux-mêmes périodiquement les puits, mais les débits des puits ensablés restent faibles et les diamètres des puits traditionnels sont trop faibles pour les achever correctement.

La destruction des buses de fond

Les buses de fond sont soumises à des fluctuations constantes de niveau et à de violentes turbulences provoquées par des mouvements alternatifs verticaux transmis à des dellous de 20 à 40 litres pour assurer leur remplissage avant leur remontée en surface. Seules des buses lourdes en béton armé peuvent résister à ces projections d'eau continues au fond du puits.

Les buses en béton armé vibré dosé à 350 ou 400 kg de ciment à prise lente auront au moins 8 cm d'épaisseur et une hauteur minimales de 0,80 à 1 m.

Ces buses seront pour le moins emboîtées par moulure pour les solidariser, sinon liées les unes aux autres après leur mise en place. Des buses trop légères s'enfoncent mal dans les formations sableuses et ont tendance à chavirer plus facilement que des buses lourdes. L'on devra s'assurer de l'enrobage par 2 ou 3 cm de béton de l'armature des buses de fond. La descente des buses au fond d'un puits exige l'emploi d'un Derrick d'au moins 1 tonne de charge utile.

Effondrement du cuvelage

Ces effondrements s'observent généralement en surface ou au fond du puits. La dislocation du cuvelage provient d'une mauvaise composition du béton ou de l'insuffisance de l'armature. Hors d'eau, la poussée des terres est très faible sinon nulle. Ces effondrements ne devraient pas se produire si le cuvelage est exécuté conformément aux règles de l'art. Ceci implique un approvisionnement du chantier en matériaux (sables et graviers) de bonne qualité et en quantité suffisante pour éviter la confection d'un cuvelage avec des matériaux trouvés sur place (avec du sable trop fin de dunes par exemple). Les armatures seront fournies sur chantier, coupées et pliées aux dimensions requises.

Insuffisance de débit de la formation aquifère

Les calcaires, les calcaires marneux sont perméables en grand, mais sont recouverts en surface par une épaisseur variable de terrain sablo-argileux du continental terminal à telle enseigne que l'implantation d'un ouvrage, en surface, ne peut bénéficier d'observations de leurs structures. Il est rare qu'un puits rencontre une fracture qui pourrait drainer et fournir un bon débit. Aussi les débits restent faibles, même à des profondeurs de plus de 60 ou 70 mètres.

Les schistes présentent une perméabilité de strates, de fissures et fournissent des débits faibles. Une solution consiste à approfondir ces puits aux explosifs, ne serait-ce que pour constituer un volant d'eau.

Nappes perchées

Dans les formations calcaires, il n'est pas rare de pénétrer dans une nappe perchée qui arrive à s'épuiser, auquel cas il est nécessaire d'approfondir l'ouvrage aux explosifs.

Infiltrations autour des superstructures

On a souvent signalé des dégradations causées aux puits par infiltrations à partir du borbier qui se forme autour des superstructures. Bien que cela n'entraîne pas de manque d'eau il a semblé utile de le mentionner ici puisque ce phénomène est parfois signalé (Mauritanie par exemple) comme le principal problème d'entretien.

Le remède se déduit tacitement de la cause : s'il y a dégradation par les infiltrations, c'est que la qualité des bétons est insuffisante. Nous avons vu au paragraphe ci-dessus le moyen de pallier ce défaut.

En outre, on peut aussi retenir l'importance d'une aire anti-borbier bien conçue et suffisamment large.

2-1-2 – Les forages

La supériorité des forages sur les puits réside dans la possibilité de capter les ressources en eau au centre même des formations productives quelle qu'en soit la profondeur et par conséquent d'obtenir des débits bien supérieurs aux débits des puits qui ne peuvent qu'exploiter le toit d'un horizon aquifère.

En revanche, le captage, dans un horizon sableux profond sur une hauteur de 10 à 30 m de crépines, n'est pas sans apporter de profondes modifications dans le milieu capté et la composition chimique de l'eau.

L'ensablement

Des modifications d'ordre physique interviennent, malgré la présence d'un gravier filtre enrobant la crépine dans le milieu capté, par un déséquilibre dû à la vitesse de circulation de l'eau qui entraîne les particules fines. Les développements des forages ont bien pour objet d'accroître la perméabilité du terrain autour des crépines par élimination des éléments fins et les graviers filtres de se substituer aux vides ainsi créés; mais l'on constate, sous l'effet des pompages d'exploitation (et en particulier si les graviers n'ont pas les dimensions appropriées) une arrivée de sable, des éboulements dans le massif, et un colmatage de l'ouvrage par des sables ou des argiles.

Les surfaces d'ouvertures des crépines devront être calculées en fonction des débits ainsi que le diamètre des graviers et la vitesse de percolation de l'eau sur la surface extérieure du filtre.

La vitesse est égale à $V = Ki$

K = un coefficient de perméabilité en m/s de la formation à capter.

i = la pente piézométrique.

$$\text{Si l'on considère : } i = \frac{1}{15\sqrt{K}} \quad V = \frac{\sqrt{K}}{15}$$

$$\text{Le diamètre du gravier filtre sera égal à } D = \frac{Q}{7LV}$$

Q étant le débit

L la longueur de la crépine

V la vitesse de l'eau à la surface du gravier.

L'exécution d'un forage et la détermination des dimensions du filtre selon les règles de l'art seront les moyens les plus sûrs et les moins coûteux pour éviter un colmatage de forage. Il existe également des procédés curatifs (pistonages, air comprimé, injection d'eau, doublage des crépines, traitement par les phosphates de sodium). En fait, l'effet de ces procédés n'est pas toujours durable et l'amélioration de débit obtenue s'atténue parfois très rapidement.

L'entartrage par les carbonates

L'eau des nappes aquifères, en particulier sous certaines conditions favorables de température et de pression, dissout les éléments solubles contenus dans le sol notamment les calcaires, les sels de fer et de manganèse. L'eau dissout également le gaz carbonique qui, en excès, devient agressif et dissout les carbonates.

Dans le sol, l'eau d'une nappe au repos est en équilibre chimique. Cet équilibre est rompu par la vitesse de l'eau au niveau des crépines et dans le tube de refoulement, par une dépression brutale, par le contact de l'air à l'orifice, par le changement de température, etc . . . Dans ces conditions, les sels dissous se déposent en présence de l'acide carbonique au niveau des crépines et en présence de l'air en surface en incrustant les surfaces métalliques (crépines, tubages, pompes).

Les réactions chimiques provoquant les dépôts sont assez complexes. Ces dépôts se présentent sous la forme de croûtes dures, blanchâtres, ou teintées en rouge par les oxydes de fer.

L'obtention d'un écoulement laminaire dans le filtre est de nature à éviter un dépôt de carbonate de chaux sur les crépines. Le tableau ci-dessous fournit les vitesses limites à admettre pour rester en régime laminaire en mm/s (calcul avec chiffre de Reynolds égal à l'unité).

Température	Diamètre moyen du gravier en mm										
	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,00
10 °	0,13	0,26	0,65	1,30	2,61	6,53	13,0	26,1	65,3	130	261
20 °	0,10	0,20	0,50	1,00	2,01	5,03	10,0	20,1	50,3	100	201
30 °	0,08	0,16	0,40	0,80	1,61	4,02	8,0	16,1	40,1	80	161
40 °	0,06	0,13	0,32	0,65	1,31	3,29	6,5	13,1	32,9	65	131

Vitesses limites

Débits correspondant aux vitesses indiquées ci-dessous

pour 1 m. de crépine en m³/heure.

Ø moyen du grain en mm fente de la crépine en mm		5 3	2 1,5	1 0,5	0,5 0,2	0,2 0,2
Température eau	Ø crépine pouces					
20 °	6	0,2	0,32	0,30	0,32	0,80
30 °	6	0,16	0,26	0,24	0,26	0,65
40 °	6	0,13	0,20	0,19	0,21	0,53
20 °	8	0,24	0,43	0,38	0,43	1,08
30 °	8	0,19	0,34	0,30	0,35	0,87
40 °	8	0,16	0,27	0,25	0,28	0,71
20 °	10	0,30	0,55	0,49	0,54	1,35
30 °	10	0,25	0,44	0,39	0,43	1,08
40 °	10	0,20	0,35	0,32	0,35	0,89

Les polyphosphates de sodium peuvent être utilisés pour éviter les entartrages des pompes par des dépôts calcaires à raison d'une injection de 5 grammes par m³ sous réserve que l'eau soit claire et d'une température inférieure à 40°.

Les grattages mécaniques, les tirs à l'explosif, l'emploi d'acide chlorhydrique sont des moyens de traitement des ouvrages entartrés.

Le colmatage par les éléments sablo-argileux et les carbonates fait l'objet de la deuxième partie de l'«étude de l'influence des caractéristiques technologiques des puits et forages sur leur rendement et leur longévité» réalisée sous l'égide du Comité Inter-Africain d'Études Hydrauliques par R. BREMOND.

2 - 2 – Organisation de services d'entretien

2-2-1 – Les problèmes de l'entretien

Nous n'insisterons pas ici sur la nécessité d'un entretien régulier des installations ; nous en avons déjà mentionné les raisons, mais en outre tous les États ont mesuré le poids des insuffisances ou de l'absence d'entretien. L'importance de celui-ci et les difficultés que l'on rencontre pour l'assurer sont telles qu'un organisme bien structuré et organisé s'avère indispensable pour assumer les tâches qu'il comporte.

Les puits se dégradent très rapidement surtout ceux qui font l'objet d'une exploitation intensive : puits ensablés, cuvelages détériorés, affouillements des parties captantes, superstructures dégradés,

Dans les forages l'entretien porte généralement sur la station de pompage : contrôle et entretien périodique des pompes et moteurs, dépannages et réparations simples, remplacement de pièces défectueuses, démontage et remontage, éventuellement réparations importantes nécessitant l'intervention d'un atelier.

Afin de bien saisir ce que l'on est amené à attendre d'un Service d'entretien, il est nécessaire de définir d'abord ce qu'on pourrait appeler la fonction d'entretien, puis d'envisager les extensions à donner à cette fonction pour lui assurer toute son efficacité.

L'entretien pour les puits ne requiert en dehors des moyens de déplacement que du matériel simple de terrassement, des treuils, des moules à buse et les fournitures correspondantes. Par contre l'équipe devra comprendre notamment des puisatiers expérimentés et des maçons. Les interventions seront périodiques mais devront pouvoir se produire sur demande en cas d'appel pour une situation grave.

Pour les forages, l'entretien comporte :

- * la visite et le contrôle réguliers du fonctionnement des pompes, des moteurs et des installations de surface.
- * le remplacement des moteurs et leur réfection systématique après le nombre d'heures de marche prévu,
- * l'intervention immédiate en cas de panne ; il faut que l'organisation du dépannage soit prévue de telle sorte que si la réparation sur place n'est pas possible le remplacement de la pompe puisse être assuré par l'équipe de dépannage. l'arrêt du pompage ne devrait jamais excéder deux jours.
- * Les interventions à l'intérieur des ouvrages : curage du sable qui bloque la pompe, injection au niveau des dépôts solides de carbonates ferrugineux, . . .

Pour les puits comme pour les forages, l'entretien ne jouera efficacement que s'il est assuré de façon continue et régulière et si l'équipe qui en est chargée dispose du matériel, des pièces de rechange et des fournitures nécessaires, le maintien en état de marche et le renouvellement éventuel du matériel étant eux aussi assurés. Il ne faut en outre pas oublier que les travaux neufs accroissent à mesure de leur réalisation les besoins d'entretien ; par conséquent l'équipe d'entretien et son équipement doivent être constamment adaptés pour faire face à l'augmentation continue de ses tâches. Toutefois cette adaptation sera d'autant plus facile que les équipements réalisés présenteront moins de diversités.

Maintenant que l'entretien proprement dit est défini voyons quels en sont les corollaires :

Le premier vise la confusion du Service d'entretien et du Service d'exploitation : outre l'aspect « responsabilité » qui rend évidente la nécessité du double rôle du Service, il apparaît absurde d'envisager un double équipement pour une équipe chargée du fonctionnement (approvisionnement en carburant, en huiles, etc . . .) et pour une autre chargée de l'entretien.

Le second concerne les liaisons entre les Services d'entretien et de réalisation. Ces liaisons sont indispensables à plusieurs stades.

- * au stade mise en service il est évident que le Service entretien doit aussitôt prendre en charge un ouvrage nouveau.
- * mais au stade conception elles sont non moins nécessaires car le Service d'entretien rassemble progressivement une somme d'expériences sur les problèmes de fonctionnement des installations pastorales qui ne doivent absolument pas être ignorée lors de la conception d'ouvrages nouveaux.
- * de même, quoique à un moindre degré, la participation des responsables de l'entretien est utile au stade de l'établissement d'un programme de points d'eau nouveaux.
- * enfin, dernière liaison indispensable qui rejoint d'ailleurs la conception des ouvrages nouveaux : l'organisation du Service d'entretien et l'importance de son équipement découlent directement de la nature des équipements mis en place. Pour la facilité de l'entretien il est souhaitable de donner une grande uniformité à ceux-ci. Il apparaît donc qu'une politique des équipements de points d'eau doit tenir compte de répercussions sur le coût de l'entretien des changements qui sont envisagés. Une évolution dans le temps est certes nécessaire mais sa réalisation doit résulter d'une réflexion sur toutes ses conséquences ; par contre une prolifération de modèles divers « pour les comparer » est à proscrire car elle conduirait à un échec par impossibilité d'assurer un entretien satisfaisant.

2-2-2 — Les organisations possibles

Il n'est pas question ici d'examiner toutes les solutions qui peuvent être envisagées pour créer un service d'entretien efficace, et d'étudier en détail les avantages et inconvénients de chaque formule .

Il suffira de mentionner quelques formules types :

- Service administratif: si les liaisons avec le niveau réalisation ne posent pas de problème dans cette formule, la difficulté d'adaptation à des problèmes particuliers et notamment à la croissance consécutive aux réalisations nouvelles peut constituer un inconvénient notable.
- Organisme semi-public doté de l'autonomie financière : les liaisons avec les Services de réalisation, qui sont administratifs, devraient être assurées sans problème. Un organisme spécialisé est mieux organisé pour l'accomplissement de sa tâche et par conséquent plus efficace qu'un organisme ou une administration qui s'adapte pour une nouvelle tâche : c'est là un avantage de cette formule. En outre son indépendance lui donne plus de souplesse pour s'adapter à toute évolution.
- L'entreprise privée : elle bénéficie de l'efficacité et de la souplesse de la formule précédente. Par contre le contrôle en est difficile et la situation de monopole dans laquelle elle se trouve peut conduire à un service défectueux. Cette formule a cependant fonctionné très efficacement pour l'entretien des éoliennes au Mali.

Pour illustrer ces possibilités nous décrivons rapidement deux organisations existant et fonctionnant actuellement en Afrique :

- la Subdivision d'Outillage Mécanique de l'Hydraulique (S.O.M.H.) au Sénégal, exemple de service administratif,

Elle comporte un échelon central et quatre sous-sections (Louga, Linguerre, Kaolack et Matam). L'échelon central comprend la direction, assistée d'un Bureau des méthodes, et les ateliers. C'est le Bureau des méthodes qui est chargé de définir, répartir et coordonner les tâches confiées à chacun d'eux.

Les sous-sections ont une double dépendance : l'échelon central de la S.O.M.H et les autorités de la région à laquelle elle appartient.

Le fonctionnement de la S.O.M.H. est actuellement soumis à certaines contraintes résultant de son statut administratif:

- * le déplacement d'un agent d'une sous-section nécessite un ordre de mission visé par les autorités locales
- * le personnel de la S.O.M.H. étant fonctionnaire n'est pas porté à l'amélioration de sa qualification professionnelle ni à la multiplication de ses déplacements. Du fait, la qualification laisse à désirer.
- * sur le plan financier la rigidité des dotations budgétaires ne laisse aucune souplesse pour faire face aux besoins imprévisibles de pièces de rechange par exemple.
- * l'utilisation de la voie hiérarchique pour une demande de dépannage urgent entraîne des délais parfois intolérables pour sa transmission à la sous-section concernée.

Néanmoins la S.O.M.H. donne dans l'ensemble satisfaction mais son fonctionnement peut sans doute être amélioré. Ainsi en 1970, son budget total atteignait 145 millions de F CFA dont 80 pour le personnel, le reste étant sensiblement partagé par moitié entre l'entretien et le fonctionnement. Toutefois il faut noter que le gros matériel (véhicules, derricks, etc . .) n'est compté dans le budget ni en amortissement ni en renouvellement. Ceci est tout à fait anormal et fausse les résultats financiers. Sous cette réserve le montant des dépenses pour un forage a atteint en 1970 : 2 250 000 F CFA

Le parc des véhicules de la S.O.M.H. est vieux et a besoin d'être renouvelé. Il comporte 4 land Rover et une voiture de liaison (Peugeot 403) 1 car Renault pour le personnel, 4 camions Citroën, et un seul camion citerne d'ailleurs en très mauvais état.

Il est certain que le renouvellement de certains véhicules permettrait une amélioration considérable du service assuré par la Subdivision. De plus l'acquisition d'autres véhicules est nécessaire pour assurer parfaitement certains approvisionnements ou dépannages et de plus pour faire face à l'augmentation du nombre d'ouvrages à surveiller.

Parmi les autres matériels, nous mentionnerons seulement le matériel radio qui constitue, avec les véhicules, la vie d'un Service d'exploitation et d'entretien de points d'eau. Les sous-stations de Louga, Matam et Linguerre disposent d'un poste fixe ; deux autres sont installés sur des stations de pompage. D'autres, ainsi que 3 postes mobiles, existent en stock à Louga. Les postes en place ne marchent pas tous de sorte que cet équipement est peu ou pas utilisé.

En définitive, on peut dire que la S.O.M.H. assure le service dont elle a la charge. Mais cela se fait au prix de grosses difficultés. Aussi si un État veut utiliser son expérience pour se constituer un service analogue, il devra surtout retenir la nécessité de la doter de plus de personnel qualifié et d'un matériel (véhicules et postes radio) plus important et mieux adapté aux besoins que ne le sont ceux de la S.O.M.H.

— l'Office des Eaux du sous-sol (OFEDES) au Niger, exemple d'organisme semi-public.

Sous la Présidence d'un Conseil d'Administration composé de représentants des Ministères et des Corps élus, l' OFEDES comporte une direction et sept divisions départementales (une par département). Celles de Tahoua et de Dosso disposent d'une section « puits » et d'une section « forages et stations de pompage ».

* Entretien des puits

A titre d'exemple nous fournirons l'effectif, les matériels et les résultats d'un exercice de la section puits de Tahoua au Niger.

Cette section au service du département de Tahoua maintient en activité sur un ou deux arrondissements limitrophes :

- * 4 équipes de réparation et de mise en eau
- * 1 équipe de construction de buses en béton
- * 2 équipes de puits neufs

Sept puisatiers sont mis avec une dotation complète de matériel à la disposition des villages pour la construction de puits neufs entrepris au titre de l'investissement humain avec des crédits de l'U.S.A.I.D. . Ces travaux neufs impliquent l'intervention d'une équipe de réparation pour leur achèvement.

La division dirigée par un mécanicien puisatier de l'assistance technique dispose du matériel essentiel suivant :

- * 2 camions Berliet 2 ponts
- * 1 Land Rover
- * 7 derricks Boilot 5 GB10 et 2 GB15 installés sur des chassis de power-wagon
- * du matériel de puisatier (treuils à mains)
- * des moules à buses de 1 m de hauteur, des moules de coffrage pour puits Ø 1,40 Ø 1,80
- * des petits moules pour les puits non encore normalisés
- * une chèvre avec palan de 3 tonnes

Les derricks chacun doté d'un cuffat de 400 l pour les remontées d'eau et d'un cuffat de 50 l pour les déblais sont les outils essentiels permettant la réfection des fonds des puits par approfondissement et mise en place de buses lourdes.

Chaque équipe de réparation de puits est constituée par :

- * 1 puisatier
- * 2 aide-puisatiers
- * 5 manœuvres dont 4 au treuil à main

Les buses sont fabriquées au centre géographique d'intervention des équipes. Les travaux de remise en eau durent environ 10 à 20 jours par puits.

Les résultats montrent l'efficacité de la formule. D'octobre 1968 à juillet 1969,

- * 136 puits ont été mis en eau et réparés
- * 40 puits neufs d'une vingtaine de mètres effectués au titre de l'investissement humain.

Ces travaux ont été rendus possible grâce :

- * aux crédits fournis au niveau des arrondissements
- * à l'organisation de l'OFEDES
- * à une masse considérable de matériel qui fut normalisé vers les années 50, et aux camions neufs
- * à la présence d'un atelier de mécanique à Tahoua créé pour le fonctionnement des forages du nord de Tahoua.

La section « puits » de l'OFEDES comporte en principe dans chaque département :

- un chef de division (Ingénieur ou adjoint technique)
- un surveillant de travaux adjoint au divisionnaire
- cinq équipes d'entretien constituées chacune par 5 personnes
- une équipe pour la fabrication des buses (5 personnes)
- trois chauffeurs
- deux graisseurs
- un commis dactylo magasinier
- un gardien

Ces équipes travaillent dans deux arrondissements (anciennes subdivisions administratives) voisins et l'équipe de fabrication de buses s'installe au centre géographique des travaux.

Le matériel et les pièces détachées sont fournies par le magasin général de l'hydraulique situé au chef-lieu.

Les chefs de division peuvent être requis à la surveillance des travaux aux entreprises.

Équipées en matériel standard d'entretien et de puits neufs, ces divisions puits, à condition qu'elles disposent de ressources continues provenant des contributions des arrondissements (ou subdivisions administratives) sont susceptibles d'obtenir des résultats considérables propres à satisfaire les besoins en eau des populations en particulier si avec leur propre matériel elles aident les habitants à creuser eux-même des puits techniquement normalisés.

L'OFEDES paye la totalité du matériel et du personnel affecté à la réfection des puits ainsi que la totalité des travaux sur ses crédits propres qui proviennent :

- * d'une subvention annuelle de l'État
- * de la contribution des arrondissements versée en recettes au budget de l'OFEDES

En somme l'OFEDES prend à sa charge toutes les dépenses à l'exception :

- des manœuvres fournis par les villages et travaillant à l'exécution des programmes d'hydraulique humaine (investissements humains)
- des matériaux et ingrédients nécessaires aux travaux d'hydraulique humaine (ciment, acier, carburants) et qui sont payés sur des subventions de l'U.S.A.I.D.
- de certains volontaires (Peace Corps) affectés à ces travaux.

* Entretien des forages et stations de pompage

Celui-ci nécessite des ateliers garages spécialisés disposant de mécaniciens compétents, de stocks de pièces détachées,

de moteurs de rechange, de pompes d'exhaure. En premier lieu apparaît la nécessité absolue de normaliser les installations en moyens mécaniques pour assurer des dépannages rapides avec un stockage minimal de pièces de rechange. L'expérience des forages pastoraux du nord Tahoua au Niger, montre qu'un atelier garage disposant de 2 camions atelier et de 2 camions citernes à fuel assure le fonctionnement d'une vingtaine de stations de pompage située à 150 - 200 kilomètres du centre et distantes de 30 à 50 km les unes des autres.

L'atelier garage doit être dirigé par un ingénieur chef d'une division forages ou par un chef mécanicien dieseliste très expérimenté ; il doit être équipé de machines-outils (perceuses, fraiseuse, tours) et de la totalité du matériel nécessaire à l'entretien et aux réparations des véhicules (appareils de soudure, compresseur, rectifieuse de soupapes, etc . .) ainsi que du matériel de la section « puits » qui fonctionne parallèlement à la section « forages et stations de pompage ».

Les débits des forages pastoraux sont généralement de 20 m³/heure.

Le fonctionnement des installations de pompage est assuré par le budget de l'État et implique :

- * une surveillance effective permanente par un mécanicien et un gardien des installations
- * une visite de contrôle tous les 15 jours par un mécanicien africain qualifié disposant :
 - d'un camion atelier gin-pool (système de relevage des colonnes de pompage actionné par le moteur du camion) ; la révision d'une pompe dure 3 heures ; son démontage, révision et ré-installation 2 jours pendant lesquels l'eau du réservoir est rationnée.
 - d'un appareil récepteur radio 90 ampères alimenté par les batteries du camion

La division station de pompage de Tahoua, outre l'atelier dispose de :

- * 2 camions ateliers Berliet L64, 5 tonnes, 2 ponts
- * 2 camions citerne de 5 000 litres Berliet , 2 ponts
- * 1 camion ridelle 5 tonnes, 2 ponts
- * 1 Land Rover
- * 2 cuves à fuel de 15 m³
- * 1 lot très important de pièces moteurs et pompes
- * 1 atelier de mécanique de 50 m X 10 m avec annexes pour bureaux et magasins.

Le Niger s'oriente actuellement vers des installations plus rationnelles qui consistent à installer sous abri deux groupes électrogènes alimentant à tour de rôle une électro-pompe immergée dans un forage situé à quelques mètres. L'on dégage ainsi l'orifice du forage rendant plus aisée un relevage de la pompe ou une intervention dans le forage. (Planche de photos page 122-123).

La section « forages et stations de pompage » de Tahoua comprend (pour, rappelons-le, une vingtaine de forages) :

- un mécanicien ou ingénieur chef de division
- un ou deux mécaniciens adjoints (assistance technique)
- des aide-mécaniciens
- un électro-mécanicien
- un chauffeur et un gardien sur chaque station de pompage
- cinq chauffeurs pour les transports de combustible, l'entretien et les réparations des stations
- des graisseurs
- un magasinier

Une telle organisation permet de procéder au relevage, au démontage, à la révision et à la réinstallation d'une pompe de forage dans un temps maximal de 2 jours. Le réservoir toujours plein assure le volant d'eau nécessaire.

II – ASPECTS ECONOMIQUES

1 – EXEMPLE TYPE DE BUDGET DE FONCTIONNEMENT

Nous fournirons en exemple le budget de l'OFEDES au Niger dont l'action dans le domaine de l'exécution et de l'entretien des puits et de l'exploitation des forages est une des plus importantes des États à vocation pastorale de l'Afrique de l'Ouest.

Les résultats globaux des années 65 à 69 s'inscrivent dans le tableau ci-après :

Années	Sommes dépensées	Eau pompée m3	Nombre puits réparés	Effectif du l'OFEDES
65 – 66	105 millions	612 000	311	317
66 – 67	117 millions	818 000	330	340
67 – 68	107 millions	536 000	605	340
68 – 69	121 millions	715 000	835	345
69 – 70	170 millions			

Le budget recettes de l'OFEDES pour 1970 comporte les chapitres suivants en millions de francs CFA :

I	Subvention de l'État pour le fonctionnement	69
II	Contribution des arrondissements	68
III	Recettes en produits divers (puits neufs, ventes, location véhicule)	4
IV	Inscription au budget national pour fonds d'amortissement	18
V	Excédent des exercices antérieurs	11

soit un total de recettes de 170 millions CFA

Les salaires du personnel de l'OFEDES : 55 millions, et le fonctionnement des équipes de travaux 55 millions également, sont les deux principaux postes de dépenses prévisionnelles de l'exercice avec la somme de 18 millions réservée aux amortissements.

Ce dernier chiffre mis à part (poste IV), on notera que ce budget n'est qu'un budget de fonctionnement ; on y reviendra.

2 – PRIX DE REVIENT DES OUVRAGES

2 - 1 – Charges recurrentes des puits

Le prix de revient moyen d'une réparation de puits au Niger, au titre de l'exercice de 68 -69 s'élevait tous frais compris à 92000 F CFA dont 36700 F CFA de dépenses réellement engagées sur chantier en armatures, ciment et personnel. La différence provient des frais généraux afférents à la division puits, à la direction, aux amortissements de matériels. L'OFEDES estime que cette dépense ne devrait pas dépasser 60000 F CFA pour être supportable par les arrondissements, auquel cas, en admettant une intervention tous les 3 ans, la dépense moyenne annuelle d'entretien d'un puits s'élèverait en moyenne à 20000 F CFA.

En fonction de l'état des ouvrages les sommes moyennes à consacrer aux réfections de puits peuvent être très variables ainsi que l'indique le tableau récapitulatif d'activité des divisions :

Divisions	Nombre de puits	Prix de revient moyen	Fonçages en m	Curages en m	Nombre de buses.
Agadez	23	184 000	0	29	13
Dosso	160	39 000	0	364	84
Mainé	23	202 000	8	60	16
Maradi	175	52 600	69	355	110
Niamey	119	58 200	33	182	80
Tahoua	155	45 000	13	189	87
Zinder	180	35 000	55	300	106

2 - 2 – Charges recurrentes des forages

Le budget de l'OFEDES assure le fonctionnement de 16 stations de pompes au Nord de Tahoua. L'ouverture des stations de pompage est échelonnée de novembre à mars en raison des problèmes posés par la dégradation des pâturages. Il devient aussi inutile de pomper dans le cas où les pâturages avoisinants ont été consommés ou sont inexistantes. Par ailleurs, la situation financière de l'OFEDES peut intervenir sur les dates d'ouvertures de forages.

Au cours de l'exercice 68 –69 le coût de fonctionnement des 16 stations de pompage d'un débit moyen horaire de 20,35 m³ et un volume total extrait de 715 930 m³ s'est élevé globalement à 32 479 000 F dont :

- 8,2 millions de carburants ingrédients
- 5,7 millions de pièces détachées pompes, véhicules
- 9,5 millions de salaire de personnel
- 6,5 millions de quote part de direction
- 2,6 millions de frais divers.

soit par forage 2 millions de fonctionnement tous frais compris sauf les amortissements.

En considérant une dépense moyenne de 20 millions par forage à un taux d'intérêt de 3,5 ou 6 % remboursables en 20 ans, les coûts de fonctionnement devraient être majorés de 1 400 000 F ou 1 700 000 F.

- débit moyen extrait : 45 000 m³ par an et par forage
 - prix de revient réel d'un mètre cube d'eau de forage au Niger : 75 F à 82 F le m³
- L'incidence du coût des ouvrages est très importante.

3 – RENOUELEMENT DU MATERIEL

L'OFEDES au Niger ainsi que les services techniques chargés dans les autres États de l'exécution, de l'entretien et du fonctionnement des ouvrages d'hydraulique pastorale, disposent d'un parc à matériel considérable : notamment camions tous terrains, treuils, derricks, équipements d'atelier de réparation, moteurs, groupes moto-pompes, électro-pompes, compresseurs etc . . .

L'emploi d'un tel matériel est d'autant plus limité dans le temps qu'il fonctionne dans des conditions difficiles en particulier les véhicules et tous les moteurs. Les véhicules doivent être amortis et remplacés tous les 3 ou 4 ans, les groupes de pompage tous les 5 ans.

Les acquisitions annuelles de pièces détachées de pompes ou de moteurs ne doivent pas dissimuler la nécessité de dépenses importantes pour le renouvellement du matériel mécanique si l'on veut à long terme assurer le fonctionnement des forages pastoraux et les travaux d'entretien ou de réfection des puits.

Si l'on examine, par exemple, la répartition des charges récurrentes des forages de l'OFEDES l'on constate qu'une somme de 5,7 millions est bien imputée à l'acquisition de pièces détachées mais aucune somme n'est consacrée au renouvellement du matériel.

Les moteurs, les pompes ne peuvent être refaits indéfiniment dans un atelier de mécanique si bien équipé soit-il. La fiabilité des appareillages diminue avec leur temps de fonctionnement. A partir d'un certain seuil il devient beaucoup plus rentable de remplacer un matériel usagé par un matériel neuf. Les forages eux-mêmes se détériorent avec le temps et lorsque l'utilisation de produits chimiques ou de procédés physiques restent sans effet il faut bien refaire un nouveau forage à proximité de l'ancien.

D'une façon générale, les États ne paraissent pas avoir bien saisi l'importance de ce problème du renouvellement du matériel. Comment dans ces conditions les Services d'exploitation et d'entretien arrivent-ils à tourner ?

En ce qui concerne l'OFEDES, il a bénéficié à sa création d'une subvention du FAC pour l'équiper en gros matériel (1963). Quelques années après, la situation critique à cet égard, a incité le FAC à accorder une seconde subvention, pour le renouvellement de certains matériels. Quant aux ouvrages ils ont souvent été réalisés dans le cadre de programmes importants sur financement extérieur bilatéral ou multilatéral. De ce fait, le besoin de renouvellement n'a pas été ressenti de façon très vive.

Si l'on veut se faire une idée de l'importance à prévoir pour ce poste, on peut reprendre l'exemple de l'OFEDES :

le gros matériel des sections « puits » a une valeur de	200 millions
celui des sections « forages - stations de pompage »	570 millions
les bureaux, ateliers, mobiliers, petits matériels représentent	30 millions
au total	800 millions

La durée moyenne du matériel, compte tenu de l'importance relative de chaque catégorie peut s'établir au plus aux environs de 10 ans. Ceci conduit à une valeur de renouvellement de l'ordre de 80 millions, intérêts non compris. Ce chiffre semble d'ailleurs être plutôt un minimum, puisque l'équipement actuel justifierait déjà un renforcement.

Il apparaît donc que le budget d'un organisme tel que l'OFEDS devrait inclure un poste d'amortissement, atteignant environ 100 millions, à la place de l'« inscription pour fonds d'amortissement » de 18 millions.

4 – RECETTES : ORIGINE – AFFECTATION

Au Niger les 69 millions de la subvention de l'État pour le fonctionnement de l'OFEDES proviennent de centimes additionnels sur l'ensemble de la population.

Une contribution est imposée aux 33 arrondissements des 7 départements du Niger, sur propositions de l'OFEDES après accord des Ministères de l'Intérieur et des Finances. Il s'agit là d'une mesure récente.

L'ensemble, y compris le fonds d'amortissement, constitue le budget recette annuel de l'OFEDES.

En ce qui concerne la contribution des arrondissements, la liste des ouvrages à réparer ou d'ouvrages neufs au titre des investissements humains est demandée par les sous-Préfets.

Les agents de l'OFEDES établissent les programmes chiffrés par arrondissements et départements en fonction de leurs moyens d'exécution.

Une telle procédure très souple satisfait les arrondissements et les travaux réalisés sont proportionnels à leur participation.



Sur un budget global annuel de 10 milliards, le Niger tire 990 millions de taxes sur le bétail. Les recettes globales dues aux produits de l'élevage s'élèvent environ à 1,5 milliard avec les taxes sur l'exportation à raison de 1 000 F par bovin exporté et les taxes de pacage au profit des arrondissements.

Les taxes sur le bétail varient légèrement d'une préfecture à l'autre, elles sont de l'ordre de :

- 400F par tête applicables à 3 800 000 de bovins
- 70 F par tête applicables à 2 000 000 d'ovins et 5 500 000 de caprins
- 450 F par tête applicables à 350 000 chameaux
- 430 F par tête applicables à 110 000 chevaux
- 110 F par tête applicables à 300 000 ânes.

L'insuffisance des points d'eau a provoqué en juillet 1969 la mort de plus de 400 000 bovins. Ces chiffres montrent l'intérêt des interventions de l'OFEDES sur l'ensemble du territoire du Niger.

ANNEXES

ANNEXES	171
1 – DONNÉES PRATIQUES POUR LA MESURE DES DÉBITS DES PUIITS ET FORAGES	173
1 - 1 – Modalités d'exécution d'essais de débits lors des réceptions des forages d'eau	175
1 - 2 – Interprétation de la méthode de THEIS	183
2 – EXEMPLES DE CAHIERS DES CHARGES TYPES	189
2 - 1 – Marché type d'exécution de puits Ø 1,80 m	191
2 - 2 – Cahier des prescriptions spéciales d'un appel d'offres d'exécution de forage d'eau	219
3 – CARACTERISTIQUES DES CRÉPINES UTILISÉES DANS LES FORAGES D'EAU	235
4 – CARACTERISTIQUES DES MATÉRIELS DE CONSTRUCTION DE PUIITS	243
5 – DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES D'UN GROUPE DE POMPAGE	255
6 – RAPPORT TYPE D'EXECUTION D'UN FORAGE D'EXPLOITATION	261
7 – REGLEMENTATION D'EMPLOI DES OUVRAGES HYDRO-PASTORAUX	293
8 – PARE-FEUX ET LUTTE CONTRE LES FEUX DE BROUSSE	301
9 – BIBLIOGRAPHIE	305

ANNEXE N° I – DONNÉES PRATIQUES POUR LA MESURE DES DÉBITS DES PUIITS ET FORAGES

**1 - 1 – Modalités d'exécution d'essais de débits lors de la
réception provisoire des forages d'eau**

1 - 2 – Interprétation de la Méthode de Theis

1 - 1 – Modalités d'exécution d'essais de débits lors de la réception provisoire des forages d'eau

CHAPITRE I – OBJET

La réception provisoire d'un forage vise 3 buts :

- 1 – le contrôle de la bonne exécution de l'ouvrage
- 2 – la connaissance des caractéristiques hydrauliques de l'ouvrage, en vue de déterminer son débit optimal d'exploitation.
- 3 – la mesure des paramètres caractéristiques de l'aquifère exploité.

Chaque ouvrage étant un cas d'espèce, un essai de débit, pour donner des résultats rigoureux, devrait s'adapter à de nombreux paramètres variables. Les modalités présentées ont été simplifiées, afin de les rendre applicables dans la majorité des cas.

Il convient de préciser que les temps et la valeur des débits de pompage ne peuvent être fixés que sur place, en fonction de l'analyse des résultats obtenus en cours de développement de l'ouvrage ; il y a donc lieu d'exiger de l'Entrepreneur un journal de chantier précis concernant cette opération. L'application des modalités présentées laisse l'initiative d'interprétation au représentant du Maître d'œuvre qui reste le seul juge pour accepter ou refuser la réception de l'ouvrage.

CHAPITRE 2 – MATÉRIEL

L'entrepreneur devra disposer sur son chantier, lors de la réception provisoire, du matériel suivant :

A – Matériel de pompage (à adapter)

Une pompe débitant 80 m³/h sous 100 m de hauteur manométrique.

B – Matériel de mesure du débit

Un tube de Pitot.

C – Matériel de mesure des variations du niveau dynamique.

Chaque fois que l'espace annulaire entre le tubage et la colonne de refoulement le permettra, on utilisera obligatoirement une sonde. Dans l'impossibilité d'introduire une sonde, on effectuera les mesures à l'aide d'un limnimètre à mercure.

D – Documents

L'entrepreneur devra tenir à la disposition du Maître d'œuvre les tableaux ou abaques ou calcul des pertes de charge aux différents débits dans les tubages utilisés.

CHAPITRE 3 – DEROULEMENT DES ESSAIS

La durée des essais est de 72 heures, suivant une mise au repos de la nappe de 24 heures au minimum après la fin des opérations de développement. Il est laissé à l'initiative du Maître de l'œuvre d'augmenter ces temps si cela s'avère nécessaire en cours d'essais.

OPÉRATIONS –

L'essai comprend 2 phases

- on décèle les éventuelles pertes de charge anormales de l'ouvrage, par l'observations des réactions du niveau dynamique à différents débits.
- puis on étudie l'aquifère lui-même, par un pompage prolongé au débit le plus élevé (au minimum le double du débit d'exploitation), puis l'observation de la remontée de la nappe après arrêt du pompage.

On opérera de la manière suivante :

- 1 – Pompage à débit constant voisin de 1/3 du débit final, et observation de la baisse du niveau dynamique. Arrêt du pompage et observation de la remontée.
- 2 – Pompage à débit constant de 2/3 du débit final et observation de la baisse du niveau dynamique. Arrêt du pompage et observation de la remontée.
- 3 – Pompage au débit maximum fixé par avance durant 48 heures et observation de la baisse du niveau dynamique. Arrêt définitif des pompages et observation de la remontée du niveau dynamique jusqu'à concurrence des 72 heures fixées pour l'essai et prolongation s'il le faut jusqu'à un minimum de 12 heures d'observation au-delà de ces durées.

Débits et durées des pompages

A – DEBITS

Par principe, le débit des essais doit être le plus élevé possible et n'admettre pour limite que :

- la nécessité de se tenir dans les limites d'application des méthodes de Theis ou de celles qui en dérivent.
- la sécurité du système de captage, que des vitesses de circulation de l'eau trop élevées par rapport aux vitesses pour lesquelles il est prévu pourrait détériorer.

Le débit de l'essai sera égal au double du débit d'utilisation prévu, il sera au minimum de 50 m³/h.

On le réduira dans les cas suivants :

- hauteur manométrique de refoulement trop importante pour la capacité de la pompe
- pompage en nappe libre : le débit ne devra pas provoquer un rabattement de la nappe supérieur à 5 % de l'épaisseur de la couche aquifère.

B – TEMPS DE POMPAGE

Les observations faites lors du développement devront permettre de déterminer le temps nécessaire à une pseudo-stabilisation du niveau dynamique en régime de pompage maximum.

Les premiers pompages aux débits 1/3 et 2/3 devront avoir cette durée. Elle sera au minimum de 1 heure.

Les remontées consécutives aux deux premiers pompages auront la même durée que ces pompages, donc également une heure minimum. Le pompage au débit maximum durera 48 heures sans interruption. La remontée finale sera observée jusqu'à concurrence d'une durée totale de 72 heures depuis le démarrage du premier pompage et au minimum durant 12 h.

CHAPITRE 4 – MESURES ET OBSERVATIONS

1 – Mesures et observation au cours du développement

Le journal de chantier devra porter un maximum d'observations sur les mesures effectuées au cours du développement : elles devront permettre de déterminer les paramètres de l'essai.

2 – Mesures lors de la mise en repos:

On fera une mesure toutes les heures, afin de s'assurer que le niveau dynamique est suffisamment stabilisé lors du démarrage des pompages, condition sine qua non d'une interprétation correcte des mesures.

3 – Mesures en cours d'essai

– Variation du niveau dynamique

A partir de chaque changement de régime du pompage, on effectuera des mesures à une cadence permettant leur interprétation par la méthode de Theis.

On adoptera :

de 0 à 10 minutes	: mesures toutes les minutes ou 1/2 mn
de 10 à 30 minutes	: mesures toutes les 2 minutes
de 30 à 60 minutes	: mesures toutes les 5 minutes
de 1 h à 4 heures	: mesures toutes les 15 minutes
de 4 h à 10 heures	: mesures toutes les 30 minutes
au-delà de 10 heures	: mesures toutes les heures

– Mesures du débit

Les débitmètres du type « Tube de Pitot » permettent une surveillance permanente du débit, donc son réglage continu. Toute variation accidentelle sera notée.

4 – Qualités physiques de l'eau

En régime de démarrage, puis en régime permanent de pompage, il sera prélevé aussi fréquemment que possible des échantillons de 1 litre d'eau à l'orifice, pour lesquels seront notés :

– le diamètre et la granulométrie de la tache de sable déposée.

- la présence d'argile en suspension et le degré de turbidité de l'eau (légèrement trouble, laiteuse, boueuse . . .)
- la présence de colorations ou de matières étrangères.

5 – Présentation des mesures et observations

Mesures et observations seront consignées sous forme de tableaux

On fournira 5 tableaux séparés :

- 1 pour les opérations de développement
- 1 pour la mise au repos de la nappe avant l'essai
- 1 x 3 pour chacun des couples pompage et remontée consécutive de la nappe.

CHAPITRE 5 – INTERPRETATION IMMÉDIATE POUR LA RECEPTION PROVISOIRE

Les deux conditions à remplir pour que l'ouvrage soit jugé satisfaisant du point de vue de son exécution sont les suivantes :

- valeurs normales des pertes de charge créées par turbulence au droit des crépines et du massif filtrant
- qualité physique de l'eau acceptable pour le bon fonctionnement des pompes et de la consommation et indiquant un choix convenable des crépines et de la granulométrie du massif filtrant.

Valeur des pertes de charge turbulentes

(déduction faite, lorsqu'il y a lieu, de celles dûes à la circulation de l'eau dans le tubage)

Elles sont de la forme :

$$CQ^n$$

Le calcul rapide du coefficient C et de l'exposant peut être fait par la méthode donnée en annexe, qui suppose une exécution absolument correcte des essais de pompage à débits variables.

Seule l'expérience permettra de connaître les valeurs acceptables du coefficient C pour chaque aquifère.

L'exposant doit normalement être inférieur à 2. Le Maître de l'œuvre pourra être amené à refuser un ouvrage pour lequel il serait supérieur (particulièrement si cet ouvrage fournit un débit inférieur à ce qu'on pouvait en attendre).

La tache de sable

La tache de sable observée en régime de démarrage ne devra pas excéder 4 mm ; sa granulométrie ne devra en aucun cas être supérieure à l'ouverture des crépines.

En régime de pompage permanent, elle devra être inférieure à 1 mm, avec une granulométrie inférieure à 1/10 mm.

La présence d'argile

La présence d'argile en suspension dans l'eau en régime permanent sera considérée comme indice d'un développement insuffisant de l'ouvrage.

CHAPITRE 6 – CALCUL DES PERTES DE CHARGE TURBULENTES

Rappelons que « l'équation caractéristique » d'un système de captage est de la forme $S = BQ + CQ^n$ dans laquelle, Q étant le débit, S le rabattement :

- le premier terme BQ représente la baisse de pression de la nappe
- le deuxième terme CQ^n représente les baisses de pression propres à la circulation de l'eau dans le système de captage.

On mesure, au bout d'un temps de pompage égal dans les 3 cas, des rabattements S'1, S'2 et S'3, tels que, déduction faite des pertes de charge dans le tubage, entre crépines et pompe :

$$(I) \quad \begin{aligned} S1 &= bQ1 + cQ1^n \\ S2 &= bQ2 + cQ2^n \\ S3 &= bQ3 + cQ3^n \end{aligned}$$

Q1, Q2 et Q3 sont les débits en m³ par seconde.

b est un paramètre variable selon la qualité de la nappe et selon le temps de pompage, qu'il est donc nécessaire de prendre égal dans les 3 cas.

c et n sont des paramètres de perte de charge turbulente.

1 – Méthode graphique

Porter les 3 mesures de Q et de S obtenues dans un système de coordonnées rectangulaires avec Q en abscisse et S en ordonnée.

Les trois points doivent se placer sur une droite passant par l'origine $Q = 0$ et $S = 0$.

Dans le cas où les trois points ne sont pas alignés, cela signifie que les pertes de charge dans le système de captage sont anormalement importantes.

2 – Calcul

a) calcul de n

Les équations (I) conduisent à l'égalité:

$$A = \frac{S2 - S1a1}{S3 - S1a2} = \frac{a1^n - a1}{a2^n - a2} \quad \text{dans laquelle } a1 = \frac{Q2}{Q1}$$
$$a2 = \frac{Q3}{Q1}$$

$$A = \frac{S2 - S1a1}{S3 - S1a2} \text{ pouvant être calculé, on peut encore écrire}$$

$$\log A = \log (a1^n - a1) - \log (a2^n - a2).$$

On résout graphiquement cette équation par l'utilisation des abaques ci-jointes (courbes ($a^n - a$) en fonction de n pour diverses valeurs de a).

On mesure en ordonnée la longueur de $\log A$ (distance comprise entre 1 et valeur de A) et on recherche, entre les deux courbes ($a1^n - a1$) et ($a2^n - a2$) l'écartement correspondant pour la valeur recherchée de n .

b) calcul de c

$$c = \frac{S2 - a1S1}{(a1^n - a1) Q1^n}$$

avec : $S2 - a1S1$ déjà calculé en a)

: $a1^n - a1$ directement calculable sur l'abaque

c) calcul de b

$$b = \frac{S1 - cQ1^n}{Q1}$$

PARAMETRE HYDRAULIQUE DE LA NAPPE

1 – Débit spécifique $Q/S = 1/b$

2 – Transmissivité : on interprète les courbes du rabattement et de la remontée finale par la méthode de Theiss.

3 – On pourra encore calculer par la méthode de Theiss la valeur du « produit SR^2 » dans lequel :

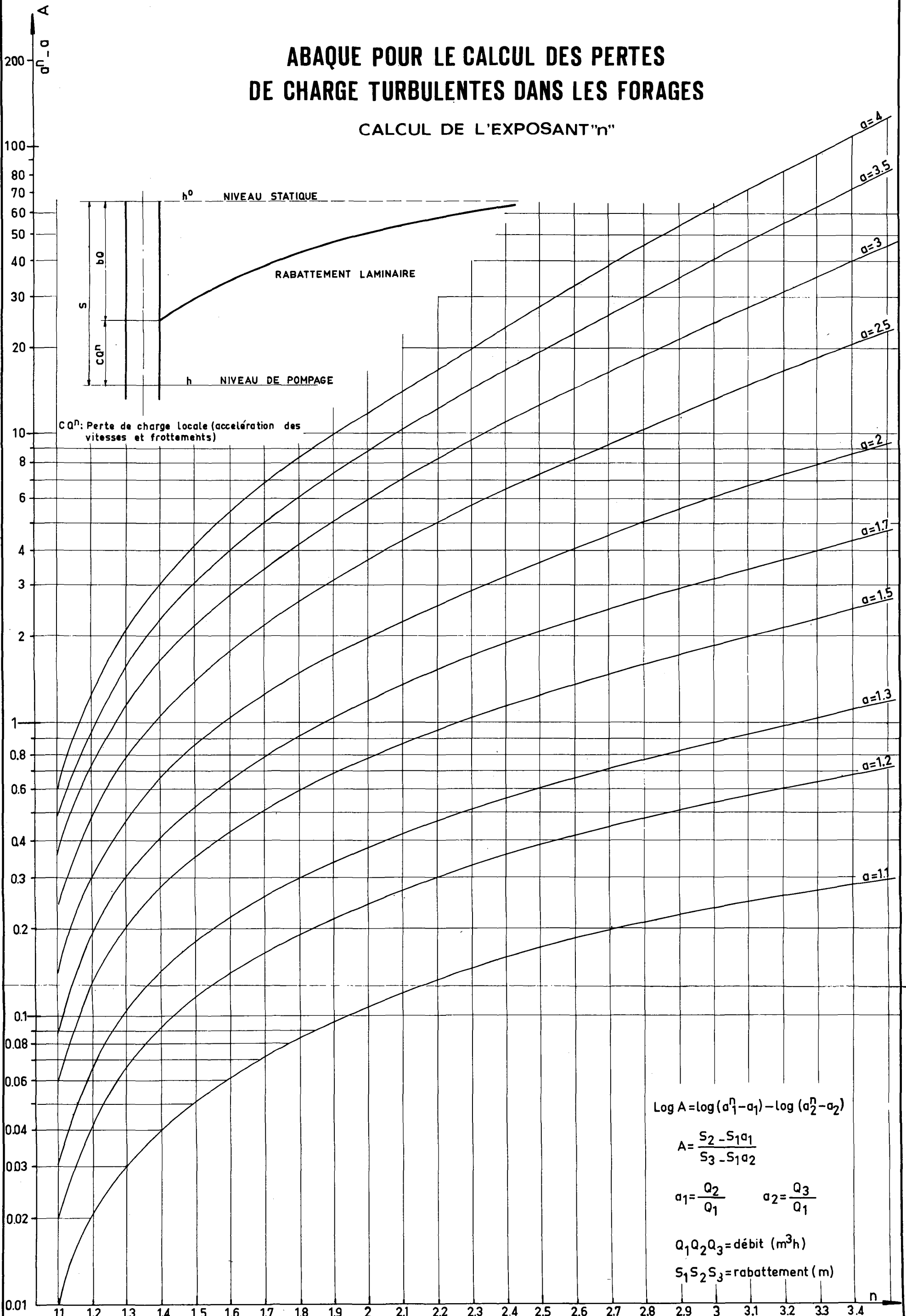
S est le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère.

R est le rayon efficace du forage (d'autant plus élevé que le développement est meilleur).

Ces valeurs ne peuvent être séparées que par des essais de débit avec piézomètres ce qui n'est pas le cas ici.

ABAQUE POUR LE CALCUL DES PERTES DE CHARGE TURBULENTES DANS LES FORAGES

CALCUL DE L'EXPOSANT "n"



CQⁿ: Perte de charge locale (accélération des vitesses et frottements)

$$\text{Log } A = \log(a_1^n - a_1) - \log(a_2^n - a_2)$$

$$A = \frac{S_2 - S_1 a_1}{S_3 - S_1 a_2}$$

$$a_1 = \frac{Q_2}{Q_1} \quad a_2 = \frac{Q_3}{Q_1}$$

Q₁ Q₂ Q₃ = débit (m³h)

S₁ S₂ S₃ = rabattement (m)

n

ESSAI DE DÉBIT EN CASCADE A EXECUTER LORS DES RECEPTIONS PROVISOIRES

– CAS DES FORAGES ARTESIENS

- A – L'essai de débit aura une durée minimum de 10 heures après développement complet de l'ouvrage et mise en repos de la nappe.
- B – Il sera pratiqué de la manière suivante :
- 1/ Pompage à un débit constant voisin de 1/3 du débit final pendant 1 heure.
 - 2/ Arrêt de pompage et remontée jusqu'au rétablissement du niveau initial de la nappe (durée maximum 1 heure).
 - 3/ Pompage à un débit constant voisin de 2/3 du débit final pendant 1 heure.
 - 4/ Arrêt du pompage et remontée jusqu'au rétablissement du niveau initial de la nappe (durée maximum 1 heure).
 - 5/ Pompage à un débit constant maximum fixé par avance (durée minimum 3 heures).
 - 6/ Arrêt du pompage et remontée jusqu'au rétablissement du niveau initial de la nappe (durée minimum 3 heures).
- Si le forage est artésien pour l'ensemble des trois débits les mesures de rabattement seront effectuées lors du pompage et lors de la remontée.
- Si le forage est en partie sub-artésien pour 1 ou 2 débits, dans ce cas, seules les mesures de rabattements résiduels en remontée seront effectuées.
- Dans le cas de forage entièrement sub-artésien, l'entrepreneur prendra ses dispositions afin que les mesures de rabattements résiduels après arrêt du pompage puissent être effectuées.
- C – Les mesures seront effectuées à une fréquence et avec une précision permettant le calcul par la méthode de Theiss de la transmissivité du terrain et des pertes de charge au voisinage du captage.
- D – Le matériel utilisé pour l'essai comprendra :
- Un appareillage manométrique gradué en 1/10 de mètre d'eau permettant la mesure des rabattements
Un débitmètre permettant de régler un débit constant (Tube de Pitot).

L'entrepreneur aura à fournir à l'administration tous les éléments permettant le calcul de la perte de charge dans les tubages utilisés.

1 - 2 – Interprétation de la méthode de Theis

(méthode graphique d'approximation logarithmique) (page 186)

Cas d'un forage avec un puits ou piézomètre d'observation .

La courbe ou droite, rabattement logarithme-temps représente l'expression :

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{x^2 S}$$

ESSAI DE DÉBIT DU FORAGE

Entreprise Date

N° IRH

NATURE DE L'OPERATION							ORIGINE DES MESURES DU NIVEAU DYNAMIQUE :
DATE	Heures h. mn. sec.	t sec.	t' sec.	Débit m3/sec.	Prof. eau (m)	Rabat (mètres)	OBSERVATIONS
							Nature pompe Matériel de mesure Incidents Qualité physique de l'eau etc.

t = temps à partir du démarrage du pompage

t' = temps à partir de l'arrêt du pompage — début de la remontée

Dans laquelle :

- Δ = rabattement de la nappe sous débit constant
- Q = débit en m³/seconde
- T = transmissivité en m²/seconde
- t = temps de pompage en seconde
- X = distance du forage au piézomètre
- S = coefficient d'emmagasinement en %

1/ Détermination de la transmissivité

La fonction est de la forme

$$Y = \Delta = a (\log^b + \log x)$$

$$\log x = \log t \quad \text{et} \quad a = \frac{0,183 Q}{T}$$

$$\begin{aligned} \text{constante } a &= \frac{dy}{dx} = \text{pente de la droite représentative} \\ &= \text{dérivée} = \text{tg}x = \frac{\delta \Delta}{\delta (\log t)} \end{aligned}$$

dans un cycle logarithmique $S \log t = 1$

$$\text{d'où } \frac{0,183 Q}{T} = \delta \Delta = c \quad T = \frac{0,183 Q}{c}$$

Exemple sur graphique $c = 19,20 - 9,20 = 10$ mètres

Si $Q = 50$ l/s soit $0,05$ m³/seconde

$$T = \frac{0,183 \times 0,05}{10} = 0,000915 = 9,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

2/ Détermination du coefficient d'emmagasinement

$$\Delta = C \log \frac{2,25 T t}{X^2 S}$$

Exemple sur le graphique en considérant le point M

$\Delta = 16,80$ mètre de l'origine des coordonnées

$c = 10,00$ mètres

$t = 6,10^3 = 6\,000$ secondes $x = 50$ mètres

$$16,80 = 10 \log \frac{2,25 \times 0,000915 \times 6\,000}{2\,500 S}$$

$$\log S = -3,98$$

$$S = 0,000105 = 0,01 \%$$

3/ Calcul de t^0

$$\Delta = 0 \quad \log t = \log t^0$$

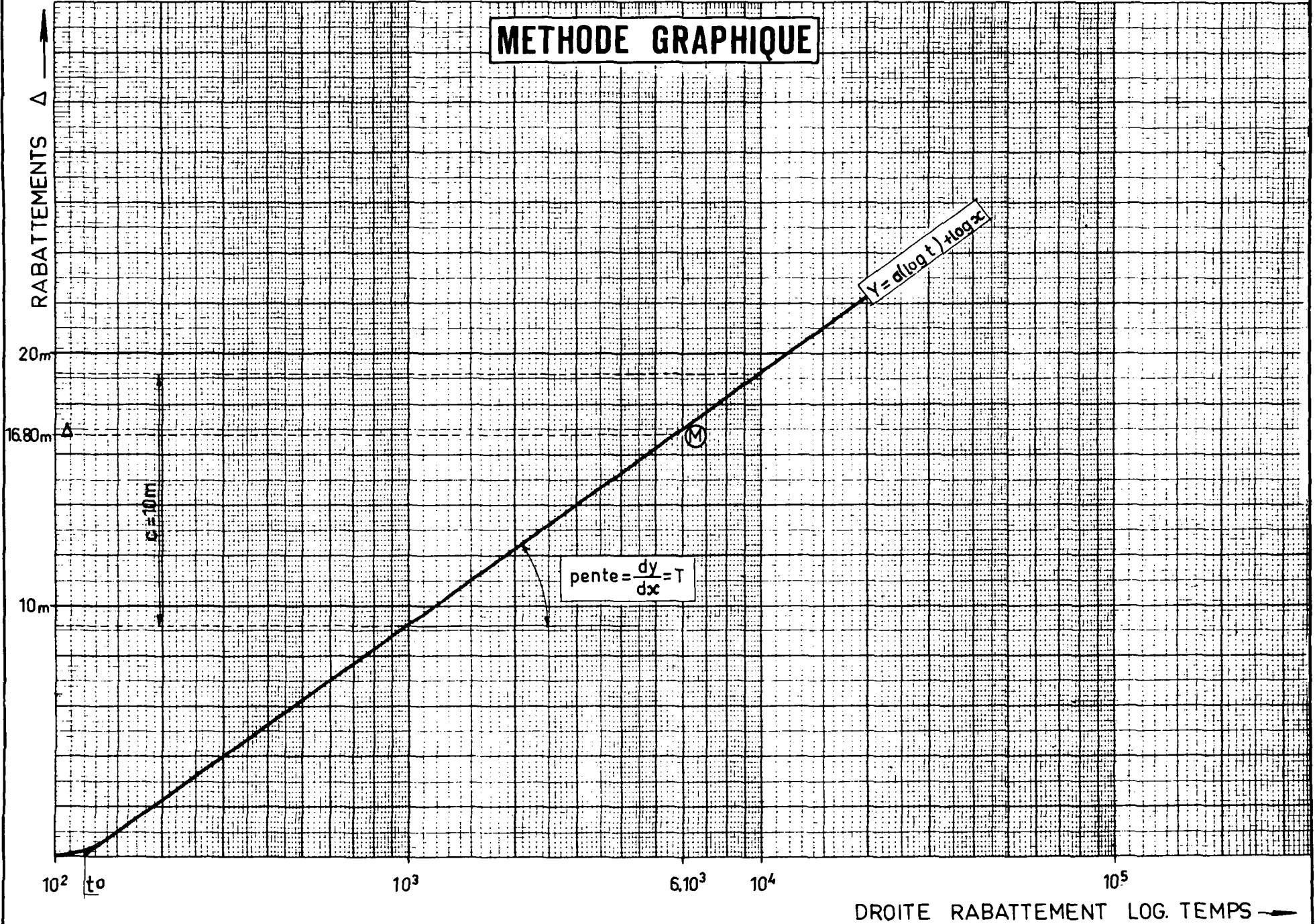
$$0 = \frac{0,183 Q}{T} \quad \log \frac{2,25 T t^0}{X^2 S}$$

$$\log \frac{2,25 T t^0}{X^2 S} = 0 \quad ; \quad \frac{2,25 T t^0}{X^2 S} = 1$$

$$\text{d'où } S = \frac{2,25 T t^0}{X^2} \quad t^0 = 120 \text{ secondes sur le graphique}$$

$$S = \frac{2,25 \times 0,000915 \times 120}{2500} = 0,0001 = 0,01 \%$$

METHODE GRAPHIQUE



DROITE RABATTEMENT LOG. TEMPS

RABATTEMENTS DES NAPPES DANS LES TUBES DE FORAGE

EN FONCTION DU DÉBIT ET DE LA TRANSMISSIVITÉ

EN POMPAGE PERMANENT

(Rabattements théoriques en mètres)

Transmissivité Qm ³ /h	1.10 ⁻⁵	5.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	1.10 ⁻³	5.10 ⁻³	1.10 ⁻²	5.10 ⁻²
20 m ³ /h	760	153	76	15,3	7,6	1,53	0,76	0,153
50 m ³ /h	1900	382	130	38,2	19,0	3,82	1,30	0,382
100 m ³ /h	3800	760	380	76,0	38,0	7,60	3,80	0,76

Déterminés par AUTHOSSERRE, Ingénieur OFEDES , Niamey

– argiles sableuses T = 1.10⁻⁵

– sables fins moyens T = 1.10⁻³

– sables argileux T = 1.10⁻⁴

– sables grossiers T = 1.10⁻²

ANNEXE n° 2 – EXEMPLES DE CAHIERS DES CHARGES TYPES

- 2 - 1 – Marché type d'exécution de puits Ø 1,80 m
(financement FED)

- 2 - 2 – Cahier des prescriptions spéciales d'un appel d'offres
d'exécution de forages d'eau.
(financement FAC).

2. 1 - T Y P E D E M A R C H E

DE CONSTRUCTION DE PUIITS A L'ENTREPRISE

PUITS Ø 1,80 m

(FINANCE PAR LE FONDS EUROPEEN DE DEVELOPPEMENT)

EXEMPLE A ADAPTER AUX CONDITIONS

D'EXECUTION ET DE FINANCEMENT

ENTRE

Monsieur le Ministre
agissant au nom et pour le compte de la République
du et désigné ci-après sous la dénomination « l'Administration ».
d'une part,

ET

Monsieur, agissant au nom et pour le compte de
., dont le siège social est à et désigné ci-après
sous la dénomination « l'entrepreneur » d'autre part,

Il a été convenu et arrêté ce qui suit :

CHAPITRE PREMIER – INDICATIONS GENERALES ET DESCRIPTION DES OUVRAGES

ARTICLE 1er – OBJET DU MARCHÉ

Ce marché a pour objet la construction de puits :

Lot n° 1 – puits dans la région de

Lot n° 2 – " "

Lot n° 3 –

ARTICLE 2 – PROCÉDURE DE PASSATION DU MARCHÉ

Le présent marché est passé sur appel d'offres en vertu des dispositions du Cahier Général tel que défini ci-après :

Les conditions particulières de la procédure de passation du marché sont fixées ainsi qu'il suit :

a/ – Le marché est passé sur bordereau de prix.

Les fournitures , main d'œuvre, frais généraux, taxes, faux frais y compris tous droits et taxes afférentes à l'exécution du marché et aux matériaux et fournitures à importer, aléas, bénéfices et sujétions de toute nature nécessaires à la parfaite et complète exécution des travaux, sont compris dans les prix des bordereaux.

L'entrepreneur ne pourra se prévaloir d'erreurs, d'omissions ou d'imprécisions dans les pièces du dossier d'appel d'offres, celles-ci ayant dû être étudiées avec un soin tel que les erreurs, omissions ou imprécisions précitées ne puissent lui échapper.

b/ – La personne physique et morale bénéficiaire du présent marché se voit reconnaître la faculté de s'établir dans la République du

L'entreprise qui se sera établie pour l'exécution des travaux prévus au présent marché aura la liberté absolue si elle le désire, de réexporter le matériel qu'elle a importé à cette fin dans la République du dès lors qu'elle aura accompli les formalités prescrites par les réglementations du Commerce Extérieur et des charges en vigueur dans la République du pour les marchés financés par le Fond Européen de Développement

Ne peuvent participer à l'exécution du présent marché que les personnes physiques et morales ressortissantes des États Membres et des pays et territoires d'Outre-mer associés à la communauté Économique Européenne.

c/ – Le Gouvernement de la République du s'engage à accorder sans discrimination entre les pays Membres de la Communauté Économique Européenne et les pays et territoires d'Outre-mer associés les autorisations d'importation et d'acquisition des devis nécessaires à l'exécution du projet.

d/ – Le Gouvernement de la République du s'engage à accorder à l'Entrepreneur le libre transfert des sommes reçues en Francs CFA au titre du présent marché dans une des devises des États Membres de la C.E.E. sous réserve de l'accomplissement des formalités habituelles.

e/ – Transfert des salaires

Les salariés de nationalité étrangère qui, pour l'exécution des travaux seront amenés à établir leur résidence dans la République du et à y encaisser leur salaire auront dans la mesure où l'exécution d'une semblable opération est subordonnée à autorisation, la faculté de transférer dans les Pays de leur nationalité le montant de leur salaire sur simple présentation de leur bulletin de paye.

f/ – L'emploi du personnel originaire des États membres ou États, pays et territoires associés à la Communauté Économique Européenne ne donnera lieu à aucune mesure discriminatoire .

CAHIER GÉNÉRAL

Le présent marché est préparé, passé et exécuté selon les règles et procédures définies par les décrets et arrêtés ci-après appelés ensemble Cahier Général ; sauf dérogations faites par le Cahier des Prescriptions Spéciales.

- Arrêté du 16 octobre 1946 fixant les Clauses et Conditions Générales imposées aux Entrepreneurs des travaux publics dans les Territoires relevant du département de la France d'Outre-mer, modifié par arrêté ministériel n° 10.199 du 27 novembre 1952.

- Décret n°49.500 du 11 avril 1949 portant application pour les Territoires relevant du Ministère de la France d'Outre-mer du décret du 6 avril 1942 relatif aux marchés passés au nom de l'État, modifié par le décret n° 52.1249 du 21 novembre 1952.
- Décret n° 58.15 du 8 janvier 1958 relatif au règlement des marchés de l'État et des Établissements publics nationaux non soumis aux lois et usages du commerce passés ou exécutés dans les territoires d'Outre-mer.

Les décrets et arrêtés ci-dessus, constituant le Cahier Général, ne sont applicables que modifiés conformément aux dispositions de l'article 304 des conventions de financement, ainsi qu'il apparaît dans le « Recueil des textes concernant les marchés de travaux ou les marchés de fournitures et services passés pour l'exécution des conventions de financement conclues entre la Communauté Économique Européenne et les Pays associés de la zone franc ainsi que de la Côte Française des Somalies ».

Ce "recueil" peut être obtenu auprès de l'Imprimerie Nationale, Service Edition et de vente des Publications officielles, 27, rue de la Convention, Paris XV^e, au prix de 5 francs français.

ARTICLE 3 – PIÈCES INCORPORÉES AU CONTRAT

La liste ci-dessous énumère, par ordre de priorité les pièces contractuelles constituant le marché :

- Pièce I – la soumission de l'Entrepreneur
- Pièce II – le présent Cahier des Prescriptions Spéciales
- Pièce III – le bordereau des prix
- Pièce IV – le détail estimatif
- Pièce V – les plans n°
le plan de situation des ouvrages
la liste des puits par lots
- Pièce VI – les règles du béton armé – décret 68 340 du 4 avril 1968, fascicule n° 61 du Ministère de l'Équipement et du Logement. (Cahier des prescriptions communes applicable aux marchés des Travaux Publics et aux marchés de travaux de bâtiment de la République Française).
- Pièce VII – les normes de l'organisation internationale de normalisation.

ARTICLE 4 – DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les puits à construire seront circulaires (diamètre intérieur : 1,80 m) en béton armé, à superstructure octogonale à abreuvoirs incorporés en zones sédentaires et hexagonales avec bâti à poulies en zones nomades.

Les puits seront construits conformément aux plans d'exécution joints au présent Cahier et comprendront :

- un ancrage du cuvelage en surface en béton armé
- un cuvelage en béton armé exécuté par coffrages
- des ancrages tous les 10 mètres de profondeur
- un ensemble d'éléments de buses adaptées aux terrains de l'aquifère capté, en béton armé avec trous obliques ou fenêtres filtrantes ou métalliques mis en place dans

la zone aquifère formant massif filtrant, ou tout autre solution proposée par l'Entrepreneur et agréée par le Maître d'œuvre.

– une maçonnerie de surface comportant :

Pour la zone sédentaire : une margelle et une superstructure octogonale avec abreuvoirs et escaliers incorporés.

Pour la zone nomade : une margelle, un trottoir, un hérisson et une superstructure à bâti hexagonal pouvant recevoir 6 rouleaux ou poulies.

a/ – Ancrage du cuvelage en surface

L'ancrage en surface est constitué par un radier annulaire en béton armé à 350 kg de ciment, de 0,12 m d'épaisseur et de 0,70 m de large avec raccordement tronconique.

Le radier repose sur un béton de propreté dosé à 150 kg de ciment de 0,08 d'épaisseur.

Le radier sera surmonté jusqu'au niveau + 0,70 pour les puits en zone sédentaire (superstructure type «A») et + 0,50 pour les puits en zone nomade (superstructure type «B») par un mur annulaire de 0,40m de large réalisé en béton banché légèrement armé, dosé à 300 kg de ciment.

b/ – Cuvelage

Le cuvelage aura une épaisseur minimum de 10 cm et sera exécuté en béton armé obtenu par coffrage, le dosage étant de 350 kg de ciment au mètre cube.

Le ferrailage placé au milieu de la paroi du cuvelage comprendra soit :

- fers horizontaux Ø 6 mm tous les 15 cm
- fers verticaux 26 Ø 8 mm

soit :

- treillis soudé de 4,9 de diamètre et de maille 15 X 15.

Le recouvrement des fers horizontaux ou verticaux ne devra pas être inférieur à 30 cm, les fers étant terminés par des crochets.

Le recouvrement des treillis soudés se fera sur 2 mailles sans crochets.

c/ – Ancrages

Des ancrages tronconiques en béton armé seront aménagés conformément au dessin d'exécution. Les ancrages seront construits en principe tous les 10 mètres. Ils ne seront cependant pas placés au niveau des nappes perchées mais immédiatement au-dessous de préférence en terrain dur. Le ferrailage des ancrages devra être exécuté à partir de fer à béton diamètre 8 mm comme indiqué sur les dessins.

d/ – Buses

1 – Buses en béton armé

Les buses perforées en béton armé auront un diamètre extérieur de 1,60. Elles seront perforées par des trous de 8 à 10 mm de diamètre, inclinés à 45° sur l'horizontale, vers l'extérieur, dont les orifices seront situés tous les 15 cm (disposition en quinconce).

Elles comporteront à leur extrémité des moulures leur permettant de se raccorder les unes aux autres de façon à constituer un ensemble rigide. Elles auront en principe une longueur de 1 m mais toute variante sera acceptée à condition que le monolithisme soit assuré.

Le recouvrement buse-cuvelage aura un minimum de 0,50 m. Si le recouvrement n'atteint pas 0,50 m l'Entrepreneur sera tenu d'ajouter une autre buse. De ce fait le recouvrement pourra avoir un maximum de 1,49m.

Elles seront exécutées en béton armé dosé à 400 kg de ciment au mètre cube et vibré mécaniquement. Elles seront fabriquées dans des moules métalliques dont le type sera soumis à l'agrément de l'Ingénieur.

Le ferrailage sera constitué comme suit :

soit :

- fers horizontaux Ø 6 mm tous les 15 cm
- fers verticaux 22 Ø 8 mm

soit :

- treillis soudé de Ø 4,9 mm et maille de 15 X 15

Le premier élément de chaque train de buses portera à sa base une trousse coupante débordante.

2 - Buses métalliques

Le type de buses métalliques ne sera employé qu'exceptionnellement en cas de rencontre de terrain fluant et sur ordre de l'Ingénieur.

Chaque élément est constitué par deux cylindres en tôle de 4 mm ; l'espace annulaire étant de 20 cm.

6 tôles de 4 mm soudées verticalement assurent la rigidité de la buse en la compartimentant.

Les diamètres intérieurs et extérieurs sont respectivement de Ø 125 et Ø 165 cm.

La hauteur d'un élément de buse métallique est de 0,50 m

Les buses seront solidarisées entre elles au fur et à mesure de la mise en place par boulonnage des éléments.

Le premier des éléments portera une trousse coupante débordante remplie de béton.

Chaque élément portera en haut sur le cylindre extérieur et en bas sur le cylindre intérieur une série de fenêtres pour le passage de l'eau, à maille de 1 mm.

L'espace annulaire de 20 cm de large sera rempli, avant la mise en place de l'élément, de gravillon formant massif filtrant vertical.

Les matériaux employés devront être durs, sains, inaltérables à l'eau et criblés avec soins. Ils seront de provenance siliceuse et de forme arrondie obligatoirement. Ils seront disposés en deux couches ayant les granu-

lométrie suivantes :

- 1^o/ couche 2/5
- 2^o/ couche 5/15

A partir de la trousse coupante, on trouvera une couche 5/15, une couche 2/5 et ainsi de suite.

Le nombre de buses mises en place sera tel que la colonne de buses aille au fond du puits jusqu'à 0,5 mètre au-dessus du niveau statique dans le cas d'une nappe libre ou à faible remontée.

La mise en place des buses se fera par havage. Dans le cas d'une nappe en charge remontant dans le puits de plusieurs mètres, l'ingénieur pourra donner l'ordre de supprimer la mise en place des buses et du massif filtrant, une couche de gravillon sera alors mise en place sur une épaisseur de 50 cm au fond de l'ouvrage. Sur cette couche de gravillon sera posée une dalle de béton armé, perforée, de 15 cm d'épaisseur et munie d'anneaux de levage.

e/ - Massif filtrant pour buses en béton armé

L'épaisseur minimum du massif filtrant sera de 0,10 m.

Pour les buses en béton armé le massif filtrant sera disposé autour de la colonne de buses conformément au dessin d'exécution.

Il sera constitué par du gravillon calibré qui devra pouvoir passer en tous sens dans un anneau de 20 millimètres, sans pouvoir passer au tamis de 10 mm.

Les matériaux devront être durs, sains, inaltérables à l'eau et criblés avec soin. Ils seront de provenance silicieuse et de forme arrondie obligatoirement.

La mise en place de gravillon se fera au fur et à mesure de l'avancement des buses.

Le gravillon sera également intercalé entre le cuvelage et la colonne de buses jusqu'au niveau supérieur de celle-ci.

f/ - Maçonneries de surface (superstructure)

Il est envisagé deux (2) types de superstructures qui seront réalisés conformément aux dessins d'exécution.

1 - Type A (dessin n°) pour les puits en zone sédentaire

La superstructure comprend :

- une margelle (hauteur au-dessus du radier : 70 cm) en béton banché légèrement armé ; dosé à 300 kg de ciment. Cette margelle sera liée avec le radier d'ancrage du cuvelage en surface dont on gardera les armatures de liaison en attente.
- une superstructure octogonale avec 4 abreuvoirs incorporés et 4 escaliers d'accès en béton armé dosé au moins à 300 kg de ciment en brut de décoffrage et avec surface de la plateforme striée.

Les parois devront être ferrillées suffisamment pour résister aux chocs.

Le remblai sous la plateforme devra être réalisé avec un matériau sélectionné et compacté de telle sorte qu'aucun affaissement ne puisse se produire.

2-) TYPE B (dessins n°) pour les puits en zone nomade.

La superstructure comprend :

- une margelle comme pour le type A, mais de 50 cm de hauteur au-dessus du radier.
- un massif antibourbier en pierres dures jointoyées au sable de 40 cm d'épaisseur.
- 6 abreuvoirs mobiles, de forme cylindrique (diamètre intérieur 80 cm. hauteur intérieure 20 cm) , en béton armé. Ces abreuvoirs seront munis de 4 poignées de levage. Le béton armé sera dosé à au moins 3 00 kg de ciment et devra être étanche et ne sera pas recouvert d'enduit.

Les plans des abreuvoirs devront être soumis à l'agrément de l'Ingénieur chargé du contrôle.

- 1 bâti hexagonal en tube ou profilé boulonné sur la margelle et pouvant supporter 6 rouleaux ou poulies.

Avant la réalisation des superstructures, l'Entrepreneur sera tenu de soumettre un prototype à l'approbation de l'Administration, un mois après la notification du marché. Cette superstructure fera l'objet d'une réception préalable après approbation par le maître d'oeuvre.

CHAPITRE DEUX – PROVENANCE QUALITÉ ET PRÉPARATION DES MATÉRIAUX

ARTICLE 5 – ORIGINE DES MATÉRIELS – MATÉRIAUX ET FOURNITURES

Sauf en ce qui concerne les carburants et les liants hydrocarbonés, les matériaux et fournitures nécessaires pour l'exécution des travaux faisant l'objet du marché doivent obligatoirement avoir leur origine dans l'un des États Membres ou États, Pays ou Territoire d'Outre-mer associés à la Communauté Économique Européenne.

Ils peuvent cependant, quelle que soit leur origine, être achetés sur le marché local de la République de , s'ils y ont été importé dans le cadre des contingents normaux et sous réserve que de tels achats ne portent que sur des quantités marginales pour les principaux produits, ou sur les matériaux ou fournitures qui ne sont nécessaires qu'en petite quantité. Pour ces achats, l'accord du Contrôleur Délégué doit être sollicité.

En ce qui concerne l'origine des matériels, engins, machines, appareils et outillages, l'Entrepreneur est libre d'utiliser les dits matériels etc . . . de toutes origines, pourvu que ces matériels aient été en sa possession lors du dépôt de la soumission. Si l'Entrepreneur doit acquérir du matériel pour l'exécution du marché, qu'il s'agisse de constituer son parc ou de le compléter, ce matériel nouvellement acquis doit avoir son origine de l'un des États Membres ou États, Pays ou Territoire d'Outre-mer associés à la Communauté Économique Européenne ou doit avoir reçu l'agrément de l'Administration.

Les achats de carburants, lubrifiants et liants hydrocarbonés nécessaires à l'exécution du présent marché seront réputés faits localement et subiront, en conséquence, la fiscalité de la République du sans restriction, ni réserve.

ARTICLE 6 – CHANGEMENT D'ORIGINE DES IMPORTATIONS

L'Entrepreneur s'engage à signaler à l'Administration toute modification apportée lors des importations, à l'origine prévue dans la liste jointe à sa soumission.

Toute modification apportée lors des importations à l'origine prévue doit avoir été signalée à l'Ordonnateur local.

La règle suivant laquelle les marchés sont passés et exécutés tous droits inclus, comme si les produits à importer devaient être originaires d'un État Membre, ne préjuge évidemment en rien l'origine réelle des marchandises importées.

Il se peut que selon l'origine des produits importés, le montant des droits acquittés soit différent de celui prévu dans la soumission.

- plus important (dans le cas par exemple d'importations originaires d'un pays autre qu'un État Membre et qui n'auraient pu bénéficier du régime applicable aux importations originaires de cet État Membre).
- moins important (dans le cas d'importations originaires d'un pays associé qui ne donnent pas lieu à la perception de certains droits et taxes).

Après réalisation effective des importations ou acquittement du montant des droits d'entrée, il sera procédé avant l'établissement du dernier décompte à une contestation contradictoire de l'origine réelle des importations.

Cette contestation se fera au cours d'une réunion prise à l'initiative de l'Administration de la République du qui groupera le titulaire du marché ou son représentant et l'Administration, et en conclusion de laquelle sera établi un procès-verbal précisant :

- soit que le Marché sera intégralement liquidé sur la base de son montant
- soit qu'un remboursement de l'excédent des droits acquittés par le titulaire du Marché sera effectué en sa faveur.

- soit qu'une retenue correspondant à la moins-value des droits effectivement acquittés par le titulaire du Marché sera effectuée à son encontre.

Il sera procédé au remboursement ou à la retenue lors de l'établissement du dernier décompte provisoire mensuel auquel sera annexé un exemplaire du procès-verbal visé ci-dessus.

Le remboursement sera effectué à l'initiative du titulaire du Marché qui présentera à l'Ordonnateur de la République du un décompte spécial accompagné de pièces justificatives.

La retenue sera effectuée à l'initiative de l'Administration. Elle fera l'objet d'un avis particulier au titulaire du Marché, accompagné d'une copie des pièces justificatives, l'original étant annexé aux pièces comptables.

Les pièces justificatives visées aux deux précédents paragraphes résultent d'une attestation de l'Administration des Douanes, délivrée après acquittement effectif des droits et indiquant :

- 1/ le montant des droits qui auraient été acquittés si les importations avaient été originaires d'un État Membre X Francs.
- 2/ le montant des droits effectivement acquittés Y Francs
- 3/ (somme à rembourser Y – X)
(somme à retenir X – Y) Z Francs

L'initiative de l'établissement de ces pièces justificatives incombe

- soit au titulaire du Marché si elles impliquent un versement complémentaire en sa faveur,
- soit à l'Administration nigérienne si elles impliquent une retenue à l'encontre du titulaire du Marché.

ARTICLE 7 – NORMES

Ciment : Il sera de la qualité «Portland Artificiel» classe 210/325 à prise lente – norme P. 15 302 ou classe correspondante dans l'organisation internationale de normalisation.

Acier pour profilés : Les aciers profilés pour colonnes filtrantes métalliques sont des aciers doux laminés Marchand Thomas, conformes à la norme A – 45 103 pour les cornières ou la norme correspondante dans l'Organisation Internationale. Ces profilés recevront une couche de peinture antirouille et deux couches de peinture à l'huile.

Les normes et règlements dont il est fait état dans le présent document ne sont donnés qu'à titre indicatif, dans le but de préciser la qualité et les règles de résistance désirées. Il pourra être fait application d'autres normes ou références si l'Entrepreneur donne la preuve que la qualité et la résistance obtenues sont au moins équivalentes à celles prescrites. Si l'Entrepreneur se réfère à des normes autres que celles prévues il doit fournir à l'Administration des extraits en langue française de la documentation correspondante à ces normes.

ARTICLE 8 – PROVENANCE DES MATÉRIAUX

L'Entrepreneur devra, dans un délai de 15 (quinze) jours à dater de la notification de l'approbation du Marché, soumettre la provenance des matériaux destinés à la confection des ouvrages à l'agrément de l'Ingénieur chargé du contrôle des travaux.

ARTICLE 9 – QUALITÉ DES MATÉRIAUX

1^o/ – Agrégats et eau de gâchage

Ils devront être soumis à l'agrément de l'Ingénieur chargé du contrôle.

2^o/ Liants hydrauliques

La fourniture des liants hydrauliques fait partie de l'Entreprise.

Les ciments fournis par l'Entrepreneur devront provenir d'usines agréées par le Maître d'œuvre. Ils seront livrés en sac, papier plombé de 7 plis.

Sur chantier ils seront déposés sous abri et ne devront pas être stockés plus de deux mois.

3^o/ Aciers pour béton armé

L'acier employé pour les armatures sera en principe de l'acier doux Marchand Thomas. Les caractéristiques des aciers devront être indiquées par écrit à l'entrepreneur et soumises à l'approbation de l'Ingénieur.

Les treillis soudés employés seront en fil d'acier écroui.

ARTICLE 10 – ESSAIS RECEPTION ET VERIFICATION DES MATERIAUX

Aucun matériau ne pourra être mis en œuvre avant d'avoir été vérifié et reçu par l'Ingénieur. Les approvisionnement sur le chantier ne devront être faits qu'après autorisation de l'Ingénieur et les matériaux devront être conformes aux échantillons agréés par lui. Ils pourront être l'objet d'essais sur chantier ou en laboratoire, aux frais de l'Entrepreneur et sur ordre de l'Ingénieur.

Les matériaux refusés seront immédiatement enlevés du chantier par l'Entrepreneur et à ses frais.

CHAPITRE TROIS – MODE D'EXÉCUTION DES TRAVAUX

ARTICLE 11 – IMPLANTATION

Avant tout commencement des travaux il sera procédé contradictoirement à l'implantation des puits.

Il appartient à l'Entrepreneur de demander l'implantation à l'Ingénieur chargé du contrôle. Celui-ci devra implanter la totalité des puits ne nécessitant pas l'intervention d'un hydrogéologue, dans un délai de trois (3) mois si l'Entrepreneur le désire. Les puits où la présence d'un hydrogéologue est nécessaire seront implantés dès que possible.

L'implantation aura lieu en présence d'une commission composée des représentants du Service Technique, du Préfet, du Contrôleur Délégué (avisé au moins CINQ JOURS à l'avance), de l'I.R.H., de l'Elevage de l' pour les puits en zone nomade et de l'Entreprise et si besoin est d'un géologue. Un procès-verbal sera dressé et notifié à l'Entrepreneur. Chaque emplacement de puits sera matérialisé sur le terrain par un repère dont la conservation sera à la charge et à la diligence de l'Entrepreneur.

Le piquetage est compris dans le délai d'exécution qui courra toujours de l'Ordre de Service notifiant le commencement des travaux quelle que soit la date de demande d'implantation.

ARTICLE 12 – EXÉCUTION DES TERRASSEMENTS

Les déblais provenant des puits devront être évacués et régalés proprement dans un rayon de 50 mètres environ autour du puits et sur une épaisseur maximum de 25 centimètres.

Les quantités de matériaux extraits lors du fonçage du puits et correspondant à des zones de terrain donnant lieu à des plus-values seront obligatoirement stockées sur place pour en permettre la cubature.

ARTICLE 13 – PRÉLEVEMENT D'ÉCHANTILLONS

En même temps qu'il exécutera les terrassements, l'Entrepreneur prélèvera, tous les 5 mètres et à chaque changement de la nature du terrain, un échantillon qu'il adressera lors de l'achèvement de chaque ouvrage et à ses frais à l'Inventaire des Ressources Hydrauliques du Chaque échantillon de 200 à 300 grammes, sera placé dans un sachet de toile blanche portant le nom des puits et la profondeur du prélèvement et les sachets enfermés eux-même dans des caissettes en bois à casiers, d'une forme agréée par l'Ingénieur.

Pendant la durée de l'exécution d'un ouvrage, les caissettes et les sacs à échantillons devront être maintenus en permanence sur le chantier. L'Ingénieur pourra demander le prélèvement d'autant d'échantillons supplémentaires qu'il jugera utile dans chaque cas particulier, sans que l'Entrepreneur puisse prétendre à une indemnité.

L'Entrepreneur devra, en outre, constituer à proximité même du puits une image géologique du terrain, en disposant, sur un alignement à partir d'un piquet cimenté, des tas d'échantillons de cinquante litres environ distants de 1 mètre les uns des autres et extraits de la profondeur correspondante du puits.

ARTICLE 14 – COMPOSITION DES MORTIERS ET BÉTONS

La composition des mortiers et bétons sera soumise à l'agrément de l'Ingénieur chargé du contrôle. Les résistances mécaniques admises pour les bétons sont celles des bétons non contrôlés indiquées dans les règles du BA. 68 – fascicule n° 61 – pièce indiquée à l'article 3 du Marché.

ARTICLE 15 – EXECUTION DU BÉTON ARMÉ

Les bétons seront fabriqués à proximité du lieu des travaux et mécaniquement pour la réalisation des buses.

Les buses pourront cependant être amenées sur le chantier préfabriquées. Les quantités d'eau de gâchage seront déterminées par les soins de l'Entrepreneur à la suite d'essais préalables et proposés à l'agrément de l'Ingénieur.

Les moyens de dosage et malaxage seront soumis à l'agrément de l'Ingénieur.

Si au décoffrage, il se produisait des fissures ou des déformations de nature à compromettre l'aspect ou la solidité de l'ouvrage, l'Entrepreneur serait tenu de procéder d'urgence et à ses frais, risques et périls, aux réparations reconnues nécessaires par l'Ingénieur, si elles s'avéraient possibles et sinon à la démolition et à la reconstruction du tout ou partie de l'ouvrage.

ARTICLE 16 – ÉPREUVE ET CONTROLE DES BÉTONS

Il sera procédé à deux sortes de contrôle.

a/ Contrôle par prélèvement frais

- l'Entrepreneur est tenu de fournir à l'Administration 5 cubes de bétons par ouvrage coulés et présenté dans des moules de 20 X 20 X 20 cm.

Les prélèvements seront effectués sur des gâchées différentes. Ces cubes porteront l'indication de l'ouvrage dont ils sont extraits et la date de leur fabrication.

Essais de plasticité : l'affaissement obtenu dans les essais au cône de 30 cm sera compris entre 9 et 3 cm.

b/ Contrôle du béton en place

- le contrôle en place sera effectué :

- 1/ * au scléromètre. Ce contrôle interviendra autant de fois que l'Administration le jugera nécessaire.
- 2/ * par carottages de 15 X 15 tous les 8 mètres environ.

ARTICLE 17 – APPROFONDISSEMENT DANS LA NAPPE – GARANTIE DE DÉBIT – ESSAIS

L'Entrepreneur s'engage à poursuivre les travaux de fonçage dans la nappe jusqu'à ce que le débit minimum de 5 m³/heure soit atteint avec une hauteur d'eau restante de 0,50 m et une hauteur d'eau au repos de 2,00 m minimum. L'Entrepreneur arrêtera le fonçage dans la nappe lorsque le débit de 5 m³/heure sera atteint.

Toutefois, l'Entrepreneur sera dégagé de ces obligations dans le cas où les caractéristiques de la nappe pour laquelle l'Ingénieur a donné l'autorisation d'exploiter, ne permettraient pas d'obtenir ce débit. Dans ce cas, l'Entrepreneur s'engage à poursuivre le fonçage de manière à réaliser une réserve d'eau de 10 m au maximum par rapport au niveau statique. Si le débit de la nappe est trop faible le fonçage de la réserve sera arrêté dès que celle-ci ne se remplit plus en une nuit. Une dalle de fond sera coulée au fond de la réserve avant l'essai de débit, si l'Ingénieur le juge nécessaire.

Des essais seront effectués contradictoirement en vue de vérifier que les caractéristiques exigées ci-dessus

sont bien obtenues. Les essais feront l'objet d'une demande écrite adressée par l'Entrepreneur à l'Ingénieur qui devra y donner suite dans un délai de 5 (CINQ) jours à compter de la réception de la demande. Le matériel nécessaire aux essais sera fourni par l'Entrepreneur et devra avoir reçu l'agrément de l'Ingénieur, il devra permettre d'assurer un débit au moins égal à 15 mètres cubes/heure quelle soit la profondeur du puits. Les essais proprement dits commenceront dès que sera atteinte une hauteur d'eau restante de 1,00 m ou, si le débit est très important, dès que la nappe sera stabilisée à niveau déterminé. Ils seront poursuivis aussi longtemps que l'Ingénieur chargé du contrôle le jugera nécessaire, le débit de pompage étant maintenu constant de manière à ce que le niveau de l'eau dans l'ouvrage ne varie pas sensiblement. Ce niveau sera mesuré toutes les demi-heures, et les quantités d'eau extraites notées de façon continue avec la plus grande précision possible. Immédiatement après l'achèvement des essais sera établi un procès-verbal relatant en détail les opérations effectuées et leurs résultats. Sur la vue de ce procès-verbal d'essais l'Ingénieur établira, le cas échéant, un procès-verbal de mise en service de l'ouvrage.

Les frais occasionnés par ces essais seront réglés à l'Entrepreneur suivant le prix de l'heure de travail en régie prévu au bordereau de prix.

Au cas où la pose d'une dalle de fond est prévue, celle-ci doit être posée avant l'exécution de l'essai de débit.

Analyse d'eau : Sur chaque puits un échantillon de 1 litre d'eau sera prélevé et analysé chimiquement par un laboratoire agréé par le Maître d'œuvre (les frais d'analyse sont compris implicitement dans le prix du bordereau). L'analyse chimique comprendra obligatoirement la détermination quantitative :

- des anions Cl^- ; SO_4^{--} ; CO_3H^- ; CO_3^{--} ; NO_3^- ; Fe^-
- des cations Ca^{++} ; Mg^{++} ; Na^+ ; K^+ ; NH_4^+
- du résidu sec à 100 ° C
- du pH.

CHAPITRE QUATRE – CLAUSES FINANCIERES

ARTICLE 18 – MONTANT DU MARCHÉ

Le montant du marché est estimé :

.....
.....

ARTICLE 19 – MODE DE REMUNÉRATION

Les travaux seront rémunérés par application aux quantités exécutées des prix du bordereau du marché.

Les prix comprennent tous les frais, faux frais, et sujétions et rémunèrent l'Entrepreneur pour l'exécution

des travaux prescrits par le présent Cahier des Prescriptions Spéciales, livrés en état de réception sans autres dépenses pour l'Administration que celles qui sont explicitement mentionnées par le marché.

L'Entrepreneur s'est rendu compte avant de s'engager de toutes les conditions de l'Entreprise et ne pourra élever aucune réclamation ayant pour base des difficultés ou sujétions qu'il eût dû normalement connaître.

ARTICLE 20 – CONDITIONS D'APPLICATION DES PRIX

1/ Application des prix du bordereau

- Prix global et forfaitaire comprenant le transport de tout le matériel et personnel à l'emplacement du chantier, le montage de l'atelier, campement et sujétions diverses ou leur repli après que le puits ait été déclaré prêt à être réceptionné provisoirement. Ce prix comporte l'enlèvement du matériel et des matériaux sans emploi.

Fonçage et cuvelage

- * l'unité est le mètre linéaire pour le fonçage et le cuvelage y compris ancrages. L'origine des cotes sera le terrain naturel. Le cuvelage sera arrêté à la nappe pour laquelle l'Ingénieur a donné l'autorisation d'exploitation.
- * les plus-values s'appliquent au mètre linéaire. Elles interviennent dans le cas de terrain dur ou de terrain boulant ou fluant, et dans le cas de fonçage dans la nappe. La plus-value pour terrain boulant ou fluant comprend le blindage perdu.
- * l'approfondissement dans la nappe sera obligatoirement fait par havage.
- * en cas de terrain instable il sera prévu un cuvelage monoiithe avec fonçage par havage.
- * l'entrepreneur devra signaler son procédé pour traverser une fausse nappe. Une fausse nappe (ou nappe perchée) devra être traversée et étanchée.
- * la fourniture et la mise en place de buses de 1 m fait l'objet d'un prix global et forfaitaire. Le fonçage est payé à part. L'origine des cotes est l'extrémité du cuvelage et le prix comprend les épaissements éventuels et toutes sujétions.

Colonne filtrante métallique

- Les prix s'appliquent dans les mêmes conditions que pour les buses en béton armé. La mise en place d'une colonne filtrante est tributaire de la rencontre d'un terrain boulant ou fluant, et sur ordre de l'Ingénieur chargé du contrôle.

Béton et maçonnerie

- Les prix s'appliquent aux quantités de béton ou de maçonnerie déterminées suivant les plans joints au présent marché.
- Les superstructures seront payées forfaitairement à l'unité.

Il sera admis une tolérance de 3 % (trois pour cent) sur les cotes du dessin.

2/ Définitions des prix du bordereau

Terrain dur :

Terrain qui ne peut être terrassé qu'avec l'emploi d'explosifs (par exemple granit sain ou équivalent).

Terrain boulant ou fluant :

Terrain dont la cohérence est insuffisante et nécessité un blindage perdu.

Ces différentes qualités devront être reconnues par l'Ingénieur dès le commencement des travaux correspondants.

ARTICLE 21 – FORMULE DE VARIATION DES PRIX

L'Entrepreneur sera soumis à une taxe sur le chiffre d'affaires de % applicable à, % du montant initial du marché.

Les prix du bordereau seront révisés par application de la formule ci-après :

$$P = P_o \left(0,15 + 0,35 \frac{S}{S_o} \left(\frac{1+K}{1+K_o} \right) + 0,10 \frac{F}{F_o} + 0,20 \frac{E}{E_o} + 0,20 \frac{C}{C_o} \right) \frac{1 - T_o}{1 - T}$$

dans laquelle :

P_o = prix du bordereau

S_o = salaire horaire de référence de l'équipe suivante :

- 1 ouvrier cinquième catégorie, premier échelon	. . . . .	F. CFA/h
- 3 ouvriers deuxième catégorie	. . . . .
- 6 manœuvres participant à la production	. . . . .
soit, total :	. . . . .	F.CFA/h

K_o = somme de référence des charges sur salaires africains résultant de l'application de la réglementation en vigueur à

Prestations familiales	. . . . .	% du salaire
Retraite	. . . . .	%
Accident du travail	. . . . .	%
total :	. . . . .	% du salaire

C_o = prix mercurialisé de référence de la tonne de ciment sous sac papier à :

F_o = prix mercurialisé de référence de la tonne de fer rond à béton à

E_o = prix mercurialisé de référence de 200 litres d'essence en vrac à

T_o - somme de référence de la taxe sur le chiffre d'affaires.

Pour l'application de cette formule les prix de référence sont ceux qui étaient connus à la date du

S, K, F, E, C et T sont les valeurs des paramètres trente jours calendaires avant la date du décompte.

La révision s'effectuera en multipliant par l'indice du mois considéré la somme des accroissements des termes « travaux terminés » et « travaux non terminés » intervenus entre le décompte en cause et le décompte précédent.

A la fin de la période contractuelle d'exécution des travaux définis dans le marché, l'indice sera bloqué en hausse. L'Entrepreneur ne pourra prétendre à bénéficier d'augmentations éventuelles au-delà de cette date. Par contre, il ne sera pas bloqué en baisse et l'Administration pourra bénéficier d'une baisse éventuelle de sa valeur.

L'indice sera arrondi à la deuxième décimale inférieure. Il ne sera appliqué que déduction faite, d'une marge de neutralisation de 5 % ce qui signifie que seul l'excédent des pourcentages extérieurs à la fourchette $\pm 0,05$ sera pris en compte en paiement ou en retenue.

ARTICLE 22 – AVANCE DE DÉMARRAGE

Une avance de démarrage de sept pour cent (7 %) du montant initial du marché peut être consentie à l'Entrepreneur, sur sa demande et sans présentation de la preuve de débours.

Elle sera intégralement cautionnée, (cette caution pourra être constituée suivant l'une des formes préconisées par l'article 27 ci-après).

Son remboursement s'effectuera par retenue de quatorze pour cent (14 %) du montant des travaux inclus dans les décomptes provisoires, quand le montant cumulé de ceux-ci devient supérieur à trente pour cent (30%) du montant initial du marché et devra être intégralement remboursé lorsque ce montant aura atteint quatre vingt pour cent (80 %).

ARTICLE 23 –ACOMPTES SUR APPROVISIONNEMENTS

Les acomptes sur approvisionnements seront délivrés à la demande de l'Entrepreneur, conformément aux dispositions et aux conditions du décret n° Ils seront égaux aux quatre cinquièmes (4/5) du montant des matériaux approvisionnés, évalués d'après les prix en lettres du bordereau ci-dessous :

n° prix	NATURE DES MATÉRIAUX ET PRIX EN LETTRES	PRIX EN CHIFFRES
1	– acier à béton la tonne : Francs	. . . . .
2	– ciment la tonne : Francs	. . . . .
3	– treillis soudé le mètre carré : Francs	. . . . .

ARTICLE 24 – AVANCE SUR MATERIEL

Une avance sur matériel pourra être consentie en raison du matériel neuf ou usagé nécessaire à l'exécution du chantier, sans pouvoir dépasser les 3/5 de la valeur réelle suivant usure, des dits matériels.

Ne peut donner droit à avances que :

- a) – le matériel, quelle que soit son origine, ayant déjà été en possession de l'adjudicataire, lors du dépôt de sa soumission et ayant été indiqué à l'annexe de sa soumission.
- b) – le matériel nouvellement acquis, s'il est d'origine de l'un des États, Membres ou États, Pays ou Territoire d'Outre-mer associés à la communauté Économique Européenne et s'il figure sur la liste annexée à la soumission.
- c) – le matériel nouvellement acquis d'origine autre que celle indiquée ci-dessus en a) et b) et dont l'emploi aura été préalablement autorisé par écrit par l'Administration.
- d) – le matériel lourd indiqué ci-dessus en a) et b), agréé par l'Administration, rendu à , dont la valeur réelle , suivant usure, est supérieure à francs CFA (. . .).

L'entreprise ne pourra recevoir d'avances sans avoir préalablement constitué une caution égale à cent pour cent (100 %) du montant de l'avance demandée (cette caution pourra être constituée suivant l'une des formes précisées par l'article 27 ci-après).

Le montant total des avances sur matériels ne pourra être supérieure à 25 % du montant du marché.

Le remboursement des avances sur matériel sera effectué par retenue sur les décomptes provisoires à raison de 10 % des montants des décomptes . Les retenues seront calculées de telle sorte que le remboursement sera effectué deux mois avant l'expiration du délai d'exécution, le solde éventuel étant retenu sur l'avant- dernier décompte provisoire mensuel.

L'Administration se fera rembourser la somme restant due dès que le montant des travaux effectués atteindra les 3/4 du montant du marché.

ARTICLE 25 – ACOMPTES SUR TRAVAUX

Des acomptes sur travaux seront délivrés en principe mensuellement. Leur montant sera égal, pour les travaux terminés et non terminés, à celui des travaux exécutés dans le mois, aux prix du bordereau.

Les décomptes provisoires seront établis par l'Entrepreneur, conformément au modèle imposé par l'Administration.

Les attachements des ouvrages faits seront pris au fur et à mesure de l'avancement des travaux par le représentant de l'Administration chargé de la surveillance, en présence de l'Entrepreneur et contradictoirement avec lui.

ARTICLE 26 – PROCEDURE DE PAIEMENT

L'Administration se libèrera des sommes dues par elle au titre du marché par versement au compte ouvert au nom de l'Entrepreneur sous le N° _____ auprès de la _____. Les ordres de paiement seront émis par l'Ordonnateur Local du ou son Délégué, sur la base des pièces justificatives dûment visées par les Instances compétentes. Ils seront adressés au Payeur-Délégué du Fonds Européen de Développement, à savoir la Caisse Centrale de Coopération Economique, Agence de Tous les paiements seront effectués en Francs CFA.

Le titulaire du marché, soit qu'il sollicite, sur présentation des pièces requises, le paiement des sommes qui lui sont dues, soit qu'il demande toutes ses obligations ayant été exécutées, la restitution des garanties qu'il avait pu constituer, adresse en même temps que sa requête à l'Administration le duplicata de cette requête au Contrôleur Délégué du Fonds Européen de Développement.

ARTICLE 27 – CAUTIONNEMENT

Le cautionnement définitif est fixé à trois pour cent (3 %) du montant du marché. Il devra être constitué dans les trente (30) jours qui suivent la date de notification du marché.

L'Entrepreneur a la faculté de constituer ce cautionnement sous la forme de caution bancaire, personnelle et solidaire. Cette caution pourra être valablement fournie par tout Institut installé dans un État d'Outre-mer associé ou dans un État Membre et habilité, par les Autorités sous le contrôle desquelles il exerce ses activités, à délivrer de telles garanties.

Il n'est pas prévu de cautionnement provisoire.

L'Entrepreneur pourra demander la restitution ou mainlevée de ce cautionnement lorsque les retenues effectuées à titre de retenue de garantie auront atteint un montant équivalent. Elle ne sera effectuée qu'après accord dûment visé par l'Administration.

ARTICLE 28 – RETENUE DE GARANTIE

La retenue de garantie sera constituée par retenue de dix pour cent (10 %) sur le montant de chaque décompte provisoire mensuel. Toutefois elle cessera de croître lorsqu'elle aura atteint cinq pour cent (5 %) du montant du marché.

Lorsque la retenue de garantie aura atteint le montant du cautionnement définitif, l'Entrepreneur pourra demander, dans les conditions énoncées à l'article 27 ci-dessus, la mainlevée ou la restitution du dit cautionnement.

La retenue de garantie pourra être remplacée par une caution bancaire personnelle et solidaire constituée dans les mêmes conditions que celles fixées pour le cautionnement définitif.

La restitution de la retenue de garantie ou mainlevée de la caution qui la remplace n'interviendra qu'après la réception définitive des travaux et après accord visé par l'Administration.

ARTICLE 29 – CUMUL DES RETENUES

Pour le calcul des retenues diverses sur les éléments telles que garanties, remboursement d'acomptes et autres, le montant des décomptes à considérer sera dans chaque cas celui qui existe avant toute retenue et après application éventuelle de la formule de variation des prix.

ARTICLE 30 – CESSION DE CRÉANCE – NANTISSEMENT DES MARCHÉS PUBLICS

1/ L'Entrepreneur s'il le désire pourra :

- a) – soit céder à un tiers installé dans l'État membre ou dans l'État Pays ou Territoire associé où s'effectue le paiement tout ou partie des créances nées ou à naître de l'exécution du marché.
- b) – soit remettre en nantissement auprès d'une banque installée dans l'État membre ou dans l'État Pays ou Territoire associé où s'effectue le paiement, le marché ou partie du marché financé par
- c) – soit utiliser simultanément ces deux procédés.

2/ La signification du nantissement par le (ou les) tiers nanti (s) au Payeur assignataire sera valablement réalisée par le simple envoi d'une lettre recommandée avec accusé de réception.

Parallèlement le duplicata de la signification du nantissement sera transmis pour information au Contrôleur Délégué du

ARTICLE 31 – PERCEPTION DOUANIERES ET FISCALES

L'Entrepreneur sera soumis aux règles de la fiscalité applicable au pour les marchés financés par le Fonds Européen de Développement.

ARTICLE 32 – ENREGISTREMENT

L'enregistrement du marché est à la charge de l'Entrepreneur, le droit d'enregistrement s'élève à deux pour cent (2 %) du montant du marché.

ARTICLE 33 – PÉNALITÉS POUR RETARD

A défaut par l'Entrepreneur d'avoir satisfait à ses obligations à l'expiration du délai fixé par le présent marché, il lui sera appliqué, sans préjudice des mesures de contraintes édictées par les textes en vigueur auxquels il se réfère, une pénalité de (2 000) Francs CFA par puits non terminé et par jour calendaire de retard.

Si les travaux sont surveillés par un bureau d'études, l'Entrepreneur paiera également les prestations de ce bureau durant la période excédant le délai fixé par l'article 34 du présent marché.

Cette pénalité interviendra de plein droit sur la simple constatation de la date d'achèvement des travaux telle que celle-ci résultera de leur réception provisoire par l'Administration et sans qu'il soit besoin pour cette dernière d'avoir adressé à l'Entrepreneur une mise en demeure préalable. Son montant sera retenu des sommes dues à l'Entrepreneur dans la mesure où il sera inférieur à ces dernières et par ordre de recette dans le cas contraire pour le surplus.

Il ne sera pas attribué de prime pour avance.

CHAPITRE CINQ – PRESCRIPTIONS DIVERSES

ARTICLE 34 – DELAI D'EXÉCUTION

L'Entrepreneur prendra les dispositions nécessaires pour terminer les travaux dans un délai de (. . . .) MOIS, à dater de la notification de l'ordre de service l'invitant à les commencer. Ce délai sera prolongé d'autant de jours que le délai imparti en comprendra dans la période 15 JUILLET au 14 SEPTEMBRE inclus (saison des pluies).

L'ordre de service notifiant le marché sera établi par :

L'ordre de service du début des travaux sera établi par :

Au cas où le chantier serait arrêté par suite de la carence des matériaux d'importation, il pourra, sur ordre du Maître d'œuvre, après accord de l'Ordonnateur Délégué et visa du Contrôleur Technique du FED, être accordé à l'Entrepreneur un délai supplémentaire sous réserve qu'il fasse la preuve que les matériaux ont été commandés en temps utile et qu'il n'a pas pu se les procurer.

ARTICLE 35 – DOMICILE DE L'ENTREPRENEUR

A défaut par l'Entrepreneur d'élire domicile à proximité des travaux conformément à l'article 8 du Cahier des Clauses et Conditions Générales du 16 octobre 1946, les notifications relatives à l'entreprise lui seront valablement faites dans ses bureaux de ou à la Préfecture la plus proche du chantier en cours.

ARTICLE 36 – MODIFICATION DU MARCHÉ

L'Administration se réserve le droit de modifier la consistance du présent marché, même en cours d'exécution, si elle le juge nécessaire. Dans ce cas, et si besoin est, les prix du bordereau pourront être révisés ainsi qu'éventuellement le délai d'exécution.

Les modifications feront alors l'objet d'un avenant au marché.

ARTICLE 37 – INGÉNIEUR , INGÉNIEUR EN CHEF ET CONTROLEUR DELEGUE

Il est précisé que :

- a) – l'Ingénieur visé dans le Cahier des Clauses et Conditions Générales du 16 octobre 1946 ainsi que dans les dispositions du présent Cahier des Charges est,

L'Ingénieur de

- b/ – le Contrôleur Délégué est le Contrôleur Délégué du Fonds Européen de Développement du

Au contrôle habituel par l'Ingénieur, il s'ajoute sans prévaloir sur celui-ci, le contrôle du Contrôleur Délégué du FED, ou de son représentant, qui se réserve le droit du libre accès aux chantiers, aux usines, aux ateliers et l'assistance aux réceptions des travaux.

- c/ – l'Ingénieur en Chef visé aux mêmes textes est le Directeur de

le rôle du Maître d'œuvre est dévolu au Directeur de

ARTICLE 38 – ADMISSION TEMPORAIRE DU MATÉRIEL

Les entreprises étrangères qui, pour l'exécution du marché devront importer du matériel pourront le faire sous le régime de l'admission temporaire spéciale fixée par décret n°

Pour ce matériel l'Entrepreneur devra acquitter la fraction de droit et taxes d'entrée établie sur la base du rapport existant entre la durée pendant laquelle les matériels sont utilisés au et leur durée d'amortissement comptable telle qu'elle est déterminée au

ARTICLE 39 – SOUS-TRAITANTS

Les sous-traitants éventuels devront recevoir au préalable l'agrément de l'Administration, après visa du Contrôleur du FED.

En ce qui concerne la nationalité, les sous-traitants devront être ressortissants de l'un des États Membres ou des Pays et Territoires d'Outre-mer associés à la Communauté Économique Européenne comme l'Entrepreneur lui-même.

Il est précisé que par dérogation à l'article 14 du décret 58 - 15 du 8 janvier 1958, les sous-traitants ne pourront obtenir directement de l'Administration le règlement des travaux dont ils ont assuré l'exécution.

ARTICLE 40 – TRAVAUX EN RÉGIE

L'Administration se réserve le droit de faire éventuellement effectuer par l'entreprise, des travaux en régie dans le cadre de travaux soumis au présent Cahier des Prescriptions Spéciales.

Les heures de fonctionnement de l'atelier régie seront prises en attachement et réglées suivant le prix de l'heure de travail en régie prévu au bordereau de prix.

ARTICLE 41 – CAHIER DE CHANTIER

L'Entrepreneur tiendra à jour un Cahier de chantier pour chaque puits. Ce cahier relatera jour par jour, l'état du personnel et matériel affectés au chantier et de l'avancement des travaux.

L'Entrepreneur sera tenu de présenter ce cahier chaque fois que l'Ingénieur ou le Contrôleur Technique du FED en fera la demande. Il y a donc lieu de le conserver à proximité du chantier.

A la fin des travaux copie de ce Cahier sera envoyée au
à

ARTICLE 42 – ARRET DES TRAVAUX

En cas de rencontre de terrain rocheux en grande épaisseur ou si à la profondeur prévue dans le marché la nappe aquifère n'est pas atteinte, ou si le terrain est trop bouillant ou fluant, l'Entrepreneur doit signaler ces faits à l'Ingénieur chargé du contrôle qui pourra ordonner l'arrêt des travaux.

Les puits en échec seront recouverts d'une dalle en béton armé qui sera rémunérée suivant le prix figurant au bordereau.

ARTICLE 43 – RECEPTION PROVISOIRE

Après les essais de débit de chaque puits, un procès-verbal de mise en service sera dressé par l'Ingénieur sur la demande écrite de l'Entrepreneur, auquel il appartiendra de présenter une demande pour un ensemble d'ouvrages terminés. (Les réceptions provisoires et définitives seront faites par la Commission énumérée à l'article 11 ci-dessus).

Les tournées pour faire les constats de mise en service feront l'objet d'un programme mensuel établi d'accord partie.

Ce procès-verbal de mise en service tiendra lieu de réception provisoire et de point de départ au délai de garantie précisé à l'article 45. Il servira également en cas de retard, dans l'exécution d'un ouvrage à déterminer la date à laquelle cet ouvrage donne lieu à l'application des pénalités selon les stipulations de l'article 33 ci-dessus.

A cet effet, l'Entrepreneur adressera une demande écrite à l'Ingénieur qui devra y donner suite sous un délai de CINQ (5) jours à compter de la réception de la dite demande.

Jusqu'à expiration de ce délai, l'Entrepreneur restera responsable de ces ouvrages et devra faire à ses frais toutes les réparations qui seraient imputables à des vices ou défauts des constructions. La réception provisoire ne sera prononcée qu'en présence et qu'après accord du Contrôleur Délégué du FED.

ARTICLE 44 – RECEPTION DÉFINITIVE

La réception définitive de chaque ouvrage sera prononcée un an après la réception provisoire, après exécution s'il y a lieu par les soins et aux frais de l'Entrepreneur des réparations nécessaires lui incombant. Il appartient à l'Entrepreneur de demander, par écrit, cette réception à l'Ingénieur chargé du contrôle qui devra y donner suite dans les trente jours (30) suivant la réception de la demande. Les tournées pour faire les réceptions définitives feront l'objet d'un programme mensuel établi d'accord partie.

La garantie portera sur l'intégrité des ouvrages et l'efficacité du système de captage (ensablement). Si ce dernier se révélait mal adapté, l'Entrepreneur devra palier ce défaut après accord de l'Ingénieur. En cas d'ensablement marqué, les frais de curage seront à la charge de l'Entrepreneur.

Lors de la réception définitive, le Maître d'œuvre pourra exiger de la part de l'Entreprise de nouveaux essais de débit. Dans le cas où ces essais seraient concluants, ils seront payés à l'Entrepreneur suivant le prix fixé figurant au bordereau. La réception définitive ne sera prononcée qu'après accord du Contrôleur Délégué du FED.

ARTICLE 45 – PIÈCES A FOURNIR PAR L'ENTREPRENEUR A LA RECEPTION PROVISOIRE

En huit (8) exemplaires pour chaque puits, avec repérage par n^o I. R. H.

- 1/ – 1 coupe géologique des terrains rencontrés
- 2/ – 1 coupe du génie civil de l'ouvrage superstructure comprise
- 3/ – l'essai de débit et le débit garanti
- 4/ – l'implantation exacte sur carte au 1/50 000 e ou à défaut au 1/200 000 e
- 5/ – l'analyse chimique de l'eau.

La réception provisoire d'un puits ne sera faite par l'Ingénieur chargé du contrôle qu'après la remise de ces pièces . Le dernier décompte ne sera établi que lorsque toutes les pièces énumérées ci-dessus auront été remises à l'In-

génieur chargé du contrôle et que tous les échantillons et la copie du cahier de chantier seront arrivés au B.I.R.H.

NB : L'Entrepreneur devra graver sur le bord intérieur de la margelle le n° IRH du puits et la date de construction.

ARTICLE 46 – DELAI DE GARANTIE

Le délai de garantie est fixé à un an pour chaque puits à compter de la réception provisoire.

ARTICLE 47 – EMPLOI DE LA MAIN D'OEUVRE HYGIENE ACCIDENTS DU TRAVAIL

L'article du C. C. A. G. ayant trait à l'application de la législation et de la réglementation du travail et de la législation et de la réglementation sociale au personnel de l'entreprise est complété par la clause suivante :

L'Entrepreneur devra se conformer à la législation en vigueur dans le République du
concernant :

- * l'emploi de la main d'œuvre
- * la législation du travail
- * la législation sociale
- * la sécurité et l'hygiène
- * le paiement des ouvriers

Pour l'application des textes réglementant la main d'œuvre étrangère, il est précisé que les agents ressortissants d'un État Membre, ou État, Pays ou Territoire d'Outre-mer associé à la communauté Économique Européenne, ne sont pas considérés comme étrangers.

ARTICLE 48 – CONTESTATIONS ET LITIGES

Tous les différends entre l'Entrepreneur et l'Administration seront tranchés définitivement suivant le règlement de Conciliation et d'Arbitrage de la Chambre du Commerce Internationale, par un ou plusieurs arbitres nommés conformément à ce règlement.

ARTICLE 49 – BREVETS D'INVENTION

L'Entreprise garantit l'Administration contre toute réclamation de titulaires de brevets qui couvriraient éventuellement les dispositions qu'il a adoptées pour la réalisation des ouvrages. Les redevances à payer aux titulaires de brevets d'invention sont à la charge de l'Entrepreneur.

ARTICLE 50 – SECURITE ET SERVICE MEDICAL SUR LES CHANTIERS

L'Entrepreneur sera responsable de la sécurité de son personnel.

Une trousse pharmaceutique de premier secours sera en permanence sur chaque chantier.

ARTICLE 51 – SIGNATURE DU MARCHÉ

L'Entrepreneur disposera de 15 (quinze) jours au maximum pour signer le marché ou formuler ses observations.

ARTICLE 52 – APPROBATION DU MARCHÉ

Les clauses du présent marché ne deviendront effectives qu'après approbation par l'Ordonnateur Délégué des Fonds d'Investissements Extérieurs.

2. 2 - DOSSIER D'APPEL D'OFFRES

EXECUTION DE FORAGES D'EAU

DANS LE DEPARTEMENT DE...

CAHIER DES PRESCRIPTIONS SPECIALES

(à adapter aux conditions d'exécution

et aux clauses administratives et

financières des Etats)

ENTRE :

Monsieur le Ministre de agissant au nom
et pour le compte de la République désigné ci-après
sous la dénomination « l'Administration,

d'une part,

ET :

Monsieur agissant au nom et pour le
compte de dont le siège social est à
et désigné ci-après sous la dénomination « l'Entrepreneur »,

d'autre part,

Il a été convenu et arrêté ce qui suit :

CHAPITRE 1

INDICATIONS GENERALES ET DESCRIPTIONS DES TRAVAUX

ARTICLE 1er – OBJET DU MARCHÉ

Le présent marché est passé après consultation restreinte en vertu des dispositions du décret ou de l'arrêté de

ARTICLE 2 – PROCEDURE DE PASSATION DU MARCHÉ

Le présent marché est passé après consultation restreinte en vertu des dispositions du décret ou de l'arrêté de

ARTICLE 3 – PIECES INCORPOREES AU CONTRAT

La liste ci-dessous énumère, par ordre de priorité, les pièces contractuelles constituant le marché.

- Pièce I : la soumission
- Pièce II : le présent Cahier des Prescriptions Spéciales
- Pièce III : le (s) bordereau (x) des prix
- Pièce IV : le (s) détail (s) estimatif (s)
- Pièce V : le plan de situation des ouvrages

- Pièce VI : le Cahier des Clauses Administratives Générales applicables aux marchés de travaux passés au nom de l'État par les services des
- Pièce VII: Le Cahier des Prescriptions Communes

ARTICLE 4 – DESCRIPTION DES TRAVAUX

Les travaux des forages comprendront :

Lot n° 1 : Forages d'exploitation

- a) Forage de profondeur 250 m
 - * 100 m de tubage Ø 10'' intérieur
 - * 120 m de tubage Ø 6'' intérieur
 - * 30 m de crépines Johnson Ø 6'' intérieur
- b) Forage de profondeur 200 m
 - * 100 m de tubage Ø 10''
 - * 70 m de tubage Ø 6''
 - * 30 m de crépine de 6''

Lot n° 2 : Forages d'exploitation

- a) Forage de profondeur 230 m
 - * forage de 4'' 1/2 de 0 à 230 m
 - * alésage en 9''3/4 de 0 à 120 m
 - * tubage d'exploitation en 7''
 - * 30 m de crépine de 7''
- b)

Lot n° 3 : Forages de reconnaissance

- a) 4 sondages de reconnaissance de 15 à 30 m
 - * m de carottages mécaniques
 - * échantillons intacts.

Les travaux de forage se dérouleront en principe de la façon suivante :

- mise en place et cimentation d'un tube de Ø 13'' , 15'' ou 16'' à 3 ou 6 m de profondeur
- forages en Ø 12'' 1/4, 9'' 3/4, 6'' 1/4 et 4'' 1/2
- exécution de carottages mécaniques à la demande de l'Ingénieur chargé de contrôle.
- reconnaissance et évaluation de débit et piézométrie des nappes perchées reconnues sur les 100 premiers mètres de forages.
- carottage électrique si le forage est réalisé au rotary
- mise en place des tubes et crépines d'exploitation
- développements
- essais de débit

Après achèvement de l'ouvrage constaté à la suite d'essais satisfaisants, l'Entrepreneur prendra les dispositions utiles pour en assurer la protection. Cette protection pourra être assurée par l'exécution d'un massif maçonné coiffant le forage, celui-ci ayant été, par ailleurs, obturé de façon adéquate. La bonne conservation de cette protection sera à la charge de l'Entrepreneur pendant le délai de garantie.

CHAPITRE II

PROVENANCE – QUALITÉS ET PRÉPARATION DES MATERIAUX

ARTICLE 5 – ORIGINE DES MATÉRIELS ET MATERIAUX (à adapter)

Les matériels, matériaux et fournitures nécessaires pour l'exécution du marché devront être d'origine zone Franc et en provenance d'un pays de cette zone, sauf dérogation exceptionnelle accordée par le Chef de la Mission Permanente d'Aide et de Coopération, sur proposition de l'Administration.

L'Entrepreneur devra, dans un délai de 15 (quinze) jours à dater de la notification de l'approbation du marché, soumettre la provenance des matériaux destinés à la confection des ouvrages à l'agrément de l'Ingénieur chargé du contrôle des travaux.

ARTICLE 6 – NORMES

Crépines : Johnson de 7/10 sur tous les lots de forages d'exploitation

N. B. : Le soumissionnaire pourra présenter des variantes avec toutes autres crépines, en acier inoxydable n° 225 ou similaire. Les caractéristiques définitives des crépines et les ouvertures seront déterminées en fonction des courbes granulométriques des formations et du gravier.

Tubes : Ils seront en acier mi-dur, étiré, sans soudure, et d'au moins 7 mm d'épaisseur.

ARTICLE 7 – CONTROLE DES MATERIAUX

L'Ingénieur se réserve le droit de procéder à tous contrôles et essais de la conformité des fournitures avec les prescriptions ci-dessus. L'Entrepreneur sera tenu de justifier éventuellement, par la production des lettres de commandes, etc . . . de la provenance et de la spécification des fournitures.

L'Entrepreneur s'engage, si l'Ingénieur l'exige, à accepter de faire subir, à tout ou partie de la fourniture les essais de réception normaux demandés par le bureau VERITAS.

CHAPITRE III –

MODE D'EXÉCUTION DES TRAVAUX

ARTICLE 8 – IMPLANTATION

Avant tout commencement des travaux, il sera procédé contradictoirement à l'implantation des ouvrages.

Il appartient à l'Entreprise de demander par écrit, l'implantation à l'Ingénieur chargé du contrôle qui devra y donner suite dans les 8 jours suivant la réception de la demande.

L'implantation aura lieu en présence d'une commission composée de l'Ingénieur chargé du contrôle ou de son représentant, du Conseiller Technique du B.I.R.H. , et du Représentant de l'Entreprise, Un procès-verbal sera dressé et notifié à l'Entrepreneur.

Le piquetage est compris dans le délai d'exécution qui courra toujours de l'ordre de service notifiant le commencement des travaux quelle que soit la date de demande d'implantation.

ARTICLE 9 – PIÈCES A FOURNIR PAR L'ENTREPRENEUR

Indépendamment des renseignements fournis directement par l'Entrepreneur à l'Ingénieur et aux personnes mandatés par ce dernier en tournée sur le chantier, l'Entrepreneur s'engage à fournir hebdomadairement un rapport provisoire comprenant :

- les caractéristiques géométriques du forage en cours d'exécution (profondeur, diamètre, inclinaison . . .)
- la coupe des terrains traversés
- les observations en cours de sondage (dureté des terrains, etc . . .)
- les observations éventuelles sur les nappes perchées.

Si le forage est réalisé au rotary :

- les caractéristiques de la boue utilisée (pH - densité - viscosité)
- les modifications de la boue avec leurs raisons d'être et les résultats obtenus.
- les pertes d'injection en signalant leurs causes
- mention des échantillons recueillis
- compte rendu des incidents ou accidents survenus au cours du forage

ARTICLE 10 – EXECUTION DES FORAGES

L'exécution d'un forage comporte les opérations ci-après :

- installations et repliement de l'atelier
- le forage proprement dit en diamètre définitif ou par alésages successifs
- la détermination des caractéristiques piézométrique et de débit par pompage après lavage des niveaux aquifère des nappes perchées rencontrées sur les 100 premiers mètres et prise de deux échantillons d'eau.
- la mise en place et le retrait des tubages de travail
- les carottages mécaniques et , éventuellement, les carottages électriques,
- les travaux de développement
- la mise en place des crépines, du massif de gravier filtrant, des tubages définitifs d'exploitation
- les opérations éventuelles
- les essais de débit

Les forages seront exécutés au rotary (ou battage).

L'Entrepreneur notera la durée de fonçage de chaque mètre et dressera la courbe profondeur-durée de fonçage du mètre et établira un planning d'exécution d'ouvrages au niveau de la soumission.

ARTICLE 11 – PRELEVEMENT DES CUTTINGS – COURBES GRANULOMÉTRIQUES

Les cuttings provenant des forages seront recueillis suivant les règles de l'art : déversés dans une goulotte métallique sur un tamis vibrant fin (maille inférieure à 1 mm) . Des cuttings seront prélevés après chaque mètre de forage, lavés soigneusement, mis en sacs nylon transparent étiquetés, eux-mêmes classés dans des caisses fournies par l'Entrepreneur. Ces caisses seront expédiées aux frais de l'Entrepreneur au bureau d'inventaire des ressources hydrauliques à

Le tamis sera nettoyé après chaque prélèvement de cuttings, l'intérieur des tiges nettoyé au moment de leur montage pour éviter la présence d'éléments étrangers dans les cuttings.

Dans les formations perméables en petit, sables, grès, sables ou grès argileux susceptibles d'être crépinées après avoir été reconnues par carottages électriques, deux échantillons intacts de 300 grammes seront prélevés par l'Entrepreneur pour l'établissement des courbes granulométriques et essais de perméabilité par un laboratoire agréé par l'Administration. Les courbes granulométriques seront adressées simultanément par le laboratoire à l'Entrepreneur et au Maître d'œuvre qui pourra éventuellement autoriser l'auto-développement de la formation aquifère. Dans le cas contraire l'Entrepreneur déterminera la dimension des graviers et disposera sur chantier des tamis nécessaires.

ARTICLE 12 – PRELEVEMENT DES CAROTTAGES MÉCANIQUES

Indépendamment des cuttings, l'Entrepreneur s'engage à prélever des échantillons par carottage mécanique. Leur exécution, ainsi que leur nombre, seront décidés par le ou les géologues désignés par l'Administration.

Les dimensions du tube carottier devront être agréées par l'Administration.

Les carottes classées dans des caisses à carottes fournies par l'Entrepreneur et soigneusement étiquetées seront envoyées par l'Entrepreneur, et à ses frais, au bureau de l'inventaire des ressources hydrauliques de la République du

ARTICLE 13 – CAROTTE ÉLECTRIQUE

Si le forage est réalisé au rotary il sera carotté électriquement. Le carottage sera fait sur toute la hauteur du forage en une fois, à trou découvert et à la diligence de l'Entrepreneur qui devra en avvertir l'Ingénieur au moins 5 jours avant la date de l'opération.

ARTICLE 14 – CRÉPINAGE

Les crépines seront placées au droit des formations aquifères.

L'Entreprise devra être en mesure de fournir immédiatement après les opérations de carottage électrique les diagrammes de résistivité sur la hauteur forée.

Après interprétation sur place des résultats de carottage l'Ingénieur ou l'Hydrogéologue décidera, en accord avec l'Entreprise de la hauteur de la portion à capter.

Il sera mis autour des crépines, un massif de gravier roulé, calibré de granulométrie étudiée en fonction de l'analyse granulométrique des sables de la formation. L'Entrepreneur précisera les raisons de son choix qui devront être acceptées par l'Ingénieur. Il sera placé un volume de gravier en quantité suffisante pour que l'eau ne pénètre dans la crépine qu'avec une vitesse faible non susceptible d'entraîner en pompage des particules en suspension dans l'eau ($V \leq 1$ cm/s si possible).

ARTICLE 15 – CONTROLE DU FORAGE

Dans le but de faciliter le contrôle et l'exécution des travaux, l'Entrepreneur sera tenu d'aviser l'Ingénieur CINQ JOURS à l'avance de la date à laquelle seront effectués les travaux suivants :

- les sondages électriques
- la descente des tubages et des crépines
- le gravillonnage après détermination des dimensions du gravier

- les cimentations éventuelles
- les pompages et essais de débit pour réception provisoire.

ARTICLE 16 – DÉVELOPPEMENT – ESSAIS DE DÉBIT DU FORAGE

1) – Développement

L'Entrepreneur devra proposer le mode de développement à l'Ingénieur chargé du contrôle, après accord de (organisme chargé du contrôle).

2) – Essais de débit lors de la réception provisoire

L'essai devra être réalisé conformément à la note annexée au présent marché en présence des représentants de l'Administration.

Un échantillon de 1 litre sera prélevé et analysé chimiquement aux frais de l'Entrepreneur. Cette analyse chimique comprendra obligatoirement la détermination quantitative :

- des anions : Cl^- ; SO_4^{--} ; $\text{CO}_3 \text{H}^-$; CO_3^{--} ; NO_3^- ; F^-
- des cations : Ca^{++} ; Mg^{++} ; Na^+ ; K^+ ; NH_4^+
- du résidu : sec à 110°
- du pH

3) – Essai avant réception définitive

Un essai de débit pourra être demandé à l'Entrepreneur avant la réception définitive.

L'essai sera fait à l'aide d'un groupe de pompage fourni par l'Entrepreneur et d'un tube de Pitot (manomètre et pompe) également fourni par l'Entrepreneur.

Au cas où les caractéristiques du forage auraient diminué de plus de 5 % par rapport à celles garanties lors de la réception provisoire, la réparation sera faite par l'Entrepreneur, quelle qu'en soit la durée, et un troisième essai devra constater le rétablissement des caractéristiques garanties lors de la réception provisoire.

Des échantillons de l'eau seront prélevés sur la demande ou par l'Ingénieur pour vérification des qualités physiques de l'eau, condition sin qua non de réception définitive des travaux. Un échantillon de 1 litre sera prélevé et analysé chimiquement aux frais de l'Entrepreneur.

Une plaque pleine vissée sera laissée à l'orifice du forage dans l'attente des travaux d'exploitation des ouvrages.

CHAPITRE IV

CLAUSES FINANCIERES

ARTICLE 17 – MONTANT DU MARCHÉ

Le montant du marché est estimé à :

ARTICLE 18 – MODE DE RÉMUNÉRATION

Les travaux seront rémunérés par application aux quantités réellement exécutées des prix du bordereau du marché.

Ces prix comprennent tous les frais, faux frais et sujétions, et rémunèrent l'Entrepreneur pour l'exécution des travaux prescrits par le présent Cahier des Prescriptions Spéciales, livrés en état de réception sans autre dépense pour l'Administration que celles qui sont explicitement mentionnées par le marché.

L'Entrepreneur s'est rendu compte avant de s'engager de toutes les conditions de l'Entreprise et ne pourra élever aucune réclamation ayant pour base des difficultés ou sujétions qu'il eût dû normalement connaître.

ARTICLE 19 – CONDITIONS D'APPLICATION DES PRIX DE FORAGE

Les quantités exécutées seront mesurées de la manière suivante : transport, installation, repliement :

- prix global et forfaitaire comprenant le transport de tout le matériel et personnel à l'emplacement du chantier, le montage de l'atelier, campement et sujétions diverses ou leur repli après que le forage ait été déclaré prêt à être réceptionné provisoirement

Forage :

- l'exécution du forage en différents diamètres est rémunérée au mètre linéaire. Les prix comprennent l'opération de forage proprement dite, le prélèvement des cuttings, leur classement et leur expédition au Bureau de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques à

Il est prévu une plus-value pour terrain dur.

La plus-value pour terrain fissuré comprend toutes les sujétions (boue perdue, fabrication de boue etc . .).

Carottage :

- l'opération de carottage mécanique est rémunérée en fonction du terrain traversé. Pour l'application des plus-values, la même convention déjà énoncée ci-dessus est valable.

L'opération de carottage mécanique comprend également l'immobilisation de l'atelier, l'emballage et le classement des carottes dans les conditions fixées par l'article 26 ci-dessus.

Le prix de l'opération de carottage électrique comprend l'opération proprement dite, les travaux de bureau, l'immobilisation de l'atelier et toutes sujétions.

Mise en exploitation :

- la fourniture et la mise en place des crépines sont rémunérées au mètre linéaire. Le prix comprend également la fourniture et la mise en place du gravier.
- l'opération de développement sera payée à l'heure.

La rémunération de l'heure de travail en régie s'applique lors de la mise à la disposition de l'Administration de l'atelier (avec ou sans force motrice) pour des opérations non prévues au bordereau de prix (exemple : essais de débit, carottages).

ARTICLE 20 – FORMULE DE VARIATION DE PRIX

Les prix sont fermes et non révisables.

ARTICLE 21 – AVANCE SUR MATÉRIEL

Il n'est pas prévu d'avance sur matériel.

ARTICLE 22 – ACOMPTES SUR TRAVAUX

Des acomptes sur travaux pourront être délivrés mensuellement sur demande de l'Entrepreneur. Leur montant sera égal, pour les travaux terminés et non terminés à celui des travaux exécutés dans le mois, aux prix du bordereau.

Les décomptes provisoires mensuels seront établis par l'Entrepreneur, conformément au modèle imposé par l'Administration.

Les attachements des ouvrages faits seront pris au fur et à mesure de l'avancement des travaux, par le représentant de l'Administration chargé de la surveillance, en présence de l'Entrepreneur et contradictoirement avec lui.

ARTICLE 23 – PROCEDURE DE PAIEMENT

L'État se libérera des sommes dues à l'Entrepreneur par virement au compte bancaire ouvert sous le n°. à la Banque de

ARTICLE 24 – CAUTIONNEMENT DEFINITIF

Le cautionnement définitif est fixé à trois pour cent (3 %) du montant du marché. Il devra être remplacé par une caution bancaire personnelle et solidaire.

CHAPITRE V

PRESCRIPTIONS DIVERSES

ARTICLE 25 – DELAI D' EXECUTION

L'Entrepreneur prendra les dispositions nécessaires pour terminer les travaux dans un délai de à dater de la notification de l'ordre de service l'invitant à les commencer (ce délai tient compte de la saison des pluies).

L'ordre de service notifiant le marché sera établi par le Service

L'ordre de service de début des travaux sera établi par le Chef du Service.

ARTICLE 26 – RETENUE DE GARANTIE

La retenue de garantie est fixée à CINQ pour cent (5 %) du montant du marché.

Elle sera obligatoirement constituée par une caution bancaire personnelle et solidaire dans les conditions fixées par l'Arrêté du Elle aura effet libératoire du cautionnement définitif dès que son montant atteindra trois pour cent (3 %) du montant initial du marché.

La main levée en sera donnée par l'Ordonnateur Délégué, en vue du procès verbal de réception définitive.

ARTICLE 27 – NANTISSEMENT

En vue du nantissement éventuel du présent marché dans les conditions fixées par,

a) le service chargé de la liquidation des sommes dues en application du marché est le Service des

b) le comptable chargé du paiement est le Directeur de

c) le fonctionnaire chargé de fournir au titulaire du marché ainsi qu'aux bénéficiaires de nantissement ou subrogation, les renseignements et états prévus au décret sus-visé est le Directeur à

ARTICLE 28 – IMPOTS – DROITS ET TAXES

Le droit d'enregistrement, la taxe sur le chiffre d'affaires, la contribution des patentes et les droits et taxes d'entrée éventuels sont à la charge du titulaire du présent marché.

Les taux et modalités de perception des impôts précités sont déterminés suivant la législation fiscale en vigueur au

ARTICLE 29 – PENALITÉ POUR RETARD

A défaut par l'Entrepreneur d'avoir satisfait à ses obligations à l'expiration du délai fixé au présent marché, il lui sera appliqué sans préjudice des mesures de contraintes édictées par les textes en vigueur auxquels il se réfère une pénalité de 1/2000 (un deux millième) du montant des ouvrages non terminés, par jour calendaire de retard.

Cette pénalité interviendra de plein droit sur la simple constatation de la date d'achèvement des travaux telle que celle-ci résultera de leur réception provisoire par l'Administration et sans qu'il soit besoin pour cette dernière d'avoir adressé à l'Entrepreneur une mise en demeure préalable. Son montant sera retenu des sommes dues à l'Entrepreneur dans la mesure où il sera inférieur à ces dernières et par ordre de recette dans le cas contraire pour le surplus.

Il ne sera pas attribué de prime pour avance.

ARTICLE 30 – DOMICILE DE L'ENTREPRENEUR

L'Entrepreneur fera élection de domicile à

ARTICLE 31 – MODIFICATION DU MARCHÉ

L'Administration se réserve le droit de modifier la consistance du présent marché, même en cours d'exécution, si elle le juge nécessaire. Les prix du bordereau seront révisés s'il y a lieu ainsi qu'éventuellement les délais d'exécution.

Les modifications feront alors l'objet d'un avenant au marché.

ARTICLE 32 – INGENIEUR ET INGENIEUR EN CHEF (à compléter)

Il est précisé que :

- 1°) L'Ingénieur chargé de l'exécution du marché est l'Ingénieur Chef de la
pour les lots n° , et l'Ingénieur
pour le lot n°
- 2°) L'Ingénieur en Chef visé dans le Cahier des Clauses Administratives Générales est le
.

ARTICLE 33 – TRAVAUX EN RÉGIE

L'Administration se réserve le droit de faire éventuellement effectuer par l'Entreprise des travaux en régie dans le cadre de travaux soumis au présent Cahier des Prescriptions Spéciales.

Les heures de fonctionnement de l'atelier régie seront prises en attachement et réglées suivant le prix de l'heure de travail en régie prévu au bordereau de prix.

ARTICLE 34 – CAHIER DE CHANTIER

L'Entrepreneur tiendra à jour un cahier de chantier. Ce cahier relatera jour par jour l'état du personnel et du matériel affectés au chantier, et de l'avancement des travaux.

ARTICLE 35 – PIECES A FOURNIR PAR L'ENTREPRENEUR A LA RECEPTION PROVISOIRE

L'Entrepreneur devra fournir en exemplaires à l'Ingénieur chargé du contrôle, et en deux exemplaires au Chef du B.I.R.H., par ouvrage, un rapport qui comportera :

- une coupe géologique des terrains rencontrés
- une coupe du forage, diamètres et longueurs des tubes des crépines, position du gravier filtre
- la position, le niveau piézométrique, le débit, l'analyse d'eau d'une nappe perchée éventuellement traversée
- les diagrammes des sondages électriques sur toute la hauteur du forage, assortis de la position des crépines
- les observations en cours de sondage (dureté des terrains)
- les caractéristiques de la boue utilisée (pH., densité, viscosité).
- les pertes d'injection
- les échantillons recueillis

- les incidents ou accidents de forage
- la description succincte du matériel employé
- un sommaire des dates et temps passés par nature de travaux
- les croquis explicitant les conditions dans lesquelles ont été exécutés les essais de nappe
- les analyses chimiques de l'eau
- les compte-rendus d'essais de laboratoire (granulométrie, perméabilité)
- les courbes granulométriques de formations crépinées et du gravier filtré
- l'implantation exacte sur carte 1/200000
- l'essai de débit, le débit de garanti, les taches de sable.

Le dernier décompte ne sera payé que lorsque toutes les pièces ci-dessus seront parvenues à leurs destinataires et tous les échantillons arrivés au B.I.R.H.

ARTICLE 36 -- DELAI DE GARANTIE

Le délai de garantie est fixé à un an (1) à compter de la date de la réception provisoire.

ARTICLE 37 -- BREVET D'INVENTION

L'Entreprise garantit l'Administration contre toute réclamation des titulaires de brevets qui couvriraient éventuellement les dispositions qu'il a adoptées pour la réalisation des ouvrages. Les redevances à payer aux titulaires des brevets d'invention sont à la charge de l'Entrepreneur.

ARTICLE 38 -- SIGNATURE DU MARCHÉ

L'Entrepreneur disposera de QUINZE (15) JOURS au maximum pour signer le marché ou formuler ses observations.

ANNEXE N° 3 – CARACTÉRISTIQUES DES CRÉPINES UTILISÉES DANS LES FORAGES D'EAU.

CARACTERISTIQUES DE QUELQUES CRÉPINES
COURAMMENT UTILISÉES DANS LES CAPTAGES D'EAU
 (empruntées à l'étude ensablement du C.I.E.H.)

CRÉPINES LAYNE

Les crépines LAYNE ou à persiennes sont en métal repoussé.

Quelques chiffres :

Diamètre nominal (pouces)	6		8	
	Diamètre extérieur (mm)	166		214
Diamètre intérieur (mm)	153		200	
Dimension de l'ouverture : e (mm)	1	1,500	2	3
% correspondant de vide	2,4	3,6	4,8	7,2
Surface de vide 6" (cm ² /m)	125	187	250	375
" " 8" (cm ² /m)	161	241	322	484
Débit à la vitesse de 1 cm/sec (m ³ /h)				
6"	0,450	0,675	0,900	1,350
8"				

CRÉPINES JOHNSON (fabriquées en France) et représentées par ATLAS COPCO

Les crépines JOHNSON sont constituées par des fils à section trapézoïdale profil en V montés par soudure sur des baguettes verticales (génératrices). L'ouverture de la crépine est continue (pourcentage de vide très important voir tableau page suivante). Ces crépines sont fabriquées en 2 qualités.

- * acier galvanisé
- * acier inoxydable

Elles peuvent être renforcées . Dans ce cas on soude à l'intérieur un tube perforé qui double des génératrices et augmente très considérablement la résistance à l'écrasement et facilite le pistonnage possible néanmoins dans les crépines normales.

A/ Crépines normales (acier galvanisé ou inoxydable)

Ø nominal (pouces)	3"1/2	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	15"	16"	18"
Ø extérieur (mm)	82,5	95	120	142	190	241	285	317	336	362	412
Ø intérieur (mm)	63,5	76	101	123	168	219	263	289	304	333	381

B/ Crépines renforcées (acier galvanisé ou inoxydable) Dimensions les plus usuelles.

Ø nominal (pouces)	6"	8"	10"	12"	16"
Ø extérieur (mm)	142	190	241	285	362
Ø intérieur (mm)	117	158	209	253	323

C/ Autres renseignements

Slot = ouverture : en 1/1000"	10	20	40	60	80	100	150
en mm	0,254	0,508	1,016	1,524	2,032	2,540	3,810
% de vide	10	18	30	40	47	52	62
Surface de vide (cm ² /m)							
4"	299	550	930	1205	1410	1564	1860
6"	447	825	1372	1799	2090	2346	2790
8"	598	1076	1836	2392	2800	2769	3385
10"	758	1371	2326	3030	3560	3508	4296
12"	894	1650	2744	3598	4200	4692	5580
Débit à la vitesse de 1 cm/sec (m ³ /h)							
4"	1,076	1,980	3,348	4,338	4,413	5,630	6,696
6"	1,609	2,970	4,939	6,476	6,620	8,445	10,044
8"	2,152	3,873	6,609	8,611	8,827	9,968	12,186
10"	2,728	4,935	8,373	10,908	11,181	12,628	15,465
12"	3,218	5,940	9,878	12,950	13,240	16,890	20,080

Les crépines en métal inoxydable, onéreuses, sont utilisées dans des aquifères sableux, d'épaisseur restreinte pour avoir des vitesses de passage inférieures au cm/seconde.

Les crépines en métal inoxydable ont tendance à se généraliser.

Observations :

Les surfaces de vide sont calculées pour les crépines ordinaires.

CRÉPINES NOLD

Les crépines NOLD sont du type à perforation oblongue pontée.

Le métal est repoussé de manière à former un petit pont au-dessus de l'ouverture. Ce petit pont offre deux ouvertures latérales.

Quelques chiffres :

Diamètre nominal (mm)	100	125	150	200	250	300
Diamètre extérieur (mm)	105	130	156	200	256	306
Diamètre intérieur (mm)	100	125	150	194	250	300
Ouverture latérale (mm)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Fente de la crépine (mm)	5	5	5	5	5	5
% de vide	3,6	7,7	12	16,8	21,8	27,4
Surface de vide 100 (cm ² /m)	118	253	395	553	718	903
125	147	314	490	685	890	1118
150	176	377	587	822	1067	1342
200	226	483	753	1055	1369	1720
250	289	618	964	1350	1752	2202
300	345	739	1152	1614	2094	2632
Débit à la vitesse de 1 cm/sec (m ³ /h)						
100	0,424	0,910	1,422	1,990	2,584	3,250
125	0,529	1,130	1,764	2,466	3,204	4,024
150	0,633	1,357	2,113	2,959	3,841	4,831
200	0,813	1,738	2,710	3,798	4,928	6,192
250	1,040	2,224	3,470	4,860	6,307	7,927
300	1,242	2,660	4,147	5,810	7,538	9,475

Les crépines Bonne Espérance sont utilisées dans les sables grossiers supérieurs à 1 mm et dans les grès du Tegama au Niger. L' Entrepreneur doit justifier une vitesse limite de 1 cm/ seconde à ne pas dépasser dans les captages.

On peut rapprocher de ce type de fabrication les Crépines Bonne Espérance du type à nervures repoussées.

\varnothing nominal	\varnothing extérieur	\varnothing intérieur	Fente	% de vide	Surface de vide
8 mm	212 mm	202 mm	1,5 mm	9,5	632 cm ² /m
Débit de vitesse de 1 cm/sec					
2,275					

CRÉPINES S.N. MAREP

Les crépines « SARGOSETTE » sont constituées essentiellement par des anneaux filtres en matière plastique de section trapézoïdale enfilés sur un tube perforé de trous ronds. Ce tube peut être en matière plastique ou en tout autre matériau notamment l'acier qui peut lui aussi être revêtu ou non de matière plastique.

Les anneaux portent sur leurs tranches des tétons verticaux dont la hauteur détermine la largeur des fentes de filtration.

Quelques chiffres :

Diamètre extérieur des anneaux (mm)	132	157	194	232	345
Diamètre intérieur des anneaux ou diamètre extérieur du tube perforé (mm)	114	140	178	216	320
Diamètre intérieur du tube perforé (mm)	102	125	casing	200	313
Hauteur des anneaux (mm)	6	6	5	6	7
Intervalles entre les anneaux (1) (mm)	0,5	1	1,5	2	3
Surface de vide cm ² /m :					
132	318	587	825	1035	1379
157	378	698	982	1231	1640
194	550	1010	1406	1729	2283
232	560	1035	1455	1822	2428
345	719	1353	1900	2404	3250
Débit à la vitesse de 1 cm/sec (m ³ /h)					
132	1,144	2,113	2,970	2,726	4,964
157	1,360	2,512	3,535	4,431	5,904
194	1,980	3,636	5,061	6,224	8,218
232	2,016	3,726	5,238	6,559	8,740
345	2,588	4,870	6,840	8,654	11,700

OBSERVATIONS -- (1) Il y en a d'autres.

LES CRÉPINES HAGUSTA

Les crépines HAGUSTA sont composées d'un massif de gravier cylindrique aggloméré sur un support métallique perforé lequel est recouvert d'un vernis ou en cas de lutte contre la corrosion d'un dépôt de caoutchouc durci. Dans ce dernier cas l'épaisseur du caoutchouc est de l'ordre de 1 mm.

Diamètre nominal (mm) ou diamètre intérieur	80	100	150	200	250	300
Diamètre extérieur avec raccordement par filetage (mm)	122	142	194	244	294	344
Diamètre extérieur avec raccordement par brides (mm)	160	180	230	280	330	380
Épaisseur du tube métallique						
brut (mm)	3	3	4	4	4	4
gommé (mm)	5	5	6	6	6	6
Épaisseur du gravier (mm)	16	16	16	16	16	16

Granulométrie du revêtement	Cu-D100/Do	Dimension du sable arrêté d'après le constructeur	Rapport diamètre sable et revêtement
0,4 à 0,7 mm	1,75	0,08 à 0,09 mm	5 à 8
0,7 à 1,2 mm	1,71	0,10 à 0,20 mm	7 à 6
1 à 2 mm	2	0,30 à 0,50 mm	3 à 4
2 à 3 mm	1,50	0,50 à 0,75 mm	4
3 à 5 mm	1,70	0,75 à 1 mm	4 à 5

Des Ingénieurs estiment que les crépines HAGUSTA ne sont pas adaptées aux aquifères comportant des horizons argileux. C'est ainsi qu'au Niger le forage de TATAHOUSSEN, exploitant la nappe des grès du TEGAMA, équipé de 27 m de crépines HAGUSTA, 6 pouces de granulométrie 0,7 - 1,2 mm a fourni les débits spécifiques suivants :

- août 1965 : 4,2 m³/h/mètre
- janvier 1968 : 3,0 m³/h/mètre
- août 1969 : 1,5 m³/h/mètre

Les crépines HAGUSTA ne paraissent pas valables dans les formations gréseuses où elles jouent le rôle de filtre et se colmatent très rapidement sauf si elles sont entourées de gravier.

En revanche l'Ingénieur R. GUEROULT qui a dirigé pendant plus de 20 ans des entreprises de forage basées à Dakar estime que les crépines HAGUSTA sont excellentes dans les formations sableuses homogènes.

A titre d'exemple, la nappe de GOGO alimentant la ville de ZINDER au Niger, contenue dans des sables, homogènes de dimensions 0,2 à 0,3 mm est captée par des crépines HAGUSTA 6 pouces de granulométrie 0,7 - 1,2 mm. Débit spécifique 9 m³/heure.

TABLEAU DU DÉBIT DES NAPPES en fonction du diamètre des ouvrages de captage.

Formule de DUPUIT (cas d'une nappe libre) :

$$Q = 1,366 K \frac{H^2 - h^2}{\lg (R/r)}$$

Le rayon r intervient comme le logarithme de son inverse formule dans laquelle :

- * H = hauteur de la nappe h = hauteur d'eau dans le puits
- * r = rayon du puits ou forage R = rayon d'appel
- * K = coefficient de perméabilité en mètre/heure
si Q est donné en m³/h.

Débits q en fonction des diamètres forés D

D	2D	3D	4D	5D	8D
q	1,129	1,199	1,259	1,359	1,439

Le débit fourni par la nappe varie peu en fonction du diamètre creusé.

ANNEXE N° 4 – CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIELS DE CONSTRUCTION DE PUIITS

1 – Les câbles métalliques

Diamètre théorique	Diamètre pratique	Poids au m en kg	Charges de rupture effective qualité courante en acier 160 à 179 h bar (1)
Câbles très souples 6 torons de 37 fils galvanisés sur demande			
7,35	7,72	0,200	2 900 h bar
8,40	8,82	0,260	3 800 "
9,45	9,92	0,330	4 800 "
10,50	11,00	0,405	5 900 "
12,60	13,20	0,580	8 500 "
Câbles anti-giratoires 17 torons de 7 fils galvanisés			
7,20	7,56	0,220	3 150 h bar
8,64	9,07	0,310	4 500 "
10,10	10,60	0,425	6 100 "
11,50	12,10	0,555	8 000 "
13,00	13,60	0,705	10 200 "

(1) Coefficient de sécurité à prendre : égal à 8 au minimum.

Les accessoires de levage (manilles, crochets, émerillons, manchons, serre-câbles, cosses sont fournis par les constructeurs de câbles et évitent souvent les accidents mortels de circulation dans les puits).

Quelques constructeurs :

STAS, 46 rue de la Comète , 92 ASNIERES.

TREFILERIES NEUVES—MAISONS CHATILLON, 4 rue Tour des Dames , PARIS 9 ème

TREFILERIES DE BOURG ET DU HAVRE, 22 rue de Courcelles PARIS 8 ème

2 – Marteaux piqueurs – marteaux perforateurs.

L'emploi de ces appareils double en général les vitesses d'avancement de fonçage des puits en terrains durs.

- Alluvions, sables argileux, grès argileux, latérites
 - * abatage au pic ou à la barre à mine
- Grès argileux durs, marno-calcaire, marnes
 - * abatage au marteau-piqueur
- Grès primaires, schistes, calcaires compacts ou cristallins
 - * trous de mine au marteau-perforateur
 - * trous disposés suivant des auréoles d'abatage (2 kg d'explosifs pour environ un m³ de roches extraites)

a) Caractéristiques des marteaux piqueurs

Poids sans aiguille	Coups minute	Consommation d'air comprimé	Marques
6	1 200	600 l	Ingersoll Rand léger
7	1 400	650 l	Meudon léger
8	1 500	750 l	"
9	1 300	1 200 l	Meudon moyen

b) Caractéristiques des marteaux perforateurs

9	1 000	1 200 l	Marteaux à injection
12	1 100	1 725 l	d'eau dans les grès
13	1 100	1 320 l	(danger de silicose)
15	1 500	1 200 l	

La vitesse de perforation en cm/minute varie de 13 à 60 cm suivant la pression d'utilisation de 2,5 à 5 kg/cm² et la nature du terrain. Les flexibles d'amenée d'air ont 19 mm intérieur. Les compresseurs devront fournir de l'air comprimé à 6,3 kg/cm² au minimum pour pouvoir servir également au fonctionnement des pompes à air comprimé.

3/ Explosifs

Le commerce livre des explosifs de caractéristiques et de natures très différentes. Nous signalons les plus courants et les moins dangereux à utiliser pour les fonçages de puits.

- a) – Supernitrate : explosif très stable, insensible aux chocs, peut être gardé 3 à 4 ans en dépôt
 - * effet lent ne travaille pas dans l'eau
 - * très couramment utilisé dans les puits
 - * vendu en paquets de 2,5 kg, caisse de 25 kg
 - * cartouches de 100 grammes – 1 ou 2 cartouches par trous

- b) – Explosif plastiques à base de nitroglycérine
 - gomme A et A.S. à 92 % de nitroglycérine
 - * travaille dans l'eau – peu stable – risques d'exsudation
 - * pas de limite d'utilisation – à conserver dans un local frais sans variations importantes de température – explosif brisant très puissant.

 - plastique gomme BAM à 60 % de nitroglycérine
 - * mauvaise conservation de cet explosif

 - plastique A à 40 % de nitroglycérine
 - * bonne conservation de cet explosif

 - nitrate plastique à 23 % de nitroglycérine
 - * travaille dans l'eau, assez stable – explosif lent
 - * risques d'exsudation moindre que les explosifs précédents
 - * bonne conservation en milieu humide

Tous ces explosifs sont des dynamites à explosion instantanée, livrées en cartouche de 100 grammes et de 30 mm de diamètre.

Les cordons détonnants à enrouler autour d'une cartouche peuvent être employés dans l'eau contrairement à la mèche lente.

Les tirs s'effectueront au moyen d'un explosif et d'une ligne électrique sous câble, à la fin de chaque poste. Les dispositions, la profondeur des trous de mine, l'emploi des détonneurs et des explosifs, les consignes de sécurité seront fournis par des Ingénieurs des mines chargés de l'organisation et du contrôle des travaux.

4/ Pompes à air comprimé

Les pompes à air comprimé sont des appareils robustes et légers conçus pour véhiculer des eaux chargées ou très chargées.

- a) Caractéristiques des pompes Ingersoll Rand (19 - 29 rue du Général Galliéni 92 BOULOGNE–BILLANCOURT)

Modèle	Hauteur mm	Section encombrement	Poids kg	Flexible admission mm	Flexible Échap. mm	Diamètre refoulement mm
225	420	190 x 260	15,3	19	25	50/60
251	578	235 x 295	30	25	40	66/76
35	715	245 x 300	34	25	40	66/76

b) Caractéristiques de débit refoulé en litres par minute

Modèle	air comprimé		DEBITS					
	kg	litres	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m
225	4,9	1730	600	330	100(22)	—	—	—
225	5,6	1960	650	350	100(24)	—	—	—
225	6,3	2120	710	450	200(25)	—	—	—
251	4,9	3350	1050	550	75	—	—	—
251	5,6	3750	1100	650	200	—	—	—
251	6,3	4250	1200	750	350	100(35)	—	—
35	4,9	3550	700	600	480	350	150	—
35	5,6	4020	750	675	575	450	325	80
35	6,3	4530	750	750	650	550	430	300

— débit minimum 6 m³/h : 100 litres minute à refouler.

5/ Compresseurs

Les compresseurs devront débiter à 7 kg/ cm²

- soit 2500 – 2600 litres/minutes – Pompe 225 : 2 marteaux
 - * compresseur de 25 chevaux
- soit 4500 litres/minutes – Pompe n° 35 à haute pression
 - * compresseur de 45 chevaux

Quelques types de compresseurs mobiles – Diesel air :

Atlas Copco	7 kg	2500 l/mn	1800 T/mn	20 CV	625 kg
	7 kg	4800 l/mn	1750 T/mn	43 CV	1050 kg
Drumag	9 kg	2400 l/mn	1800 T/mn	23,5 CV	860 kg

(Deutz)	7 kg	4700 l/mn	1700 T/mn	45,5 CV	1310 kg
SPIROS	7 kg	3000 l/mn	1650 T/mn	33 CV	1325 kg
"	7 kg	4000 l/mn	1650 T/mn	44 CV	1380 kg
"	7 kg	4750 l/mn	1500 T/mn	53 CV	1850 kg
LE ROI	7 kg	2400 l/mn	2100 T/mn	36 CV	900 kg
Westinghouse	7 kg	4500 l/mn	1850 T/mn	46 CV	1400 kg
C. L. M.	6 kg	2700 l/mn	2800 T/mn	30 CV	750 kg
(rotatif)	7 kg	4250 l/mn	3000 T/mn	47 CV	1025 kg

6) – Bennes preneuses

a) Caractéristiques des bennes preneuses ou grappins de fonçage utilisés pour le fonçage des puits bennes GALLIA – 67 à 71, rue Monsarrat – 33 BORDEAUX.

Ø du puits	Poids du grappin	Capacités (l.)	Ø du grappin	Hauteur ouverte
0,80 m	330 kg	44	0,70 m	1,30 m
1,00 m	450 kg	90/100	0,92 m	1,52 m
1,20 m	750 kg	170/190	1,10 m	2,04 m
1,50 m	1150 kg	350/375	1,38 m	2,58 m
2,00 m	1400 kg	350/400	1,90 m	2,80 m

Ce matériel convient parfaitement dans la construction par havage à l'intérieur d'une colonne de buses. Les plus petits modèles de grappins, monocables, suffisent. Avance de 1,20 m à 1,50 m à l'heure à l'intérieur d'une colonne de 0,80 m de diamètre en terrain de dureté moyenne. Force de levage du Derrick : 1000 kg au minimum

b) Caractéristiques des bennes preneuses hémisphériques Benoto 49 rue Réaumur Paris 3 -ème

Capacité	Poids	longueur ouverte	largeur
55 l	360	1,00 m	0,540
75 l	360	1,125 m	0,650
150 l	525	1,425 m	0,800

Accrochage par couronne – coût Hors taxes 1970 8200 et 9600 F.

Les hammer-grab sont très rarement utilisés sauf pour percer le toit d'une nappe en charge.

7) – Grues Derrick de puisatier

a) Ateliers de construction mécanique Jean FAURE – rue Dorian 42 FIRMINY.

Grue type R2 : Force 50 kg – portée : 2,25 m – rotation totale
Diesel Bernard de 5 CV – contrepoids de 600 kg

Grue type R7 : Force de levage : 1250 à 2500 kg – (mouflé)

Vitesse de levage : 32 m/min.
100 m de câble de 12 mm
rotation totale – portée 2,07 à 3 m
moteur Bernard Diesel 8 à 9 CV dans coffre
transmission par courroies trapézoïdales
limiteur de fin de couple de course

Prix : 28 000 Frs Français hors taxes

Cette grue semble convenir parfaitement pour la mise en place de buses de 1 tonne, la manutention de cuffats de 400 litres et des bennes preneuses. Elle serait à installer sur une plateforme de véhicule. Semelle de 200 x 200

Cuffats de 100 l. à basculement automatique : 138 F.

b) – Société Anonyme PERNIN – 104, rue de Stalingrad – 93 MONTREUIL-SOUS-BOIS.

Cette société fournit les treuils Derrick pour la construction du métro express régional à PARIS ainsi que des Derrick pour puisatier au Nigéria. Ces appareils sont robustes et peuvent fonctionner 24 heures sur 24.

Quelques types de treuils Derrick :

LR 25 – Force de levage : 250 kg – 500 kg mouflé
Vitesses de levage : 36 m/mn et 18 m/mn
Moteur essence 4 cv – W 110 Bernard
Posé au sol – contrepoids de lestage

Prix : 6320 Frs hors taxes.

IR 50 – Force de levage : 500 kg – 1 tonne mouflé
Portée flèche : 3 m et 2,50 m
Moteur essence 8 CV – W 112 Bernard
Vitesses de levage : 34 m/mn et 17 m/mn
Posé au sol – rotation totale

Prix : 14 600 Frs avec moteur majoration de 275 Frs pour courroies trapézoïdales.

TYPE 100 – Force de levage : 1000 kg direct – 2000 kg mouflé
Flèche portée de 3 m et 2,50 m (mouflé)
Vitesses de levage : 30 m/mn

Câble de 10,5 mm – longueur : 90 m
Moteur 10 CV – Diesel Bernard
Semelle triangulaire – rotation : 180°

Prix : 9 690 Frs hors taxes complet.

options :

- * limiteur à air de vitesse en descente : 1 490 Frs
- * courroies trapézoïdales : 380 Frs
- * poulies de mouflage 2 T : 285 Frs
- * câble de 10,5 mm : 3,40 le mètre

TYPE 200 – Force de levage : 2000 kg pas de mouflage
Portée flèche 2 ou 3 m
Vitesses de levage : 27 m/mn
Câble de 15 mm – longueur 120 m
Moteur de 20 CV – rotation : 180°

Prix grue Derrick : 17 300 Frs hors taxes – moteur électrique

Suppléments :

- * moteur Diesel Bernard W 42
- * courroies trapézoïdales montées d'origine
- * câble de 15 mm – 4,5 Frs le mètre
- * boule de lestage : 48 kg : 136 Frs
- * serre-câble 15 mm – unité : 340 Frs
- * crochets amortisseurs : 3 T : 287 Frs
- * crochet simple : 72 Frs

Bennes basculantes – 50 l : 90 Frs – 100 l : 117 Frs
150 l : 162 Frs – 200 l : 225 Frs

- * grue moyenne type 100 – recommandé à installer sur plateforme de véhicule
- * graissage toutes les 20 heures – réglages périodiques de l'embrayage.

Au Niger les derricks de puisatier sont installés sur des chassis de Power wagons tractés par des véhicules Berliet. Les chassis comportent une caisse métallique contre-poids emplie de matériaux les derricks marque Boilot ne se fabriquent plus.

8) – Citernes rondes de 1000 litres

Citernes en acier galvanisé tôles de 20/10 ème, monté sur roues pneumatiques.
Poids à vide : 440 kg.

Constructeur : Sté Anonyme CASENAVE.

9) – Chèvres de 10 tonnes

Chèvres avec palan de 10 tonnes hauteur de levage 3 mètres

Chèvre type Victory
Matériel très utile 1 par division puits et forages

Constructeur : Établissements POIRIER , PAUZE et Cie Paris XV ème
76 bis avenue de Suffren

10) – Sondes mécaniques pour puits et forages

Sondes allemandes KWK
Sonde de 100 - 150 - 200 - 500 m – Prix : 1000 Frs métré environ
Lecture directe sur cadran

Fournisseur : Sté ISMA Merleback

11) – Appareils Radio THOMSON HOUSTON

Type THC 482 300 à 500 km de portée
Emetteur Recepteur : coût 600 000 F. CFA l'un fonctionne en 12 volts sur batterie du véhicule.

Utilisé par les équipes d'entretien des forages – 1 vacation journalière. Utilisé entre la direction et les divisions hydrauliques – 1 vacation journalière – matériel s'avérant indispensable aux divisions assurant le fonctionnement des forages.

12) – Véhicules lourds

* Camions Berliet (moteurs à refroidissement par eau).

- type L64, 5 tonnes, 1 pont, usage assez restreint
- type L64, 5 tonnes, 2 ponts, tous terrains, monte simple, pneus sable

Coût d'un véhicule 2 ponts en 1970 : 4 500 000 Frs CFA.

Ces véhicules donnent toute satisfaction au Niger.

- type L64 gin-pool, véhicule, atelier équipé en usine d'un treuil d'une force de levage de 3 tonnes hauteur sous crochet : 3 mètres destiné à la manutention des pompes (éléments de tubage de 3 mètres) et des équipements de forage.

Un gin-poll pour 8 à 10 forages visités tous les 15 jours

- 1 L64, 22 ponts, citerne 5 m³ pour forages
- 1 L64, 2 ponts, par brigades d'entretien des puits-bennes.

* Camions Citroën 2 ponts (moteurs à refroidissement par eau).

* Camions Magyrus-Deutz 2 ponts (moteurs à refroidissement par air).

Ces véhicules équipés de pneus sable ont particulièrement donné satisfaction dans les zones dunaires, très difficiles, au Nord de Goudam et Tombouctou au Mali.

Il se révèle absolument indispensable d'uniformiser le parc à véhicules lourds et de disposer d'ateliers de réparations et d'entretien.

13) – Véhicules légers

- * Land Rover – Véhicules de tournée à affecter aux mécaniciens chefs de divisions – station de pompage, ou de divisions puits.

Coût d'une Land Rover en 1970 : 1 400 000 F.CFA.

14) – Cabine des groupes électrogènes des stations de pompage

« La tôle ondulée », Maisons-Alfort, tél : 368 44-44. La cabine doit être orientée suivant le sens du vent dominant.

ANNEXE N° 5 – DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES D'UN GROUPE DE POMPAGE

1 – Conditions techniques d'exploitation supposées

– débit horaire	75 m ³ /h	=	20,833 l/s
– niveau statique	70 m		
– débit spécifique	2 m ³ /h/m		
– rabattement	37,5 m		
– niveau de pompage	107,5 m		

2 – Conditions de refoulement

– distance forage réservoir	345 m		
– hauteur alimentation réservoir	22,25 m		
– <i>dénivellée forage réservoir</i>	+ 6,16 m		
– longueur conduite d'alimentation	345 m + 22,25 m =	367,25 m	
– conduite de refoulement	Ø 200 mm		
– hauteur géométrique de refoulement	107,50 m + 6,16 + 22,25 =	135,91 m	
– pertes de charge dues au refoulement :			

a) – dans la pompe : section de Ø 150 mm déduction faite de la section du tube carter de protection de la ligne d'arbre
 $107,50 \text{ m} \times 0,016 = 1,72 \text{ m}$

b) – dans la conduite de refoulement :
 $367,25 \text{ m} \times 0,0035 = 1,28 \text{ m}$

c) – dans les coudes :
évaluées à 0,50 m

– hauteur manométrique de levage :

$$135,91 \text{ m} + (1,72 + 1,28 + 0,50) = 139,41 \text{ m arrondi à } 139,50 \text{ m}$$

3 – Évaluation de la hauteur de refoulement

HMr. = hauteur manométrique de refoulement	139,50 m
Vr = vitesse de refoulement : 1,20 m/s	
$\frac{V^2_r}{2g} = 0,073 \text{ m}$	<u>0,073</u>
Hr = hauteur de refoulement	139,573 m
	<u>arrondi à 139,60 m</u>

4 – Caractéristiques du groupe à commander

1° / Pompe : (à axe vertical)

- LAYNE – 10 RKHC
- débit – 75 m³/h
- hauteur d'élévation à ce débit, par étage :
9,80 m
- rendement des turbines :
79 %
- nombre d'étages :
$$\frac{139,50}{9,80} = 14,23 \text{ soit } 15 \text{ étages}$$
- nombre minimum de colonnes :
$$\frac{107,5}{3,05} = 35,24 \text{ soit } 36 \text{ colonnes}$$

2°/ Moteur

1 er cas – moteur thermique Diesel – air

- * rendement des turbines : 0,79
- * rendement de la transmission : 0,92 (courroies)
- * puissance utile :

$$\frac{75 \times 139,60}{270} = 38,77 \text{ CV}$$

- * puissance absorbée par le moteur :

$$\frac{38,77}{0,79 \times 0,92} = 53,34 \text{ CV}$$

- * puissance nominale du moteur thermique

$$53,34 \times 1,30 = 69,34 \text{ CV} = 70 \text{ CV}$$

(Cette surpuissance inclut le rendement thermique du à la température sur le lieu d'utilisation)

2 ème cas – moteur électrique

- * rendement de la pompe: 0,75
- * rendement du moteur : 0,90
- * puissance utile absorbée :

$$\frac{20,83 \text{ (l/s)} \times 139,60}{102} = \frac{2\,908,3}{102} = 28,51 \text{ kW}$$

- * puissance électrique aux bornes du moteur :

$$28,51 \times \frac{1}{0,75} \times \frac{1}{0,90} = 42,23 \text{ kw}$$

- * puissance nominale du moteur :

$$42,23 \times 1,10 = 46,45 \text{ kw} = 64 \text{ CV}$$

- * puissance aux bornes en K.V.A.

$$46,45 / 0,80 = 58 \text{ K.V.A.}$$

d'où un transformateur de puissance 63 K.V.A.
ou 100 K.V.A. dans le cas d'une alimentation par secteur.

- * moteur asynchrone fermé à rotor en court-circuit.
- * puissance du moteur : 55 kw.
- * Résistances statoriques de démarrage placées sur l'armoire de commande
- * Alimentation par un câble triphasé 3 fils de 50² cuivre
(le câble sera calculé pour la puissance nominale du moteur).
- * Intensité absorbée en 380 volts :

$$\frac{46450}{380 \sqrt{3} \times 0,8} = 88,22 \text{ ampères.}$$

Les pompes à axe vertical sont à déconseiller et à remplacer par des pompes immergées marque K.S.B. ou Jeumont.

ANNEXE N° 6 – RAPPORT TYPE D'EXÉCUTION D'UN FORAGE D'EXPLOITATION

Exemple du forage de DIAKHAO (Sénégal)

Réalisé par la Société Africaine de sondages-injections-forages – S. A. S. I. F.

S O M M A I R E

- PROFIL DE L'OUVRAGE
 - Situation
 - Matériel
 - Diamètres successifs de forage
 - plan de tubage
- COUPE GÉOLOGIQUE
 - Nature des terrains rencontrés
 - Profondeurs atteintes
 - Pertes de boue
- ESSAIS DE NAPPE
- DIAGRAMME DE CAROTTAGE ÉLECTRIQUE
- ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES
- ESSAIS TECHNIQUES DE RÉCEPTION PROVISOIRE
- ANALYSES D'EAU
 - Avancement



**SOCIÉTÉ AFRICAINE
DE
SONDAGES INJECTIONS FORAGES**

Km. 3,5, Route de Rufisque
- DAKAR - Tél. 332.65
B.P. 900

— SL-382 —

— DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE —

— **DIAKHAO** —

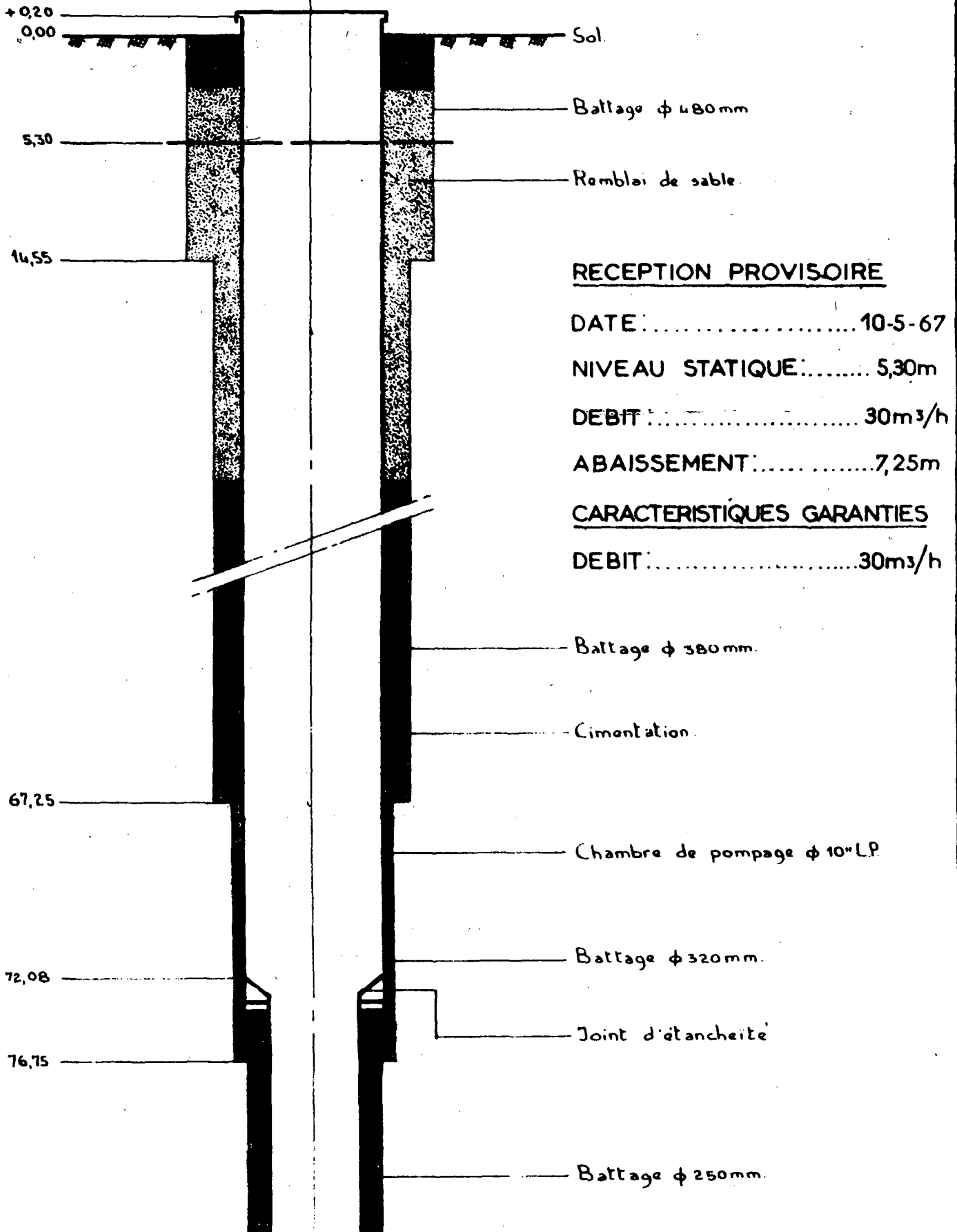
— FORAGE D'EXPLOITATION —

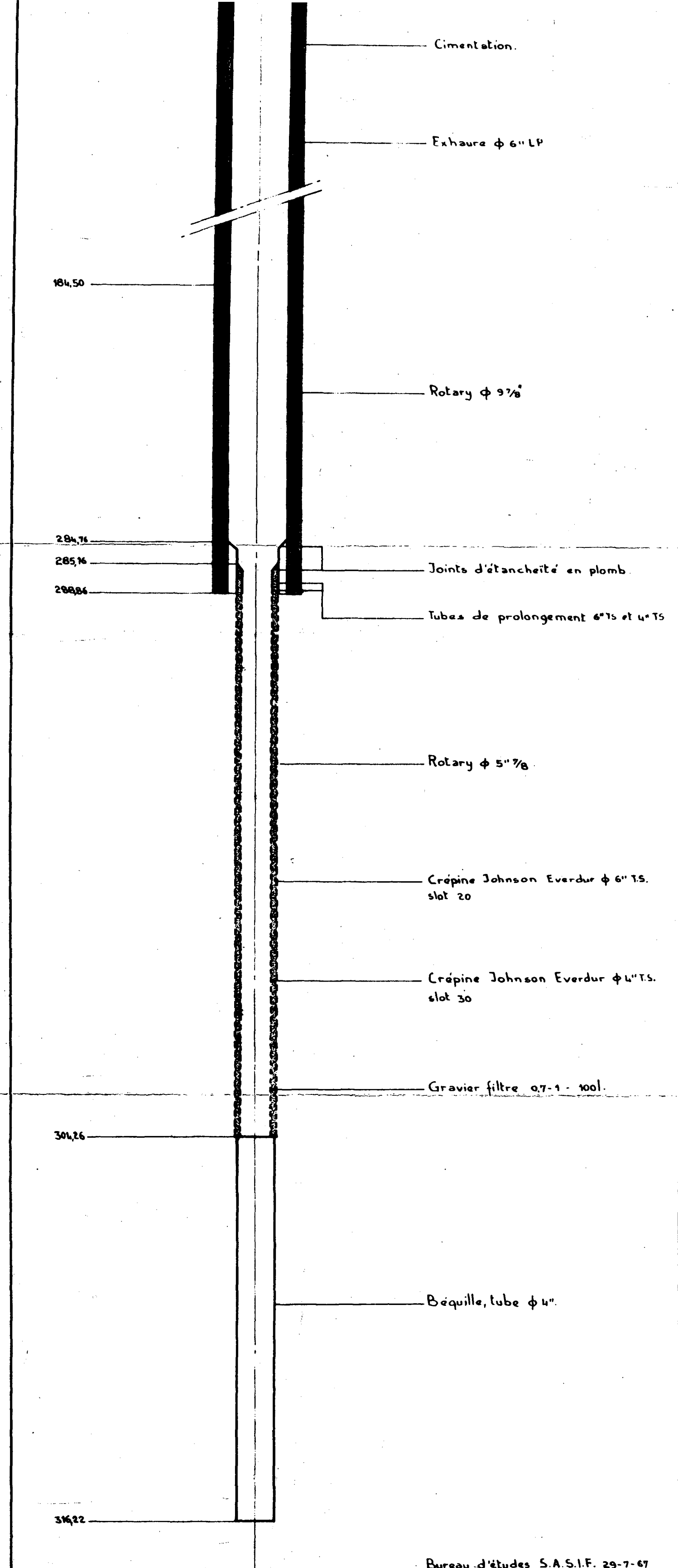
Commencé le 16-1-67

Terminé le 9-5-67

MATERIEL : STAR 72
CHEF DE CHANTIER : CARCASSONNE
MATERIEL : SULLIVAN 200A
CHEF DE CHANTIER : PLAUTRE

SITUATION - Latitude : 16° 17' 30"
Longitude : 14° 28' 00"
Altitude : 10m ~





Cimentation.

Exhaure φ 6" LP

184,50

Rotary φ 9 7/8"

284,76

285,16

288,86

Joints d'étanchéité en plomb.

Tubes de prolongement 6" TS et 4" TS

Rotary φ 5 7/8"

Crépine Johnson Everdur φ 6" T.S. slot 20

Crépine Johnson Everdur φ 4" T.S. slot 30

Gravier filtre 0,7-1 - 100.

304,26

Béquille, tube φ 4"

316,22

SASIF SOCIÉTÉ AFRICAINE

DE

SONDAGES INJECTIONS FORAGES

Km. 3,5 Route de Rufisque
B.P. 900 — DAKAR — Tél. 332.65

— SL-382 —

— DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE —

— DJAKHAO —

— COUPE GEOLOGIQUE —

Commencé le 23-1-67

Terminé le 3-5-67

Observations	Tubage	Diamètre	Nature des terrains	Carottage	Puiss	Coupe	Prof.	Cotes
		Battage ϕ 500 mm.	Sable argileux.		10,00		10,00	
			Gravier et rognons latéritiques avec sable argileux.		0,50		10,50	
			Gravillons de latérite.		0,60		11,10	
			Argile bariolée jaunâtre et grisâtre.		6,80		17,90	
			Argile jaunâtre avec gravillons latéritiques.		1,50		19,40	
			Idem. légèrement sableuse.		2,10		21,50	
			Marnes jaunâtres et grisâtres à passées calcaires.		11,50		33,00	
			Marnes jaunâtres légèrement sableuses.		1,25		34,25	
		Battage ϕ 380 mm.	Calcaire grossier marneux blanc jaunâtre		5,55		39,80	
			Calcaire marneux avec qqs. passages sableux.		13,70		53,50	
			Marne blanche et jaunâtre avec passées calcaires.		4,00		57,50	
			Marne jaunâtre avec passées calcaires.		2,50		60,00	
			Marne jaune claire.		2,00		62,00	
			Marne grise.		4,00		66,00	
		Battage ϕ 320 mm.	Idem.		13,00		79,00	
		96,75	Marne légèrement verdâtre.		4,00		83,00	
			Marne plastique verdâtre.		19,45		102,45	
			Silic noirs très durs.		0,15		102,60	
			Marne plastique verdâtre.		1,40		104,00	
			Argile plastique verdâtre.		16,25		120,25	
			Marne noire légèrement plastiques.		5,75		126,00	
			Marne sableuse gris foncé.		1,00		127,00	
			Marne sableuse gris clair à passées calcaires.		1,10		128,10	
			Calcaire gris marneux.		1,30		129,40	
			Marne gris clair à passages calcaires.					

Echantillons.

Balutage ϕ 2 1/2"

184,50

Rotary ϕ 9 7/8"

288,80

R. ϕ 5 7/8"

Calcaire gris avec passées marneuses.	5,80	165,00
Calcaire gris avec passées plus marneuses.	11,00	156,00
Marne grisâtre.	2,00	158,00
Marne grisâtre avec passées calcaires.	2,00	160,00
Marne grisâtre.	2,00	162,00
Marne noire plastique.	3,00	165,00
Marne gris bleuté.	2,00	167,00
Marne grisâtre avec passées calcaires.	2,00	169,00
Marne gris bleuté.	1,00	170,00
Marne gris clair.	2,00	172,00
Marne gris clair à passées calcaires.	2,00	174,00
Calcaire gris clair.	1,00	175,00
Calcaire à passages durs.	3,00	178,00
Calcaire fissuré.	3,00	181,00
Marne bleuté.	3,50	184,50
Marne gris bleuté avec traces calcaires.	2,75	187,25
Calcaire gris.	0,75	188,00
Marne noirâtre avec alternances calcaires.	6,80	194,80
Marne noirâtre.	31,20	229,00
Marne gris bleu légèrement sableuse.	19,20	248,20
Sable gris fin à moyen avec traces de marne.	8,45	256,65
Sable gris fin à moyen.	15,35	272,00
Marne gris bleu sableuse.	8,00	280,00
Marne gris bleu.	8,00	288,00
Sable fin à moyen gris.	28,20	316,20

ESSAIS DE NAPPES

SASIF

N° de chantier : SL 382

Essai de nappe n° 1Effectué le 1^{er} février 1967

Forage coffré de 0 m à 14 m 55 en diamètre 20"

Forage découvert de 14 m 55 à 57 m 40 en diamètre 380 mm

Banc de calcaire aquifère de 34 m 25 à 53 m 50

Niveau d'eau observé avant pompage :

14H30	sorti 2 500 l.
14H45	sorti 5 100 l.
15H00	sorti 7 800 l.
15H15	sorti 10 400 l.

DIAKHAO

Forage d'exploitation

de 34 m 25 à 53 m 50

Moyen de pompage : soupape

9 m 24

niveau 9 m 54
niveau 9 m 48
niveau 9 m 48
niveau 9 m 48

Observation

- Prise d'un échantillon pour analyse au B. R. G. M.
- L'eau est fortement salée (extrait sec 11,1 g/l)

Essai de nappe n° 2

Effectué le 17 février 1967

Forage tubé de 0,00 à 76 m 75 en 10" LP

Forage découvert de 76 m 75 à 148 m 15 en diamètre 250 mm

Banc de calcaire aquifère de 139 m 20 à 148 m 15

de 139 m 20 à 148 m 15

Moyen de pompage : Emulseur

Niveau d'eau observé avant le pompage

7 m 80

14H30 Mise en route

15H00 Q = 14,500 m3/h

15H30 Q = 14,500 m3/h

16H00 Q = 14,500 m3/h

Niveau de pompage : 33 m environ

" " : 33 m "

" " : 33 m "

Remontée :

en 1 mn	Niveau par rapport au sol	31 m 30
en 2 mn	" " " "	: 25 m 75
en 5 mn	" " " "	: 21 m 40
en 10 mn	" " " "	: 14 m 40

Observation

- Prise d'un échantillon pour analyse au B. R. G. M.
- Extrait sec 2,25 g/l.

Essai de la nappe n° 3

de 139 m 20 à 156 m

Effectué le 20 février 1967

Moyen de pompage : Emulseur

Forage tubé de 0 m à 76 m 75 en 10" LP

Forage découvert de 76 m 75 à 163 m 85 en diamètre 250 mm

Banc de calcaire aquifère de 139 m 20 à 156 m

Niveau d'eau observé avant pompage :

6 m 40

13H30 Mise en route

13H35 Q = 18 m³/h Niveau de pompage : 29 m 80 environ14H30 Q = 14,5 m³/h " " " : 32 m "15H30 Q = 14,5 m³/h " " " : 32 m "16H00 Q = 14,5 m³/h " " " : 32 m

Remontée :

en 1 mn	Niveau d'eau	: 28 m 31
en 2 mn	"	: 25 m 08
en 5 mn	"	: 18 m 85
en 10 mn	"	: 13 m 90
en 15 mn	"	: 11 m 55
en 25 mn	"	: 9 m 40

Essai de la nappe N° 4

de 139 m 20 à 181 m

Effectué le 22 février 1967

Moyen de pompage : Emulseur

Forage tubé de 0 m à 76 m 75 en 10" LP

Forage découvert de 76 à 75 à 184 m 50 en diamètre 250 mm

Banc de calcaire aquifère de 139 m 20 à 156 m

et de 174 m à 181 m

Niveau d'eau observé avant le pompage :

6 m 40

8H45 Mise en route

8H50 Q = 24 m³/h Niveau de pompage : 26 m 559H00 Q = 21,6 m³/h " " : 27 m 289H15 Q = 21 m³/h " " : 28 m 109H25 Q = 22 m³/h " " : 27 m 8010H00 Q = 22 m³/h " " : 27 m 7511H00 Q = 21,4 m³/h " " : 27 m 9312H00 Q = 22 m³/h " " : 27 m 9013H00 Q = 21 m³/h " " : 28 m 1014H00 Q = 21,2 m³/h " " : 28 m 6015H00 Q = 21 m³/h " " : 28 m 5016H00 Q = 21 m³/h " " : 28 m 7017H00 Q = 21 m³/h " " : 28 m 8018H00 Q = 21 m³/h " " : 28 m 82

Remontée :

en 1 mn	Niveau d'eau	: 22 m 78
en 2 mn	"	: 19 m 12
en 5 mn	"	: 13 m 40
en 10 mn	"	: 10 m 40
en 15 mn	"	: 9 m 20
en 30 mn	"	: 8 m 20

Observations

- Prise d'un échantillon pour analyse au B. R. G. M.
- Extrait sec 2,078 g/l
- L'eau de ces nappes étant de qualité très médiocre, décision de poursuivre le forage au rotary pour capter la nappe maëstrichtienne.

SCHLUMBERGER

LOG ELECTRIQUE

PAYS SENEGAL
 CHAMP _____
 SONDAGE DIAKHAO
 COMPAGNIE SASIF

COMPAGNIE SASIF
 SONDAGE DIAKHAO
 CHAMP _____
 DEPARTEMENT _____ PAYS SENEGAL
 Coordonnées L = 16°17'30"
 I = 14°28'00"
 Alt = 10 m environ

Origine permanente des profondeurs Sol Elev
 Zero Schlumberger sol m au dessus origine permanente
 Zero sondeur sol m au dessus origine permanente

Opér. N°	Echelle prof.	1	500e	2	500e
Date		27.2.67		26.4.67	
Première lecture		163		316	
Dernière lecture		76,50		76,50	
Intervalle mesure		87,50		239,50	
Sabot Schlumberger		76,50		76,50	
Sabot sondeur		76,75		76,75	
Prof. max. atteinte		163		316	
Prof. tot. sondeur		185,5		316,22	
Boue : Nature		Battage		Bentonite	
Densité : Viscosité		2,4		1,10	
Boue : Résistivité		34 "C		29 "C	
Boue : Résist. BHI		"C		"C	
pH : Eau libre		Cm ³ /30mn		Cm ³ /30mn	
Origine Echantillon					
Rmi		"C		"C	
Rmc		"C		"C	
Diam. trépan 1		76,75		180	
Diam. trépan 2		185,50 en 250mm		255,66 en 9"7/8	
Diam. tubage		0 76,75 en 10" LP		0 76,75 en 10 LP	
Temps sondage					
Camion N°					
Opérateur		VULTAGGIO		VULTAGGIO	
Observateur Cie				RETOUT	

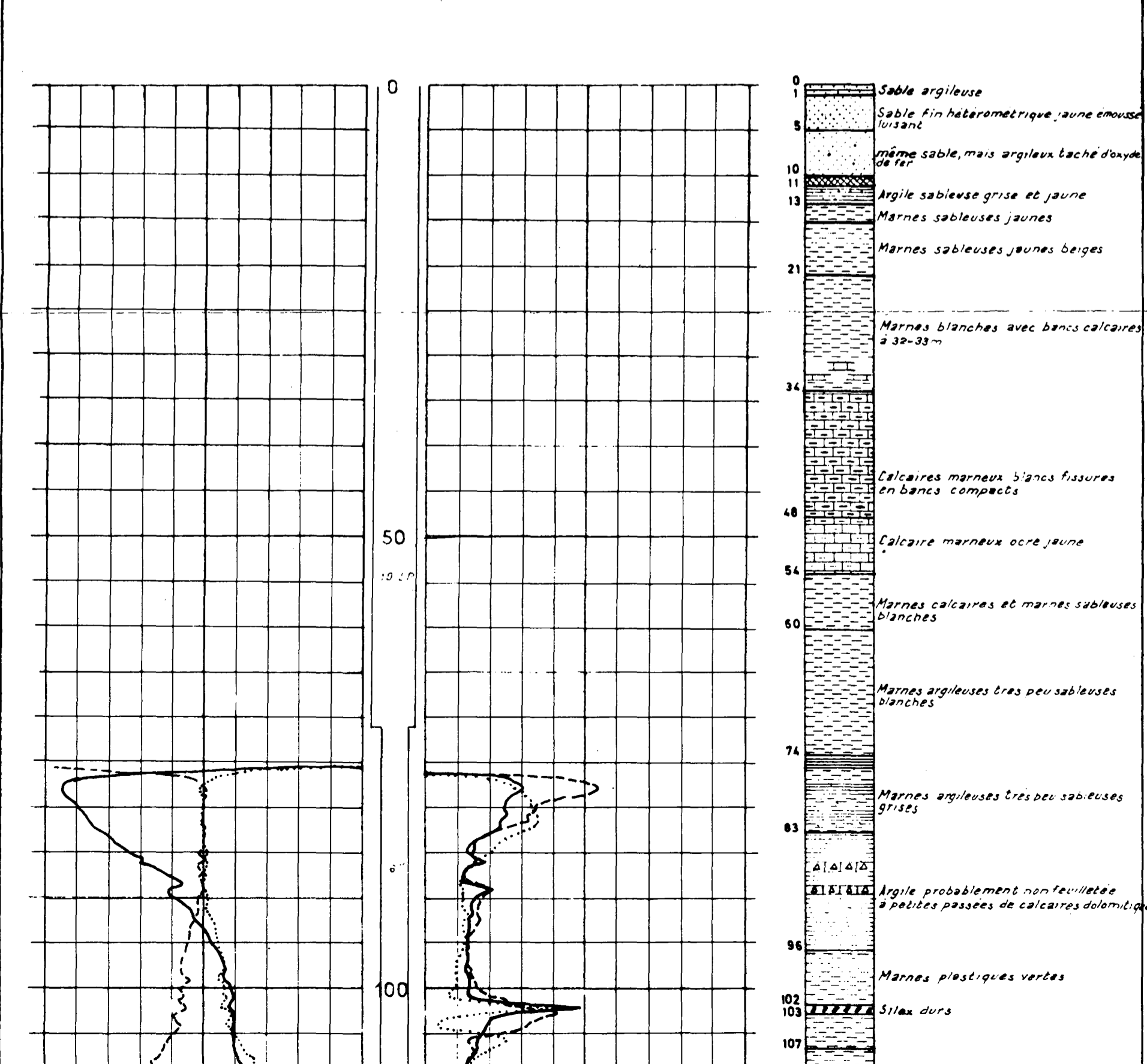
Autres Opérations
 Réf. N°
 Elevation
 Sol:
 T R:

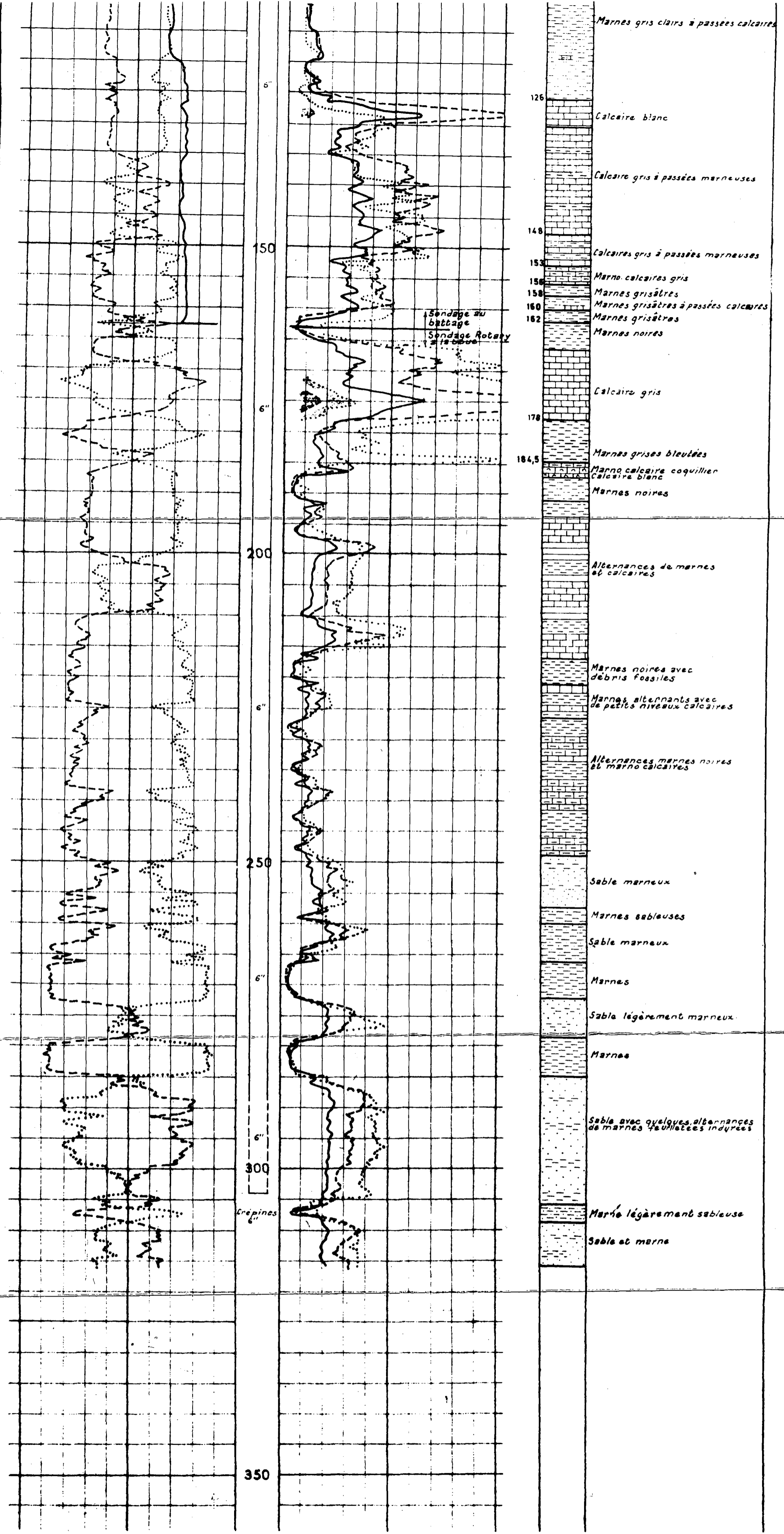
PLIER ICI

REMARQUES 2^e opérations: RS inversée

OPERATION N°	1	EQUIPEMENT Type et N°
Dispositif AM:	10"	Sonde
AMs	40"	Pulseur
AO	10" x 90'	Panel
Cest utilise		

POLARISATION SPONTANEE millivolts	Profondeur	RESISTIVITE ohms. m ² /m	
- 5 - + Ps enregistrée inversée 2 Ps redressée	500e	0 SN 50/500	Coupe géologique interprétative d'après cuttings et CE par H. Moussu
		0 LN 50/500	
		0 INV 50/500	





Marnes gris clairs à passées calcaires

126

Calcaire blanc

Calcaire gris à passées marneuses

148

Calcaires gris à passées marneuses

153

Marno calcaires gris

156

Marnes grisâtres

158

Marnes grisâtres à passées calcaires

160

Marnes grisâtres

162

Marnes noires

Calcaire gris

170

Marnes grises bleuées

184,5

Marno calcaire coquillier

Calcaire blanc

Marnes noires

Alternances de marnes et calcaires

Marnes noires avec débris fossiles

Marnes alternants avec de petits niveaux calcaires

Alternances marnes noires et marno calcaires

Sable marneux

Marnes sableuses

Sable marneux

Marnes

Sable légèrement marneux

Marnes

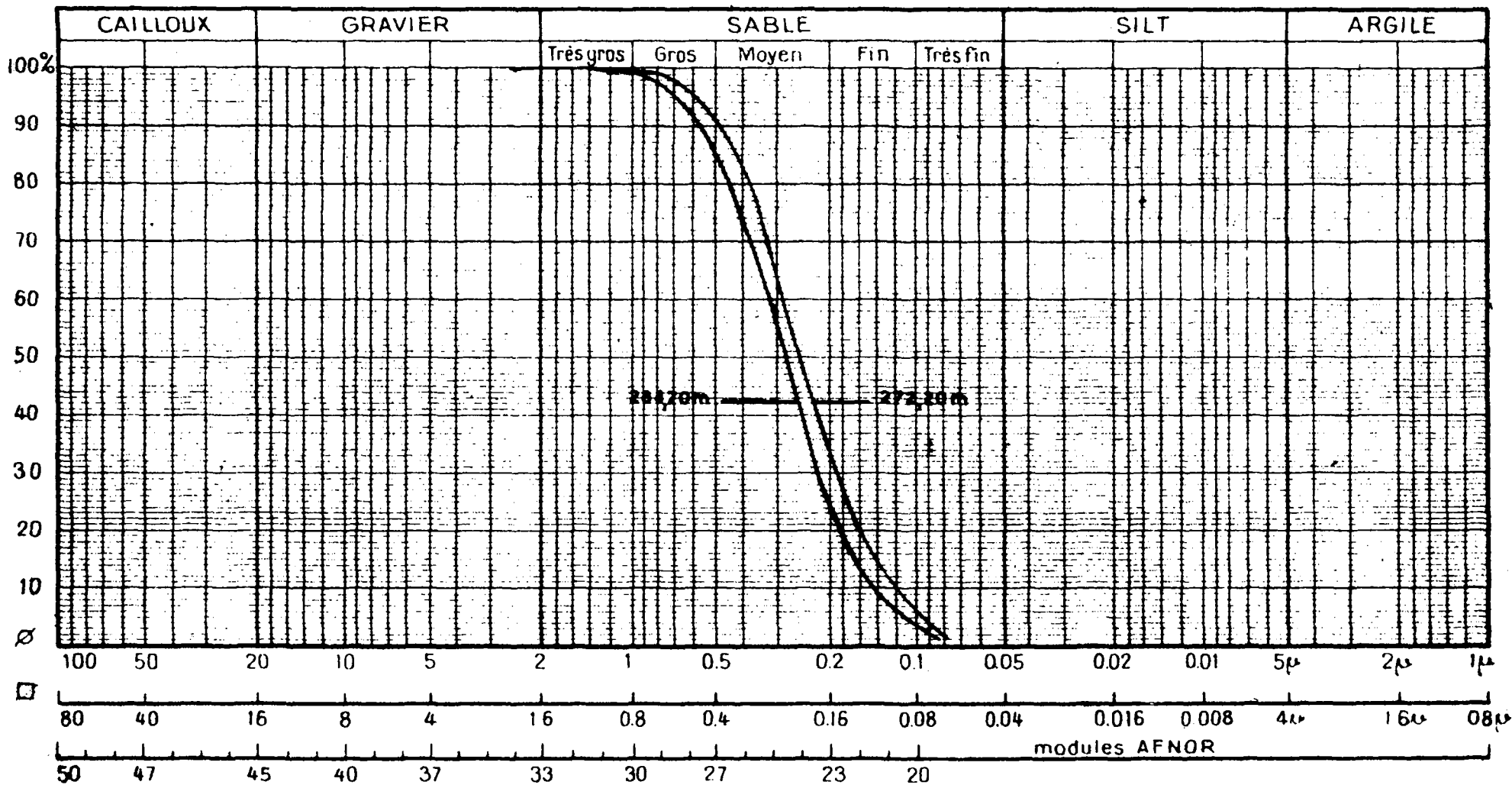
Sable avec quelques alternances de marnes feuilletées indurées

Marne légèrement sableuse

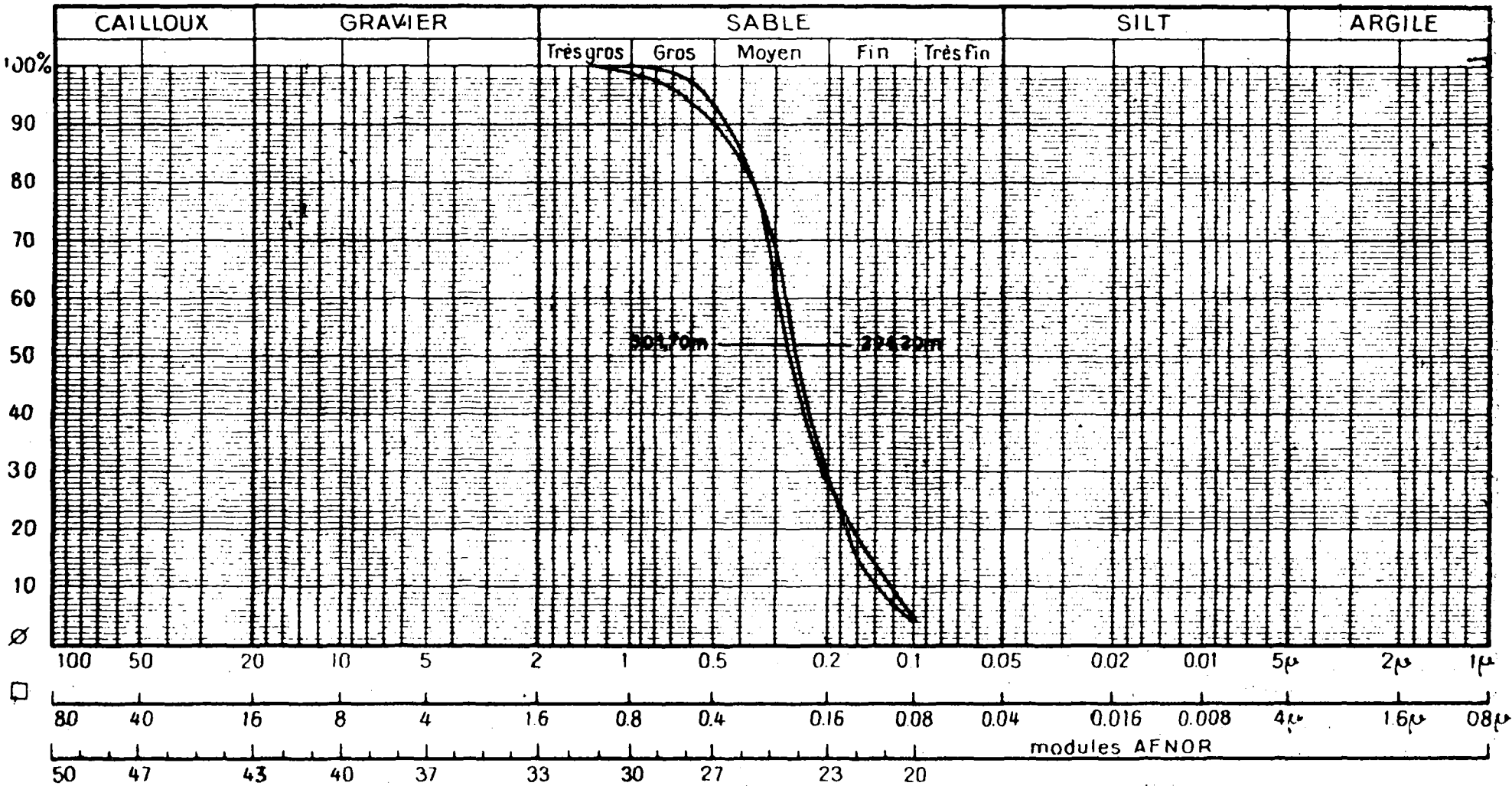
Sable et marne

Sondage au battage
Sondage Rotary

Crepins 6"



<p>CHANTIER DIAKHAO</p>	<p>ANALYSES GRANULOMETRIQUES</p>	<p>ECHANTILLON 272,20m - 284,70m</p>
-----------------------------	----------------------------------	--



<p>CHANTIER DIAKHAO</p>	<p>ANALYSES GRANULOMETRIQUES</p>	<p>ECHANTILLON 294,20m - 301,70m</p>
-----------------------------	----------------------------------	--

ESSAIS TECHNIQUES DE RÉCEPTION PROVISOIRE

du 10 mai 1967

par M. MOUSSU (Hydrogéologue BRGM)

Moyen de pompage : pompe ALTA F 190

Ligne d'air : 34 m 30 par rapport au sol

Débîts mesurés à la cuve de 500 l et au PITOT 6" - 3"

Rabattements mesurés au manomètre à mercure

Niveau statique : 5 m 30

A/ Essais de débit

11H05 Démarrage de la pompe

11h10	Q = 7,82 m ³ /h	Abaissement	=	2,32 m
11H15	Q = 7,82 "	"	=	2,29 m
11H20	Q = 7,82 "	"	=	2,30 m
11H25	Q = 7,82 "	"	=	2,29 m
11H30	Q = 7,82 "	"	=	2,28 m
11H35	Q = 7,88 "	"	=	2,28 m
11H40	Q = 7,88 "	"	=	2,28 m
11H45	Q = 7,88 "	"	=	2,33 m

11H47 Changement de débit

11H53	Q = 15 m ³ /h	Abaissement	=	3,43 m
11H57	Q = 15 "	"	=	3,35 m
12Ho2	Q = 15 "	"	=	3,28 m
12H07	Q = 15 "	"	=	3,28 m
12H12	Q = 15 "	"	=	3,28 m
12H17	Q = 15 "	"	=	3,29 m
12H22	Q = 15 "	"	=	3,29 m
12H27	Q = 15 "	"	=	3,26 m
12H32	Q = 15 "	"	=	3,28 m
12H37	Q = 15 "	"	=	3,28 m
12H42	Q = 15 "	"	=	3,28 m
12H47	Q = 15 "	"	=	3,30 m

12H49 Changement de débit

12H54	Q = 21,24 "	Abaissement	=	4,91 m
12H59	Q = 21,24 "	"	=	4,94 m
13H04	Q = 21,24 "	"	=	4,94 m
13H09	Q = 21,24 "	"	=	4,96 m
13H14	Q = 21,24 "	"	=	4,96 m
13H19	Q = 21,24 "	"	=	4,96 m
13H24	Q = 21,24 "	"	=	4,96 m
13H29	Q = 21,24 "	"	=	4,96 m

13H34	Q = 21,24 "	"	=	4,96 m
13H39	Q = 23,40 "	"	=	4,96 m

14H02 Changement de débit

14H07	Q = 30 m3/h	Abaissement	=	6,98 m
14H12	Q = 30 "	"	=	6,94 m
14H17	Q = 30 "	"	=	7,14 m
14H22	Q = 30 "	"	=	7,17 m
14H27	Q = 30 "	"	=	7,17 m
14H32	Q = 30 "	"	=	7,17 m
14H37	Q = 30 "	"	=	7,15 m
14H42	Q = 30 "	"	=	7,17 m
14H47	Q = 30 "	"	=	7,17 m
14H52	Q = 30 "	"	=	7,17 m
14H57	Q = 30 "	"	=	7,17 m
15H02	Q = 30 "	"	=	7,17 m
15H17	Q = 31 "	"	=	7,26 m
15H22	Q = 31 "	"	=	7,26 m
15H27	Q = 31 "	"	=	7,25 m
15H32	Q = 31 "	"	=	7,25 m
15H37	Q = 31 "	"	=	7,25 m
15H42	Q = 31 "	"	=	7,23 m
15H47	Q = 31 "	"	=	7,23 m
15H52	Q = 31 "	"	=	7,23 m
15H57	Q = 31 "	"	=	7,23 m
16H02	Q = 31 "	"	=	7,23 m
16H07	Q = 31 "	"	=	7,23 m
16H12	Q = 31 "	"	=	7,23 m
16H17	Q = 31 "	"	=	7,23 m

16H22 Changement de débit

16H27	Q = 37 m3/h	Abaissement	=	9,03 m
16H32	Q = 37 "	"	=	9,06 m
16H37	Q = 37 "	"	=	9,07 m
16H42	Q = 36,3 "	"	=	9,04 m
16H47	Q = 36,3 "	"	=	9,03 m
16H52	Q = 36,3 "	"	=	9,03 m
16H57	Q = 36,3 "	"	=	9,06 m
17H02	Q = 36,8 "	"	=	9,06 m
17H07	Q = 36,8 "	"	=	9,06 m
17H12	Q = 36,3 "	"	=	9,06 m
17H17	Q = 36,3 "	"	=	9,10 m
17H22	Q = 36,3 "	"	=	9,10 m
17H27	Q = 36,3 "	"	=	9,10 m
17H32	Q = 36,3 "	"	=	9,10 m
17H37	Q = 36,3 "	"	=	9,10 m
17H42	Q = 36,3 "	"	=	9,10 m
17H47	Q = 36,3 "	"	=	9,10 m
17H52	Q = 36,3 "	"	=	9,10 m

17H54	Changement de débit		
18H00	Q = 45 m ³ /h	Abaissement	= 11,31 m
18H05	Q = 45 "	"	= 11,39 m
18H10	Q = 46 "	"	= 11,36 m
18H15	Q = 46 "	"	= 11,41 m
18H20	Q = 46 "	"	= 11,41 m
18H25	Q = 46 "	"	= 11,41 m
18H30	Q = 46 "	"	= 11,41 m
18H40	Q = 46 "	"	= 11,43 m
18H50	Q = 46 "	"	= 11,49 m
19H00	Q = 46 "	"	= 11,45 m
19H10	Q = 46 "	"	= 11,45 m
19H20	Q = 46 "	"	= 11,45 m
19H30	Q = 46 "	"	= 11,47 m
19H40	Q = 46 "	"	= 11,45 m

19H47	Changement de débit		
19H49	Q = 52,92 "	Abaissement	= 14,25 m
19H55	Q = 52,92 "	"	= 14,41 m
20H00	Q = 52,92 "	"	= 14,39 m
20H05	Q = 53 "	"	= 14,39 m
20H10	Q = 53 "	"	= 14,39 m
20H20	Q = 53 "	"	= 14,39 m
20H30	Q = 53 "	"	= 14,45 m
20H40	Q = 53 "	"	= 14,41 m
20H50	Q = 53 "	"	= 14,38 m
20H50	Arrêt du pompage		

Remontée

Abaissement résiduel

après		
1 mn	=	10,41
2 mn	=	9,80
3 mn	=	9,39
4 mn	=	9,19
5 mn	=	4,12
6 mn	=	2,42
7 mn	=	1,01
8 mn	=	0,81
11 mn	=	0,40
13 mn	=	0,20
15 mn	=	0,18
18 mn	=	0,11
20 mn	=	0,18
22 mn	=	0,11
25 mn	=	0,15
30 mn	=	0,10
35 mn	=	0,07
40 mn	=	0,04

40 mn	=	0,04
45 mn	=	0,04
55 mn	=	0,04

Les interprétations graphiques de ces résultats n'ont pas permis de mettre en évidence les pertes de charge anormales.

B/ Essais de sable

effectués au débit de livraison = 30 m³/h.

21H50 Démarrage de la pompe	22H24 Agitation
21H53 0,4 mn	22H27 3 à 5 grains
21H58 0,3 mn	22H29 néant
22H02 8 grains	22H31 2 à 3 grains
22H04 10 grains	22H33 néant
22H06 5 grains	22H35 néant
22H07 agitation	22H37 néant
22H09 2 grains	22H40 2 à 4 grains
22H13 6 grains	
22H14 6 grains	
22H16 6 à 8 grains	
22H18 6 à 8 grains	
22H21 6 à 8 grains	
22H23 6 à 8 grains	

C/ Caractéristiques chimiques de l'eau

Voir analyse chimique du Laboratoire du B. R. G. M.

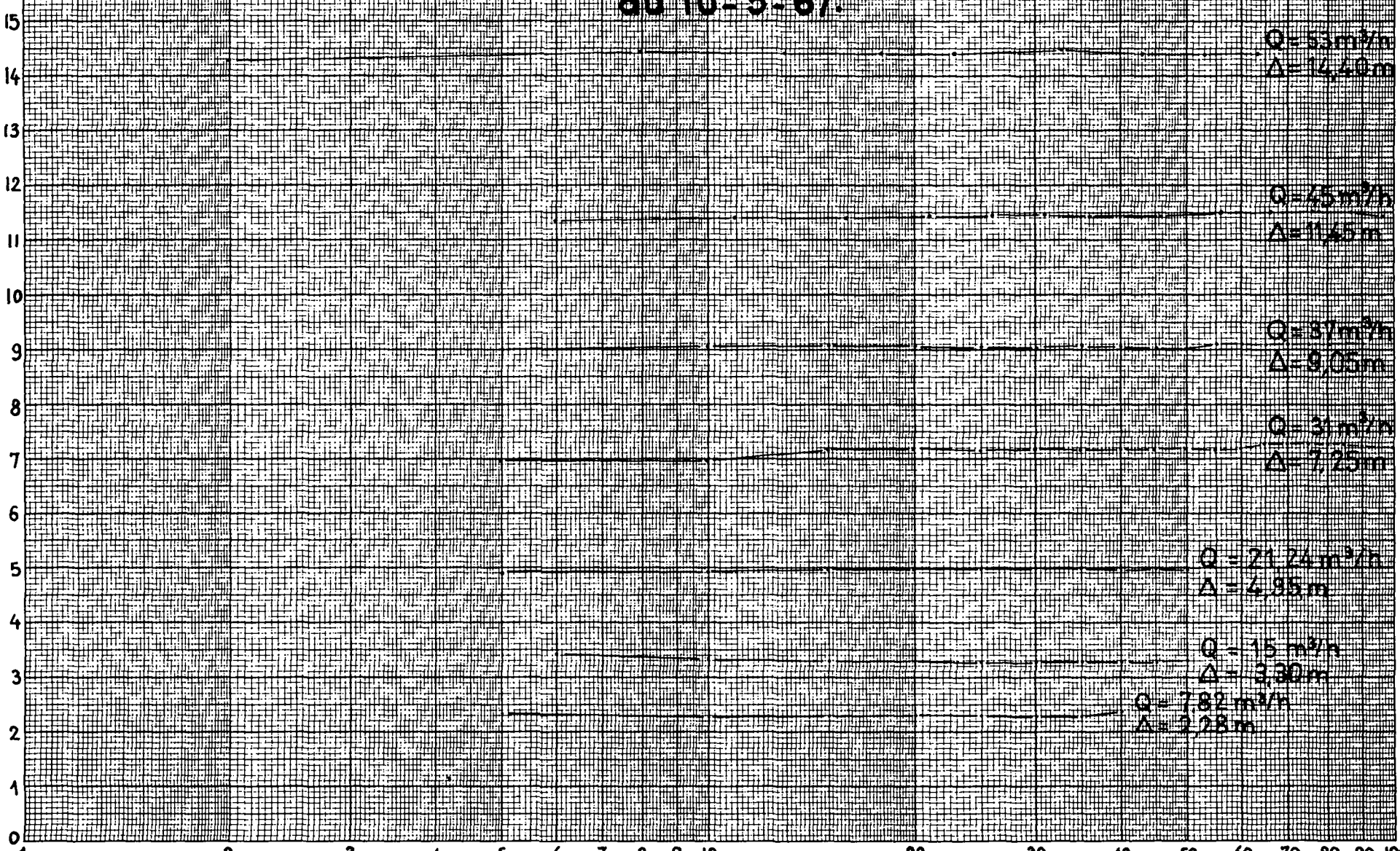
D/ Conclusions

Le forage de DIAKHAO a été réceptionné au débit garanti de 30 m³/h pour un niveau de pompage de 12,55 m.

Robattements
en mètres

FORAGE DE DIAKHAO

Essai de réception provisoire du 10-5-67.



Q = 53 m³/h
Δ = 14.40 m

Q = 45 m³/h
Δ = 11.45 m

Q = 37 m³/h
Δ = 9.05 m

Q = 31 m³/h
Δ = 7.25 m

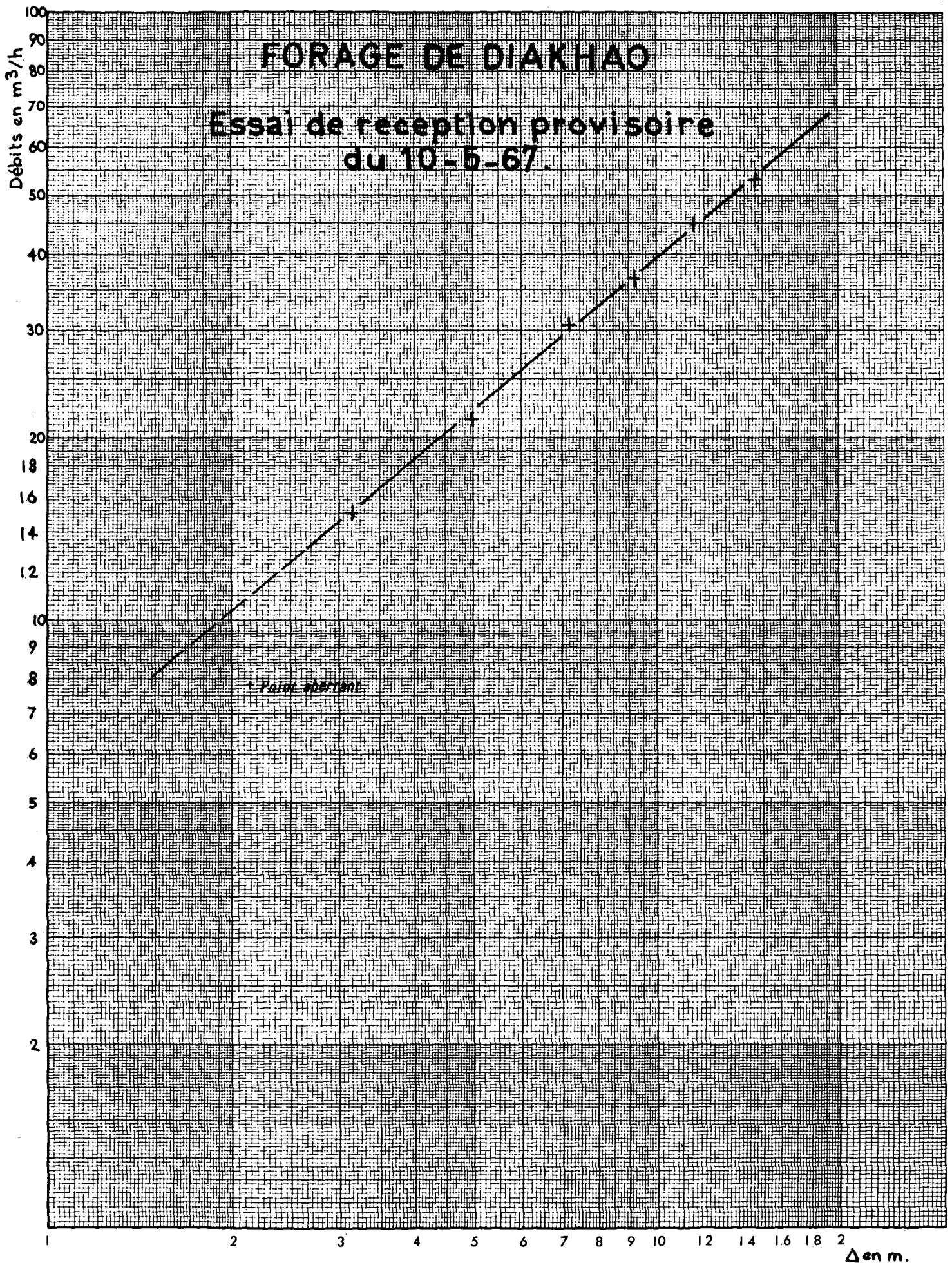
Q = 21.24 m³/h
Δ = 4.85 m

Q = 15 m³/h
Δ = 3.30 m

Q = 7.82 m³/h
Δ = 2.28 m

FORAGE DE DIAKHAO

Essai de reception provisoire
du 10-5-67.



0 25 50 75 Q

FORAGE DE DIAKHAO

Essai de réception provisoire du 10-5-67.

Point aberrant

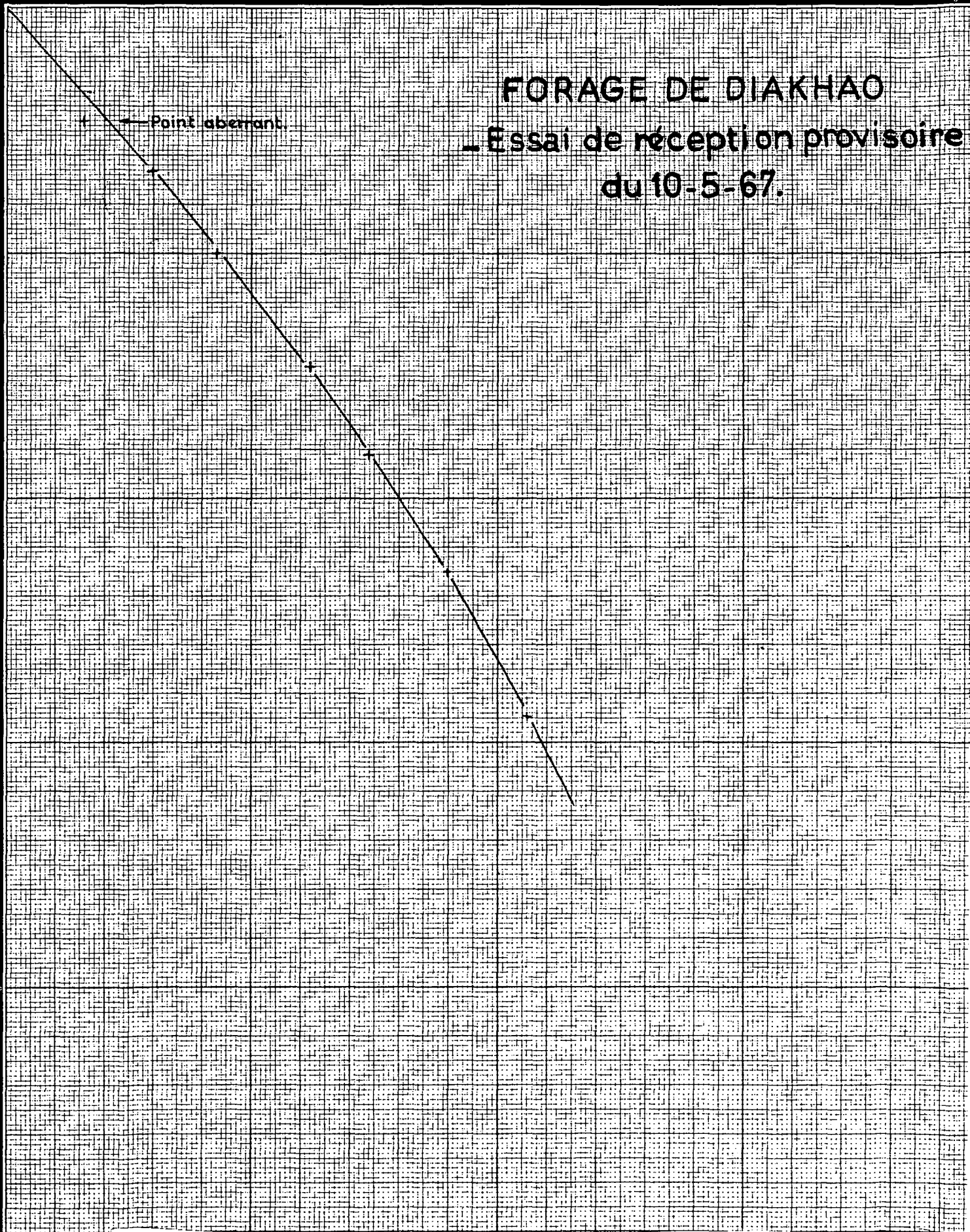
5

10

15

20

Δ



1 2 3 4 5



Point aberrant

Forage de DIAKHAO

5

10

15



CHANTIER SL 382

Forage de DIAKHAO – N° 6

Échantillon Date de prélèvement	14,55 à 57,40 m 1 ^{er} février 1967	
pH	7,6	
Teneur par litre	mg	méq
Cl ⁻	5403	152,20
S04 ⁻⁻⁻	553,5	11,52
C03H ⁻	133,5	4,45
C03 ⁻⁻		0
N03 ⁻	7	0,11
F ⁻	traces	
Total anions		168,28
Ca ⁺⁺	340,0	16,96
Mg ⁺⁺	366,7	30,16
Na ⁺	2680	116,58
K ⁺	60,0	1,54
NH4 ⁺		0
Total cations		165,24
Extrait sec	11100	

Le chimiste

A. MOREIRA

Dakar, le 11 février 1967

Le Chef de Laboratoire

J. CUPER

CHANTIER SL 382

Forage de DIAKHAO – N° 6

Échantillon	76,75 à 148,75 m	
Date de prélèvement	17 février 1967	
pH	8,5	
Teneur par litre	mg	még
Cl –	923	26,00
SO ₄ --	122	2,54
CO ₃ H –	285	9,50
CO ₃ --	45	1,50
NO ₃ –	3	0,05
F –	44,5	0,24
Total anions		39,83
Ca ++	12,8	0,64
Mg ++	15,3	1,26
Na +	824	35,84
K +	24,2	0,62
NH ₄ +	0,25	0,01
Fe	12,3	
Total cations		38,7
Extrait sec	2244	

Le chimiste

A. MOREIRA

Dakar, le 20 février 1967

Le Chef de Laboratoire

J. CUPER

Laboratoire du B. R. G. M.

Bulletin d'analyse n° 7.215

CHANTIER SL 382

Forage de DIAKHAO – N° 6

Échantillon	76,75 à 183,50 m	
Date de prélèvement	22 février 1967	
Durée de pompage	9 heures	
pH	8,5	
Teneur par litre	mg	még
Cl –	870	24,50
S04 --	49,0	1,02
C03H –	279	9,30
C03 ---	45	1,50
N03 –	2	0,03
F –	4	0,21
Total anions		36,56
Ca ++	12,4	0,62
Mg ++	6,6	0,54
Na +	776	33,76
K +	25,2	0,65
NH4 +	0,50	0,03
Fe	13,3	
Total cations		35,60
Extrait sec	2.078	

Le chimiste

A. MOREIRA

Dakar, le 25 février 1967

Le Chef de Laboratoire

J. CUPER

CHANTIER SL 382

Forage de DIAKHAO – N° 6

Débit	45 m ³ /h	
Date de prélèvement	10 mai 1967	
pH	7,9	
Teneur par litre	mg	még
Cl –	461,5	13,00
SO ₄ --	41,8	0,87
CO ₃ H –	475,8	7,80
CO ₃ --		0
NO ₃ –	traces	
F –	2	0,11
P ₂ O ₅	0,9	
Total anions		21,78
Ca ++	7,6	0,38
Mg ++	2,2	0,18
Na +	474	20,62
K +	15,6	0,40
NH ₄ +	0,50	0,03
Fe	0,5	
Total cations		21,61
Extrait sec	1296	

Le chimiste

A. MOREIRA

Dakar, le 12 mai 1967

Le Chef de Laboratoire

J. CUPER

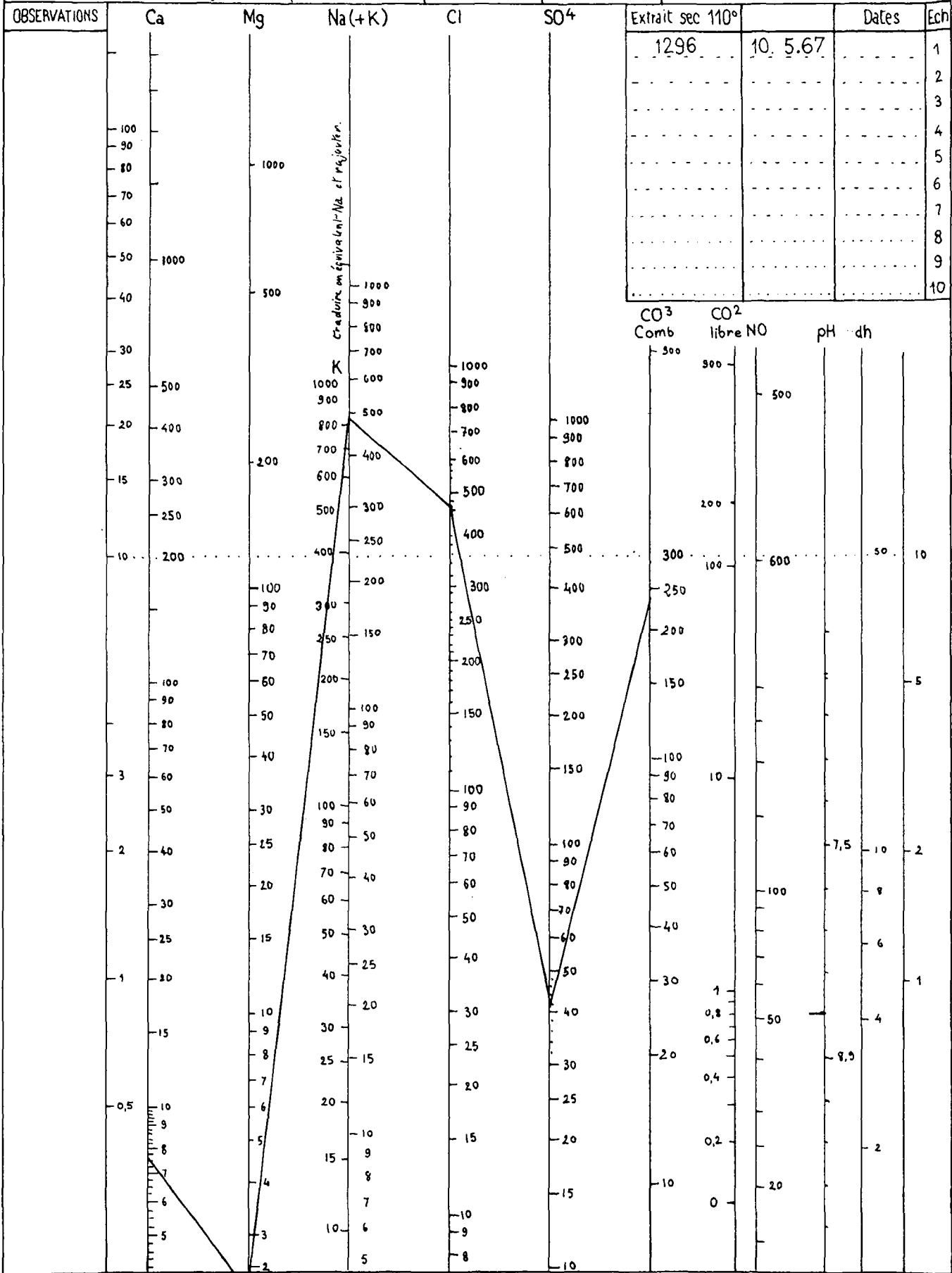
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

Teneurs en milligrammes par litre

N° Provisoire

N° I.R.H.

NOM: **DIAKHAO**



ANNEXE N° 7 – REGLEMENTATION D'EMPLOI DES OUVRAGES HYDRO–PASTORAUX

- 7 - 1 – Exemple de décret fixant les règles d'utilisation des stations de pompages et des zones de parcours qui en dépendent.**

- 7 - 2 – Exemple de décret fixant les conditions d'attribution des stations de pompage et des zones de pâturages qui y sont rattachées.**

7 - 1 – Exemple de décret fixant les règles d'utilisation des stations de pompage et des zones de parcours qui en dépendent

– DÉCRET N°

fixant les règles d'utilisation des stations de pompage et des zones de parcours en dépendant, par les collectivités ou individus en bénéficiant.

LE PRÉSIDENT DE LA REPUBLIQUE

VU

DÉCRETE :

TITRE I – ÉPOQUES D'UTILISATION

Article premier –

Les dates de mise en fonctionnement et fin de fonctionnement annuelles des stations de pompage sont fixées chaque année par décision du (+) sur le territoire duquel est située l'installation, après consultation des représentants des collectivités locales intéressées, sociales ou autres.

TITRE II – DES PATURAGES

Article 2 –

Les pâturages situés à l'intérieur d'un carré de 40 km de côté, ayant pour centre la station de pompage, sont considérés comme pâturages réservés dont l'utilisation est réglementée comme suit :

Article 3 –

Pendant les périodes de fermeture, l'usage des pâturages, à l'intérieur d'un carré de 20 km de côté, ayant pour centre la station de pompage, est interdit pendant toute la durée des pluies.

Exceptionnellement des autorisations d'occupation pourront être accordées par le (+) en fonction de la situation générale des points d'eau, mares ou puits.

Article 4 –

Pendant la période de fermeture, l'usage des pâturages réservés extérieurs au carré précisé à l'article précédent, est soumis à autorisation de pacage, délivrée par le (+) intéressé en fonction des impératifs généraux de l'Élevage.

(+) Représentant de l'autorité administrative.

Article 5 –

L'utilisation des pâturages voisins de ceux délimités à l'article 2 ci-dessus, pourra en cas de nécessité, être réglementée par le (+) en particulier lorsque des contestations s'élèveront du fait de l'application des articles 2 et 3 du présent décret.

Article 6 –

Les charges maximales à admettre sur les pâturages réservés autour des stations de pompage seront fixées annuellement par le Service de l'Élevage, en fonction des réserves fourragères existantes lors de l'ouverture.

En tout état de cause, elles ne sauraient être supérieures à 1 bovin pour 5 hectares par an.

En ce qui concerne les autres espèces, il sera tenu compte de la nature de l'alimentation habituelle de celles-ci (arbustive ou herbacée, autre que graminéenne) tant quantitativement que qualitativement .

Lorsque ces dernières seront considérées comme négligeables, la correspondance alimentaire suivante sera retenue : 1 boeuf = 1 chameau = 10 moutons ou chèvres ; chevaux ou ânes n'étant pas retenus.

Dans les cas intermédiaires, les cor rectifs apportés seront ceux nécessités par la proportionnalité de chaque type d'alimentation disponible.

TITRE III – DES FEUX

Article 7 –

Toutes précautions doivent être prises pour éviter qu'un feu quel qu'il soit, ne puisse être la cause d'un incendie de pâturage. En particulier, les feux de campement devront être effectués de telle sorte qu'ils ne puissent se communiquer à la végétation et, lors du départ des campeurs, être soigneusement éteints.

Article 8 –

Lors d'écobuage, les parcelles soumises à l'action du feu devront être au préalable soigneusement délimitées et toutes précautions prises pour éviter que le feu ne soit communiqué aux zones avoisinantes de celles soumises à l'opération, une décision de l'autorité administrative en décidant, sur avis des services compétents, l'exécution, et en fixant les modalités.

Article 9 –

La lutte préventive contre les feux à l'aide de pare-feux exécutés par brûlage d'une bande délimitée par deux tracés ad hoc est obligatoire pour les pâturages dépendant de chacune des stations de pompage.

(+) Représentant de l'autorité administrative.

Article 10 –

La lutte contre les feux déclarés est également obligatoire, dans les conditions prévues par les textes antérieurs.

Article 11 –

La participation des populations autorisées à utiliser les pâturages est obligatoire et gratuite pour :

- a) l'écobuage,
- b) l'exécution des pare-feux (brûlage)
- c) la lutte contre les feux déclarés, en :
 - 1^o avertissant l'autorité,
 - 2^o participant à la lutte, celle-ci devant être entreprise aussitôt, sans attendre que l'autorité administrative intervienne.

TITRE IV – MESURES SANITAIRES VÉTÉRINAIRES

Article 12 –

Les dispositions de l'arrêté n^o _____ sont sur le périmètre des pâturages réservés aux stations de pompage, étendues :

- a) aux vaccinations préventives systématiques,
- b) aux traitements antiparasitaires externes ou internes,
- c) à toutes mesures de prophylaxie ou de traitements collectifs que l'autorité compétente déciderait indispensables.

Article 13 –

Les vaccinations systématiques retenues sont celles-ci :

- 1^o antipestiques,
- 2^o anticharbonneuses (bactérien et symptomatique),
- 3^o antipasteurelliques,
- 4^o antipéripneumoniques,

ces deux dernières pouvant être différées, ou non, selon avis techniques compétents.

TITRE V – CULTURES

Article 14 –

A l'intérieur des périmètres réservés toute culture est et demeure interdite.

Article 15 –

Lorsqu'une culture vivrière existe déjà au moment de l'entrée en vigueur de la présente réglementation, celle-ci sera tolérée.

Toute extension ou déplacement ultérieur en est formellement interdit.

TITRE VI – DISPOSITIONS DIVERSES

Article 16 –

Des emplacements réservés à l'installation des campements autour des stations de pompage peuvent être fixés par l'autorité administrative compétente, pour des motifs, soit sociaux, soit sanitaires, soit économiques (bonne gestion des pâturages en particulier).

Article 17 –

Afin de faciliter et d'accélérer l'évolution des populations bénéficiaires des stations de pompage, le Chef de la Circonscription administrative intéressée reste habilité à prendre, sur avis des services locaux compétents, toute décision particulière qui s'avérerait nécessaire en ce qui concerne :

- a) la santé,
- b) l'enseignement ,
- c) l'économie,

sans préjudice des dispositions arrêtées par ailleurs.

TITRE VII – SANCTIONS

Article 18 –

Les infractions aux dispositions prévues par les articles 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 14, 15 alinéa 2, sont punies d'une amende de 2 000 à 20 000 francs. CFA.

L'amende sera de 10 000 à 50 000 francs dans le cas de l'article 3.

Dans le cas de l'article 9, il pourra, en outre, être prononcé une peine d'emprisonnement de 8 à 15 jours.

TITRE VIII – FORMULE EXECUTOIRE

Article 19 –

Le ministère de l'Intérieur , le Ministre de l'Économie rurale sont chargés, chacun en ce qui le concerne de l'exécution du présent décret qui sera publié au Journal Officiel de la République

Fait à le

7 - 2 – Exemple de décret fixant les conditions d'attribution des stations de pompage et des zones de pâturages qui y sont rattachées.

– DECRET N°

fixant les conditions d'attribution des stations de pompage et des zones de pâturages qui y sont rattachées, à certains groupements ou collectivités.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE

VU

DÉCRETE :

Article premier –

L'usage des stations de pompage et des zones de pâturages qui y sont rattachées sera réservé à des collectivités d'éleveurs selon une liste arrêtée par décret.

Article 2 –

Les propositions de réservation d'usage, qui devront tenir compte des droits coutumiers reconnus aux collectivités sur les zones intéressées, seront présentées par les représentants de l'autorité administrative dont il relève, après consultation des Conseils de Notables ou de Circonscriptions.

Article 3 –

Les règles d'exploitation des installations et parcours ainsi attribués seront fixées par Décret particulier.

Article 4 –

Le Ministre de l'Économie Rurale, le Ministre de l'Intérieur sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret qui sera publié au Journal Officiel de la République de

Fait à le

ANNEXE N° 8 – PARE-FEUX ET LUTTE CONTRE LES FEUX DE BROUSSE

Le dispositif des pare-feux mis en place vise à empêcher toute destruction massive des pâturages desservis par les ouvrages hydro-pastoraux.

Pour assurer l'efficacité de ce dispositif, il faut :

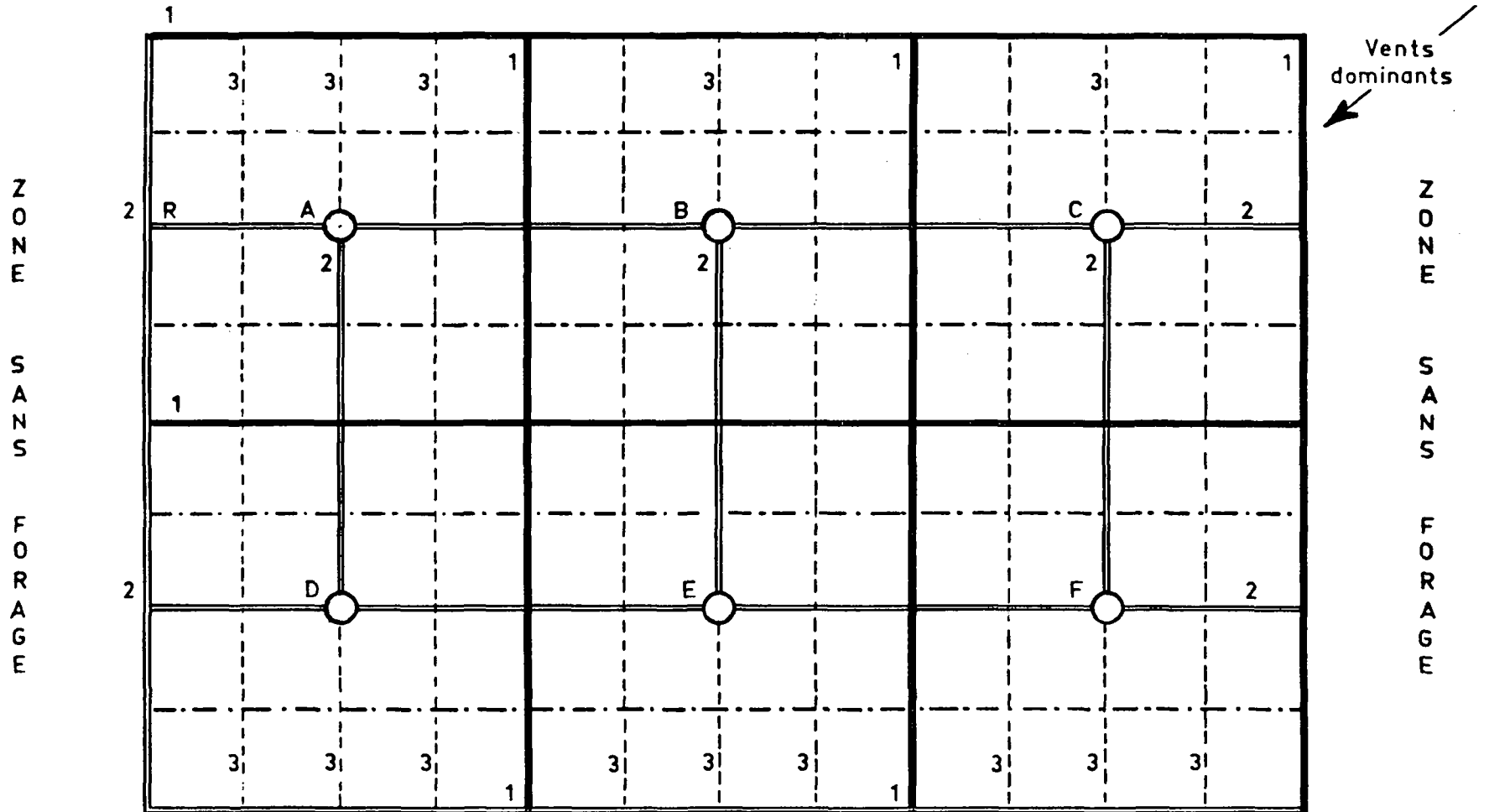
- faire des pare-feux suffisamment larges, la largeur de 9 mètres habituellement préconisée est un strict minimum.
- assurer leur entretien autant de fois qu'il est nécessaire.
- observer un ordre de priorité dans les travaux tel qu'il est proposé dans le schéma ci-dessous (RECEVEUR(14)).
 - 1) pare-feux espacés perpendiculairement à la direction des vents dominants de la région équipée en ouvrages hydro-pastoraux.
 - 2) débroussement des abords des pistes reliant les ouvrages.
 - 3) densification du réseau par une nouvelle série de pare-feux perpendiculaires à la direction des vents.
 - 4) terminaison du quadrillage par des pare-feux perpendiculaires aux précédents (3).

Les principes de la lutte contre les feux de brousse ont été évoqués dans le deuxième chapitre de la première partie 1 - 4 - 2 - page 30.

1 - Inventaire des ressources en eau et en pâturages

1 - 4 – Étude des ressources en pâturages et des contraintes épidémiologique et agrostologique.

ZONE SANS FORAGE



LEGENDE ·

A ○ Forage

1
2
3
4

Ordre de priorité

ZONE SANS FORAGE

 Route entre 2 forages à traiter comme pare-feu

D'après P. Receveur (14)

ANNEXE N° 9 - BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE —

OUVRAGES :

ARCHAMBAULT A. —

Les eaux souterraine de l'Afrique Occidentale

BURGEAP — BCEOM — 15, square Max Hymans PARIS XV è

* AUDIBERT M. —

Étude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal «Nappe Maëstrichtienne »

B. R. G. M. (1966)

BAILHACHE R. & ROBINET A. —

La gestion prévisionnelle du ranch sahélien d'Ekrafane

Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères, juin 1969.

B. C. E. O. M. — RENAULT ENGINEERING —

Étude et recherche de matériels d'exhaure pour l'Afrique de l'Ouest.

C. I. E. H. — Ministère de la Coopération

20, rue Monsieur PARIS 7 è (1964)

BREMAUD O. & RADIER H. —

Les bases de l'hydraulique pastorale dans le Soudan Oriental

Rev. ele. vét. pays tropicaux 1954, 7 (1) : 19 - 36.

BREMAUD O. —

Nomadisme et transhumance en Afrique subsaharienne —

Rev. Vét. Pays tropicaux, 1955,8 (4) : 327 - 55

BREMAUD O. & PAGOT J. —

Pâturage, nomadisme et et transhumance en zone sahélienne

in « Les problèmes de la zone aride », UNESCO 1962

BREMOND R. —

Technique de développement des puits

C. I. E. H. — B. C. E. O. M. — 15, square Max Huysmans PARIS XVè

BREMOND R. —

Étude de l'influence des caractéristiques technologiques des puits et forages sur leur rendement et leur longévité :

1 ere partie — Ensablement — (1964)

2 eme partie — Le colmatage - (1965)

BRION A. & PAGOT J. —

Les carences alimentaires du bétail dans leurs rapports avec la pathologie animale

Rev. Elev. Méd. Vét. Pays tropicaux , 1955, 8 (2-3) : 223 - 76

CALVET H., PICART P., DOUTRE M. & CHAMBRON J. —

Aphosphorose et botulisme au Sénégal

Rev. Elev. Méd. Vét. Pays tropicaux, 1965, 18 (3) : 249 - 82

- CASTANY G. —
Traité pratique des eaux souterraines
DUNOD PARIS (1963)
- CHERET I. —
Rapport d'interprétation des résultats obtenus au Centre Expérimental des éoliennes de Louga (Sénégal)
B. C. E. O. M. (1964)
- CHERET I. —
Étude du régime des vents en Afrique Occidentale
CIEH — BCEOM — PARIS (1962)
- COGERAF —
Aménagements d'hydraulique pastorale Tchad-Niger — Tomes I et II
Aménagements d'hydraulique pastorale — Rapport de synthèse
2, avenue de Ségur PARIS VI^e (1962)
- COOPERATION Mémento de l'Agronome
- * DEFOSSEZ M. —
Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la Boucle du Niger
BRGM (1963)
- DEGALLIER M. —
Normalisation des fiches d'inventaire des ressources hydrauliques et notice d'utilisation
CIEH — BCEOM 15, square Max Hymans PARIS XV^e
- * DEGALLIER R. —
Hydrogéologie du Ferlo septentrional (Sénégal)
B. R. G. M. (1962)
- * DEPAGNE J. —
Étude hydrogéologique de la région d'Indini, en vue de l'alimentation de Nouakchott
(République Islamique de Mauritanie)
B. R. G. M. (1967)
- DOUTRE M. & CHAMBON J. —
Le botulisme des ruminants et des équidés au Sénégal
Rev. Elev. Méd. Vét. Pays tropicaux, 1966, 19 (4) : 495 - 510
- DOUTRESSOULLE G. —
L'élevage au Soudan Français
Alger, Éditions Imbert, 1952
- DUPIRE M. —
Les facteurs humains de l'économie pastorale (Études nigériennes)
IFAN — C. N. R. S. (janvier 1962)
Les forages dans l'économie peule
- DUPUIS J. & HLAVEK R. —
La subdivision d'outillage mécanique de l'hydraulique
(S. O. M. H.) au Sénégal (1970)
- DUPUIS J. & HLAVEK R. —
Compte rendu d'une mission d'information effectuée auprès de l'Office des eaux du sous-sol
(O. F. E. D. E. S.) de la République du Niger (1970)

- * ELOUARD P. –
Étude géologique et hydrogéologique du Guelba mauritanien et de la vallée du Sénégal
B. R. G. M. (1962)
- GIRARDIER J.P. –
Les moteurs solaires à collecteurs plans.
Annales des mines (septembre 1964)
Le moteur solaire face au moteur Diesel
Annales des mines (mai 1967)
- GRABER M., THOME M. –
La cysticerose bovine en République du Tchad
Rev. Elev. Méd. Vét. Pays tropicaux 1964, 17 (3) : 441 - 66
- GREHAM M. –
Mise en valeur et maîtrise des eaux de surface et des eaux souterraines en vue de l'utilisation optimale
des terrains de parcours (Rome, F.A O. septembre 1968)
- GREIGERT J. –
Les eaux souterraines de la République du Niger
T. P. NIAMEY (1968)
- GREIGERT J. & ROURE J. –
Note sur l'implantation des forages dans la région de Tahoua (1950)
- * GUERIN-VILLEAUBREIL G. –
Hydrogéologie en Côte d'Ivoire
B. R. G. M. (1962)
- LARRAT R. – Hydraulique pastorale, supports du Service de l'Élevage du Sénégal
- LE ROLLAND – Effets de la sécheresse au Niger – SEDES (1970)
- LEVIF J. – Économie pastorale de la région de Moussoro (Tchad)
Maison-Alfort, I. E. M. V. T. juin 1966
- MAHE–
Hydraulique pastorale - Conférence consultative de l'Élevage
Dakar, 1936 – Gorée, imprimerie du Gouvernement général de l'A.O.F.
1936, pp: 199 - 223
- MARTIN A. –
Les nappes de la presqu'île du Cap Vert (République du Sénégal)
Leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar
- MARTY J.P. & ROBINET A. –
Le ranching, pôle de développement du monde sahélien
Coopération (1967) PARIS
- MATHIEZ J.P., HUOT G. –
Prospection géophysique et recherches d'eaux souterraines
C. I. E. H. – B. C. E. O. M. – PARIS (juin 1966)
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE –
La division de l'hydraulique rurale – Rapport de mission (MALI 1970)
Secrétariat d'État aux affaires Étrangères

MOURLEVAT –

Rapport de mission OFEDES – Coopération 1969 PARIS

RECEVEUR P. –

Définition d'un programme d'aménagements hydro-pastoraux dans la zone sylvo-pastorale
PARIS – Ministère de la Coopération (juin 1966)

RECEVEUR P. –

Rapport annuel 1959-1960, Ministère de l'Économie Rurale
République du Niger.

SIMONNET H. –

L'eau – Influence de l'abreuvement sur la production animale
Rev. Elev. Méd. Vét. Pays tropicaux, 1955, 8 (2 - 3) : 179 - 208
Techniques rurales en Afrique – Paris, Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères
N° 3 Les ouvrages en gabions 1965
N° 8 Les petits barrages en terre 1968
N° 13 Le ranching

II – CARTES

Cartes générales :

- Hydrogéologie du bassin du lac Tchad (Tchad, Niger, Nigéria, Cameroun)
1/ 1 000 000 UNESCO – PNUD , 1969
- Carte hydrogéologique des terrains éruptifs et métamorphiques d'Afrique Occidentale
1/ 2 000 000 BISCALDI, 1969 - B. R. G. M. – C. I. E. H. – (2 feuilles)

CAMEROUN

- Carte hydrogéologique : Maroua, Fort-Foureau
1/ 500 000 , TILLEMENT, 1969, D. M. G. Cameroun
- Carte hydrogéologique du bassin du Tchad (République du Cameroun)
1/ 200 000 BISCALDI, (en cours d'impression) , 3 feuilles.
N/Goulfey-Fort-Lamy , C/Mora-Mogroum, S/Maroua-Bongor-Fianga avec notice.

COTE D'IVOIRE

- Carte hydrogéologique de reconnaissance de la Côte d'Ivoire
1/ 1 000 000 MAILLARY, 1964, B.R.G.M. SODEMI

MALI

- Carte hydrogéologique du Mali
1/1 000 000 J. ROURE – Service de l'Hydraulique – 1957

MAURITANIE

- Carte hydrogéologique du bassin sédimentaire du S.O. Mauritanien
1/500 000 H. PALOC, 1962. B. R. G. M.
- Carte hydrogéologique de la région d'Oumm Dferat-Fort-Gouraud
1/ 200 000 H. PLOTE, 1965 B. R. G. M. avec notice

- Carte hydrogéologique Faraoun, Chingetti, Atar
1/ 200 000 R. TROMPETTE et H. MOUSSU – J. MARGAT, 1966, B. R. G. M. avec notice

NIGER

- Carte de reconnaissance hydrogéologique du Niger Sud-Oriental
1/1 000 000 F. PIRARD, 1964, B. R. G. M.
- Carte hydrogéologique du Niger
1/ 1000 000 J. ROURE, Service de l'Hydraulique, 1953
- Carte hydrogéologique du Niger (S.W.)
1/ 500 000 B. f. B. – B. R. G. M. , 1965 , Inédite

SÉNÉGAL

- Carte hydrogéologique du Ferlo Septentrional
1/500 000 R. DEGALLIER, 1962 B. R. G. M.
- Carte hydrogéologique de la République du Sénégal
1/500 000 DEPAGNE, MOUSSU, MARGAT, 1965, B. R. G. M. 4 feuilles
- Carte hydrochimique des nappes phréatiques du Sénégal
1/ 1 000 000 DEPAGNE, MOUSSU, MARTIN, NAPIAS, 1966, B. R. G. M.
- Carte hydrogéologique de la presqu'île du Cap Vert
1/50 000 MARTIN, 1968, B. R. G. M. – F. A. C. 3 feuilles
- Carte hydrogéologique de synthèse : Ferlo, Ouest du lac de Guiers, Ouest de Tambacounda
1/500 000 B. R. G. M. 1969

TCHAD

- Carte hydrogéologique du Tchad, feuille Moundou
1/ 500 000 TORRENT, 1965, B. R. G. M. avec notice
- Carte hydrogéologique feuille Aouk-Salamat
1/500 000 MERMILLOD, 1966, B. R. G. M. avec notice
- Carte hydrogéologique feuille Mao
1/ 500 000 SCHNEIDER, 1966, B. R. G. M. avec notice
- Carte hydrogéologique feuille Fort-Lamy
1/ 500 000 SCHNEIDER, 1966, B. R. G. M. avec notice
- Carte hydrogéologique feuille Bongor
1/ 500 000 TORRENT, 1966, B. R. G. M. avec notice
- Carte hydrogéologique feuille Batha
1/ 500 000 ABADIE, GAGNIERE, 1966, B. R. G. M. avec notice
- Carte hydrogéologique feuille Pays-Bas - Largeau
1/ 500 000 SCHNEIDER, 1966, B. R. G. M. avec notice
- Carte hydrogéologique du Tchad
1/ 1 500 000 SCHNEIDER, 1969, B. R. G. M. – F. A. C. avec notice à paraître.

N.B. – Certaines cartes classées ci-dessus dans un pays débordent sur les pays voisins.

* Les ouvrages ainsi repérés dans la liste ci-dessus possèdent en annexe des cartes hydrogéologiques.

IMPRIMERIE GUINANT PERIER

94, rue St. Lazare 75009 Paris

DEPOT LEGAL

1er TRIMESTRE 1973