

**SNU**

**ASSOCIATION NEERLANDAISE  
D'ASSISTANCE AU DEVELOPPEMENT**

---

NATIONAL REFERENCE CENTRE  
FOR RURAL WATER SUPPLY AND  
SANITATION (SALIA INSURCO)

## LES PUIITS - CIMENT DE L'AIR

( Synthèse d'une enquête réalisée en 1991)

par René MERCIER  
hydrogéologue.



**SNU**

**ASSOCIATION NEERLANDAISE  
D'ASSISTANCE AU DEVELOPPEMENT**

---

LIBRARY  
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE  
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND  
SANITATION (IRC)

## LES PUIITS - CIMENT DE L'AIR

( Synthèse d'une enquête réalisée en 1991)

par René MERCIER  
hydrogéologue.



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 - SPECIFICITES ET ENVIRONNEMENT DE L' AIR.....	3
11 - Définition, situation et environnement de l' AIR.....	4
111 - Au plan physique.....	4
112 - Aux plans écologique, économique, et humain.....	4
12 - Hydrogéologie.....	5
121 - Hydrogéologie des bassins sédimentaires situés à l'Ouest et au Sud de l' AIR.....	6
122 - Hydrogéologie des zones de socle cristallin, sous climat sahélo-soudanais.....	6
123 - Hydrogéologie de l' AIR.....	7
13 - Développement de l' exploitation de la ressource en eau souterraine de l' AIR.....	8
131 - La période ancienne.....	8
132 - La période intermédiaire.....	9
133 - La période actuelle (du début des années 70 à ce jour).....	9
14 - Causes et conséquences de la surexploitation actuelle de certaines nappes.....	10
141 - Causes.....	11
142 - Conséquences.....	11
CHAPITRE 2 -FACTEURS HUMAINS ET TECHNIQUES DE LA CONSTRUCTION DES PUIITS AU NIGER ET DANS L' AIR.....	13
21 - La hiérarchie des acteurs des projets.....	13
22 - L' optique des décideurs ou la philosophie des projets.....	14
23 - Le rôle des responsables de terrain.....	15
24 - Le personnel technique d' exécution.....	16
25 - La population et son rôle.....	17
CHAPITRE 3 -GENERALITES SUR LES TECHNIQUES DE PUIITS-CIMENT ET SUR LES CONDITIONS DE LEUR MISE EN OEUVRE DANS LE CADRE DES PROJETS.....	18
31 - Généralités sur les techniques de puits-ciment.....	18
311 - Quelques définitions.....	18
3111 - Remarques préliminaires.....	18
3112 - Les différentes parties d' un puits.....	19
312 - Les principaux modèles de puits construits dans l' AIR.....	19
313 - Le matériel de chantier.....	20
32 - Les matériaux entrant dans la construction des puits- ciment.....	22
321 - Matériaux de base.....	22
322 - Les normes.....	22
33 - Conditions de la mise en oeuvre des projets.....	25
331 - La préparation d' un projet.....	26
332 - Les travaux de chantier.....	26
3321 - La confection des bétons, des mortiers, des buses et des parpaings.....	26
3322 - L' organisation saisonnière des chantiers.....	27
34 - Les prix de revient.....	28
341 - Réserves.....	29
342 - Interprétation.....	29
343 - Perspectives.....	30
CHAPITRE 4 - INFLUENCE DE L' ENVIRONNEMENT LOCAL SUR LA CONSTRUCTION DES PUIITS DANS LES PLAINES ALLUVIALES DE L' AIR.....	31
41 - Rappel sommaire de notions d' hydrogéologie des nappes alluviales.....	31
411 - Quelques caractéristiques physiques des aquifères alluviaux.....	31
412 - Facteurs de cohésion des alluvions.....	32
413 - Les variations de la teneur en eau des réservoirs et les fluctuations piézométriques.....	32
42 - Les caractéristiques des aquifères alluviaux de l' AIR.....	33
421 - Remarque préliminaire.....	33
422 - Les processus de la recharge et leur influence sur la piézométrie.....	34
423 - Influence des variations du taux d' humidité sur la tenue des parois de fouilles.....	34
424 - Les coulées basaltiques associées aux alluvions.....	36



43 - Les matériaux .....	37
431 - Matériaux achetés dans le commerce .....	37
432 - Matériaux locaux.....	37
433 - Préparation et stockage des matériaux en vue de leur mise en oeuvre ..	38
44 - Observations pratiques diverses.....	39
441 - Difficultés de transport du matériel.....	39
442 - Les problèmes de sécurité des puisatiers.....	39
443 - Calendrier annuel des travaux .....	39
45 - Adaptation du programme technique aux conditions d'avancement.....	40
451 - Terrains meubles mais cohérents sur toute la hauteur des alluvions traversées .....	40
452 - Présence d'épais niveaux instables.....	41
453 - Obstacles rocheux dans les alluvions ..	41
4531 - Gros blocs.....	41
4532 - Coulées de basaltes.....	42

CHAPITRE 5 - SYNTHÈSE DES DONNÉES RECUEILLIES SUR LES PUIITS MONOCOLONNES, MONOLITHIQUES EN USAGE DANS L' AIR.....	45
51 - Puits LWR .....	45
511 - Identification.....	45
512 - Description de la filière standard.....	45
5121 - Caractéristiques de l'ouvrage terminé .....	45
5122 - Programme de construction.....	47
5123 - Matériel spécifique.....	47
5124 - Organisation et logistique.....	48
5125 - Niveau de compétence et formation des puisatiers.....	48
5126 - Comptes-rendus d'enquêtes.....	49
513 - Filières utilisées dans l' AIR .....	49
5131 - Travaux du Génie rural (GR).....	49
5132 - Travaux des ONG.....	50
52 - Puits AFVP.....	50
521 - Identification.....	50
522 - Filière originale ( BADEGUICHIRI 1979) .....	52
523 - Les filières des grands projets de l' AIR, depuis 1986.....	53
5231 - Filière du projet CCCE (seconde moitié des années 80).....	53
5232 - Puits du projet FED ( seconde moitié des années 80 et début des années 90 ).....	54
5233 - Filière de TAMAZALAK (depuis le milieu des années 80 en ce qui concerne le volet puits) .....	54
5234 - Filière de l' "ASSOCIATION HYDRAULIQUE D' ARLIT" (début des années 90 ?).....	57

CHAPITRE 6 - SYNTHÈSE DES DONNÉES RECUEILLIES SUR LES PUIITS MACONNES EN USAGE DANS L' AIR .....	58
61 - Les puits-pierres ou puits GTZ .....	58
611 - Identification .....	58
612 - Description de la filière standard.....	58
6121 - Caractéristiques de l'ouvrage terminé.....	58
6122 - Programme d'exécution .....	60
613 - Organisation, formation du personnel, matériel et moyens logistiques .....	61
614 - Variantes.....	61
615 - Observations de terrain et conclusions.....	62
62 - Le puits - brique AFVP 1.....	63
621 - Identification.....	63
622 - Description de la filière standard du puits télescopé.....	64
6221 - Caractéristiques de l'ouvrage terminé.....	64
6222 - Matériel spécifique et programme d'exécution.....	65
623- Description de la filière standard, pour puits monocolonne .....	66
624- Compte - rendus d'enquête .....	66
6241 - IFEROUANE.....	66
6242 - BAGZANS.....	67
625- Conclusions.....	67

<sup>1</sup> Rappelons que le terme de "puits-parpaing" serait plus approprié.





CHAPITRE 7 - LE Puits OFEDES TÉLESCOPÉ. ....	69
CHAPITRE 8 -L'ENTRETIEN ET L'APPROFONDISSEMENT DES Puits.....	71
81 - Travaux courants. ....	71
811- Réalimentation du massif annulaire de gravier d'un puits télescopé.....	71
8111- Processus et conséquences éventuelles de la baisse du massif annulaire de gravier	71
8112 - Entretien des massifs annulaires de gravier des puits télescopés..	72
812 - Cas de diminution anormale du débit et de la productivité du puits...	73
813 - Obturation des petites fissures et réparation des petites brèches. ....	73
82 - travaux à confier a un pulsatiér confirme ou a une équipe spécialisée.....	74
821 - Les approfondissements de puits - ciment.....	74
822 - Le redressement des colonnes inclinées .....	75
823 - Consolidation et réhabilitation des parois des puits - ciment .....	76
824 - Transformation des puits traditionnels en puits-ciment .....	77
REMARQUE FINALE .....	78
ANNEXE .....	79



## INTRODUCTION

La présente étude a été demandée par la direction au NIGER, de l'Association Néerlandaise d'Assistance au Développement (S.N.V.) Elle entre dans le cadre de la préparation du projet "P.L.O. AIR" destiné à la région de TABELLOT. Le financement en a été assuré par le Ministère de la Coopération Néerlandais

Il existe entre 2 500 et 3.000 puits-ciment dans l' AIR. Ils constituent une des clés du développement socio-économique de ce grand massif montagneux. En outre leur construction a drainé d'importants investissements depuis au moins une vingtaine d'années. Il était donc important de faire le point sur ce sujet.

Nous<sup>1</sup> avons bénéficié d'une grande latitude dans la manière d'aborder l'étude. Plusieurs directions de recherche s'ouvraient. Ceci explique que le rapport ne soit pas limité strictement au domaine technique

L'enquête s'est déroulée essentiellement au second semestre 1991. Les sources d'informations ont été une recherche documentaire, des interview d'organismes et de services compétents, des tournées de terrain, ainsi que notre expérience personnelle antérieure. Le temps de travail convenu a été largement dépassé. Cependant l'étude n'est à l'abri ni des lacunes ni des erreurs, ne fut-ce qu'en raison des pièges classiques des enquêtes.

Les recherches de terrain ont été de deux sortes :

- enquêtes extensives sur des puits de modèle identique, réalisés dans des contextes différents, afin de mettre en évidence l'influence des conditions d'exécution,
- vérifications, par un examen attentif d'ouvrages précis, des critiques entendues à l'encontre de tel ou tel modèle de puits ou des modalités de sa mise en oeuvre

Au cours de cette étude, comme dans nos recherches antérieures, nous avons rarement eu l'occasion d'observer les réalisations de certains organismes. Le fait de ne pas les citer ou d'être discret sur leurs activités ne doit pas être considéré, a priori, comme une critique implicite. Dans tous les cas, nous avons cherché à être objectif (ce qui ne signifie pas que nous y soyons parvenu) et nous prenons la responsabilité de nos propos

---

<sup>1</sup> Le pronom "nous", dans ce rapport, désigne l'auteur



Le schéma du rapport est le suivant:

- Spécificités de l'AIR (ch. 1),
- Généralités sur la construction des puits dans le cadre de projets (ch. 2 à 4),
- Les puits -ciment monocolonne monolithiques en usage dans l'AIR (ch. 5),
- Les puits-ciment maçonnés, en usage dans l'AIR (ch. 6),
- Le puits OFEDES télescopé (ch. 7),
- L'entretien et l'approfondissement des puits (ch. 8)

Pour leur aide, nous remercions nos accompagnateurs sur le terrain ( ISSOUFOU le chauffeur, AHMED MOUSSA , AMOUMOUN AGALI), tous les professionnels du puits que nous avons consultés (que ceux dont le nom n'est pas cité, nous excusent) ainsi que les amis qui ont relu annoté et critiqué ce rapport ainsi que ALBERT SOER, assistant technique de la SNV, pour sa patience

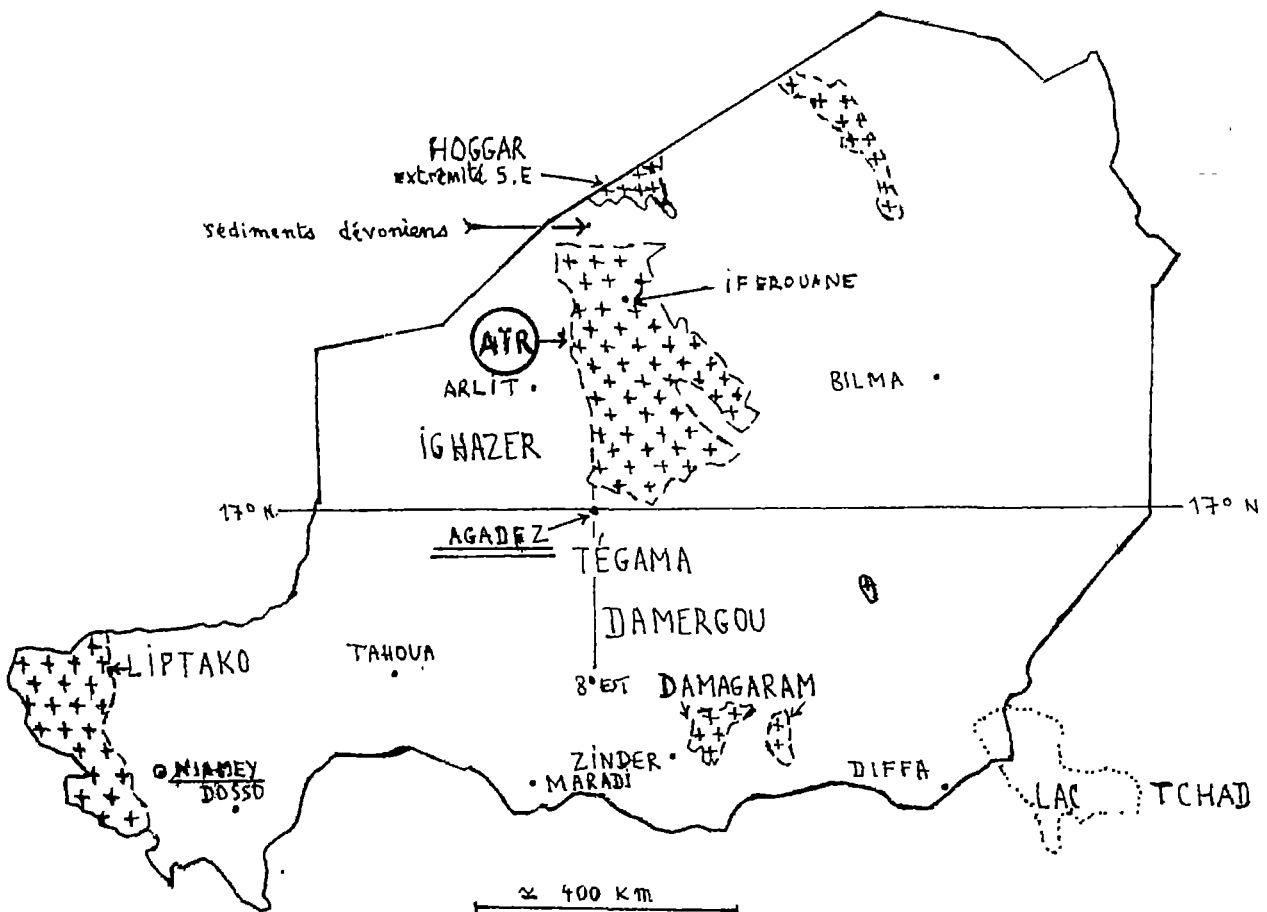


## CHAPITRE 1

## SPECIFICITES ET ENVIRONNEMENT DE L' AIR

Dans ce chapitre, nous définirons entre autres, les limites géographiques de l' AIR , par crainte des malentendus, et nous soulignerons les spécificités de cette région pour éviter au lecteur concerné par les projets de puits, des extrapolations hasardeuses

Figure n°1 . Situation du massif de l' AIR







## 11 - DEFINITION, SITUATION ET ENVIRONNEMENT DE L'AIR

### 111 - Au plan physique

L'AIR est un grand massif montagneux, occupant le centre-Nord du NIGER. Pour le définir de manière précise, faut-il prendre des critères sociologiques, altimétriques ou géologiques ? Dans le cadre de ce rapport, nous admettrons des limites géologiques. Ce sont les plus adéquates pour une étude des puits de l'ensemble d'une région. La province "AIR" des géologues constitue sur le plan hydrogéologique une entité assez homogène et très différente des régions voisines. Il est peut-être utile de préciser qu'au Nord, elle s'arrête à hauteur de l'ADRAR TIMESGAR et de l'ADRAR BOUS. Au delà, en direction de la frontière algérienne on traverse un couloir large d'une cinquantaine de km, constitué de terrains sédimentaires dévoniens, puis on aborde une nouvelle zone cristalline qui ne se rattache pas à l'AIR mais au HOGGAR.

D'après la "Notice explicative sur la carte géologique de l'AIR" (bib 12) le massif est compris entre les parallèles 17° et 20° 30' et entre les méridiens 7°30' et 10°. Sa superficie est de 61.500 km<sup>2</sup>. C'est une boutonnière de terrains cristallins anciens, pénéplanée, englobant des massifs de granite jeune et des formations volcaniques, au relief plus élevé. Ses dimensions sont 400 km dans le sens N-S, et 100 à 200 km d'Est en Ouest. Son altitude varie entre 400 et 2 000 m.

Au Nord, à l'Ouest et au Sud, les régions voisines appartiennent à des bassins sédimentaires (sauf l'enclave du HOGGAR en territoire nigérien). En affleurement, on observe principalement les formations du CONTINENTAL TERMINAL (C.T.), gréseuses, argileuses, sableuses. Citons la dépression de l'IRHAZER, à l'Ouest ; le plateau dit du TEGAMA, faiblement ondulé, au S-W et au Sud. Enfin, à l'Est, l'AIR est flanqué par les dunes du TENERE.

### 112 - Aux plans écologique, économique, et humain

Cet ensemble est à cheval sur le Nord-SAHÉL et sur le SAHARA. L'aridité croît du Sud au Nord. L'environnement écologique, en dehors des villes, est le suivant :

- prédominance des cultures pluviales au Sud de l'isohyète 300, qui passe approximativement par les villes de TANOUT et de TAHOUA,
- activités pastorales (et caravanières?) dans les plaines sédimentaires à végétation steppique, entre les isohyètes 300 et 100,
- mélange d'activités pastorales, caravanières et de jardinage dans l'AIR. L'isohyète 100, admise comme limite des déserts, se situe entre AGADEZ et IFEROUANE, mais sa position varie avec les fluctuations climatiques pluri-annuelles.



Il convient de souligner les valeurs très élevées de l'évapotranspiration potentielle (ETP) car elles indiquent l'ordre de grandeur des besoins en eau des cultures irriguées. L'ETP annuelle est d'environ 2.500 mm à l'aéroport d'AGADEV. Elle doit varier dans les vallées de l'AIR, en fonction d'une part, de leur orientation et de leur encaissement (influence sur la force du vent) d'autre part, de l'altitude.

Le nombre d'habitants de l'AIR ne figure pas dans le document administratif consulté (répertoire des villages du NIGER Recensement de 1988). Sous réserve d'un dépouillement des archives du recensement, on peut admettre comme ordre de grandeur vraisemblable, une population totale de 30 000 habitants, dont 50 % vivent de l'élevage et 50 % du jardinage (les caravaniers pouvant, semble-t-il, appartenir à l'un ou l'autre groupe). La majorité habite entre 500 et 1 000 m d'altitude. Le village permanent le plus élevé est, à notre connaissance, celui d'EGHARGHAR, dans les BAGZANS vers 1.750-1.800 m d'altitude. Les agglomérations de quelque importance sont TABELLOT, EL MEKI, TIMIA, IFEROUANE. Les villes sont situées dans la zone sédimentaire à l'Ouest de l'AIR. Ce sont AGADEV, TCHIROZERINE et ARLIT. Elles représentent des enclaves modernes, dans une zone (AIR et régions sédimentaires) dont le caractère rural traditionnel est très marqué. Elles interfèrent dans son économie, en particulier en absorbant une partie des productions agricoles, en attirant la main d'œuvre et en servant de lieu de refuge lors des catastrophes climatiques. ARLIT et TCHIROZERINE ne concurrencent pas les activités traditionnelles dans l'exploitation de la ressource en eau. Il n'en est pas de même de la ville d'AGADEV dont les captages exploitent la même nappe alluviale qu'une grande zone de jardins contiguë.

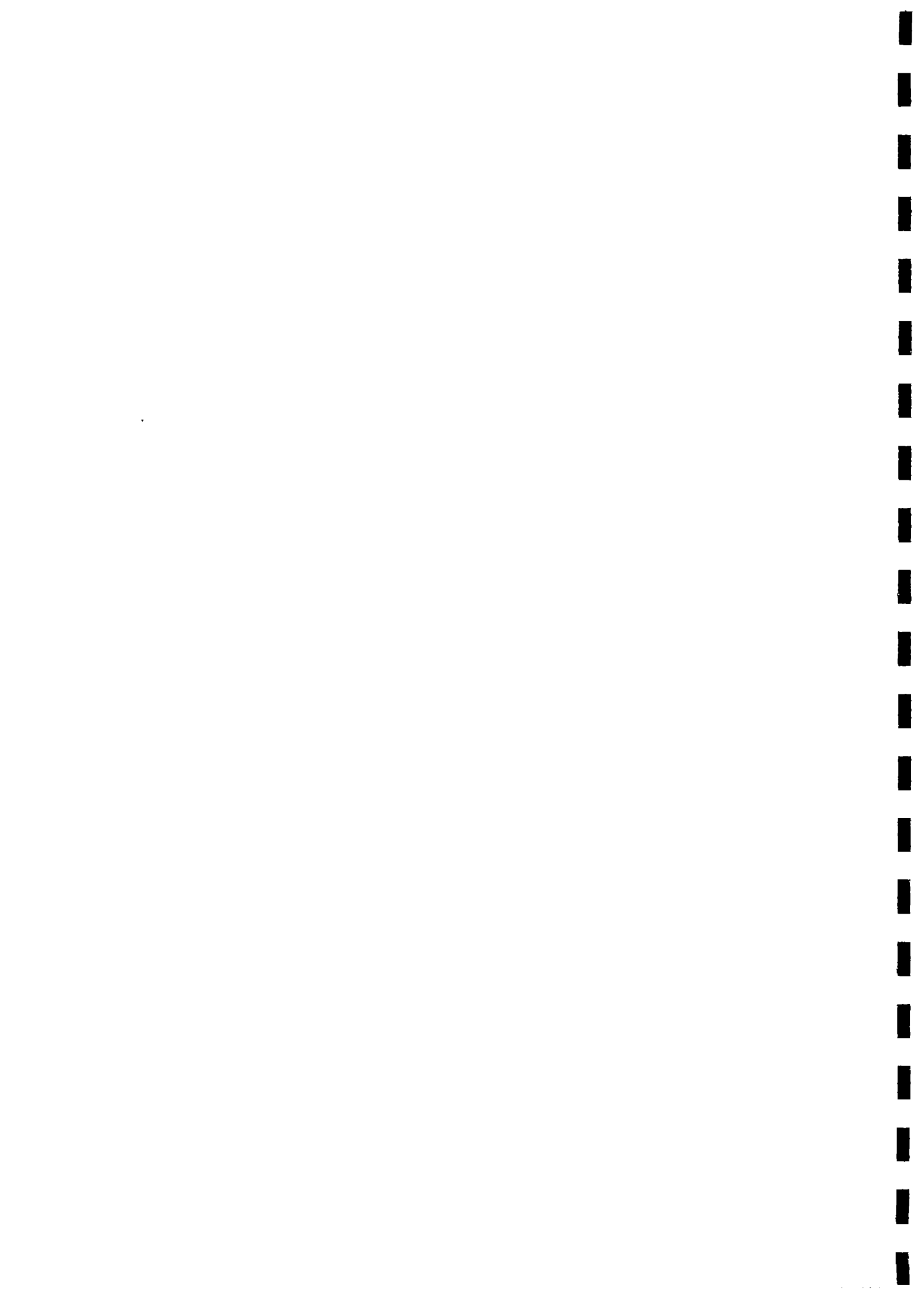
Dans l'AIR, existe une unité linguistique et culturelle, caractérisée entre autres, par l'usage du TAMACHEK. Dans les bassins sédimentaires voisins, il s'y ajoute une forte implantation de pasteurs peuls BORORO. Dans les villes, on observe naturellement un brassage de populations, d'origines diverses et une forte concurrence linguistique et culturelle.

## 12 - HYDROGÉOLOGIE

Du fait du climat, la ressource en eau est essentiellement souterraine dans toute la région. Il est important de prendre conscience du fait que les potentialités de l'AIR dans ce domaine, n'ont rien de commun avec celles des grands bassins sédimentaires, ni avec celles des zones de socle sahélo-soudanaise.

### 121 - Hydrogéologie des bassins sédimentaires situés à l'Ouest et au Sud de l'AIR

Dans les bassins sédimentaires dont il est question ici, la ressource est représentée par deux types de nappes souterraines: les grandes nappes profondes, peu ou pas renouvelables et les petites nappes proches du sol, renouvelables.



Les grands réservoirs aquifères sont profonds et souvent en charge, ce qui amène à les capter par des forages (éventuellement avec des "puits-forages, cf. bib 1) plutôt que par des puits. Leurs réserves peuvent sembler à première vue importantes, mais elles le sont beaucoup moins que celles de certains grands bassins sédimentaires Nord-sahariens. Pour quelques siècles, il n'existe pas de risque d'épuisement des nappes, si l'on n'entreprend pas de projet démesuré d'exploitation. Mais il faut se rappeler que le climat évolue vers un pic d'aridité et que le temps, dans ce domaine, se compte en milliers d'années.

Les petites nappes proches du sol, contenues dans des formations quaternaires (alluvions, dépôts dunaires) sont dispersées. Sauf celles qui sont alimentées par des remontées artésiennes sur des axes de faille, elles se classent dans la ressource renouvelable, à faible réserve. Les variations de la réserve de chacun de ces aquifères sont liées à la pluviométrie sur son bassin-versant superficiel. Pérennes ou saisonnières, ces nappes jouent un rôle important dans l'économie traditionnelle basée sur l'élevage.

#### 122 - Hydrogéologie des zones de socle cristallin, sous climat sahélo-soudanais

Il ne faut pas non plus extrapoler à l'AIR, les conditions hydrogéologiques des zones de socle sous climat sahélo-soudanais, mieux connues. Les aquifères de ces zones, ont été bien étudiés au LIPTAKO nigérien et surtout au BURKINA FASO et dans les pays voisins. Ce sont essentiellement des bi-couches "altérites / fissures", d'extension limitée, situés dans des vallées, généralement sur des noeuds de failles. Les alluvions sont absentes ou d'épaisseur faible. **Les potentialités et les conditions de captage de ces aquifères, sont très différentes de celles observées dans les vallées de l'AIR. En particulier, on considère comme très satisfaisant, un débit de 3 m<sup>3</sup> / heure, pour un puits-ciment, alors que dans les alluvions de l' AIR, le même ouvrage peut généralement fournir des débits beaucoup plus élevés.**

Il faut aller loin au Sud de l'AIR, dans les petites zones de socle du DAMAGARAM, pour trouver de telles conditions (elles expliquent les difficultés chroniques d'alimentation en eau potable, de l'agglomération zindéroise).

#### 123 - Hydrogéologie de l'AIR

La ressource globale en eau de l'AIR, est renouvelable. Le volume des réservoirs étant faible, les fortes irrégularités pluviométriques engendrent d'importantes variations des réserves (en pourcentage). Cette ressource est répartie dans un grand nombre de petits aquifères.



Nous distinguons trois types de réservoirs: les alluvions, les basares et dépôts sous-basaltiques et enfin les fissures du socle. Dans un secteur limité, des échanges peuvent exister entre ces trois types de réservoirs. Il est par ailleurs possible que les grands réseaux de faille assurent des liaisons entre des groupes d'aquifères éloignés les uns des autres.

Sans entrer dans une démonstration qui sortirait du cadre de cette étude, il convient de souligner les points suivants concernant les nappes de l' AIR .

- La recharge de ces nappes est due essentiellement à l'infiltration des crues, dans le lit mineur des koris<sup>1</sup>. La recharge par infiltration directe des pluies dans le sol est tout au plus un phénomène localisé, épisodique, marginal.
- Les crues sont essentiellement alimentées par les pluies qui tombent sur la partie du bassin-versant située à l'amont du réservoir aquifère. Il ne peut exister de nappe importante sans grand bassin-versant qui joue le rôle de collecteur des précipitations.
- La recharge des nappes est tributaire de nombreuses variables (dont le régime des pluies dans la partie amont du bassin-versant et le déficit en eau de rétention du cône de recharge sous-jacent au lit mineur).

L'essentiel des prélèvements actuels par l'homme, est effectué dans les nappes alluviales et ceci pour trois raisons

- elles sont plus facilement localisables,
- elles sont sous-jacentes à de grandes superficies cultivables,
- la réalisation des puits y est plus facile (terrains meubles, au lieu de terrains rocheux).

Les nappes alluviales sont disposées en grains de chapelets, le long des grandes vallées. Chaque réservoir est limité par deux seuils, l'un à l'amont, l'autre à l'aval. Entre ces deux extrémités, les caractéristiques évoluent : pente du substratum, épaisseur des alluvions, granulométrie (donc coefficients de perméabilité et d'emmagasinement), largeur de la vallée, etc. Ces facteurs influencent la localisation des zones préférentielles d'infiltration des crues et, dans chaque section de la plaine alluviale, le retard de la recharge par rapport aux écoulements, la profondeur du niveau d'eau, l'amplitude des variations piézométriques, la productivité des puits, le débit d'exhaure etc...

Les tendances suivantes doivent être prises en compte lors des projets de puits. Dans la partie amont des plaines alluviales, les terrains sont principalement constitués de sables grossiers, perméables et ils ont une mauvaise tenue à paroi nue. Le niveau d'eau est peu profond mais ses variations sont amples et rapides. Le retard de la remontée de la nappe sur les écoulements, est très court.

---

<sup>1</sup> "kori", mot haoussa, a plusieurs sens. Dans le français parlé au NIGER, il signifie soit oued, soit lit mineur.





(quelques heures seulement au bord du lit mineur). Dans la partie aval, les caractéristiques sont inverses: prédominance des facies fins, peu perméables, ayant une bonne tenue à paroi nue; grande profondeur du niveau d'eau, variations piézométriques faibles et lentes, grand retard de la remontée par rapport aux écoulements, en particulier quand on s'éloigne du lit mineur. Nous reviendrons sur ces phénomènes.

### 13 - DEVELOPPEMENT DE L'EXPLOITATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE DE L'AIR

A titre d'hypothèse, nous distinguons trois périodes dans le développement de l'exploitation des nappes d'eau de l'AIR .

- la période antérieure à l'introduction du tekarkat (période ancienne),
- celle comprise entre l'introduction du tekarkat et la fin des années 60,
- la période actuelle.

#### 131 - La période ancienne

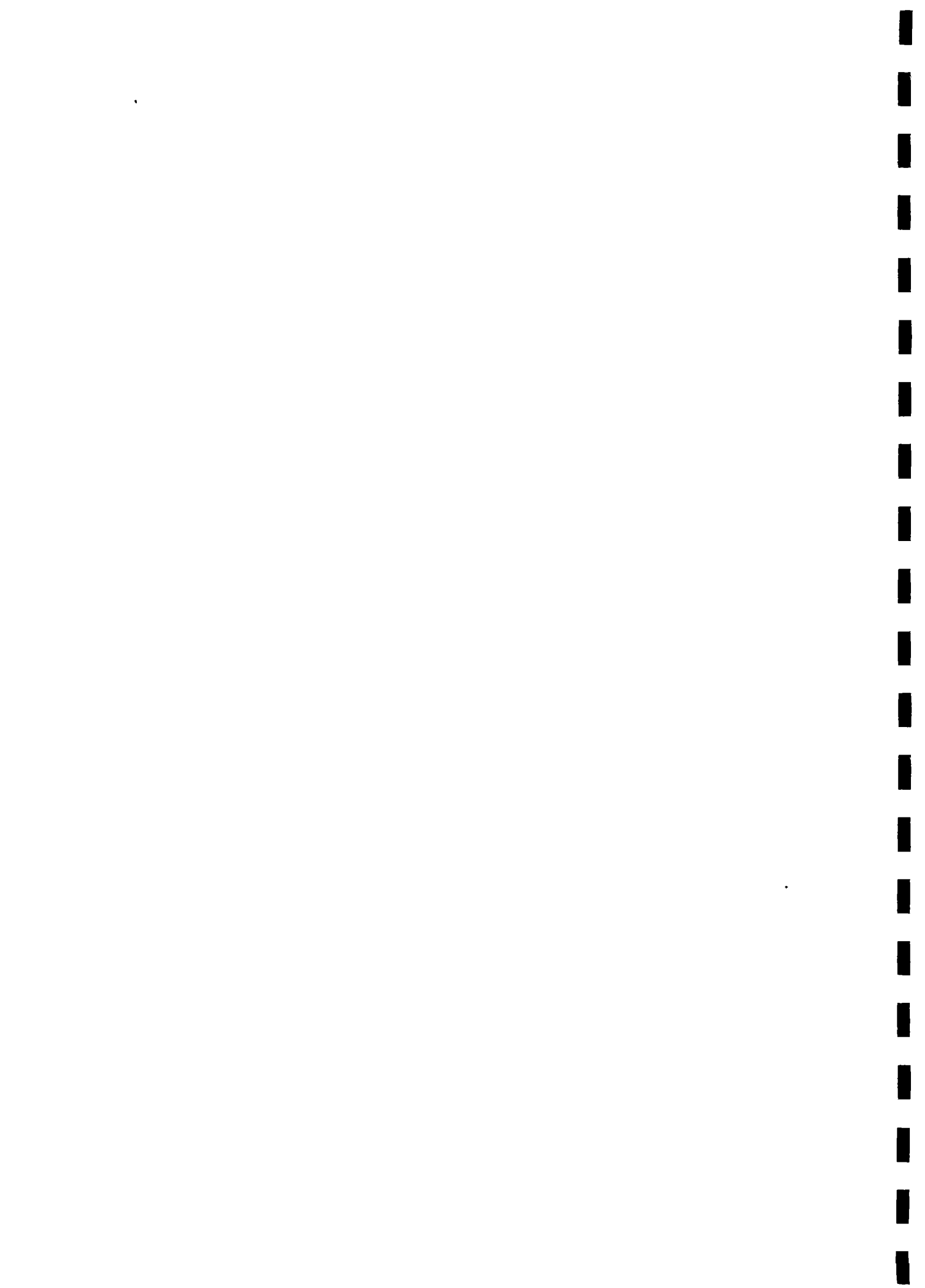
A priori, les points d'eau exploités étaient principalement les sources, les agguelmans et les trous de faible profondeur creusés dans le lit mineur des koris, là où le niveau piézométrique est sub-affleurant. On ne réalisait sans doute des puits dans le lit majeur qu'en cas de nécessité. En tous cas dans certaines régions de l'AIR, on en est encore à ce stade.

Les sources et certains agguelmans (mares de montagne), qui sont en fait des affleurements des nappes souterraines, ont probablement déterminé les premières implantations humaines permanentes dans le massif. Depuis l'arrivée de l'homme, le nombre de ces points d'eau naturels a pu diminuer en raison de l'assèchement climatique. Mais, jusqu'à maintenant, ils jouent un rôle important dans l'économie pastorale.

Avant l'introduction du tekarkat (cf § 132), le jardinage devait être pratiquement limité aux lopins cultivables situés à l'aval des sources. De ce point de vue, le cas des jardins de KOKEI, dans les BAGZANS, pourrait être exemplaire.

#### 132 - La période intermédiaire

Le tekarkat est un système de puisage à traction animale, avec déversement quasi-automatique de l'eau dans un bassin de réception. Sa productivité est beaucoup plus élevée que celle des autres systèmes traditionnels. Il a favorisé le développement du jardinage dans les plaines alluviales.



Contrairement à ce qui s'est passé dans les plaines sédimentaires, de nombreux pasteurs se sont convertis au jardinage avant la fin de cette période. Au début des années 50, cette mutation était spontanée, indépendante des aléas climatiques et des incitations administratives. Dans certaines vallées, les superficies cultivées, n'étaient pas symboliques. Il en est résulté probablement une forte augmentation locale des prélèvements aux nappes. En effet, le pasteur qui se convertit au jardinage, multiplie par 10 ou par 20, sa demande en eau. A basse altitude, irriguer un tiers d'hectare, demande environ quinze mille m<sup>3</sup> d'eau par an.

Des puits-ciments ont été exécutés dans les années 50 et 60. La plupart des puits OFEDES télescopés, à usage villageois et pastoral, inventoriés en 1979 (cf. § 133) datent probablement de cette époque.

### 133 - La période actuelle (du début des années 70 à ce jour)

Pour mieux connaître cette période, il serait nécessaire d'effectuer un long travail de consultation d'archives et d'enquêtes de terrain.

A partir du début des années 70, le développement des superficies cultivées, s'est sans doute accéléré, sous l'influence d'une part de la sécheresse qui a décimé les troupeaux, d'autre part des incitations de l'administration et des bailleurs de fond (projets de puits maraichers fortement subventionnés). Mais l'ampleur du phénomène est difficilement appréciable. En effet, beaucoup de ces nouveaux puits se sont substitués à des puits traditionnels (ou même à des ouvrages en ciment, hors d'usage, après 1984) et beaucoup de pères de famille ont pu créer des puits traditionnels sur des terres vierges, qui ont échappé aux inventaires.

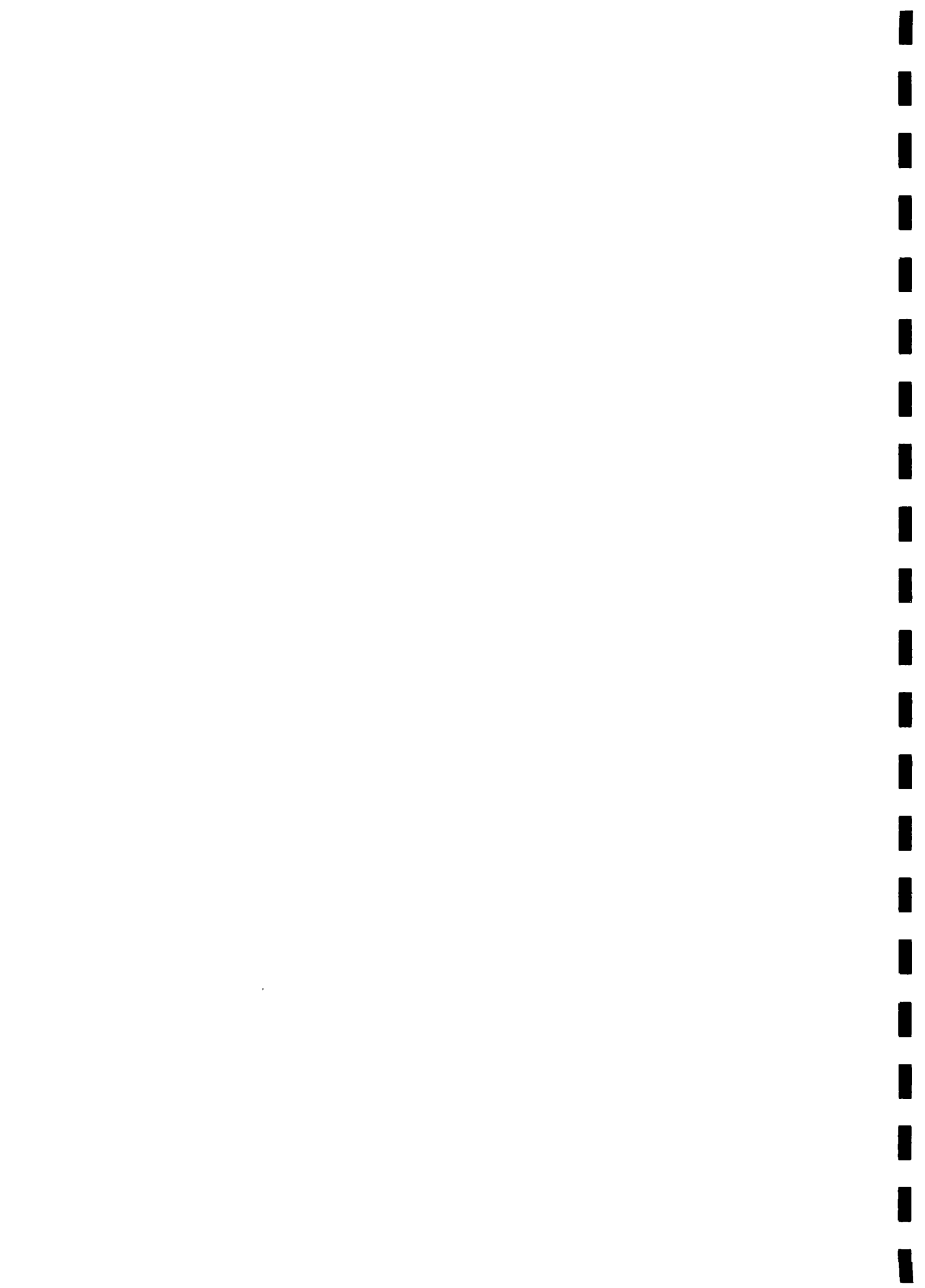
Une courte recherche documentaire donne les valeurs suivantes:

\* 1979, pour l'ensemble de l'AIR (source : BRGM)

- Puits maraichers traditionnels	832
- " " en ciment	618
- " " AEP en ciment	43
- Total des puits-ciment	659
- Total puits-ciment + puits traditionnels	1.491

\* 1985, pour le Sud de l'AIR (BRGM.bib 15)

- Puits traditionnels (maraichers ou autre)	1 544
- Puits-ciment (id)	860
(dont 187 improductifs, soit environ 22%)	
- Total puits traditionnels + puits-ciment	2.404



\* 1988, centre de l'AIR, jusqu'à la région d'IFEROUANE au Nord (BRGM.bib 16)

- Puits traditionnels	392
- Puits-ciment	761
- Total puits traditionnels + puits-ciment	1 153

Depuis les deux derniers inventaires, un millier de nouveaux puits-ciment a sans doute été créé sur l'ensemble de l'AIR (projet FED des "vallées de l'AIR", projets de la Caisse Centrale de Coopération, de la "réserve naturelle AIR-TENERE", de la Coopération Allemande, puits financés par la sous-préfecture d'ARLIT, par l'ONG EIRENE, etc..) Si l'on additionne ce chiffre à ceux de 1985 et de 1988, on obtient un total de 2 600 puits-ciment et de 1.900 puits traditionnels, soit toutes techniques confondues, un total général de 4 500 puits. Ces valeurs sont probablement des sous-estimations car des zones d'importance variable, n'ont pas été inventoriées (p ex. le massif des BAGZANS) La grande majorité de ces ouvrages est constituée de puits "maraichers" familiaux.

La demande reste vive. L'attrait des cultures de rentes a amené certains chefs de famille à posséder plusieurs jardins qu'ils font cultiver par leur famille, par des ouvriers ou par des métayers. La terre et les puits font l'objet de transactions commerciales (sauf cas particuliers liés à la tradition). A noter que sur deux sites des BAGZANS, il existe des tensions, les éleveurs voulant empêcher ou limiter la mise en culture de pâturages traditionnels.

Le nombre de puits-ciment inexploité n'est pas connu Il est de toutes façons, variable Il y a des abandons définitifs de puits (problèmes techniques, assèchement dû à un suréquipement en puits, de la nappe) et des arrêts temporaires liés à diverses raisons.

#### 14 - CAUSES ET CONSEQUENCES DE LA SUREXPLOITATION ACTUELLE DE CERTAINES NAPPES

Pour les plaines alluviales de l'AIR, nous admettons qu'il y a surexploitation de la nappe quand un équipement trop important en puits (traditionnels ou en ciment) provoque périodiquement ou en permanence une baisse exagérée des réserves et de la piézométrie et a des effets inverses à ceux recherchés forte diminution du débit d'exhaure, abandon d'un nombre important de jardins, chute des revenus des familles.

L'intervention des bailleurs de fonds, à partir des années 70, a sans doute été un facteur important du développement du jardinage. Elle a porté essentiellement sur l'exécution de puits-ciment. Les principaux objectifs étaient apparemment :

- convertir les pasteurs au jardinage et ce faisant, leur apporter une plus grande sécurité alimentaire,
- remplacer les puits traditionnels par des puits-ciment plus performants.



#### 141 - Causes

Nous examinerons dans le chapitre suivant, les conditions de montage et d'exécution de ces projets. Mais nous devons souligner dès maintenant, que dans la précipitation, on a mis la charrue avant les boeufs, c'est-à-dire que l'on a exécuté un grand nombre de puits sans envisager les risques de surexploitation des nappes. Le critère de la multiplication des puits a été la demande des habitants et l'existence de terres cultivables. Les potentialités des nappes sous-jacentes n'ont pas été prises en compte. Au vu de nos consultations d'archives, cette lacune n'est pas particulière à l'AIR (dans les documents préparatoires des projets, les données hydrogéologiques sont absentes. Dans les comptes-rendus d'avancement des travaux, elles sont très rares et succinctes). A noter qu'à partir du milieu des années 80, les études d'ensemble du BRGM (bib15 et 16), et celles plus ciblées d'EPFZ et de l'IUED, ont mis à la disposition des décideurs, des outils orientés vers la gestion des nappes.

#### 142 - Conséquences

A l'échelle d'une nappe alluviale, l'accroissement exagéré du nombre de puits en exploitation, a les effets suivants :

- Dans les "bonnes années" (durée suffisante des écoulements du kori) les réserves de la nappe sont reconstituées, ce qui se traduit par le retour à un niveau piézométrique normal en fin d'hivernage. Toutefois les fluctuations piézométriques annuelles sont plus fortes que dans les temps anciens. On peut observer localement, dans le courant de la saison sèche, une forte diminution du débit d'exhaure, voire l'assèchement de certains puits. Pour ces raisons, les nouveaux puits doivent être plus profonds et coûtent plus cher.
- Lors d'une année à recharge déficitaire, le niveau piézométrique en fin d'hivernage est plus bas que l'année précédente. Les difficultés d'exploitation augmentent. La misère s'installe dans certains foyers.
- Lors d'une séquence d'années sèches, il y a cumul des déficits annuels de la recharge. Le niveau piézométrique de la nappe finit par être si bas que la plupart des puits sont abandonnés. Ils sont secs ou bien les animaux d'exhaure meurent d'épuisement (en partie, il faut le reconnaître, par manque de fourrage vert). Les conséquences sont la famine, l'exode massif vers les villes, la forte mortalité infantile. Cette situation a prévalu dans la vallée du TELOUA, entre AGADEZ et DABAGA, pendant plusieurs années, à partir de l'été 1984.

A notre avis, la priorité des priorités n'est plus de créer des puits ni de protéger les berges contre l'érosion, mais d'envisager **un plan de développement de l'AIR**, tenant compte des différentes potentialités de la région, en définissant par exemple, pour chaque plaine alluviale, un niveau maximum d'équipement en puits maraichers. Cette réflexion doit être menée en concertation





étroite avec les habitants (toutes activités confondues) car il ne servirait à rien de fixer des normes si les principaux intéressés ne les respectaient pas.

Ce plan de développement devrait en outre, à notre avis:

- donner plus d'importance au jardinage qu'à l'élevage, car la reconstitution des réserves des nappes demande moins de temps que celle des troupeaux (retour plus rapide à un niveau d'activité normal),
- prévoir un plan d'aide alimentaire, à l'échelle régionale, en cas de sécheresse prolongée



## CHAPITRE 2

### FACTEURS HUMAINS ET TECHNIQUES DE LA CONSTRUCTION DES PUIITS AU NIGER ET DANS L'AIR

Les facteurs humains jouent un rôle primordial dans les choix des modèles de puits et dans la qualité de leur mise en oeuvre

Presque tous les puits-ciment de l' AIR ont été construits dans le cadre de " projets", donc sur la base d'un accord entre la "partie nigérienne" (représentée principalement par l'administration) et un financeur étranger. La maîtrise d'oeuvre et les travaux d'entreprise, peuvent être confiés, suivant les cas, à un service public (en particulier Génie Rural pour les puits maraichers), à l'OFEDES (établissement public), à un organisme étranger implanté au NIGER (Service de volontaire, ONG ou autre).

On pourrait analyser le rôle des facteurs humains sur la base d'un classement plus ou moins statutaire, des différents intervenants (p. ex. administration, conseil régional ou sous-régional de développement, décideurs des projets, maître d'oeuvre, etc. ). Mais notre expérience personnelle dans ce domaine comporte trop de lacunes. Comme il a été dit en introduction, nous parlerons des différents acteurs, en fonction non de leur importance réelle mais des observations recueillies à leur sujet. **En particulier et à notre grand regret, il ne sera fait état qu'occasionnellement, des travaux de puits du Génie Rural et de l'OFEDES.**

Notre exposé ne sera donc pas aussi méthodique, ni exhaustif qu'il aurait été souhaitable. Par ailleurs, priorité sera donnée aux objectifs, aux moyens et aux techniques des projets plutôt qu'aux aspects réglementaires.

#### 21 - LA HIERARCHIE DES ACTEURS DES PROJETS

Dans un projet, on peut distinguer quatre niveaux d'intervenants :

- les décideurs, nationaux et étrangers,
- les responsables de terrain, nationaux et étrangers,
- le personnel technique d'exécution,
- la population bénéficiaire des puits.



La répartition pratique des responsabilités entre ces quatre niveaux d'intervenants dépend sans doute beaucoup de la taille des projets et de leur contexte humain. Il existe probablement de grandes différences entre un projet relevant de LOME 2 et un micro-projet né de la rencontre d'un sous-préfet avec le délégué d'une ONG. En particulier, dans le premier cas, l'avis de la population de base n'est directement sollicité qu'au moment de l'animation (il s'agit de la faire adhérer à un accord déjà préparé et signé par d'autres); dans le second cas, elle peut être un partenaire essentiel de l'élaboration du projet.

## 22 - L'OPTIQUE DES DECIDEURS OU LA PHILOSOPHIE DES PROJETS

Quelque soit la taille des projets, les décideurs se réfèrent explicitement ou implicitement, par conviction ou par convention, à une optique de développement. Cet aspect ne doit pas être négligé ici, car il a des retombées sur les choix techniques, sur la qualité des intervenants de terrain et en fin de compte sur la fiabilité des puits fournis à la population.

Sur ce plan, on peut distinguer deux écoles :

- la première privilégie la qualité technique des puits et limite le rôle des bénéficiaires, dans les travaux. Ceux-ci reçoivent, pratiquement "clé en main", un puits à la construction duquel, ils n'ont participé que comme manoeuvres,
- la seconde, basée sur le principe des "techniques appropriables", donne au moins autant d'importance à l'apprentissage par la population, des techniques de puits, qu'à la qualité des produits.

La première école a pour objectif la pénétration profonde du puits en dessous du niveau piézométrique moyen d'étiage, une productivité élevée et une grande espérance de vie. La seconde est moins exigeante dans ces différents domaines.

Depuis plus de vingt ans, ces choix essentiels font l'objet de controverses puisqu'ils étaient déjà traités dans l'avant-propos de l'édition 1973 d'un manuel connu (bib 1).

En pratique, on devrait parler de tendances plutôt que d'écoles. Il existe une grande variété de cas. Les différences se situent certes dans le choix des techniques mais aussi dans celui des hommes et dans leur formation. La fiabilité des puits d'un projet dépend grandement du degré de compétence et de la conscience professionnelle à tous les niveaux. Une lacune permanente à un niveau de responsabilité ou à un stade de fabrication, peut compromettre la fiabilité d'un "produit" fabriqué en série. Cette remarque concerne tous les intervenants de terrain, y compris la population bénéficiaire. A ce stade, la responsabilité des décideurs n'est plus nécessairement en cause.



23 - LE ROLE DES RESPONSABLES DE TERRAIN

Nous renvoyons le lecteur au manuel précédemment cité (bib 1, ch. 3) pour les projets relevant d'un service technique officiel (OFEDS, Génie rural) ou d'une grosse entreprise. Nous limiterons l'exposé à la conduite des chantiers par des "volontaires" expatriés, puisque c'est le seul secteur que nous ayons été amené à observer d'assez près (mais de manière partielle).

Le volontaire dépend d'un organisme d'aide, étranger. Il travaille en relation avec cet organisme, l'administration et la population concernée. On lui fixe ses objectifs et les moyens de son travail, mais sa latitude opérationnelle est souvent grande. Quand il est affecté à un projet de puits, la surveillance de la qualité des travaux est en général, l'une de ses tâches essentielles. La manière dont il s'en acquitte dépend de nombreux facteurs: de sa formation professionnelle de base, de la formation spécifique et des consignes qu'il a reçues en arrivant au NIGER (La philosophie du développement de son organisme intervient à ce niveau), du contexte particulier au projet (nombreuses variables) et de sa personnalité propre.

D'un organisme à l'autre ou d'un projet à l'autre, les conditions de travail des volontaires peuvent changer, comme le montrent les quelques exemples ci-après:

- Cas 1 . (1986). Projet limité à la construction de puits, réalisée par l'ONG LWR. L'ONG considère que son modèle de puits se classe dans les techniques appropriables et à tous les niveaux, elle délègue le maximum de responsabilités aux nationaux. La formation et le recyclage des puisatiers sont d'ailleurs confiés à deux "chefs puisatiers" nigériens basés à NIAMEY. Le volontaire, appelé "moniteur", effectue une tournée mensuelle sur les projets dont il a la charge. Sa mission exclut le contrôle technique. Il n'a d'ailleurs pas reçu de formation sur ce plan et s'il s'intéresse à la qualité des travaux, c'est apparemment de sa propre initiative.
- Cas 2 Projets limités à la construction de puits de jardin, mise en oeuvre par l'ONG AFVP. En matière de construction de puits, la politique de l'AFVP semble être de fournir des produits de qualité aux bénéficiaires. Cela se traduit dans la formation et les attributions du volontaire (ainsi que dans le recrutement des puisatiers, comme nous le verrons plus loin). Le volontaire (dit "VP") affecté à un projet de puits, reçoit à son arrivée au NIGER, une formation spécifique, grâce à un "tuilage" de trois mois avec son prédécesseur. Cette formation n'en fait pas un professionnel et n'élimine pas totalement les risques de lacune grave, mais elle le rend plus capable de diriger un chantier et de déceler les mauvaises habitudes de travail et beaucoup de malfaçons. En outre, la délégation de NIAMEY fait





suivre le travail des jeunes volontaires, par un ancien, dit "Appui-puits" Le système dans son ensemble paraît efficace

- Cas 3 . 1986 et 1991. Projets "intégrés" dans lequel la construction de puits n'est qu'un volet, parfois secondaire. Dans plusieurs projets intégrés (au N-E de NIAMEY, à TAHOUA et dans le SUD-AIR) nous avons constaté des malfaçons graves dans la construction des puits Nous avons eu l'impression que certains volontaires s'investissaient peu dans le volet puits (par exemple moins que dans le volet culture) et qu'une trop grande confiance dans les puisatiers, les avait amené à relâcher la surveillance des travaux En outre, dans l'un des cas au moins, le manque de formation du volontaire aux normes de la maçonnerie était évident

Par contre dans un autre projet intégré, le volet puits était efficacement dirigé et géré. Il est vrai que les deux responsables (un volontaire et un cadre nigérien) avaient acquis antérieurement compétence et expérience dans ce domaine et que leur entente était parfaite.

#### 24 - LE PERSONNEL TECHNIQUE D'EXECUTION

Le technicien de base est le puisatier. Son rôle est d'exécuter les puits et de diriger les participants à ce travail. L'environnement de son activité varie. Suivant les chantiers, il peut travailler soit seul avec la population, soit avec un aide et la population, soit en groupe avec d'autres spécialistes (cas des puits télescopés réalisés par l'OFEDS, en particulier). Nous nous intéresserons surtout au second cas (puisatier + aide + population) car il est le plus fréquent

Le titre de puisatier n'est pas à lui seul une garantie de savoir faire. Des problèmes peuvent apparaître, quand les responsables de projet se trompent sur la qualification réelle ou sur la conscience professionnelle d'un puisatier. Comme en mécanique automobile, ce n'est pas parce que l'on travaille depuis 20 ans dans ce métier, que l'on est obligatoirement un bon professionnel Toute embauche demande une enquête préalable.

Nous proposons ci-après un classement des puisatiers de projets, basé sur la part de revenus que cette activité représente pour eux :

- puisatier professionnel, à temps plein,
- " semi-professionnel (la construction de puits apporte un revenu d'appoint important),
- puisatier occasionnel (revenu d'appoint secondaire),
- paysan exécutant son propre puits (en général le seul de sa vie).



La qualité des travaux dépend souvent des facteurs suivants :

- niveau de la formation initiale et expérience acquise dans des contextes variés,
- dons personnels (capacité d'apprentissage, adaptabilité aux situations inattendues, autorité naturelle) conscience professionnelle et probité,
- contexte du projet (p ex. qualité du ciment fourni, fréquence et qualité des contrôles, partenaires du puisatier sur le chantier).

A ce sujet, on peut se demander s'il est ou non avantageux de faire travailler les puisatiers dans leur région d'origine. Certains affirment qu'un puisatier ne peut se permettre de faire du mauvais travail dans sa région natale, en raison des retombées sociales ultérieures. Mais il peut aussi arriver qu'un puisatier local ne puisse imposer à ses concitoyens le respect des normes qu'on lui a apprises. La réponse n'est donc pas évidente.

#### 25 - LA POPULATION ET SON ROLE

Par population il faut entendre ici, soit la main d'oeuvre fournie par le groupe quand il s'agit d'un puits collectif soit le propriétaire et ses voisins intervenant dans le cadre d'un "gaya", quand il s'agit d'un puits individuel. En matière de puits moderne, la population manque de formation, d'expérience et elle ne comprend pas toujours la nécessité de respecter les normes simples qui lui sont indiquées. Quand la surveillance de son travail n'est pas faite par un puisatier expérimenté et exigeant, on note souvent des malfaçons ou des négligences qui mettent en jeu la solidité de la colonne. fabrication du béton avec des matériaux non conformes, absence de dalle cimentée, pour le gâchage, insuffisance de l'humectation des buses ou des parpaings pendant la période de durcissement. En outre quand le puits est réalisé directement par des paysans sans véritable formation, on observe parfois l'emploi de fer à béton de 6 mm au lieu de fer de 8, un écartement irrégulier du fer à béton, voire des lacunes dans le ferrailage, des chevauchements de buses imparfaits etc. ( conséquences extrêmes de la théorie des techniques appropriables ).

*Remarque : Quand la construction des puits n'est pas efficacement encadrée par les responsables de terrain, on observe souvent comme dans d'autres corps de métier un laisser-aller entraînant le non respect des normes. Cela tient peut-être au manque d'exigence de la population qui n'accorde pas assez d'importance à la qualité du travail. Les bons professionnels sont découragés.*



## CHAPITRE 3

### GENERALITES SUR LES TECHNIQUES DE PUIITS-CIMENT ET SUR LES CONDITIONS DE LEUR MISE EN OEUVRE DANS LE CADRE DES PROJETS

Dans l'AIR, comme dans le reste du NIGER, on distingue les puits traditionnels et les puits modernes, souvent appelés "puits-ciment". Les premiers sont exécutés à paroi nus, sauf au niveau des terrains instables que l'on maintient par un boisage (ou sur certains sites par un mur en pierres sèches). Les puits modernes s'en distinguent par leur forme cylindrique et par la présence sur toute leur hauteur, d'une ou de deux colonnes de soutènement en béton armé, ou en parpaings armés et cimentés ou en pierres cimentées.

#### 31 - GENERALITE SUR LES TECHNIQUES DE PUIITS-CIMENT

##### 311 - Quelques définitions

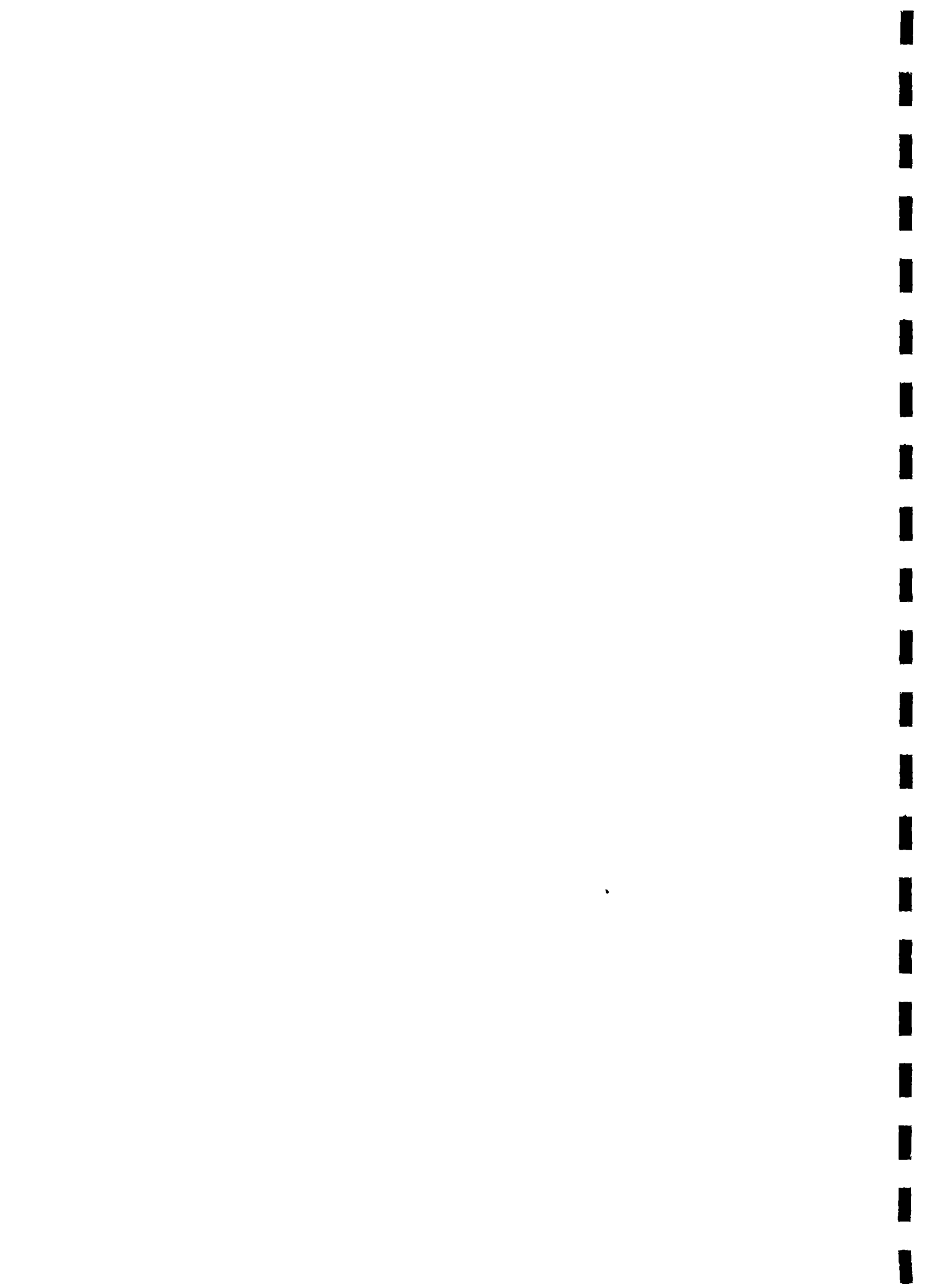
###### 3111 - Remarques préliminaires

Dans le langage technique, il convient d'être rigoureux. Un terme régional ne peut être utilisé que si cela n'entraîne pas de risque de confusion. C'est pourquoi nous précisons le sens donné à certains termes, dans ce rapport. La référence est le "dictionnaire français d'hydrogéologie" de CASTANY et MARGAT (bib 7) :

- PUIITS : " Toute excavation creusée à partir de la surface du sol et pénétrant un *aquifère*, utilisée pour puiser l'eau . . .",
- PUISARD . " Puits servant à la collecte et à l'évacuation. . . des eaux d'origine superficielle ou souterraine parvenant dans une mine, une excavation souterraine" Le terme désigne donc un ouvrage destiné à l'élimination d'une nuisance et ne sera pas employé, comme on le fait parfois, pour désigner les puits maraichers peu profonds
- CAPTAGE chez les puisatiers on nomme ainsi la partie d'un puits, immergée dans la nappe et perforée. En hydrogéologie (op. cit.) le terme désigne soit l'action de capter l'eau souterraine, à des fins utilitaires, soit l'ensemble de l'ouvrage utilisé dans ce but (puits, forage, source) et non une de ses parties. Dans ce rapport, **nous ne l'emploierons qu'au sens hydrogéologique**, pour éviter les quiproquos.

###### 3112 - Les différentes parties d'un puits

De haut en bas, un puits-ciment comprend trois parties principales



- Les **superstructures**, facultatives et en particulier la margelle, qui facilitent l'exploitation, protègent la nappe contre les pollutions en provenance du sol et assurent la sécurité des usagers
- Le **cuvelage** est la partie étanche qui relie le sol à la nappe. Dans un puits télescopé, le cuvelage est la colonne supérieure, en grand diamètre. Dans un puits monocolonne, le terme désigne la partie supérieure de la colonne unique, non équipée de barbicanes (voir ci-après). Mais elle comporte parfois des perforations héritées de la construction et non bouchées, qui réduisent son étanchéité.
- La partie immergée et perforée de barbicanes (le "captage" des puisatiers) que nous appellerons, pour les raisons évoquées précédemment, **colonne de mise en eau** (s'il y a télescopage) , **buses de mise en eau, buses captantes ou partie captante**.

L'eau de nappe pénètre dans le puits, par le fond et par le réseau latéral de **barbicanes** (trous obliques qui traversent les buses de mise en eau de part et part). Le terme "crépine" appartient au vocabulaire des forages et des sondages mécaniques. Il ne nous semble admissible dans le domaine des puits que pour les plaques métalliques à nervures repoussées que l'OFEDS encastre dans les buses face aux sables très fins (bib 1) ou pour tout équipement similaire (plaques de crépines JOHNSON, graviers encollés de type HAGUSTA)

La plupart des techniques prévoient :

- à la périphérie de la partie captante, un **massif annulaire de gravier** (bib 1),
- à sa base **une trousse coupante**, et parfois une **dalle de fond**, perforée ou non, reposant sur un lit de gravier (ibid )

### 312 - Les principaux modèles de puits construits dans l'AIR

Nous classons les puits par filières techniques. Une filière est définie par les caractéristiques de l'ouvrage fini et par les matériels et les procédures de mise en oeuvre. Elle comprend une version standard mise au point progressivement par l'inventeur et des variantes qui correspondent à des modifications importantes ultérieures, souvent apportées par d'autres utilisateurs. La version standard est généralement codifiée dans un rapport qui fait date ou dans une publication.

Habituellement les variantes concernent moins la conception du puits fini, que les moyens et surtout les procédures de mise en oeuvre (organisation des chantiers, sélection et formation des puisatiers, etc. .) Elles peuvent provenir d'une innovation ou bien d'un emprunt à un autre modèle.





A notre connaissance, la plupart des puits modernes exécutés au NIGER depuis une trentaine d'années, appartiennent aux modèles suivants:

- **puits OFEDES** télescopé, avec, dans le modèle de base :
  - \* un cuvelage en 180-200<sup>1</sup>, dans la zone non saturée,
  - \* une colonne perforée, en 140-160 entourée d'un massif annulaire de gravier, dans la zone saturée,
  - \* une trousse coupante en 140-170.
- **puits LWR**, monocolonne, monolithique, en béton armé, en diamètre 140-160, appelé PMB (puits maraicher en béton) par l'ONG inventeur.
- **puits AFVP**, monocolonne, monolithique, en béton armé, en diamètre 140-160, avec trousse-coupante (140-170) et massif annulaire de gravier
- **puits-brique AFVP**, télescopé, en béton armé, avec
  - \* un cuvelage en 140-160
  - \* une colonne perforée en 100-120 entourée d'un massif annulaire de gravier
  - \* une trousse coupante en 100-130.
- **puits-brique AFVP**, monocolonne, en béton armé, en 140-160 avec un massif annulaire de gravier et une trousse coupante en 140-176,
- **puits-tonneau**, constitué d'un assemblage de tôles découpées dans des tonneaux de 220 L (type fût d'essence).
- **puits en pierres** cimentées, (que nous appelons également Puits GTZ) pratiquement sans pénétration dans la nappe, monocolonne, de diamètre intérieur théorique égal à 150 cm et de diamètre extérieur variable

Dans l' AIR, toutes ces techniques sont représentées sauf pratiquement celle du puits-brique AFVP, monocolonne, dont il n'existerait qu'un seul exemplaire et celle du puits-tonneau (toutefois de rares jardiniers utilisent des tonneaux pour de petits approfondissements de puits-ciment).

### 313 - Le matériel de chantier

Le matériel de chantier comprend .

- des outils courants de maçonnerie,
- le matériel spécifique de chaque filière (en particulier les moules),
- du matériel de travaux publics (appareils de levage et éventuellement, groupe électrogène, pompe, compresseur, marteau-piqueur).

---

<sup>1</sup> Les diamètres des puits sont donnés en cm et les profondeurs en m



Nous classons comme suit, les filières de puits, par ordre croissant de complexité, de poids et d'encombrement du matériel généralement employé:

- puits à colonnes maçonnées (pierre-GTZ et brique-AFVP),
- puits à colonne unique, monolithique, coulée au fond et descendue dans l'aquifère par havage, sans motorisation (LWR et AFVP),
- puits OFEDES télescopé, nécessitant en principe une motorisation

Ce classement se justifie comme suit. Le puits GTZ n'a pas besoin de matériel spécifique. Ne nécessitant pas de moule, il peut être mis en oeuvre avec du matériel courant d'artisan maçon. Compte tenu du faible poids des matériaux, les opérations de levage peuvent être réalisées avec un "tékarkat" de jardin, mais en substituant la traction humaine, plus souple et plus sûre, à la traction animale. Cependant le tékarkat n'étant probablement pas homologué comme matériel de travaux publics, son emploi dans un projet est subordonné à la possibilité d'une couverture des risques d'accidents.

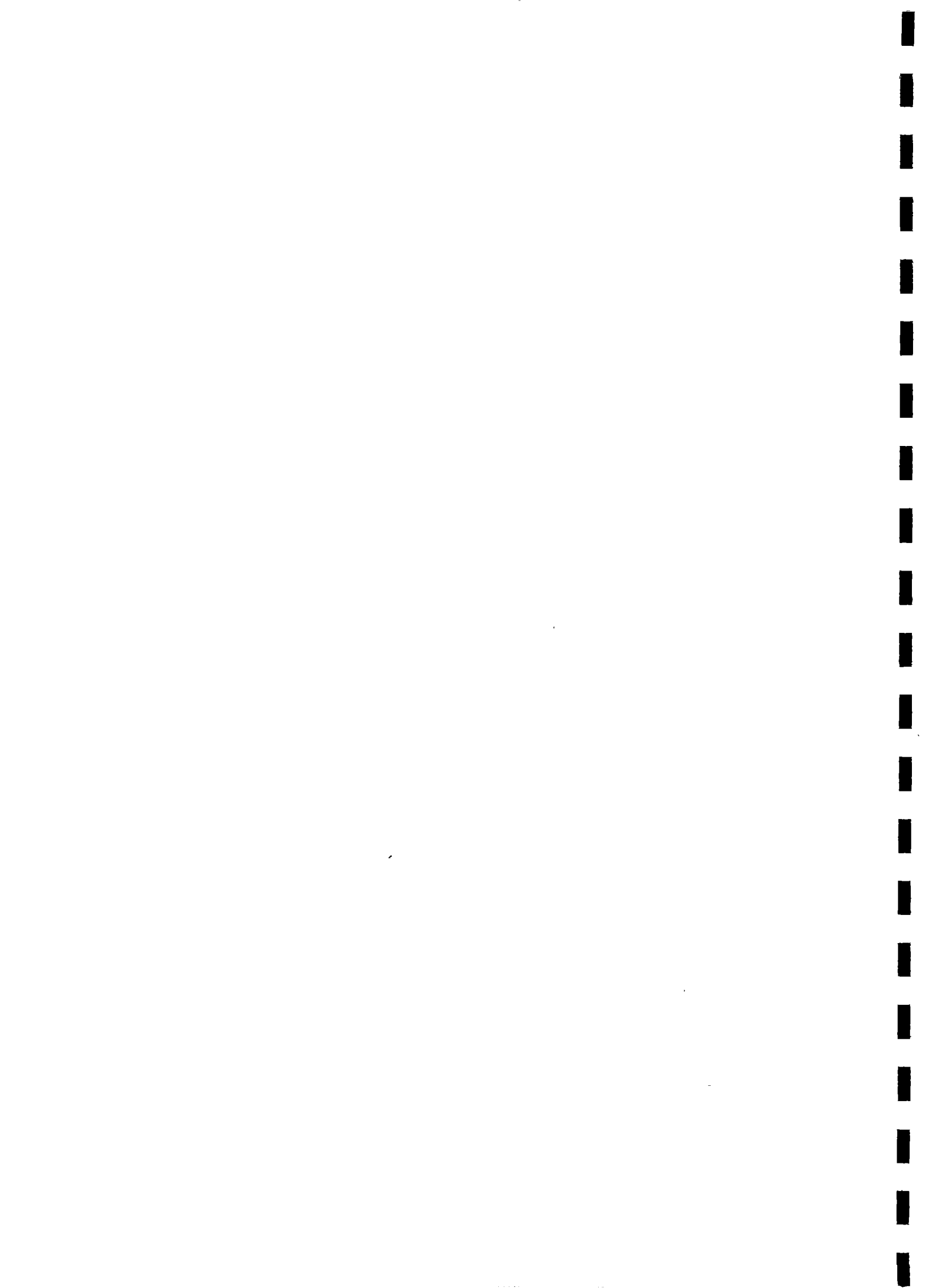
Le matériel spécifique des puits-brique AFVP est limité à un moule à parpaings, à une bande de tôle souple pour la fabrication de la trousse coupante et à de menus accessoires. Il est donc réduit en nombre, en poids et en dimensions. L'utilisation du tékarkat est possible lors des opérations de levage, avec les mêmes réserves que pour le puits GTZ.

En ce qui concerne les puits monocolumnes, monolithiques, le modèle LWR a l'avantage de nécessiter des appareils de levage et des moules relativement peu complexes et peu lourds. Mais les moules souples d'une seule pièce présentent beaucoup d'inconvénients au transport et à l'utilisation. A l'inverse, le matériel AFVP est relativement lourd et complexe, mais il a l'avantage d'être démontable.

Le matériel de chantier des puits télescopés OFEDES est sans commune mesure avec celui des techniques précédentes, qu'il s'agisse du matériel spécifique ou du recours à la motorisation.

En cas de besoin, toutes les techniques peuvent recourir à la motorisation, en particulier pour le fonçage en terrain dur (groupe électrogène, compresseur, marteau-piqueur, pompe si le travail s'effectue en rabattement de nappe). A l'inverse, en terrain meuble, les puits télescopés OFEDES peuvent théoriquement être exécutés sans motorisation (colonne captante coulée au fond du puits et mise en place par havage en apnée).

Il apparaît déjà que seules les deux premières techniques, en raison de la légèreté et de la simplicité de leur matériel, peuvent éventuellement être "appropriables".



## 32 - LES MATERIAUX ENTRANT DANS LA CONSTRUCTION DES PUIITS- CIMENT

### 321 - Matériaux de base

Les matériaux de base des puits-ciment de l'AIR sont :

pour la colonne (ou les colonnes) :

- le fer à béton et le fer recuit (ferrailage),
- le ciment (béton et mortier),
- le gravier (béton),
- le sable (béton et mortier),
- l'eau (béton, mortier, humidification éventuelle des éléments de colonne pendant le séchage);

pour le remblaiement de l'espace annulaire :

- dans la zone saturée, gravillon pour le massif annulaire de gravier,
- dans la zone non saturée, généralement tout-venant provenant de la fouille (nous y reviendrons; nous préférons le sable de korri, au moins dans le cas des puits maraichers)

A noter que certaines techniques ne prévoient pas d'espace annulaire dans la zone non saturée (puits télescopé OFEDES en règle générale) ou dans la zone saturée (puits LWR et GTZ).

### 322 - Les normes

En pratique, on observe, trois niveaux de normes.

- Niveau 1 : Standard des professionnels (référence choisie bib 1),
- Niveau 2 : Standard de fabrication défini par l'inventeur, apparemment non professionnel, d'un modèle de puits d'usage courant dans le pays,
- Niveau 3 : modifications apportées aux standards précédents, dans le cadre d'un projet (certaines doivent être classées dans les malfaçons en série).

**Il ne faut pas oublier que le choix et le respect des normes sont des facteurs déterminants de la productivité et de la longévité des puits.** Toute modification doit tenir compte de l'ensemble de ses répercussions, à court, moyen et long terme.



Tableau 1 . Evaluation des risques de rupture des colonnes de puits monocolumnes, dont la base est suspendue dans une cavité dénoyée (suppression de la poussée d'ARCHIMED)

Modèle de puits	Poids au mètre linéaire		Caractéristiques ferrailage vertical		Limites de traction		Hauteur de colonne suspendue dont le poids correspond	
	Volume en m <sup>3</sup>	Poids béton tonnes	ø en mm	nombre barres	Traction admissible en tonnes	Résist rupture en tonnes	à la limite de rupture en m	à la tract° admissible en m
OFEDS monolithique ø 140-160 (p.mémoire)	0,4712	1,2	8	22	env.15	42 à 46	35	12,5
LWR monolithique ø 140-160	idem	idem	8	8	5,6	15 à 17	12,5	4,7
AFVP monolithique ø 140-160	idem	idem	8	9	6,3	17 à 19	14,2	5,2
AFVP briques ø 140-160	idem	idem	8	8	5,6	15 à 17	12,5	4,7
GTZ pierres ø 150-180	0,778	2	6 8	6 6	2,4 4,2	6,6 à 7,2 11,4-12,6	3,3 5,7	1,2 2,1
GTZ pierres ø 150-200	1,37	3,6	6 8	6 6	2,4 4,2	6,6 à 7,2 11,4-12,6	1,8 3,3	0,7 1,2

1) le puits OFEDS monocolonne, monolithique n'existe pas à notre connaissance dans l'AIR. Ses caractéristiques de bases (diamètre, ferrailage vertical) nous ont été fournies oralement.

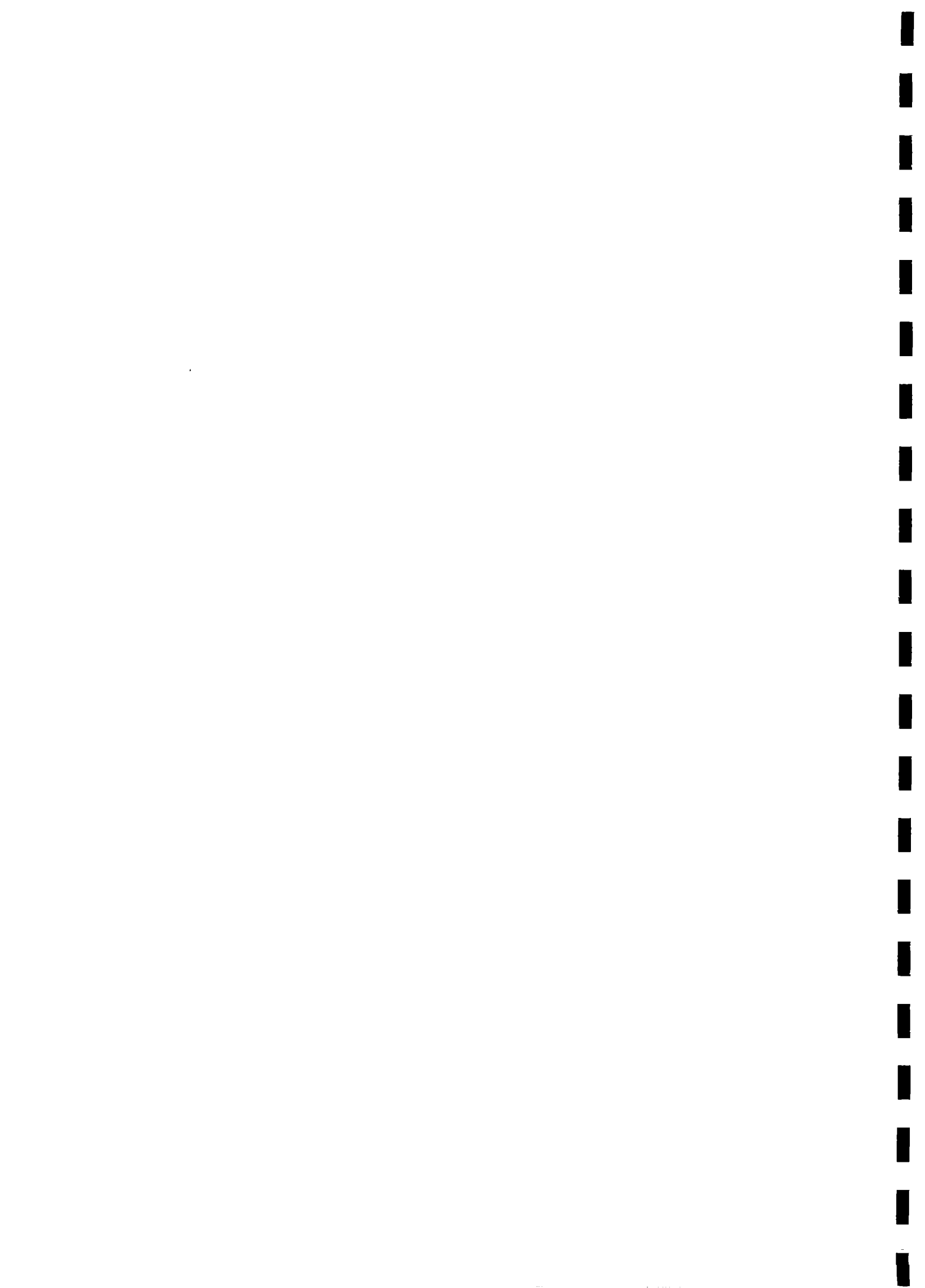




Tableau 2 : Normes pour la composition du béton et du mortier des modèles de puits en usage dans l'AIR (d'après des notes de lecture et d'enquête)

Modèle de puits	Élément	Dosages théoriques par m cube béton				Dosage de la préparation par unité			
		ciment	gravier	sable	eau	ciment	gravier	sable	unité
<b>OFEDES</b> téléscopé	cuvelage (180-200)	231 L 300 kg	800 L	400 L	180 à 200 L	139 L 180 kg	472 L	236 L	buse
	mise en eau (140-160)	308 L 400 kg	idem	idem		148 L 192 kg	384 L	192 L	buse
	trousse - coupante (140-170)	id	id	id		62 L 80 kg	154 L	77 L	trousse coupante
<b>LW R</b> -manuel 1(120-140?) - man 2 (120-140?) - man 3 (140-160)						96 L (125kg)	?	?	buse
						96 L	180 L	120 L	buse
						115 L (150kg)	350 L	150 L	buse
<b>AFVP</b> monolithique (140-160) -1979  -1986 (CCEE ?)  -1986 (FED)						115 L (150kg)	300 L	150 L	buse
						id	id	id	buse
						id	384 L	192 L	buse
<b>AFVP</b> "briques" - Téléscopés   - monocolonne (totalité)	- cuvelage et mise en eau					38 5 L (50kg)	35 L	35 L	groupe de br.
	t. coup.					id	id	id	
						id	id	id	groupe de br.
mortier (pour joints des deux modèles)						19 L (25kg)		60 L	
<b>GTZ</b> pierre	mortier					115 L (150kg)	280 L		m. linéaire

N.B.: les valeurs du tableau sont indicatives, car il n'a pas été fait de vérification systématique dans la doc.



FER A BETON : utiliser du fer de 8 mm, pour le ferrailage vertical et de 6 pour le ferrailage horizontal (le fer recuit sert aux ligatures) D'après bib 1, ils doivent être ronds, lisses, en acier doux

Caractéristiques mécaniques :

- résistance à la rupture	de 38 à 42 kg / mm <sup>2</sup>
- limite nominale d'élasticité	de 24 à 26 kg / mm <sup>2</sup>
- allongement de rupture	de 20 à 22 %
- taux limite d'utilisation en extension	14 kg / mm <sup>2</sup>
- taux limite au cisaillement et au glissement	11,2 kg / mm <sup>2</sup>

Sur ces bases, les valeurs principales, par tige, sont les suivantes

Fer de 8 (section : 50,3 mm<sup>2</sup>).

- résistance à la rupture:	de 1,9 à 2,1 tonne
- taux limite d'utilisation:	environ 0,7 tonne

Fer de 6 (section : 28,3 mm<sup>2</sup>):

- résistance à la rupture:	de 1,1 à 1,2 tonne
- taux limite d'utilisation :	0,4 tonne

Ces valeurs par tige permettent d'évaluer la résistance des colonnes à la traction (tab. 1)

- GRAVIER : le matériau doit être dur et résistant, avec une granulométrie comprise entre 10 et 25 mm<sup>1</sup>.
- SABLE : on préconise :
  - une granulométrie de 0,5 à 2 mm pour les mortiers et de 2 à 5 mm pour les bétons,
  - de prendre le sable dans le lit mineur,
  - l'absence d'argile (ce qui suppose en général un tamisage)
- CIMENT : employer du PORTLAND artificiel de la classe 250-315.

### 33 - CONDITIONS DE LA MISE EN OEUVRE DES PROJETS

La mise en oeuvre d'un projet de puits repose sur une structure humaine, matérielle et technique dont la durée est limitée à quelques années. Elle comporte beaucoup de volets : préparation du projet, achats, logistique, travaux de chantier, etc .. C'est un sujet bien connu. Seuls certains points méritent un commentaire.

---

<sup>1</sup> D'après F. LAMURY, enseignant à l'EMAIR, le diamètre (d) maximum, d'un gravier pour béton, doit être égal au quart de l'épaisseur de la paroi à construire. Or 25 mm correspond au quart de l'épaisseur habituelle des colonnes de puits de la région.



331 - La préparation d'un projet

Deux sujets seulement seront abordés . d'une part, le recrutement des hommes et leur formation, d'autre part, la fabrication du matériel spécifique

## RECRUTEMENT DES HOMMES :

- Cas 1 . **Priorité donnée à la qualité des travaux** . le volontaire, directeur des travaux, reçoit une formation adéquate ou bien l'on renouvelle le contrat d'un volontaire expérimenté dans le domaine des puits. On recrute des puisatiers professionnels ayant fait leur preuve Certains organismes font souvent appel à des puisatiers qui ont déjà travaillé pour eux.
- Cas 2 . **Priorité donnée à une technique appropriable** (ce qui ne devrait pas exclure le souci de la qualité). On doit mettre au point une procédure de recrutement et de formation des futurs paysans-puisatiers

Dans tous les cas, le nombre d'équipe doit être déterminés sur la base du programme et des conditions de terrain prévisibles.

## FABRICATION DU MATERIEL :

Le nombre d'unités de matériel spécifique dépend du nombre d'équipes. Le matériel spécifique doit être fabriqué dans un atelier spécialisé ayant une solide réputation de sérieux. Même dans ces conditions, lors de la livraison, **sa conformité aux normes sera vérifiée en détail par un professionnel expérimenté.**

332 - Les travaux de chantier

Deux points seront traités d'une part, la confection des bétons, des ciments, des buses et des parpaings ; d'autre part, l'organisation saisonnière des travaux

## 3321 - La confection des bétons , des mortiers , des buses et des parpaings

Le tableau 2 présente parallèlement , le "dosage théorique / m<sup>3</sup> de béton" (d'après bib 1) et ceux définis par les inventeurs des modèles de puits courants. Nous verrons dans les chapitres suivants, qu'aux écarts par rapport aux normes, s'ajoutent souvent des différences de qualité dans l'exécution des travaux. A noter également que l'eau entrant dans la composition du béton doit être claire et pauvre en sels

La bonne exécution d'un certain nombre d'opérations constitue un facteur essentiel de la réussite des puits. Citons d'une part la fabrication des barbacanes (qui influence le débit et la productivité des



puits) et d'autre part l'humidification du béton et du mortier pendant la période de séchage (qui influence la dureté, donc la longévité des colonnes).

Les perçoirs à barbacanes doivent être enfoncés dans les moules à buses, **avant** le coulage du béton. Ils ne doivent être retirés qu'à un stade de durcissement suffisant.

Le respect des normes d'humidification est sans doute aussi important que le respect des normes de confection du béton. Les indications que nous avons trouvées, dans les différents documents consultés, sont trop hétérogènes pour qu'il puisse en être fait état. Le manuel qui nous sert de référence (bib 1) prescrit pour les buses fabriquées en surface, un séchage à l'ombre et un arrosage périodique (quotidien ou plusieurs fois par jour ?) pendant une semaine. Par contre il ne fournit pas d'indications pour les buses fabriquées dans le puits, ce qui semble signifier que leur humidification est inutile. Partant de là nous proposons de limiter les précautions aux éléments fabriqués au sol: "briques" (parpaings), trusses coupantes, buses de mises en eau quand elles ne sont pas coulées au fond du puits. Ces éléments doivent sécher à l'ombre ( employer des nattes s'il n'y a pas d'abris ou d'arbres à feuillage dense). Ils doivent être arrosés quotidiennement ( à l'arrivée sur le chantier, à la mi-journée, au départ du chantier).

#### 3322 - L'organisation saisonnière des chantiers

Dans toute la zone sahéenne, le principe est le suivant, en particulier quand on ne dispose que de moyens manuels de fonçage:

- la traversée de la zone non saturée est en grande partie effectuée à paroi nue, vers le milieu de la saison sèche,
- juste avant l'hivernage (étiage piézométrique):
  - \* on finit le fonçage à paroi nue jusqu'à la frange capillaire,
  - \* on coule les buses de mise en eau et on les met en place par havage,
  - \* on remonte la colonne jusqu'au sol, avec remblaiement simultané de l'espace annulaire





34 - LES PRIX DE REVIENT

Tableau 3 : Synthèse des coûts partiels des différents types de puits-ciment en usage dans les jardins.

Types de puits	Coût au mètre linéaire en francs CFA	Répartition des couts en %		
		matériaux	amortissement du matériel	puisatier et aides
<b>AFVP monolithique</b>				
- GUIDAM ROUMJI	23.020	(69,5)	(5,5)	(32,6)
- AGUIE	27.478	(54,6)	(12,8)	(32,6)
- TAMAZALAK	(62.000)			
- "Vallées de l'AIR" (FED)	24.000			
<b>AFVP - brique</b>				
<i>mise en oeuvre par l'AFVP</i>				
- télescopé TAMOU	18.750	62,7	3,7	33,6
- monocolonne TAMOU	18.340	(64,6)	(3,5)	(32,1)
GUIDAM R.	23.920	(61)	(1)	(38)
AGUIE	27.583	(48,6)	(5,9)	(45,5)
<i>mise en oeuvre par le projet- "réserve AIR-TENERE"</i>				
- Neuf télescopé	26.412			60,3
- Neuf monocolonne.	26.084			48,5
- traditionnel réhabilité :				
- télescopage	21.739			44,9
- monocolonne	15.134			31,5
- GTZ réhabilité	(5.647)			68,7
<b>Puits - Pierre - GTZ-</b>				
(projet BAGZANS avec encadrement AFVP)	15.800 à 20.600	5,1 à 66,5		(3,6)

Le tableau n° 3 fait la synthèse des données recueillies au cours de l'enquête. Les valeurs entre parenthèses correspondent à des cas particuliers (concernant généralement le mode de calcul des prix). Pour faciliter l'interprétation de ce document, nous présentons les commentaires suivants.



341 - Réserves

Notre objectif n'a pas été de faire une étude comparative précise mais de présenter les données hétérogènes que nous avons pu recueillir.

L'enquête comporte des lacunes importantes, concernant en particulier.

- les puits GTZ exécutés par le projet de TIMIA,
- les puits LWR,
- les puits AFVP monolithiques exécutés dans l'AIR, dans le cadre des projets FED et CCCE.
- l'origine des données : beaucoup de valeurs proviennent de projets du sud du pays (coûts probablement moins élevés que dans l'AIR en matière de transport et de primes aux puisatiers).

D'autres points doivent être soulignés :

- Les bases du calcul du prix de revient varient d'un projet à l'autre
- Les prix présentés n'incluent généralement pas les frais à l'amont du chantier (dans le seul cas où ils sont partiellement pris en compte, à TAMAZALAK, l'analyse des coûts n'est pas exhaustive).
- Ils n'incluent pas (sauf pour les puits GTZ des BAGZANS) les prestations des jardiniers et de leurs voisins dans le cadre des GAYAS.
- les projets comparés sont d'importance très variable. Il en est de même pour les profondeurs moyennes des puits.

342 - Interprétation

Le puits-pierre GTZ paraît être le moins cher, mais au prix d'inconvénients majeurs : fragilité de la colonne, réduction de la productivité et de l'espérance de vie.

Le coût d'un puits ne doit pas s'évaluer seulement sur la base de l'investissement mais également et surtout, en fonction de la qualité du produit (pénétration dans l'aquifère, productivité, importance des travaux d'entretien, résistance mécanique, espérance de vie).

Les variations du pourcentage du coût de la main d'œuvre, dépendent de plusieurs facteurs :

- difficultés liées au terrain (en particulier lors du fonçage dans la zone saturée) et profondeur de mise en eau,
- compétence professionnelle des puisatiers (rapidité d'exécution) et conscience professionnelle (travail ralenti par le soin qui lui est apporté), ces deux facteurs jouent en sens inverse



343 - Perspectives

L'un des points qui nous paraît le plus préoccupant, concerne la capacité financière des jardiniers à exécuter des puits-ciment sans aide extérieure (nous avons déjà largement abordé le problème de leurs capacités technique). Jusqu'à ce jour, mises à part leurs prestations en nature, leur participation aux coûts, reste symbolique. Très peu d'entre eux seraient capables de payer leurs puits au prix coûtant. L'arrêt des projets provoquerait l'arrêt de la construction des puits-ciment dans l'AIR<sup>1</sup>.

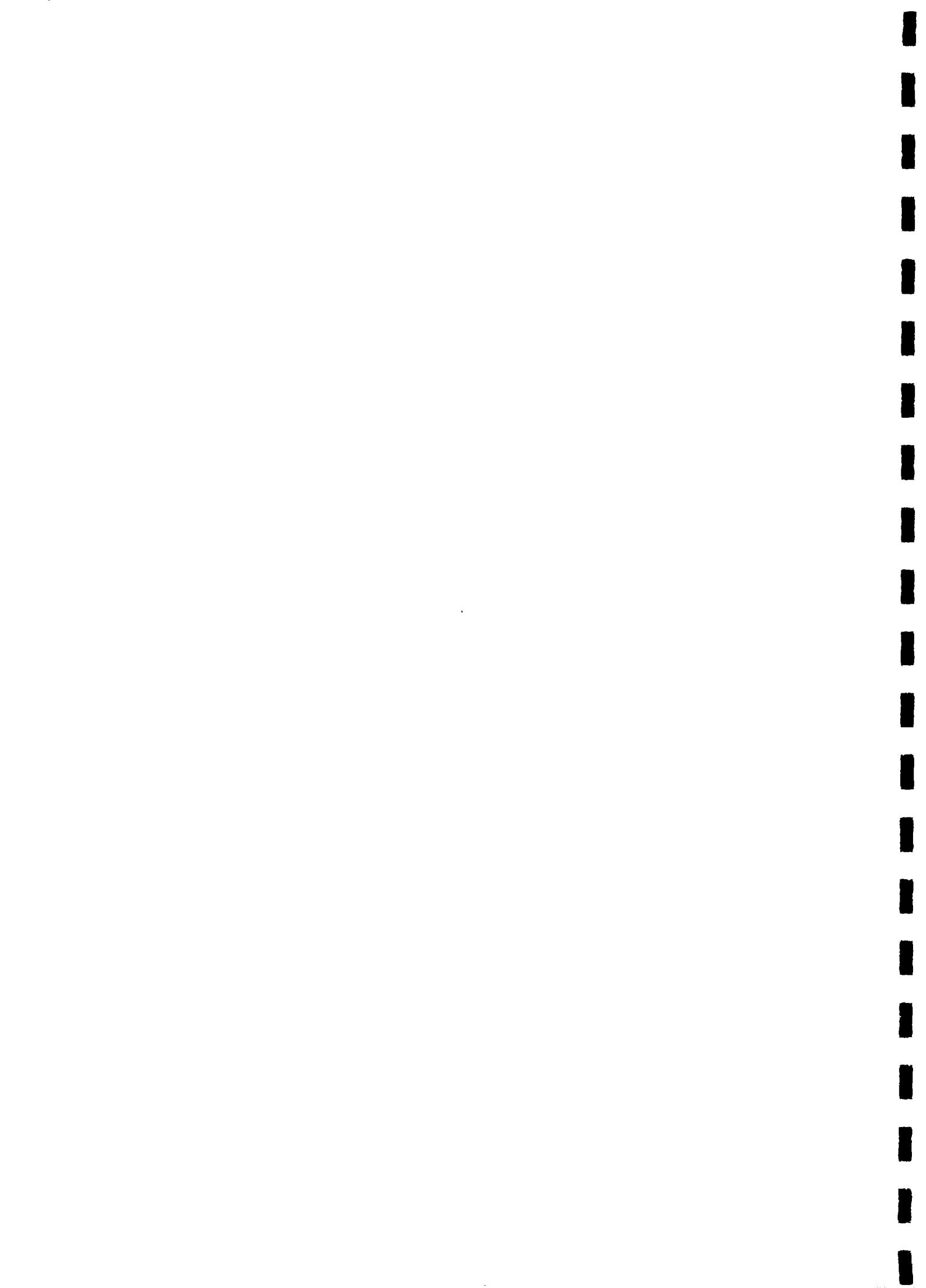
On pourrait envisager de réduire certains coûts en supprimant les infrastructures des projets et en laissant les prix s'établir en fonction du jeu de la concurrence (à l'achat des matériaux, dans les transports, dans les travaux d'exécution). Mais cette perspective nous paraît fallacieuse et utopique :

- les coûts des puits-ciment resteront tellement élevés que seuls les paysans les plus riches pourront s'en faire construire. Une aide extérieure restera donc nécessaire. Or aucun bailleur de fonds, public ou privé, n'acceptera d'apporter une aide sans que l'objectif soit bien ciblé et sans possibilité de contrôler l'exécution. Ceci entraîne des frais généraux et dans ce domaine, il est sans doute difficile de descendre en dessous d'un certain seuil, à déterminer cas par cas.
- il est à craindre que le libre jeu de la concurrence, sans contrôle technique sérieux, aboutisse à une baisse de la qualité, des performances et de l'espérance de vie des puits (achats de ciment "bon marché", emploi des puisatiers les "moins-disant"). Avant d'envisager d'entrer dans le système du marché libre, il y aurait lieu de mener des campagnes de sensibilisation de la population, aux avantages de la qualité des puits.

Une solution envisageable pour la réduction des coûts des projets, dans les zones de jardins, consisterait à exécuter non plus un puits par jardin, mais un puits d'excellente qualité, par groupe de 2 à 4 jardins voisins. Cette modification poserait peut-être un difficile problème (social et technique) de coopération entre paysans.

---

<sup>1</sup> Confirmation: Après la remise de ce manuscrit, nous avons appris que l'Association Hydraulique d'ARLIT, alias AMAN IMAN, a cessé de fonctionner, quand elle a voulu imposer aux jardiniers une participation de 100.000 f. CFA, à la construction de chaque puits.



## CHAPITRE 4

### INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT LOCAL SUR LA CONSTRUCTION DES PUITES DANS LES PLAINES ALLUVIALES DE L'AIR

#### 41 - RAPPEL SOMMAIRE DE NOTIONS D'HYDROGEOLOGIE DES NAPPES ALLUVIALES

##### 411 - Quelques caractéristiques physiques des aquifères alluviaux

Les principales catégories d'alluvions sont les argiles, les silts, les sables, les graviers, les blocs. Il existe des types intermédiaires, en fonction de la granulométrie et des mélanges (ex : sable fin argileux, argiles sableuses...). Les réservoirs alluviaux reposent sur un substratum dont le sommet est souvent altéré.

L'eau contenue dans le sol et le sous-sol se divise en deux parts :

- l'eau de rétention, fine pellicule d'eau qui adhère fortement aux particules ou aux fissures du terrain. Elle ne peut être exploitée que partiellement par les racines des plantes,
- l'eau gravitaire qui occupe le reste des vides compris entre les particules ou entre les fissures. Elle s'écoule en suivant la pente, au travers du réseau des vides. Elle seule peut être captée directement par l'homme (dans un puits, une source etc...).

Les paramètres caractéristiques d'un type de terrain sur le plan hydrogéologique sont la capacité de rétention en eau ou capacité au champ des agronomes, la porosité efficace et le coefficient de perméabilité. La capacité de rétention exprime le volume maximum d'eau de rétention que peut contenir ce terrain (en % de son volume). La porosité efficace exprime le volume maximum d'eau gravitaire qu'il peut contenir (en % également). Le coefficient de perméabilité exprime l'aptitude du terrain à être traversé par l'eau gravitaire (vitesse en m /seconde). Ce sont des concepts théoriques dont les valeurs sont déterminées empiriquement. Chaque type de terrain présente pour chacun de ces paramètres un créneau de valeurs caractéristiques. En règle générale, les valeurs concernant l'eau gravitaire (porosité efficace et perméabilité) croissent avec la granulométrie du terrain alors que la capacité en eau de rétention évolue en sens inverse (cf. bib 14).





#### 412 - Facteurs de cohésion des alluvions

La tenue des terrains non étayés, pendant le creusement des puits (et après mise en exploitation, dans certains cas) est liée au degré de cohésion des alluvions. Les enquêtes montrent qu'elle dépend essentiellement de la teneur en argile (constante dans le temps, variable dans l'espace) et de la teneur en eau (variable dans le temps, en fonction principalement du rythme des saisons)

Les argiles sont les alluvions les plus cohérentes. Leur maximum de cohésion est atteint quand elles sont sèches. En se chargeant en eau, elles tendent à devenir plastiques puis fluides (mais ce dernier stade ne nous a pas été signalé dans l'AIR).

A l'opposé se situent les sables fins purs. Leur maximum de cohésion (donc de tenue à paroi nue) est atteint quand ils sont simplement humectés. Quand ils sont saturés (remplis d'eau gravitaire), ils deviennent fluents.

Les sables argileux ont une bonne tenue à sec, mais quand ils sont mouillés, ils deviennent "boulants".

Dans les alluvions de l'AIR, il est rare de rencontrer des argiles pures ou des terrains totalement dépourvus d'argile. Les coupes géologiques présentent en général un empilement de niveaux d'épaisseur inégale, qui se distinguent les uns des autres en particulier par des différences de teneur en argile, de granulométrie et donc de cohésion. Les différences de cohésion des différentes strates, s'observent facilement dans les vieux puits traditionnels de la partie aval des plaines alluviales.

#### 413 - Les variations de la teneur en eau des réservoirs et les fluctuations piézométriques

Schématiquement de haut en bas (du sol au substratum), un puits traverse successivement trois niveaux caractérisés par une teneur en eau croissante : la **zone non saturée** (eau de rétention seulement), la "**frange capillaire**" (niveau intermédiaire épais de quelques dizaines de cm, caractérisé par un accroissement du taux d'humidité) et la **zone saturée**, laquelle contient la **nappe**. En un point donné, l'épaisseur totale du réservoir est fixe mais l'épaisseur de la zone non saturée et celle de la zone saturée varient en sens inverse, en raison des fluctuations piézométriques.

Les fluctuations piézométriques reflètent les variations des réserves. Quand les "entrées" sont plus importantes que les "sorties", le niveau de la nappe monte (remontée piézométrique). Dans le cas inverse, il s'abaisse (descente piézométrique). Sur un graphique les points caractéristiques sont les pics positifs (maximum de crue piézométrique) et négatifs (étiage piézométrique).



En règle générale, les principales entrées sont liées aux infiltrations de la rivière dans son lit mineur. Les causes de sortie sont plus variées (restitution à la rivière, évacuation vers d'autres réservoirs par interflux, prélèvements par l'homme).

#### 42 - LES CARACTERISTIQUES DES AQUIFERES ALLUVIAUX DE L'AIR

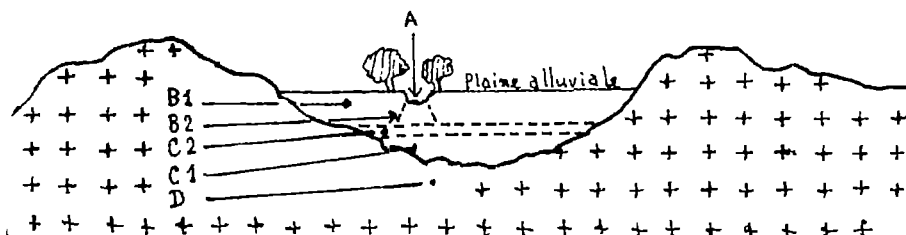
##### 421 - Remarque préliminaire

Comme il a été dit, entre l'extrémité amont et l'extrémité aval d'une plaine alluviale :

- les faciès des alluvions deviennent progressivement plus fins et plus argileux,
- l'épaisseur du réservoir tend à s'accroître,
- le niveau piézométrique s'approfondit et ses fluctuations s'amortissent,
- la recharge dépend essentiellement, voire totalement, des infiltrations de la rivière dans le lit mineur.

Il convient d'ajouter que la recharge est saisonnière et qu'elle est affectée par les irrégularités climatiques qui se manifestent à l'échelle du SAHEL ou à l'échelle du bassin versant. Par ailleurs, lors d'une année déficitaire en écoulements, elle est généralement mieux assurée dans la partie amont des plaines alluviales que dans leur partie aval.

Figure 2 : Schéma simplifié de la répartition en eau gravitaire et de l'eau de rétention, dans un réservoir alluvial de l' AIR, suivant une coupe transversale.



L'emploi des lettres A,B,C,D pour désigner les différents niveaux, ne correspond à aucune norme.

##### LEGENDE :

- Niveau A : lit mineur (kon). Ecoulement saisonnier et discontinu d'eau gravitaire (eau superficielle).
- Niveau B : alluvions non saturées ("zone non saturée") avec :
  - B 1 : alluvions non saturées en permanence (eau de rétention seulement),
  - B 2 : cône de recharge, saisonnier, réalimentant la nappe (eau de rétention permanente et eau gravitaire saisonnière).
- Niveau C : alluvions saturées ("zone saturée"), avec :
  - C 1 : zone en permanence saturée (eau de rétention + eau gravitaire),
  - C 2 : zone saturée une partie de l'année ( eau de rét. permanente, eau grav. saisonnière).
- Niveau D : substratum.



#### 422 - Les processus de la recharge et leur influence sur la piézométrie

La recharge étant liée aux infiltrations de la rivière dans le lit mineur, on peut admettre que d'amont en aval, la plaine alluviale est traversée par un couloir de recharge dont le tracé épouse celui du lit mineur. A priori, on peut également penser que sous ce couloir, un cône de recharge relie le lit mineur à la surface piézométrique (niveau B 2 de la fig.2). Ce cône est constitué par les terrains au travers desquels les infiltrations du lit mineur parviennent à la nappe et la réalimentent. Sa largeur au sommet doit dépendre de la largeur des écoulements (largeur variable). Sa largeur à la base doit être influencée par trois facteurs : la hauteur de la zone non saturée, sa perméabilité verticale et quand les terrains sont très hétérogènes, les connections entre les niveaux les plus perméables. Le cône disparaît en saison sèche.

Dans la partie amont des plaines alluviales (alluvions relativement homogènes et grossières, faible hauteur de la zone non saturée) la base du cône est probablement étroite, la recharge est rapide ( la réaction piézométrique se manifeste en bordure du lit mineur, quelques heures seulement après le début des écoulements). Les fluctuations piézométriques annuelles atteignent couramment 4 à 8 m. Au contraire, dans la partie aval, la base du cône est probablement large. La réaction piézométrique aux écoulements est tardive (plusieurs semaines et bien d'avantage dans les zones éloignées du lit mineur).

Son retard et son amplitude semblent liés principalement au régime des écoulements (lequel varie d'une année à l'autre), à la profondeur piézométrique ( id ) et à la distance entre le point d'observation (puits servant de piézomètre) et le lit mineur. En année moyenne, les fluctuations piézométriques sont modérées (2 à 3 m) ou faibles (inférieures à 1 m). Lors d'un hivernage particulièrement sec, la réaction piézométrique peut être localement imperceptible (hypothèse : les faibles infiltrations de la rivière servent en priorité à la reconstitution du stock d'eau de rétention du cône de recharge).

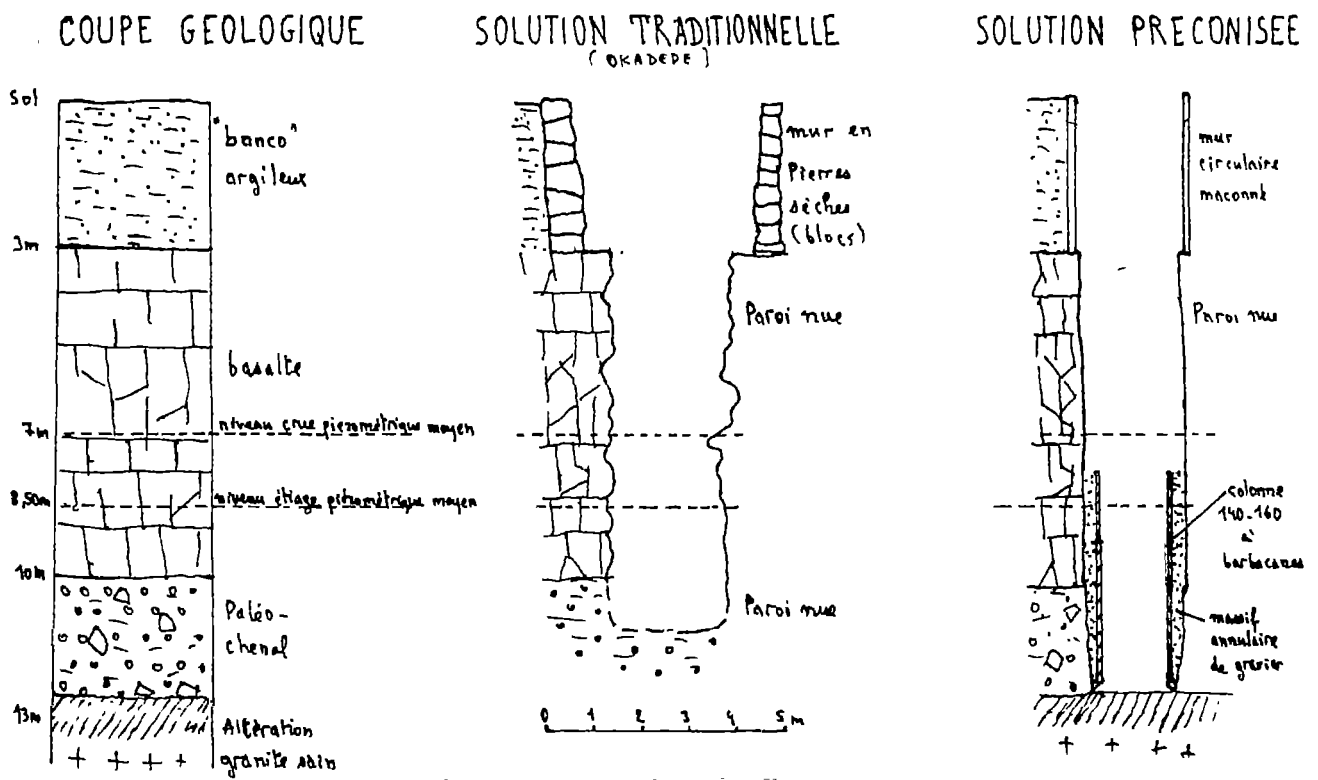
#### 423 - Influence des variations du taux d'humidité sur la tenue des parois de fouilles

Les zones des plus fortes variations annuelles du taux d'humidité sont :

- le sol du lit mineur et du lit majeur,
- le cône de recharge (niveau B 2 de la fig. 3),
- la zone de fluctuation du niveau piézométrique (niveau C2).



FIGURE N° 3. CAPTAGE DE NAPPE DANS UN AQUIFERE MIXTE  
(ALLUVIONS / BASALTE / ALLUVIONS)







Ces variations modifient la cohésion des terrains

Dans les puits, **les plus grands risques d'instabilité des terrains se rencontrent vers l'amont des plaines alluviales, lors de crues piézométriques précoces et fortes.** On observe alors deux types de phénomènes

- Premier type : éboulement d'une fouille non encore équipée de sa colonne (dégradation de la paroi nue par l'eau qui la traverse ?),
- deuxième type : tassement du terrain autour d'une colonne existante, accompagné parfois d'un enfoncement de cette colonne .

Ces incidents semblent intervenir principalement sur des puits exploités à débit élevé et présentant une grande vitesse d'ensablement. L'explication en serait la suivante . Le toit de la cavité (générée dans le terrain peu argileux par les ensablements du puits) perd sa cohésion quand il est envahi par l'eau gravitaire ; si la remontée piézométrique est importante et si la cavité est vaste, un effondrement massif peut se transmettre jusqu'au sol ( la colonne est alors entraînée vers le bas quand elle n'est pas bloquée à la base).

#### 424 - Les coulées basaltiques associées aux alluvions

Dans certaines zones (essentiellement dans un rayon d'une cinquantaine de km autour du massif des BAGZANS) des coulées de basalte peuvent recouvrir les alluvions ou y être intercalées. Elles sont constituées en fait d'un empilement de coulées successives, séparées entre elles par des niveaux friables. Le basalte est caractérisé par sa dureté (excellente tenue à paroi nue, sauf à hauteur des niveaux friables; grande difficulté de fonçage) et par une perméabilité de fissures. La base de la coulée peut atteindre la zone saturée. On passe alors au schéma des nappes basaltiques et sous-basaltiques. Concernant les modalités de la recharge de ces nappes dans l'AIR, on ne peut qu'avancer des hypothèses. D'après nos observations personnelles dans les BAGZANS, l'infiltration de la pluie dans la surface des coulées ne joue probablement aucun rôle. L' infiltration des écoulements dans le lit mineur rocheux peut contribuer à la recharge si la coulée présente des macrofissures qui descendent profondément. Enfin certaines nappes basaltiques pourraient être alimentées par inféoflux, l'infiltration des crues ayant lieu dans des plaines alluviales distantes de 5 à 10 km



43 - LES MATERIAUX431 - Matériaux achetés dans le commerce

- FER A BETON et FIL DE FER RECUIT : on s'écarte des normes du manuel (bib 1) uniquement pour le fer de 8 qui est tors et non lisse
- CIMENT : les meilleurs ciments seraient, au début des années 90 (d'après des tests en laboratoire) ceux de MALBAZA (NIGER) et d'ASAKA (NIGERIA). La meilleure sacherie serait celle de MALBAZA. Ce facteur n'est pas négligeable car il réduit les risques de pertes de ciment (par éventration des sacs), et d'altération (par infiltration d'air).

Remarque : sur le plan logistique, le relief de l'AIR, impose assez souvent l'emploi de véhicules 4X4, voire le recours aux animaux de bas (avec rupture de charge au pied de la zone non carrossable). Pour le transport du fer de 8, par animaux de bas, deux solutions sont envisageables . le pliage (solution obligatoire pour le modèle GTZ) et le prédécoupage à la base du projet, en bouts de 1,55 m à 1,30 m, suivant les modèles

432 - Matériaux locaux

- SABLE et GRAVILLON : dans les plaines alluviales, le gisement le plus intéressant est le lit mineur. Le sable en est constitué en proportion variable, par les éléments essentiels du granite (quartz, feldspaths, micas, amphiboles ). Sa granulométrie dépend de celle de la roche-mère, de la distance de transport par les eaux (usure) et des variations du régime des écoulements (on observe de fréquentes intercalations de matériaux très fins, déposés par les décrues).
- GRAVIER : le quartz constitue un matériau idéal. Mais s'il est globalement abondant dans l'AIR, les conditions d'approvisionnement sont rarement très favorables. On le trouve soit sous forme de grains provenant de la désagrégation du granite (granulométrie en général trop fine) soit sous forme de blocs d'origine filonienne (granulométrie trop grossière, gisements très irrégulièrement répartis). On doit donc utiliser des graviers de composition minéralogique hétérogène. La meilleure solution serait sans doute de mélanger en proportion adéquate, après criblage et éventuellement concassage ) les éléments grossiers du lit mineur, des pierres volantes ramassées dans le lit majeur et éventuellement des déblais de fouilles.



Remarque: Dans le cadre de la préparation d'un chantier important (nombreux puits) on pourrait envisager une série de prélèvements dans les gisements locaux de sable et de gravier. Les échantillons seraient confiés à un technicien compétent d'un laboratoire (EMAIR, SATOM, SERTA ?) qui, après analyse granulométrique, présenterait des recommandations.

- PIERRES (pour puits GTZ uniquement) : dans la plupart des cas, on trouve, à proximité des chantiers, principalement des éboulis arrondis et présentant une frange d'altération épaisse. Nous avons vu les meilleurs matériaux à BAGZANE-N'AMMAS où les paysans ramassent préférentiellement des blocs parallélépipédiques, de 10 ou 20 cm de côtés, aux arêtes anguleuses, provenant du démantèlement d'un gros filon de microgabbros (?). La roche paraît peu altérable. La forme naturelle des blocs favorise l'encastrement des pierres, donc la cohérence de la colonne et permet une économie de ciment.

#### 433 - Préparation et stockage des matériaux en vue de leur mise en oeuvre

Dans la mesure du possible, les matériaux doivent présenter une qualité optimale au moment de leur mise en oeuvre

- CIMENT: à noter seulement que dans l'AIR, il n'existe pratiquement aucun risque de détérioration des stocks de chantier, par la pluie, de début octobre à fin avril
- SABLES et GRAVIERS : au vu de certains constats de terrain, il convient de rappeler la nécessité du tamisage et ses règles. Tout tamisage est réalisé par passage successif sur deux tamis (p ex. tamis de 25 et de 10 mm pour les graviers). Pour une élimination correcte des "fines" et des argiles, les sables doivent être parfaitement secs lors du tamisage. Les graviers trop gros sont éliminés ou concassés. Le tamisage des graviers peut être exécuté soit à sec, soit à l'eau. Dans l'AIR, comme dans les régions voisines, le stockage prolongé des matériaux tamisés, risque de provoquer leur pollution par le vent (apports de sable et d'argile éoliens). Par ailleurs, en principe, pendant la demi-heure précédant leur utilisation, les sables et les graviers devraient être refroidis (aspersion puis recouvrement du tas par des sacs mouillés)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Conseil de F. LAMURY, de l'EMAIR.



#### 44 - OBSERVATIONS PRATIQUES DIVERSES

##### 441 - Difficultés de transport du matériel

Nous avons signalé, à propos du transport du ciment et du fer à béton, que dans l'AIR, l'accès au site oblige à recourir souvent aux véhicules 4x4 et parfois aux animaux de bas. Le problème est comparable pour le matériel des puisatiers. L'emploi d'animaux de bas interdit pratiquement la motorisation des chantiers et ne favorise pas le choix de modèles de puits dont le matériel est encombrant et/ou lourd.

Les problèmes de déplacement du matériel sur les sites, d'un emplacement de puits à l'autre, semblent être les mêmes que dans les régions du Sud, sauf sur les sites inaccessibles aux véhicules, quand les puits sont très éloignés les uns des autres.

##### 442 - Les problèmes de sécurité des puisatiers

La tenue des terrains autorise souvent à travailler sans la protection d'une colonne, dans la zone non saturée (ce qui ne serait pas envisageable en terrains meubles, sous un climat tempéré humide par exemple). Les plus grands risques d'instabilité de la fouille, pendant la construction, se rencontrent, à notre avis, dans les circonstances suivantes :

- dans la zone non saturée, traversée d'épais niveaux de sable non argileux (en toute saison, mais le risque est plus grand en hivernage si ces niveaux deviennent aquifères et productifs),
- dans la zone de fluctuation piézométrique, au cours d'une remontée, y compris si la colonne est simplement ébauchée,
- dans la zone saturée, si l'on creuse sans étalement immédiat par une colonne havée.

La sous-estimation du risque peut avoir des conséquences graves pour le puisatier (blessures, ensevelissement) et pour le puits. Mais en fait les plus grands risques sont encourus, à notre avis, par les paysans quand ils remplacent le boisage profond des puits traditionnels

##### 443 - Calendrier annuel des travaux

On trouvera dans le compte-rendu d'enquête sur le projet de TAMAZALAK, un calendrier des travaux de chantier, basé sur l'expérience. On peut le généraliser à toutes les régions de l'AIR qui présentent un régime pluviométrique comparable. Pour son application, on dispose d'une plus grande latitude dans la partie aval d'une plaine alluviale (surtout loin du lit mineur) que dans la partie amont. En effet,





comme il a été dit, les réactions piézométriques aux écoulements y sont tardives et amorties, en outre les premiers écoulements de l'hivernage peuvent être absorbés avant de l'atteindre.

#### 45 - ADAPTATION DU PROGRAMME TECHNIQUE AUX CONDITIONS D'AVANCEMENT

Nous distinguons trois cas généraux :

- alluvions meubles mais cohérentes sur toute la hauteur,
- présence d'épais niveaux instables ou peu cohérents,
- obstacles rocheux dans les alluvions.

Les deux premiers cas sont courants au SAHEL et relèvent de solutions classiques, que nous rappellerons succinctement. Le troisième cas ne semble pas évoqué dans la documentation spécialisée et il sera abordé sur la base de nos enquêtes dans l'AIR.

#### 451 - Terrains meubles mais cohérents sur toute la hauteur des alluvions traversées

Dans la définition de ce cas de figure, on admet des intercalations de terrains peu stables mais à condition qu'elles soient rares, de faible épaisseur et qu'elles ne créent ni difficultés de fonçage, ni risque d'éboulement. Il convient d'appliquer des solutions classiques

- OUVRAGES TELESCOPES : les différentes techniques envisageables (sauf le fonçage en apnée) ont été décrites dans le manuel que nous avons pris pour référence (bib. 1). Le lecteur pourra le consulter. Il convient de souligner la nécessité d'ancrage (s) du cuvelage.

- OUVRAGES en BETON ARME, MONOCOLONNES (cf. bib 5) :

- Phase 1 : Fonçage à paroi nue jusqu' à la frange capillaire (fig. 5A)
- Phase 2 : Construction au fond du puits, des premiers mètres de la colonne (trousse coupante et buses ) pour lui donner du poids (fig. 7A)
- Phase 3 : descente de la colonne par havage avec mise en place simultanée du massif annulaire de gravier (fig. 7B)
- Phase 4 : élévation de la colonne jusqu'au sol et comblement de l'espace annulaire.

Le modèle LWR ne suit pas exactement ce schéma, pour les phases 2 et 3 (voir chapitre suivant).



#### 452 - Présence d'épais niveaux instables

Les risques liés à l'instabilité de la paroi sont en principe limités à la traversée de la zone non saturée. En effet toutes les techniques prévoient pour la zone saturée, le fonçage sous protection de la colonne havée (sauf pour les puits GTZ, aux mises en eau très peu profondes)<sup>2</sup>.

Comme il a été dit précédemment, la traversée à paroi nue, d'une zone non saturée avec d'épais niveaux instables, entraîne des risques inadmissibles pour les puisatiers. Pour les puits télescopés, on consultera les solutions du manuel de référence (bib 1). Concernant les autres modèles, la règle est la suivante. Dès que la fouille atteint des niveaux dangereux, la colonne doit être édiflée et descendue progressivement par havage. Dans certaines régions du NIGER où les alluvions sont constituées de terrains fluents dès les premiers mètres, la trousse coupante et la première buse sont construites directement sur le sol et l'avancement se fait entièrement par havage. Cette solution peut s'imposer dans certains lits mineurs de l'AIR<sup>1</sup>

#### 453 - Obstacles rocheux dans les alluvions

Les obstacles rocheux signalés dans l'AIR sont de deux types :

- gros blocs (éboulis granitiques généralement) obstruant partiellement la fouille,
- coulée de basalte occupant la fouille sur toute sa largeur.

##### 4531 - Gros blocs

Les gros blocs peuvent être rencontrés soit dans la zone non saturée, soit (ce qui pose des problèmes plus grave), dans la zone saturée.

La première opération consiste à évaluer l'importance du bloc et la difficulté de son élimination. Un examen est fait à l'oeil nu, s'il est hors d'eau puis au toucher par un plongeur en apnée, dans le cas contraire. A l'issue de cet examen, une décision doit être prise (moyens à mettre en oeuvre ou abandon de l'emplacement).

---

<sup>2</sup>Des prises de risque liées à l'ignorance sont toujours possibles. Un dossier de projet du MALI, remontant à une dizaine d'années, fait état de fonçages à paroi nue dans l'aquifère. La supervision avait été demandée à un volontaire infirmier, en marge de son activité normale

<sup>1</sup> - Signalons que l'on a vu, sur un chantier de forage, au milieu du kori AMDIGRA, une fouille d'environ 10 m de profondeur, à paroi nue, dans des sables que l'on savait bouillants. Elle était destinée à la récupération d'un packer.



L'élimination de l'obstacle peut être réalisée soit manuellement, avec la masse et la barre à mine (opération très difficile sous l'eau) soit avec motorisation (marteau piqueur avec éventuellement pompage de rabattement de nappe). Quand elle a lieu en dessous du niveau piézométrique, elle peut être gênée par des venues de gravier du massif annulaire ou par des venues de terrains aquifères. Si l'opération se révèle trop coûteuse, il vaut mieux abandonner l'emplacement.

#### 4532 - Coulées de basaltes

Dans l'AIR, quand une coulée de basalte est masquée par des alluvions, deux types de coupes géologiques peuvent être observés :

- alluvions / basalte / substratum,
- alluvions / basalte / alluvions / substratum.

Des coupes plus complexes peuvent en principe exister, comme au Nord du TCHAD, où l'on a décrit des séries composées d'alternances de grès et de basaltes

Il est fait état ci-après, d'observations effectuées sur des puits d'OKADEDE, dans les BAGZANS et d'EL MEKI. Les premiers sont traditionnels; les seconds, pour la plupart, sont des puits-ciment. Il est utile de comparer les résultats obtenus.

A OKADEDE, les jardiniers ont construit des puits dont la coupe est schématisée par le figure 3. Il est difficile de déterminer leur âge. Certains semblent identifiables sur la photo aérienne, ils auraient donc plus de 25 ans. Les seuls travaux d'entretien signalés sont des approfondissements successifs, liés à une baisse du niveau de la nappe.

A EL MEKI, il existe trois modèles de puits : traditionnel, GTZ, AFVP monolithique. D'après des informations orales, les puits-ciment ont été réalisés par le Génie Rural, sur fonds koweïtiens. Deux projets se seraient succédés :

- 1987 . exécution de 19 puits GTZ
- 1989-90 :
  - phase 1 : exécution de 25 puits monolithiques type AFVP,
  - phase 2 : approfondissement des 19 puits GTZ, par télescopage d'une colonne de buses fabriquées au sol (en fait cette seconde phase n'aurait pas été réalisée. Nous ignorons si les raisons de cet abandon sont d'ordre technique ou administratif)

L'enquête de terrain a porté sur 8 puits-ciment ( 3 GTZ et 5 AFVP). Les observations depuis le sol ont montré qu'aucune colonne AFVP n'est parfaitement droite et que quatre d'entre elles présentent un net changement d'inclinaison vers 6 ou 8 m de profondeur. Les torsions de colonnes supposent a



priori, une cassure ouverte sur un des côtés et si le terrain n'apparaît pas à ce niveau, c'est probablement par-ce-qu'il a été masqué par du mortier taloché.

Sous réserve d'informations nouvelles, nous pensons que la procédure classique n'a pas été respectée. Notre hypothèse est la suivante. Pour protéger les puisatiers des chutes de galets (présents dans le terrain dès les premiers mètres) on aurait commencé l'édification de la colonne et sa descente par havage bien avant d'atteindre le niveau piézométrique. Le ripage de la trousse-coupante, sur des plans de pendage ou sur des fissures du basalte dans la zone non saturée, serait responsable de la torsion de la colonne.

**En conclusion, les puits traditionnels paraissent mieux adaptés que les puits-climent à ce type de terrain.** Malgré les irrégularités de détail de la paroi, la verticalité de l'axe du puits est bonne. La solidité du basalte ne nécessite pas un soutènement par une colonne continue, coûteuse.

Nous préconisons donc la mise en oeuvre de la technique "OKADEDE" moyennant des améliorations. Ces améliorations porteraient sur l'emploi de moyens modernes de fonçage (marteau-piqueur, explosifs, pompes pour travailler en rabattement de nappe) et sur la cimentation de certains des niveaux présentant des risques d'instabilité. Voici à ce sujet quelques recommandations :

- 1 - Face aux alluvions sommitales, à conditions qu'elles ne dépassent pas quelques mètres d'épaisseur, on exécutera un mur circulaire en pierres cimentées (présentant une meilleure résistance à la poussée des terrains, que les murs rectangulaires en grosses pierres sèches des puits traditionnels d'OKADEDE). La base de ce mur doit épouser les irrégularités du sommet de la coulée. A ce niveau, la section du puits doit être au minimum de l'ordre de 2,30 m.
- 2 - A hauteur de la coulée, la section doit être au minimum de 2 m, afin de permettre si nécessaire la descente d'une trousse coupante et la fabrication de buses au fond du puits (cf. § 4 ci-dessous).
- 3 - Dans la zone non saturée, on évitera les chutes de pierres, soit par une cimentation localisée, soit en éliminant à la pioche ou à la barre à mine, tous les blocs et matériaux qui paraissent instables.
- 4 - Dans la zone de fluctuation de la nappe, il faut éviter les facteurs de pertes de charge et par conséquent interdire la cimentation des blocs instables et éliminer soigneusement des fissures, les matériaux argileux.
- 5 - Si le puits atteint, à nouveau, des alluvions sous la coulée de basaltes, on édifie à ce niveau une colonne classique, avec trousse coupante, buses à barbicanes et massif annulaire de gravier. Le sommet de la colonne doit dépasser un peu le niveau moyen





d'étiage piézométrique, pour permettre la recharge régulière du massif annulaire de gravier.

Ce sont là des indications générales qu'il convient d'adapter cas par cas.



## CHAPITRE 5

### SYNTHÈSE DES DONNÉES RECUEILLIES SUR LES PUITES MONOCOLONNES, MONOLITHIQUES EN USAGE DANS L' AIR.

Les puits monocolones, monolithiques sont représentés dans l' AIR par les modèles LWR et AFVP.

#### 51 - PUITS LWR

##### 511 - Identification

- DESIGNATION : " Puits maraicher en béton" (PMB) de LWR.
- INVENTEUR : ONG américaine "Lutheran World relief" (LWR), direction de NIAMEY.
- HISTORIQUE : L' ancêtre du modèle actuel semble avoir été créé vers 1975. Il s' agissait probablement d' un empilement de buses indépendantes (solidarisées par encoches ?) en diamètre 100-120. L' historique de l' évolution de ce modèle est esquissé dans le troisième manuel qui lui a été consacré (bib 4, p. 33). Cette référence est intéressante pour la connaissance des techniques utilisées dans les jardins de l' AIR, à la fin des années 70.
- BIBLIOGRAPHIE DE REFERENCE :  
" Nouveau manuel sur les puits maraichers en béton armé (PMB), type LWR" R. Mercier .  
1986 (bib 4) .
- CLASSEMENT : Puits en béton armé, monocolonne, monolithique, sans trousse coupante ni massif annulaire de gravier, en diamètre 140-160

##### 512 - Description de la filière standard

###### 5121 - Caractéristiques de l' ouvrage terminé

Puits en béton armé, monolithique, à colonne unique dont le sommet dépasse d' un mètre environ au dessus du sol et dont la base pénètre de plusieurs mètres (**en principe**) dans la nappe.

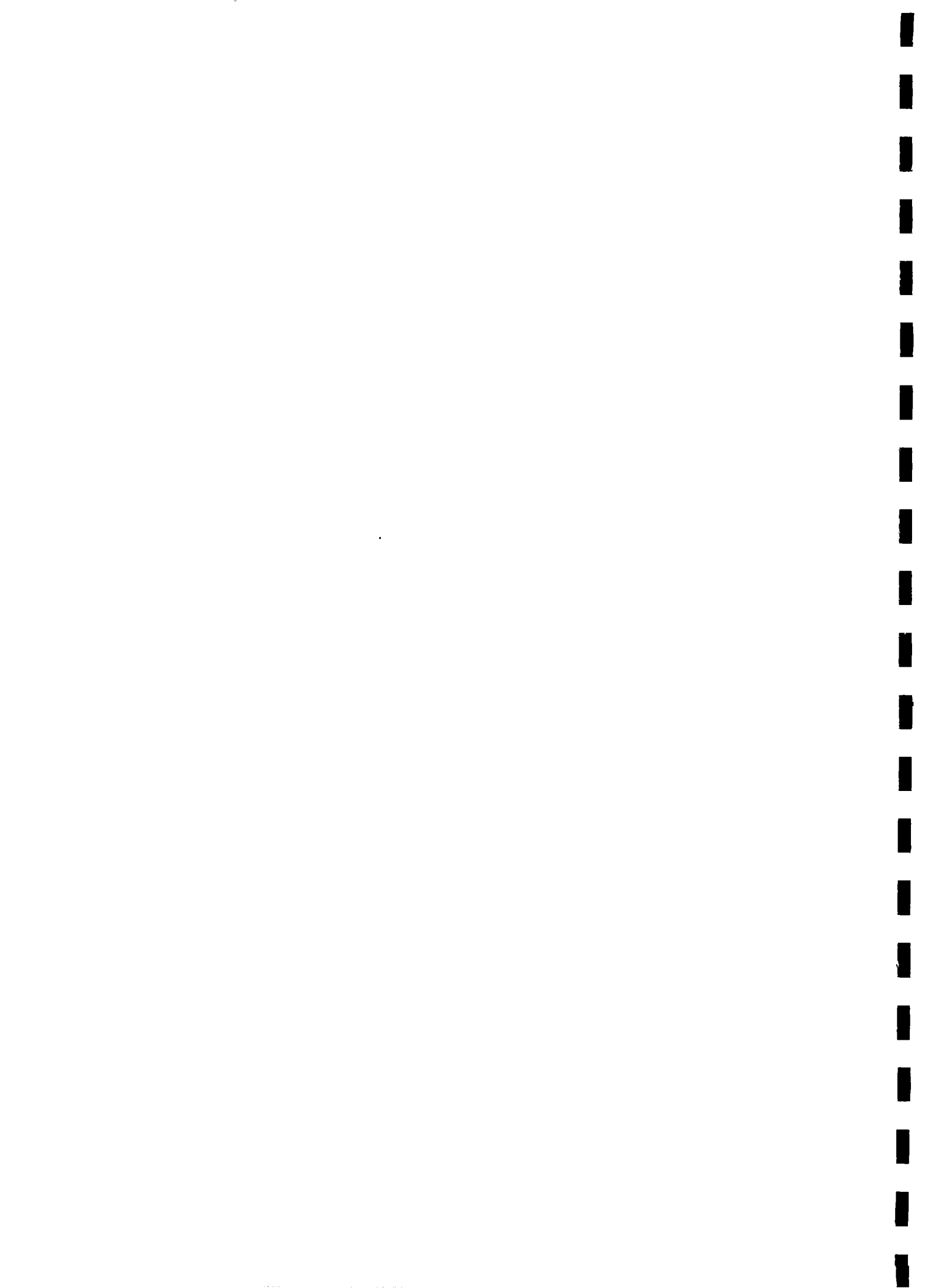
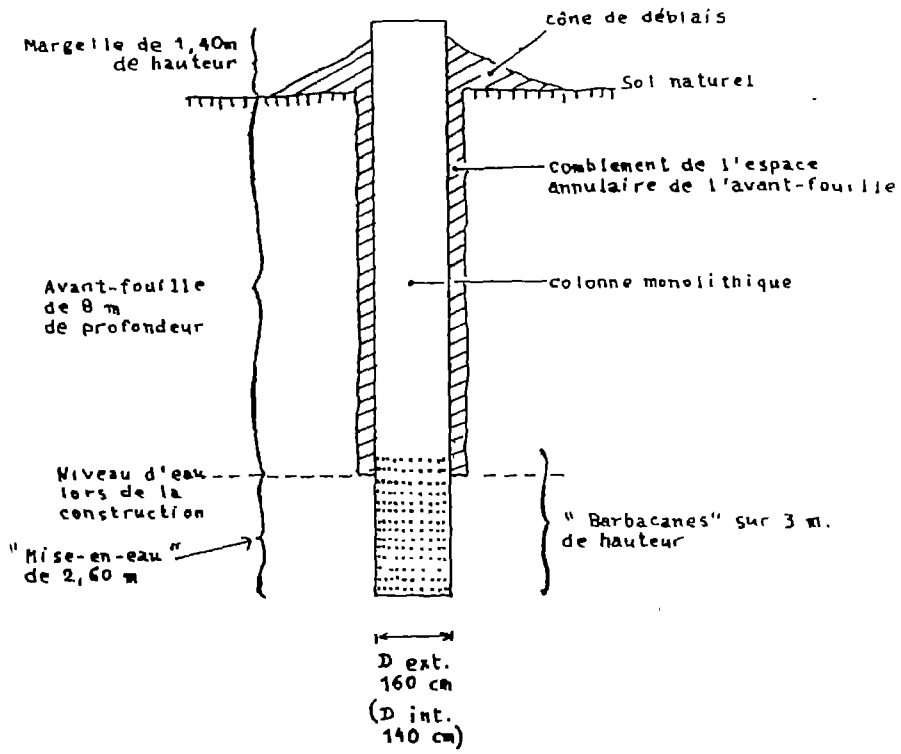


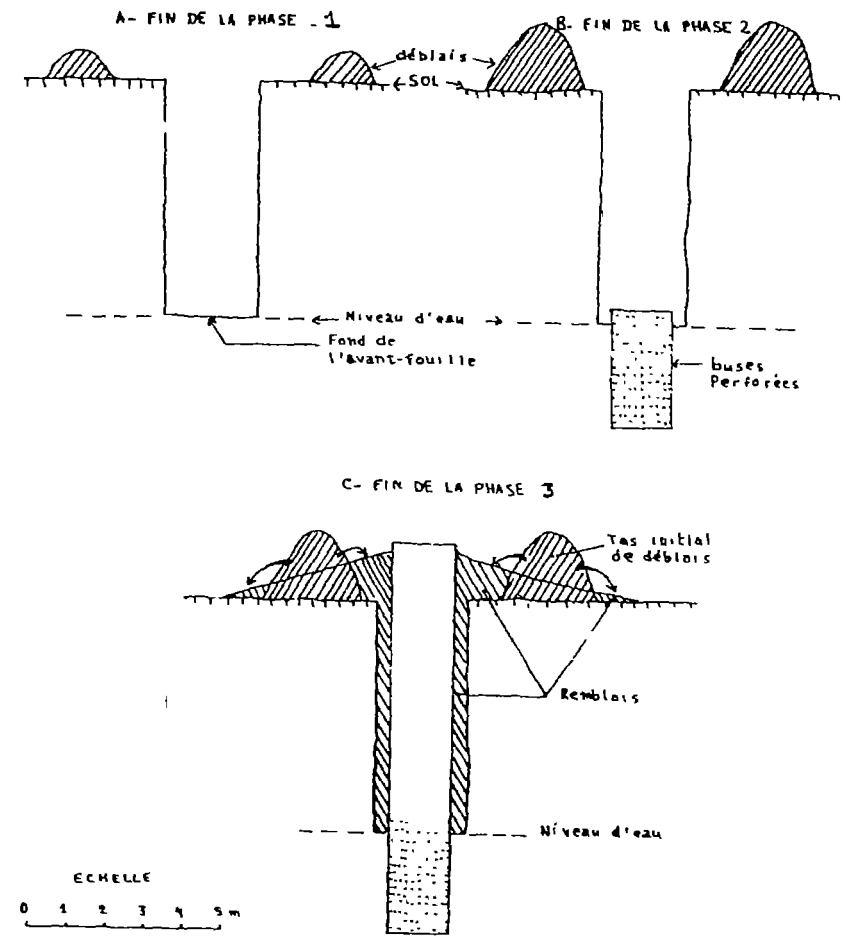
FIGURE N° 4  
COUPE TECHNIQUE D'UN Puits LWR ("PMB").



Echelle: 1/100

Dessin R. MERCIER  
Figure extraite du bull. CIEM n° 69

FIGURE N° 5  
CROQUIS DES PRINCIPALES PHASES  
DE LA CONSTRUCTION D'UN Puits LWR



Dessin R. MERCIER  
Figure extraite du bull. CIEM n° 69, avec modifications



Diamètre 140-160 Absence de trousse coupante et de massif annulaire de gravier Hauteur de la partie captante, en principe 3 m (en fait la pénétration initiale dans la nappe est généralement beaucoup plus faible). Le cuvelage n'est pas parfaitement étanche car il conserve quelques perforations héritées de la construction. Le vide annulaire qui l'entourait à hauteur de la zone non saturée, lors de son édification, est remblayé par du tout venant plus ou moins argileux, ce qui a pour effet de bloquer la colonne

Le ferrailage, classique mais léger, comprend .

- 8 barres verticales de 8 mm, en tiges de 1,30 m, assemblées par crochets,
- 4 cercles horizontaux de 6 mm, au m linéaire (donc par buse), ligaturés aux barres verticales

La margelle est constituée par le sommet de la colonne Les puits villageois et pastoraux comportent une superstructure à la périphérie de la colonne, dont l'élément de base est une dalle en béton armé, solidarisée avec la colonne et inclinée vers l'extérieur.

#### 5122 - Programme de construction

- Phase 1 : fonçage d'un trou circulaire en 2,30 m de diamètre, à paroi nue, du sol jusqu'à la zone de remontée capillaire.
- Phase 2 : édification de la base de la colonne, au fond du trou, avec mise en place par havage. L'exécution de chaque buse est suivie d'un enfoncement de la colonne par havage, d'environ un mètre. Pendant cette phase, le sommet de la colonne dépasse au dessus du fond, de 1,40 m après la construction d'une buse et de 0,40 m après havage.
- Phase 3 : finition du puits. Cette phase comporte le rehaussement de la colonne (coulage en placedesbuses) et le remblaiement simultané de l'espace annulaire existant à sa périphérie.

Le programme est modifié si les terrains de la zone non saturée sont fluents ou bouillants. On passe alors à la phase 2 avant d'atteindre la zone de remontée capillaire.

#### 5123 - Matériel spécifique

Début 1986, la dotation en matériel d'un puisatier (avec son équipe) comprenait .

- un jeu de moules pour buses (moule extérieur et moule intérieur),
- l'appareil de levage (chèvre, poulie, croix de levage),
- les accessoires.
- les outils courants de chantier (pelles etc...).

Les spécificités les plus marquées du matériel LWR, sont l'absence de moule pour trousse coupante et les caractéristiques des moules à buses.





Les moules à buses sont des bandes de tôle légère (20 dixièmes), d'une seule pièce, longues de 4,398 m pour le moule extérieur et de 3,735 m pour le moule intérieur, la largeur étant de 1 m. Elles ne présentent pas de renfort, sauf aux deux extrémités (cornières servant à la fermeture des moules par boulonnage). Ces moules sont flexibles. Il n'y a pas de gabarit et leur mise en forme est faite "à l'oeil" par le puisatier, juste avant la fabrication de chaque buse. La parfaite circularité de la colonne (facteur essentiel) dépend donc du coup d'oeil du puisatier

Seul le moule intérieur présente des perforations pour la mise en place des "perçoirs" qui servent à la fabrication des barbacanes. Sans guide, l'inclinaison des barbacanes, dépend également du coup d'oeil du puisatier.

Ce type de moule, malgré sa légèreté, est probablement plus difficile à transporter par des animaux, que les moules classiques démontables en plusieurs pièces (problème d'encombrement)

#### 5124 - Organisation et logistique

Chaque puisatier est polyvalent. Il est capable, avec une équipe, de réaliser un puits de A jusqu'à Z. Il est donc autonome ce qui simplifie l'organisation des chantiers. Le matériel est transportable à la main ou par des animaux de bât (avec une réserve pour les moules). L'équipe est donc relativement indépendante de la logistique du projet, quand les emplacements de puits sont proches les uns des autres.

#### 5125 - Niveau de compétence et formation des puisatiers

Le niveau de compétence et le système de formation des intervenants de terrain, sont liés à la politique de l'ONG en matière de développement. Les objectifs paraissent être les suivants:

- réaliser rapidement des puits peu coûteux (à la portée des familles rurales sur le plan financier), donc peu profonds et de conception simple.
- faire exécuter les travaux par les villageois et permettre à ceux-ci, sur la base des connaissances techniques acquises, d'entreprendre ultérieurement, de leur propre initiative, la construction de nouveaux puits; leur permettre également d'entretenir ou d'approfondir les puits existants, en cas de besoin. Ce second objectif demande aussi une technique simple. L'ONG estime que la simplicité du matériel et de l'outillage permet leur utilisation par des villageois

La formation des candidats-puisatiers est effectuée sur le site du projet. Son programme est le suivant:

- 1) Exécution d'un puits de démonstration par deux chefs-puisatiers, devant les candidats.
- 2) Les candidats se répartissent en groupes de deux personnes. Chaque groupe exécute un puits, sous la surveillance des deux chefs-puisatiers.



- 3) Les candidats promus puisatiers, exécutent les autres puits du projet, sous la surveillance d'un seul puisatier expérimenté, lequel réalise en même temps ses propres puits.
- 4) On impose des stages de recyclage, aux puisatiers qui se révèlent peu performants.

A noter qu'en 1986 (nous ignorons si les conditions ont changé depuis lors) il n'y avait pas de véritable formation à la plongée en apnée et l'ONG semblait se contenter de mise en eau peu profondes (souvent moins de deux mètres) D'autre part, comme il a déjà été dit, le contrôle exercé par les volontaires (moniteurs) lors de leurs tournées mensuelles, était léger

#### 5126 - Comptes-rendus d'enquêtes

LWR n'ayant pas travaillé à notre connaissance, dans l'AIR, les observations ci-après proviennent d'enquêtes effectuées dans le Sud du NIGER en 1986. Autant que nous puissions nous en souvenir (nous n'avons pas consulté nos notes de terrain avant d'écrire ces lignes), les puits de certains projets, en cours d'exécution ou récents, présentaient une bonne apparence dans la partie visible (paroi intérieure de la colonne au dessus du niveau d'eau). Par contre, dans des projets plus anciens, nous avons observé des inclinaisons de colonnes, assez faibles dans 50 % des cas, très nettes dans 25 % des cas

Suivant les sites, les inclinaisons provenaient soit d'un manque de savoir-faire des puisatiers (mise en place par havage, mal contrôlée), soit d'un enfoncement ultérieur de la colonne, sous l'effet du puisage dans des sables fins fluents (l'absence de massif annulaire de gravier et de dalle de fond accélère sans doute le phénomène).

Dans les comptes-rendus consultés à l'époque, il apparaissait que les mises en eau étaient insuffisantes (souvent moins de 2 m). Cette lacune peut avoir trois causes :

- l'absence de véritable formation des puisatiers à la plongée,
- l'absence de trousse coupante et de massif annulaire de gravier (pour les terrains argileux),
- le manque de poids de la colonne lors de la mise en eau (comparer la procédure avec celle de l'AFVP).

#### 513 - Filières utilisées dans l'AIR

D'après des informations, orales en grande partie, le modèle LWR a été mis en oeuvre dans l'AIR, par le Génie Rural et par des ONG

#### 5131 - Travaux du Génie rural (GR)

Sous réserve de vérification, c'est d'abord l'UNCC puis le GR qui ont réalisé, dans le cadre d'un financement FED, les centaines de puits inventoriés par le BRGM (bib 15) sous le nom de puits



UNCC Nous n'avons pas mené d'enquête méthodique sur ce projet. Les colonnes sont en 120-140 Les moules portaient probablement des renforts intérieurs, ce qui réduisait leur flexibilité mais aussi peut-être les risques de déformation. Nous ignorons les conditions de recrutement des puisatiers et de surveillance des travaux, mais les colonnes que nous avons observées présentaient une bonne circularité et un faible degré de corrosion. La plupart de ces puits semblent avoir été approfondis vers 1984-85 mais, compte tenu de l'ampleur de la chute piézométrique intervenue à cette époque, on ne peut sans recherches d'archives, avancer parmi les causes possibles, une mise en eau initiale insuffisante. Beaucoup de colonnes ont perdu leur verticalité à cette occasion.

#### 5132 - Travaux des ONG

Les puits que nous avons observés dans les vallées du TELOUA et d'ASSADA ainsi qu'aux environs d'AOUDERAS, d'ABARDHOK et de TABELLOT, présentaient parfois une bonne apparence, mais beaucoup avaient mauvais aspect ou étaient sujets à problèmes. On peut citer en particulier :

- 1) des buses non circulaires, ovoïdes (avec parfois une forte variation d'épaisseur, ce qui suppose la perte des "écarteurs"),
- 2) des buses imparfaitement superposées,
- 3) des parois de colonnes, corrodées, parfois crevassées (le béton comporte des graviers trop gros et a été mal vibré),
- 4) des colonnes inclinées, à la suite d'un approfondissement volontaire et descendues de 4 m en dessous du sol naturel, depuis 1984-85 . L'inclinaison interdit pratiquement le puisage dans certains de ces ouvrages (mêmes causes et mêmes effets que pour les puits du GR),
- 5) des tassements de terrain autour des colonnes (problème déjà évoqué).

A propos des observations 1 à 3 ci-dessus, on peut reprocher à certains organismes ou à certains volontaires, partisans à l'extrême des techniques appropriables, de n'avoir sans doute pas respecté les normes de formation et de contrôle des puisatiers (déjà insuffisantes à notre avis) édictées par LWR. On a dû confier à chaque paysan, la construction de son propre puits

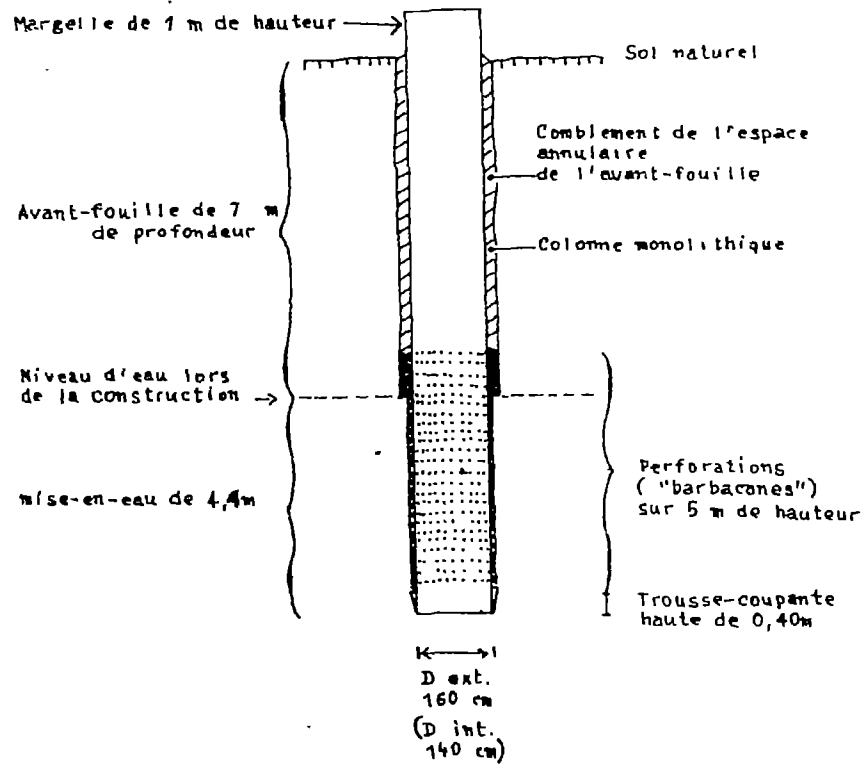
#### 52 - PUITS AFVP

##### 521 - Identification

- DESIGNATION : Puits monocolonne, monolithique AFVP
- INVENTEUR : ONG française " Association Française Des Volontaires Du Progrès " (AFVP),délégation de NIAMEY



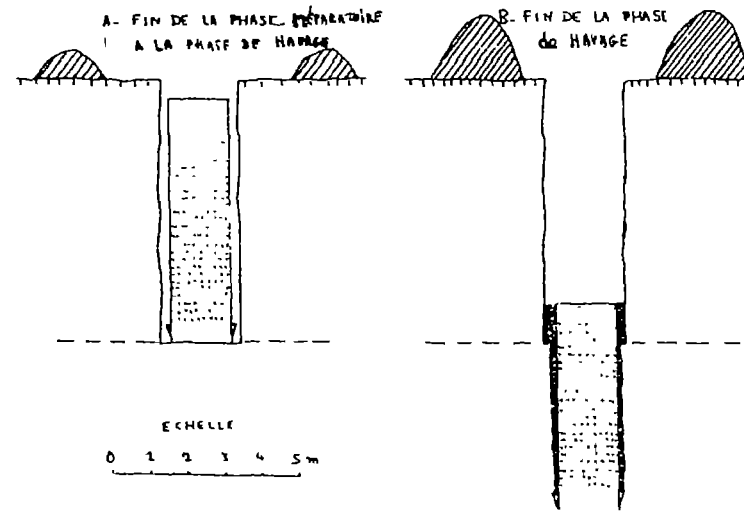
FIGURE N° 6  
 COUPE TECHNIQUE  
 D'UN PUIITS MARAICHER AFVP  
 (monolithique)



Echelle : 1/100

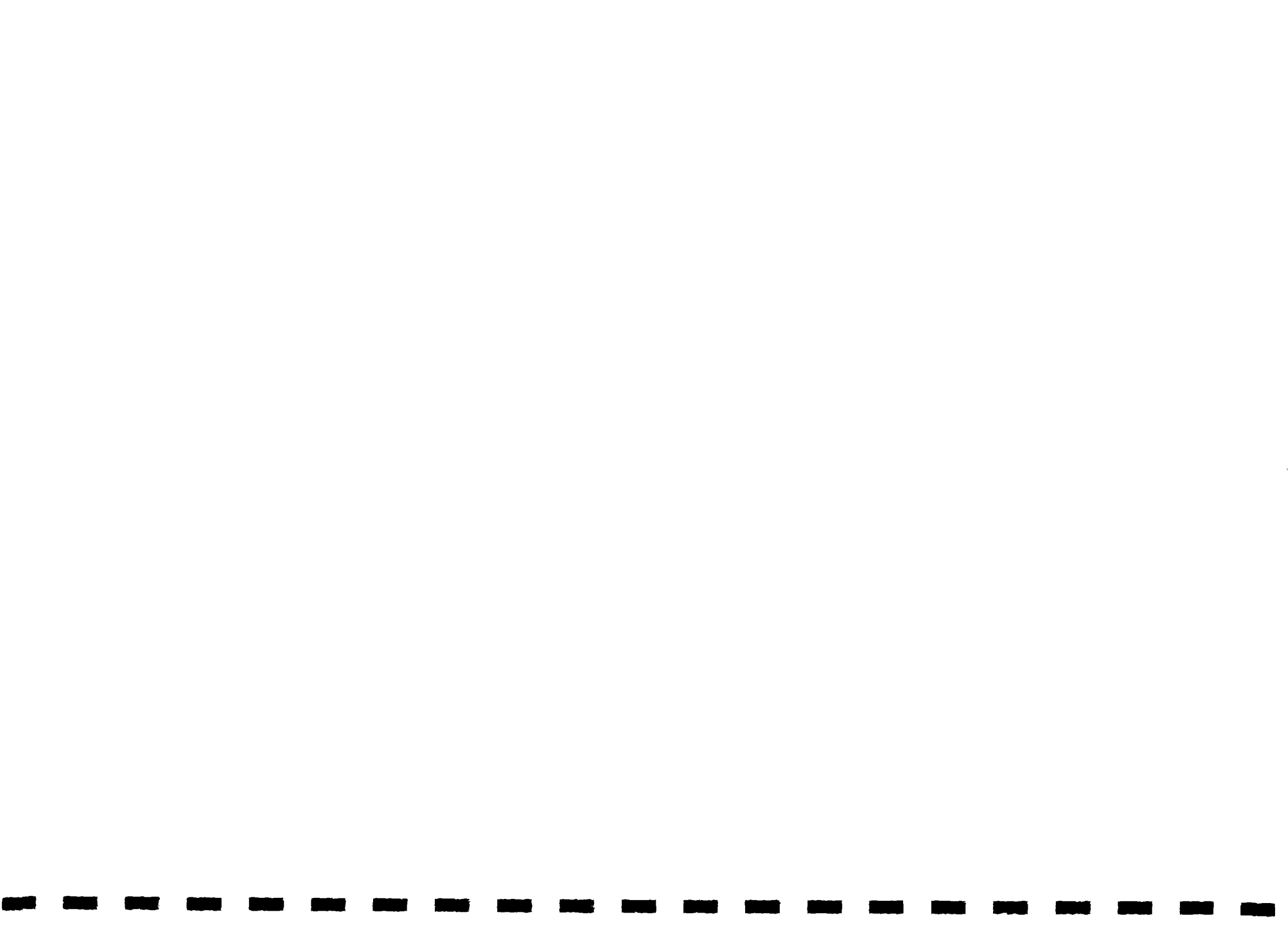
Dessin R. MERCIER  
 Figure extraite du bull. C.I.E.M. n° 64

FIGURE N° 7  
 CROQUIS DES PRINCIPALES PHASES  
 DE LA CONSTRUCTION D'UN PUIITS AFVP  
 (monolithique)



Remarque : Pour la fin de la construction, voir figure n°

Dessin R. MERCIER  
 Figure extraite du bull. C.I.E.M. n° 64, avec modifications.





- HISTORIQUE : Aucune donnée. Apparemment le modèle et la technique originale ont été influencés par la filière OFEDES et par celle de LWR.
- BIBLIOGRAPHIE DE BASE : Rapport de 1979 par Arnaud BEOQUART " Puits maraichers en béton armé, dans le cadre du projet de développement rural de BADEGUICHIRI, République du NIGER" (bib 8)<sup>1</sup>
- CLASSEMENT : Puits monocolonne, monolithique, en béton armé, en diamètre 140-160, avec trousse coupante (d = 140-170) et massif annulaire de gravier.

#### 522 - Filière originale ( BADEGUICHIRI 1979)

Le terme de filière originale est préférable à celui de filière standard car si les caractéristiques du puits fini ont peu évolué, l'AFVP semble avoir fortement modifié les conditions de mise en oeuvre décrites dans le rapport de BADEGUICHIRI.

Les caractéristiques de base décrites ci-dessus (rubrique "classement" du § 521) doivent être complétées comme suit. Le ferrailage de la colonne (hormis au niveau de la trousse coupante) comprend :

- 9 fers verticaux de 8 mm,
- 4 cercles horizontaux de 6 mm, au mètre linéaire.

Le découpage des tiges de 8, leur assemblage par crochets et le système de ligature sont les mêmes que pour le modèle LWR (en fait, c'est l'OFEDES qui a dû vulgariser cette technique). Les moules à buses sont constitués d'une tôle un peu plus épaisse (donc plus rigide) que les moules LWR. Par contre, comme à l'OFEDES, chaque moule est composé de trois éléments et le moule extérieure comporte des perforations pour le guidage des perçoirs.

La descente de la colonne par havage se fait en rabattement de nappe, avec une pompe d'épuisement, ce qui permet en principe une importante pénétration dans la zone saturée.

La réalisation des puits est confiée à des "paysans-puisatiers" (influence LWR ?) mais il y a une ébauche de division du travail (fabrication des trouses coupantes à la base du projet). La direction et la surveillance technique sont assurées par un VP qui réside à la base et peut à tout moment intervenir sur le chantier.

---

<sup>1</sup> Seul document en notre possession.



La technique AFVP a été introduite dans l'AIR, vers 1986. Cinq projets au moins l'ont utilisée : celui du FED (sans doute le plus important, avec plus de 500 puits), celui de la CCCE, celui d'EL MEKI sur financement koweïtien (déjà cité et sur lequel nous ne reviendrons pas) celui de l'ONG "Les Amis De TAMAZALAK" et celui exécuté par l'Association Hydraulique D' ARLIT, alias AMAN IMAN (nigérenne, avec support AFVP) Malheureusement notre enquête n'a pu porter de manière égale sur tous ces projets. Au demeurant, le modèle de puits varie très peu. Seules changent les modalités de mise en oeuvre.

5231 - Filtre du projet CCCE (seconde moitié des années 80)

Le projet a concerné deux zones : le Sud de l'AIR et l'IRHAZER. Nous n'avons pas eu l'occasion d'y mener une enquête. Les renseignements proviennent de conversations personnelles avec le VP.

Par rapport à 1979 (BADEGUICHIRI) la seule modification de conception consiste en un renforcement du ferrailage horizontal de la colonne (6 cercles de 6 mm au lieu de 4 au m. linéaire). Par contre le matériel a évolué: les moules à buses sont renforcés. Les appareils de levage sont plus diversifiés Les pompes et groupes électrogènes ont pratiquement disparu, avec l'adoption de la plongée en apnée (on n'y a plus recours que pour éliminer les obstacles rocheux ; dans ce cas on utilise également le marteau-piqueur).

La qualification du personnel de chantier et la division du travail est poussée Il est fait appel à des professionnels. Les villageois n'interviennent plus que comme main d'oeuvre non qualifiée. L'organisation joue un rôle primordial. Citons l'exemple d'un site où étaient prévus plusieurs dizaines de puits, avec exécution simultanée de quatre puits Le personnel comprenait

- une équipe de ferrailleurs,
- trois équipes de puisatiers-plongeurs (ou "plongeurs"),
- quatre équipes de puisatiers-maçons (ou "maçons"),
- une équipe chargée de l'amenée des matériaux (camion).

Chaque équipe comprenait un professionnel assisté d'un ou de deux aides. Le nombre d'équipes avait été défini préalablement en fonction des difficultés de havage rencontrées habituellement dans la zone. La repartition des tâches et des responsabilités était précise Les équipes se relayaient sur les puits en fonction de l'avancement des travaux. A la différence d'un travail à la chaîne classique, cette organisation comporte un facteur très aléatoire dans certaines plaines alluviales, à savoir la fréquence et l'importance des obstacles rocheux qui ralentissent la descente de la colonne par havage. Il peut en résulter des temps morts dans l'emploi du temps des puisatiers-maçons qui attendent que les plongeurs aient fini leur travail. L'avantage de ce système réside peut-être dans une productivité



élevée des puisatiers très spécialisés. Seul un directeur de travaux expérimenté pourrait donner un avis valable sur ce point. A priori cette filière ne peut présenter d'intérêt que si un certain nombre de conditions sont réunies (concentration des emplacements de puits, planning bien élaboré, surveillance à intervalles rapprochés par le directeur de travaux, etc...) Si ces conditions ne sont pas réunies, il est préférable à notre avis, de s'en tenir au système classique des puisatiers professionnels polyvalents.

Sur le plan de la qualité des travaux, on notera des lacunes probables dans certains massifs annulaires de gravier. Lors de l'opération de havage, ce gravier calibré tend à fluer derrière la trousse coupante et à envahir le fond du puits. Pour cette raison, certains puisatiers du projet refusaient de suivre la procédure classique et attendaient la fin du havage pour mettre le massif annulaire. Dans l'AIR, cette faute a pu produire des "ponts de sable" favorables à l'ensablement des puits en période d'exploitation. Par contre, dans l'IRHAZER, elle peut expliquer le débit minime de certains puits (lors de l'opération de havage, le frottement de la colonne contre la paroi argileuse, aurait colmaté une partie des barbacanes)

5232 - Puits du projet FED ( seconde moitié des années 80 et début des années 90 )

D'après une information que nous n'avons pu vérifier, ce projet prévoyait 750 puits (?) Notre seule enquête de terrain est celle effectuée en 1991, dans le cadre de la présente étude

Tous les puits visités à INDOUDOU et TABELLOT, tranchaient nettement par rapport aux ouvrages voisins. aspect excellent, productivité élevée, absence d'ensablement. A ABARDHOK, nous avons visité quatre puits sans pouvoir obtenir des informations sur tous. Certaines colonnes s'étaient enfoncées. Le débit d'un des puits était inférieur à celui du puits traditionnel voisin, mais la cause en était une différence granulométrique dans la zone saturée<sup>1</sup>

5233 - Filière de TAMAZALAK (depuis le milieu des années 80 en ce qui concerne le volet puits)

Le projet de l' "ASSOCIATION DES AMIS DE TAMAZALAK" intéresse deux vallées de la bordure SW de l'AIR : celle de TAMAZALAK et celle de SAKAFAT. Il a comporté plusieurs phases, chacune d'elle étant consacrée plus particulièrement à un objectif. Dans le domaine de l'eau, l'initiateur du projet<sup>2</sup> a eu une option rare, peut-être unique dans la région, consistant à la fois :

- à rechercher une qualité professionnelle dans l'exécution des puits, avec une main d'oeuvre constituée en majeure partie de jardiniers-puisatiers,

---

<sup>1</sup> Interprétation fournie par le jardinier, interlocuteur fiable que nous connaissons bien personnellement.

<sup>2</sup> Michel PONS



- à susciter des études à caractère scientifique, en particulier sur les problèmes de l'infiltration et de la recharge (actuellement encore, le réseau piézométrique du projet, fonctionne, 16 puits répartis sur 16 km de vallée, font l'objet d'une mesure tous les 15 jours).

La phase consacrée à la réalisation en série de puits, est terminée. Cette activité est devenue marginale. Les équipes ne travaillent qu'épisodiquement, à la demande et parfois loin de la zone traditionnelle d'implantation du projet. Les renseignements ci-après proviennent d'une part des interviews séparés des deux responsables du volets puits (J-C TASSEAU et ABDOULLA MOUBOURTOUK) pour qui cette activité est devenue accessoire, d'autre part de notre enquête sur le terrain (début juin 1991)

La demande actuelle étant faible, on procède par petites opérations portant sur la construction de 4 ou 5 puits dans une zone restreinte. Le travail est réalisé en "gaya" (système d'entraide) regroupant les personnes concernées. Ce nombre, de 4 ou 5 participants aux travaux, est indispensable pour le bon fonctionnement des chantiers

Les techniciens sont des jardiniers formés par le projet à la construction des puits AFVP. La seule exception concerne le responsable du compresseur.

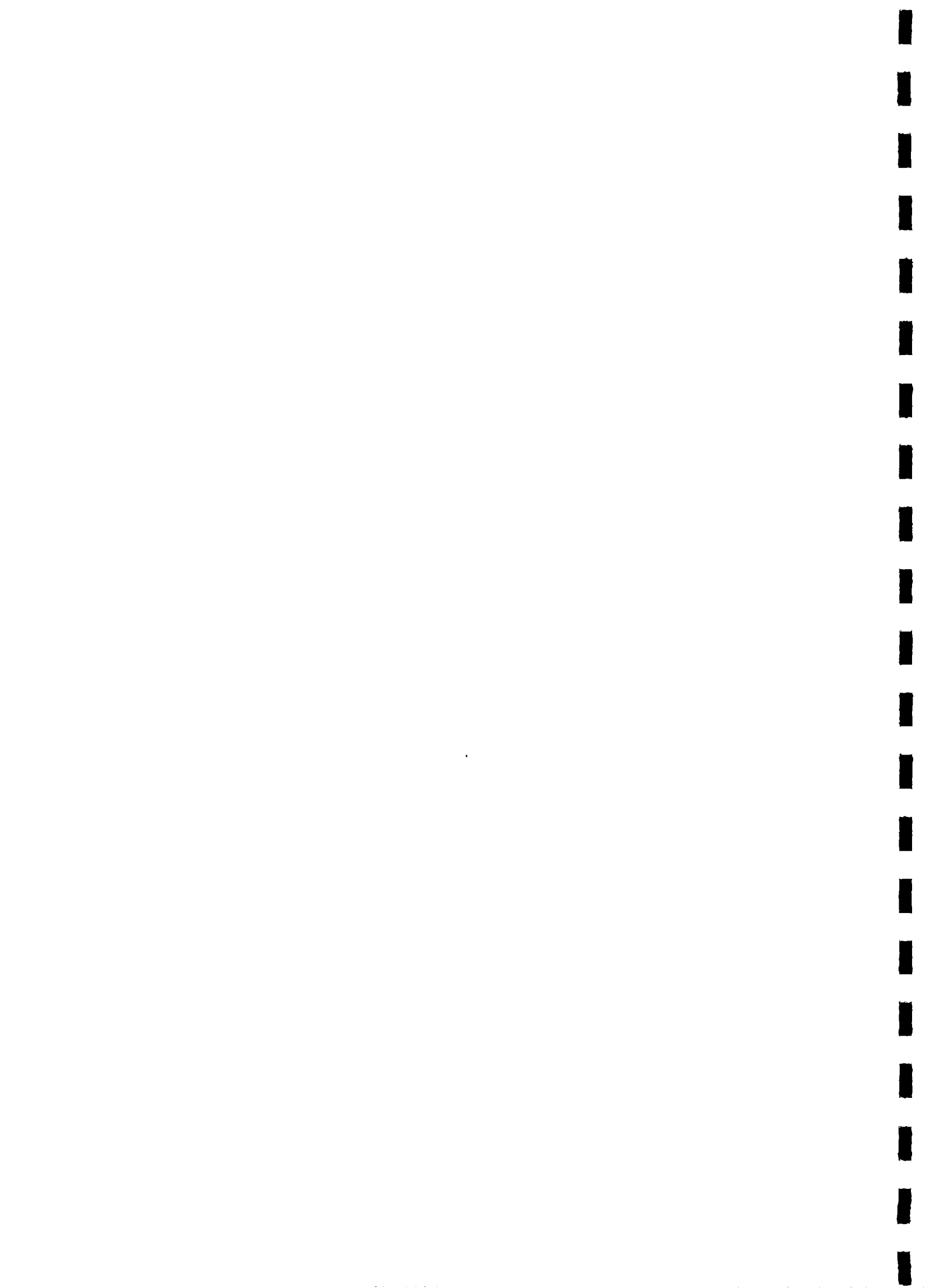
La filière technique peut être décrite comme suit. Dans les grandes lignes, les colonnes présentent les mêmes caractéristiques que le modèle initial (BADEGUICHIRI). Mais on procède en cas de besoin à un télescopage avec des buses en 100-120. La base de la colonne présente des barbicanes sur 5 mètres. La pénétration initiale dans la nappe est de 3,5 à 5 m. Le massif annulaire couvre entièrement la partie équipée de barbicanes. Au dessus, le vide annulaire est remblayé avec du tout venant

Le gravier du massif annulaire, comme celui du béton, provient d'un gisement de quartz émoussés. Il est transporté par camion. Il est bien sélectionné. Les responsables veillent à ce que soient apportés beaucoup de soins à la confection du massif annulaire de gravier mais ils constatent que les jardiniers sont inconscients de l'intérêt de ces précautions<sup>1</sup>.

Le télescopage n'est exécuté que si la mise en eau initiale est insuffisante (blocage de la colonne de 140 sur un obstacle ou remontée piézométrique précoce). Deux moules à buses ont été exécutés à cet effet. Initialement on coulait les buses au fond du puits (colonne monolithique) mais en raison de l'exiguïté de l'espace annulaire entre les deux colonnes, celle de 100-120 devait être excentrée pour

---

<sup>1</sup> Cet exemple souligne la nécessité d'un suivi assidu des chantiers, par un responsable compétent et exigeant





permettre l'ouverture du moule extérieur. Actuellement les buses de 100-120 sont fabriquées au sol et descendues au fond du puits avec une chèvre et tire-fort (solution rendue possible par leur faible poids) L'assemblage est fait par boulonnage sur trois étriers. En cas d'échec (blocage sur un obstacle rocheux) ces buses sont récupérables et réutilisables. Sur le plan financier, la technique du boulonnage n'est intéressante que dans les zones où les risques de blocage de la colonne sur des obstacles, sont élevés.

Le calendrier des travaux est la suivant.

- Janvier : fonçage du trou à paroi nue, sur toute la hauteur de la zone non saturée (mais il faut noter qu'en cette période, l'étiage piézométrique n'est pas atteint),
- Février-mars : construction des buses de mise en eau au fond du puits,
- Avril-mai-juin : havage de ces buses, édification de sa partie supérieure de la colonne et finitions.

Le rythme de travail est de 5 jours par semaine au cours du premier trimestre et de 7 jours pendant le second, ce qui entraîne une augmentation des couts<sup>2</sup>.

Au début du projet il y a eu des erreurs d'appréciations. Par exemple, certaines mises en eau trop précoces, se sont traduites par une pénétration insuffisante dans la nappe.

Concernant l'évolution des puits dans le temps, les responsables soulignent quelques points

- des glissements de colonne ont été observés pendant l'hivernage, dans des zones du lit majeur non inondées. L'enfoncement maximal est de 1,50 m. Les colonnes en question sont restées verticales ;
- sur 200 puits réalisés on compte un seul cas d'ensablement en cours de fonçage (montée de sables fluents sous pression) et une dizaine de cas liés à l'exploitation ,
- les puits ne font l'objet d'aucune demande d'entretien de la part des jardiniers. J-C TASSEAU avance plusieurs explications dont celles-ci : techniquement les puits sont bien exécutés et la granulométrie de l'aquifère ne favorise pas les ensablements.

---

<sup>2</sup> Avec trois plongeurs en apnée, travaillant chacun 1h30 à 2 h / jour, le fonçage dans du sable propre, dit "de kori" est de 0,75 m / j. Une mise en eau de 3,50 à 4 m, avec placement du massif annulaire de gravier, dure environ 8 jours. Le même travail demande 18 jours dans un banco et jusqu'à 21 jours dans un terrain franchement argileux. J-C TASSEAU pense qu'il peut être avantageux de revenir au fonçage en rabattement de nappe, dans le cadre de grands programmes de puits exécutés dans des terrains difficiles



5234 - Filière de l' "ASSOCIATION HYDRAULIQUE D' ARLIT" (début des années 90 ?)

La source des informations techniques est le puisatier RIGO LABRO, rencontré sur le chantier de KRIP-KRIP, début 1991.

Le puisatier est un professionnel polyvalent (plongée, maçonnerie). Il est assisté d'un aide, jardinier de son état. En règle générale, le ferrailage de la trousse coupante et le découpage des tiges de 8 sont exécutés à la base d'ARLIT, par le gardien. Pour la confection du béton et du massif annulaire de gravier, on ne dispose que du gravier anguleux trouvé sur les sites.

La technique de mise en place du massif annulaire de gravier paraît intéressante : on élimine seulement la fraction fine par tamisage. On obtient ainsi un gravier grossier hétérogène. En cas d'arrêt de la colonne sur un bloc, les éléments grossiers forment progressivement un barrage à hauteur de la trousse coupante, interdisant le passage des éléments de granulométrie moindre. Par ailleurs, pendant la phase de havage, le puisatier surveille le niveau du gravier dans l'espace annulaire. Il doit juste affleurer au dessus du niveau d'eau. S'il montait trop haut, il pourrait bloquer la descente de la colonne.

Les jardiniers présents sur le chantier lors de l'enquête, dirent préférer le puits AFVP au puits GTZ par-ce-qu'il est possible de faire descendre la colonne par havage, en cas de baisse piézométrique exagérée. Ils ne précisèrent pas s'ils en avaient fait l'expérience.



## CHAPITRE 6

### SYNTHÈSE DES DONNÉES RECUEILLIES SUR LES PUIITS MACONNES EN USAGE DANS L' AIR .

Les puits maçonnés sont édifiés comme des murs, en assemblant à la truelle des parpaings ou des pierres. Dans l' AIR, ils sont, tout au plus, quelques centaines et appartiennent à deux modèles: le puits -pierre ou GTZ et le puits-brique AFVP.

#### 61 - LES PUIITS-PIERRES OU PUIITS GTZ

##### 611 - Identification

- ORIGINE : incertaine.
- HISTORIQUE : le modèle semble avoir été introduit dans l'AIR, par un organisme de la Coopération Allemande (GTZ ? GKW? DED ?)
- BIBLIOGRAPHIE : inconnue (mais il existerait un document ancien).
- CLASSEMENT : Puits à colonne unique, maçonnée, limitée à la zone non saturée d'étiage et prolongée dans l'aquifère par une excavation à paroi nue

Remarque : Les principales zones de diffusion de cette technique sont (sous réserves) celles de TIMIA, TIN TELLOUST, IFEROUANE et le massif des BAGZANS.

##### 612 - Description de la filière standard

Nous admettrons comme filière standard, celle qui s'est diffusée à partir du projet de TIMIA. Les renseignements ci-après, ont pour origine quelques conversations avec Pit WEINGARTNER, DED en poste à TIMIA ( vers 1986) et avec des puisatiers des BAGZANS (1992), formés par ZAKARIA de TIMIA .

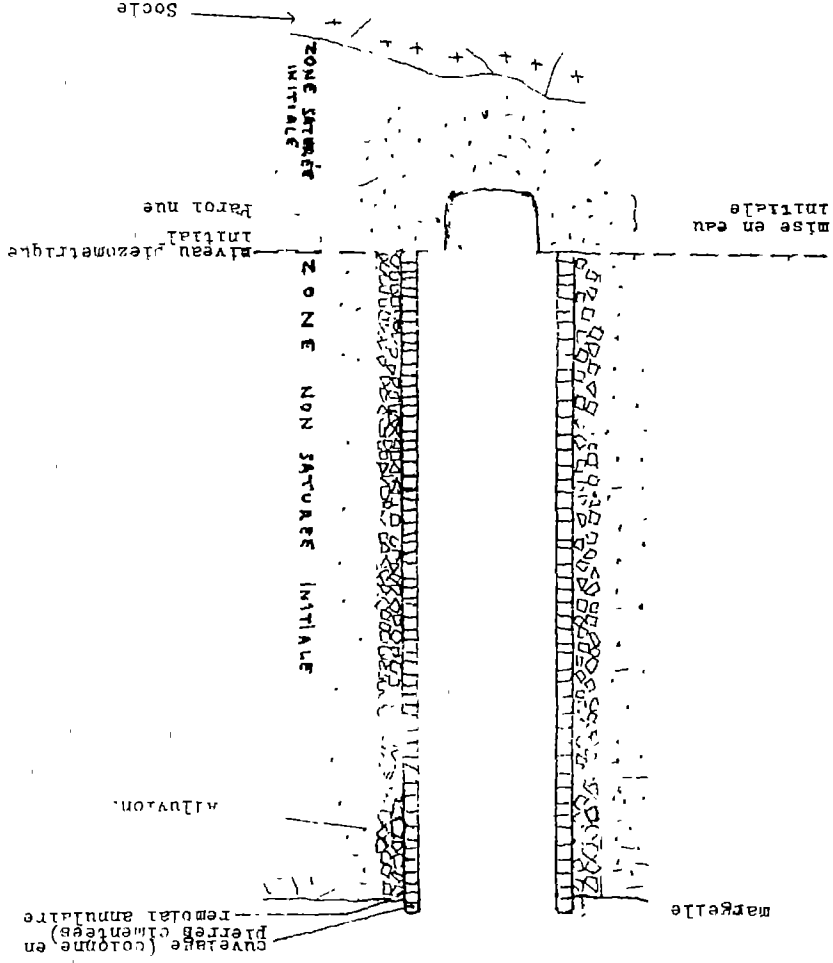
##### 6121 - Caractéristiques de l'ouvrage terminé

Le puits comprend deux parties bien distinctes

- la colonne étanche ou cuvelage, dans la zone non saturée d'étiage ; son sommet forme la margelle,



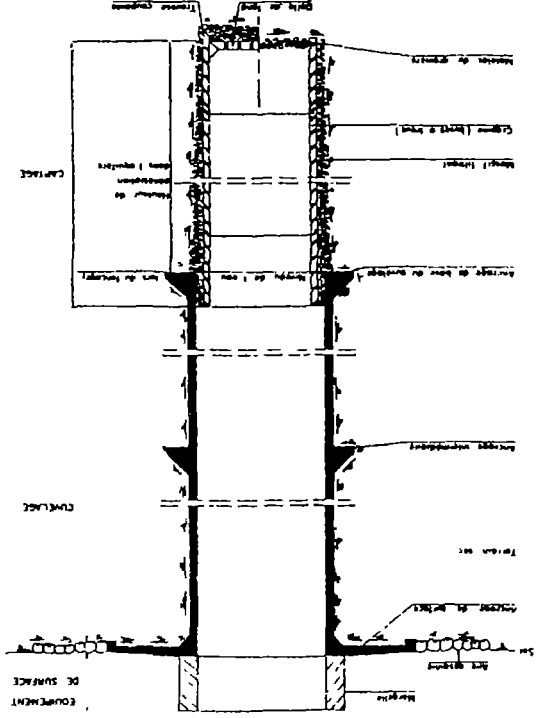
Figure n° 8  
 Coupe technique  
 du "puits-pierre" ou "puits-oliz"



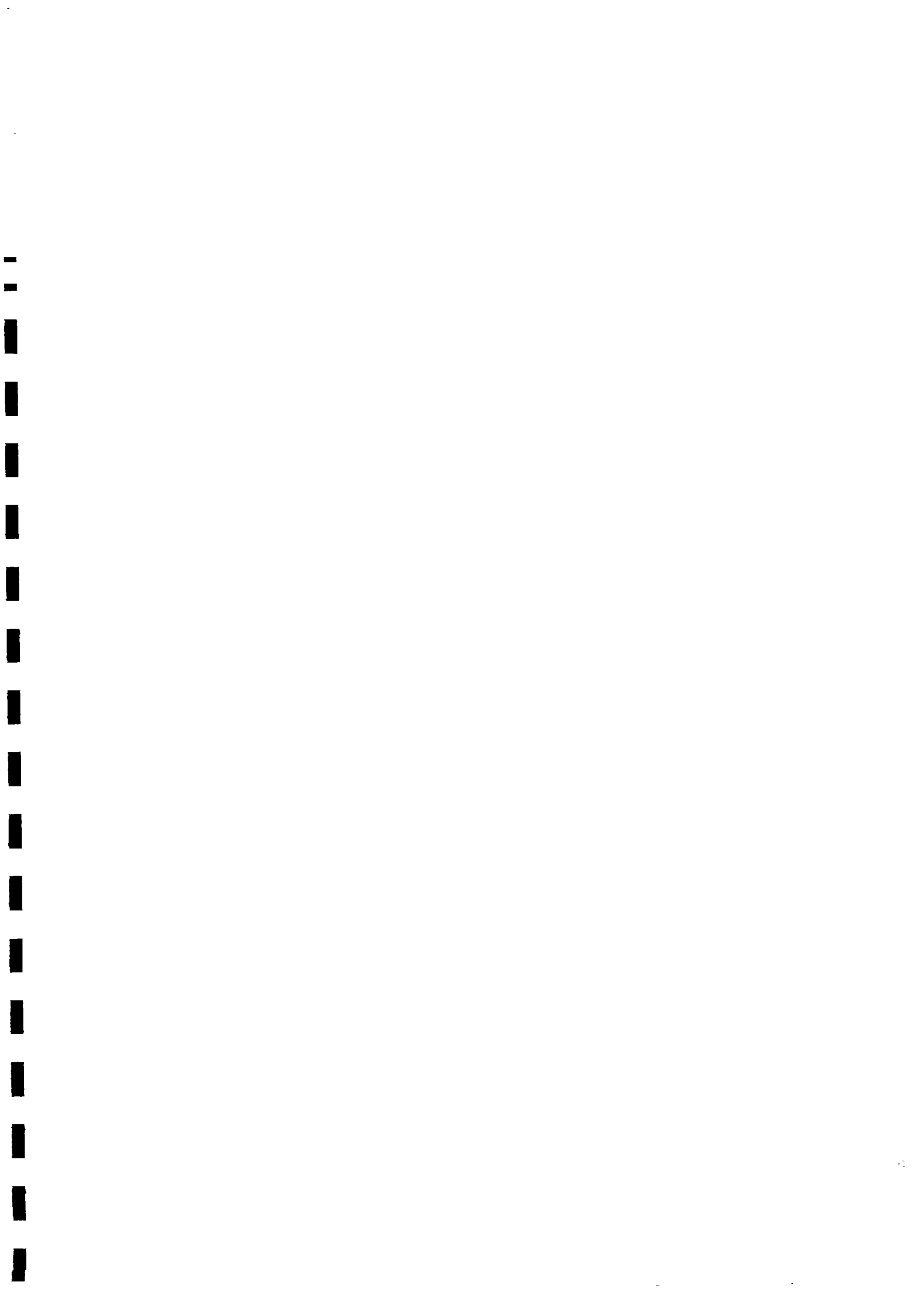
échelle: 1/200  
 dessin: R. MATHOULIN  
 mars 1992

Figure n° 9  
 Puits OPEDS

PUITS EN BETON ARMÉ  
 A CAPTAGE AUTONOME



D'après la figure n° 13, du manuel " LA CONSTRUCTION DES Puits EN AFRIQUE TROPICALE " ( édition de 1981 ).





- le trou à paroi nue dans la zone saturée

Le diamètre intérieur de la colonne est de 150. Son épaisseur varie entre 20 et 30 cm. Les pierres sont assemblées par un mortier. Le ferrailage comprend 6 barres verticales de 8 mm et par mètre de hauteur de colonne, un cercle horizontal de 6 mm. Ces fers sont ligaturés à leurs intersections. Le trou à **paroi nue** qui constitue la partie captante, est de diamètre inférieure à celui de la colonne. Sa pénétration dans la nappe alluviale est très faible. Il peut être étayé avec des blocs. Certains jardiniers le boisent à la manière traditionnelle, de leur propre initiative.

Le vide annulaire entre la colonne et la fouille, est comblé par des blocs de pierres, anguleux, d'un volume d'un litre environ

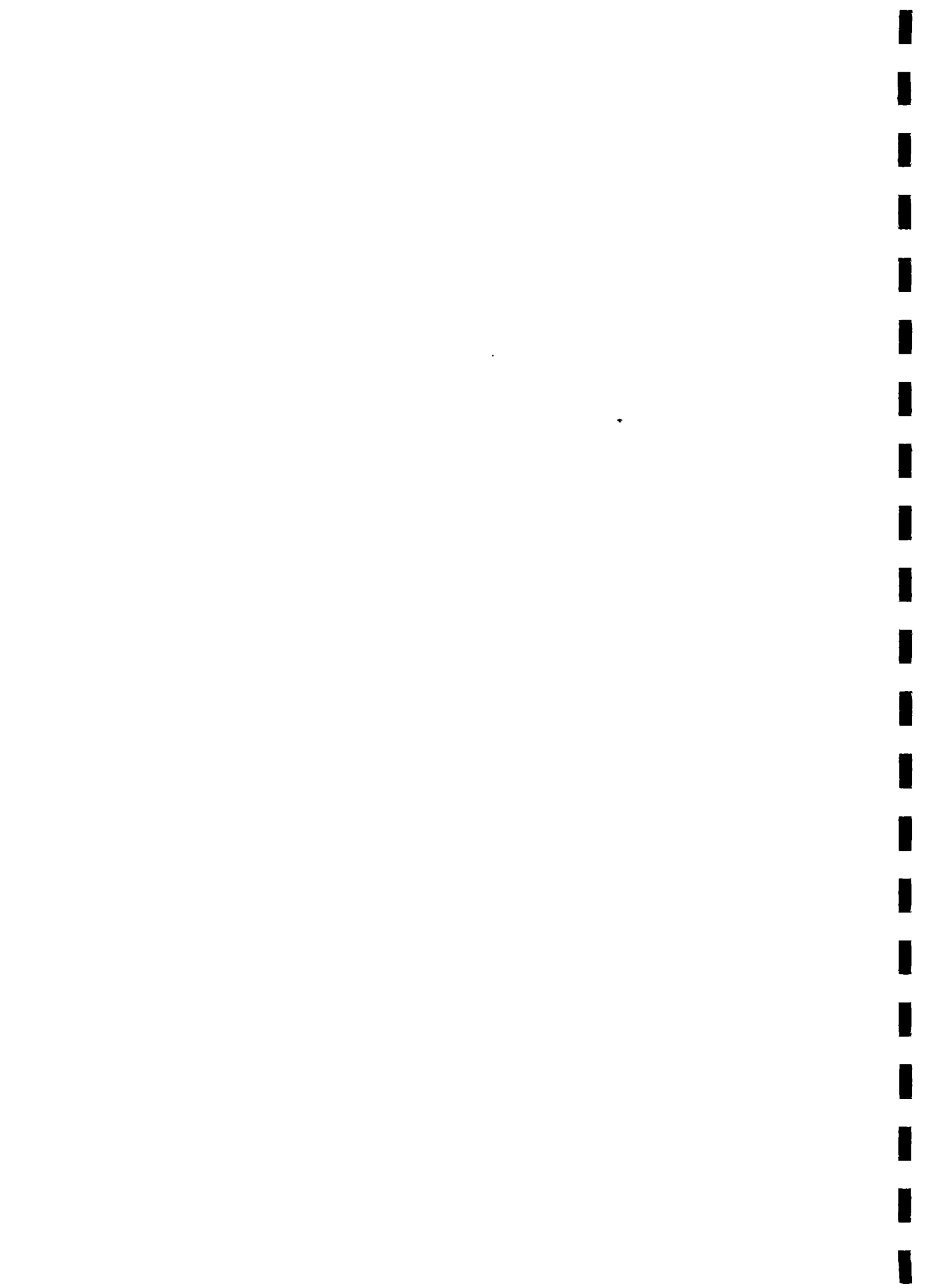
#### 6122 - Programme d'exécution

- Phase 1 : fonçage d'un trou circulaire (diamètre: 240 ?) jusqu'à la zone de remontée capillaire
- Phase 2 : edification de la colonne . les pierres, de taille décimétrique, plus ou moins taillées, sont liées par un mortier à base de sable fin du kori, non tamisé. La composition du mortier est la suivante : 1 sac de ciment pour 4 brouettes (280 l) de sable **Par mètre linéaire de colonne, sont utilisés 3 sacs de ciment et 12 brouettes de sable.**

Le ferrailage est noyé dans la masse. Pendant l'élévation de la colonne, les fers de 8, en barres de 9 ou de 12 m (longueurs standard du commerce) sont maintenus en position verticale, par traction, grâce à des fils de fer amarés au sol. Le raccordement, entre barres de 8 successives est assuré par un crochet très court (10 cm maximum ?) Pour les autres caractéristiques, voir § 6121 \*

Le remblayage de l'espace annulaire, avec des blocs anguleux d' un litre environ, est réalisé soit au fur et à mesure de la construction, soit à la fin (la première solution évite les risques de basculement).

Dans la version standard, la colonne est un cuvelage. Les trous pour la pose du platelage étant bouchés, l'étanchéité est théoriquement parfaite. Vers 1985, nous avons conseillé un système de barbacanes, constitué de bouts de tuyaux d'arrosage, traversant la colonne à hauteur des joints en mortier. L'argument était le suivant. "La piézométrie est extrêmement basse du fait de la séquence pluri-annuelle sèche. Les colonnes, édifiées actuellement, isolent définitivement des niveaux normalement productifs. On ne



retrouvera peut-être pas le débit initial, quand la nappe aura remonté à sa cote normale. Le déficit risque d'être amplifié si la base de la colonne se situe dans un niveau peu perméable". D'après un puisatier, à la fin des années 80, on enseignait toujours à TIMIA, la technique des colonnes étanches.

- Phase 3 : exécution du trou à paroi nue, dans la zone saturée : la profondeur totale du trou à paroi nue dépend, à notre avis, de deux facteurs : la baisse piézométrique intervenue depuis le début de l'édification de la colonne et la tenue de la zone saturée (on creusera beaucoup moins profondément dans un sable fluide que dans un gravillon argileux). La pénétration initiale dans la nappe ne nous a pas été précisée, mais pour plusieurs raisons elle ne doit guère dépasser un mètre, sauf si l'on creuse dans le socle en rabattement de nappe.

#### 613 - Organisation, formation du personnel, matériel et moyens logistiques

Le fonçage à paroi nue dans la zone non saturée, est réalisé par les jardiniers. Les autres travaux sont exécutés par le puisatier, avec l'aide des jardiniers.

Dans les BAGZANS, la plupart des puisatiers auraient été désignés par la population. A notre connaissance, aucun n'avait de compétence particulière en matière de puits et un seul avait pratiqué auparavant, la maçonnerie traditionnelle en banco.

La formation d'un puisatier comprend deux phases :

- 1- Le puisatier-formateur exécute un puits sous les yeux de l'élève, en commentant son travail,
- 2- L'élève exécute un puits sous les yeux du formateur qui le conseille.

Cette technique est la seule qui ne nécessite pas de moule. Outre le matériel courant de terrassement et de maçonnerie légère, le puisatier dispose d'une toise pour le diamètre intérieur de la colonne et d'un platelage, sans doute sommaire, pour les travaux en élévation. Les problèmes de logistique sont donc extrêmement réduits. Toutefois, dans la zone d'influence du projet de TIMIA, les puisatiers ont bénéficié, en cas de besoin, de son matériel motorisé (pompe, compresseur) pour le fonçage dans le substratum, et de sa logistique.

#### 614 - Variantes

Nous avons connaissance de trois espèces de variantes. Elles concernent l'étanchéité de la colonne, son épaisseur et l'absence de ferrailage. Seules seront examinées les variantes relatives à



l'étanchéité de la colonne, dans les BAGZANS Dans ce massif, nous connaissons deux méthodes d'exécution de barbacanes

- 1- Laisser vides de mortier, des interstices verticaux entre pierres, hauts de 10 ou 15 cm  
Ce système peut être intéressant sur le plan de la productivité, mais il risque de créer des points de faiblesse dans la colonne.
- 2- Placer des poignées de tiges de mil qui traversent la paroi de part en part Les poignées sont disposées sur toute la circonférence. Après pourrissement des tiges, on obtient des barbacanes, mais celles-ci, d'un trop grand diamètre, risquent de favoriser l'ensablement Il s'agit là, d'une mauvaise interprétation d'un conseil donné antérieurement (placer des tiges de mil isolées, pour obtenir des barbacanes d'environ 10 mm de diamètre). A noter que l'on pourrait également utiliser de longues tiges de fer de 8, comme perçoirs.

L'absence de moule permet une grande liberté dans l'application de la méthode. Chaque puisatier a sa manière de travailler (choix de l'étanchéité totale ou d'un système d'ouvertures, épaisseur de la colonne)

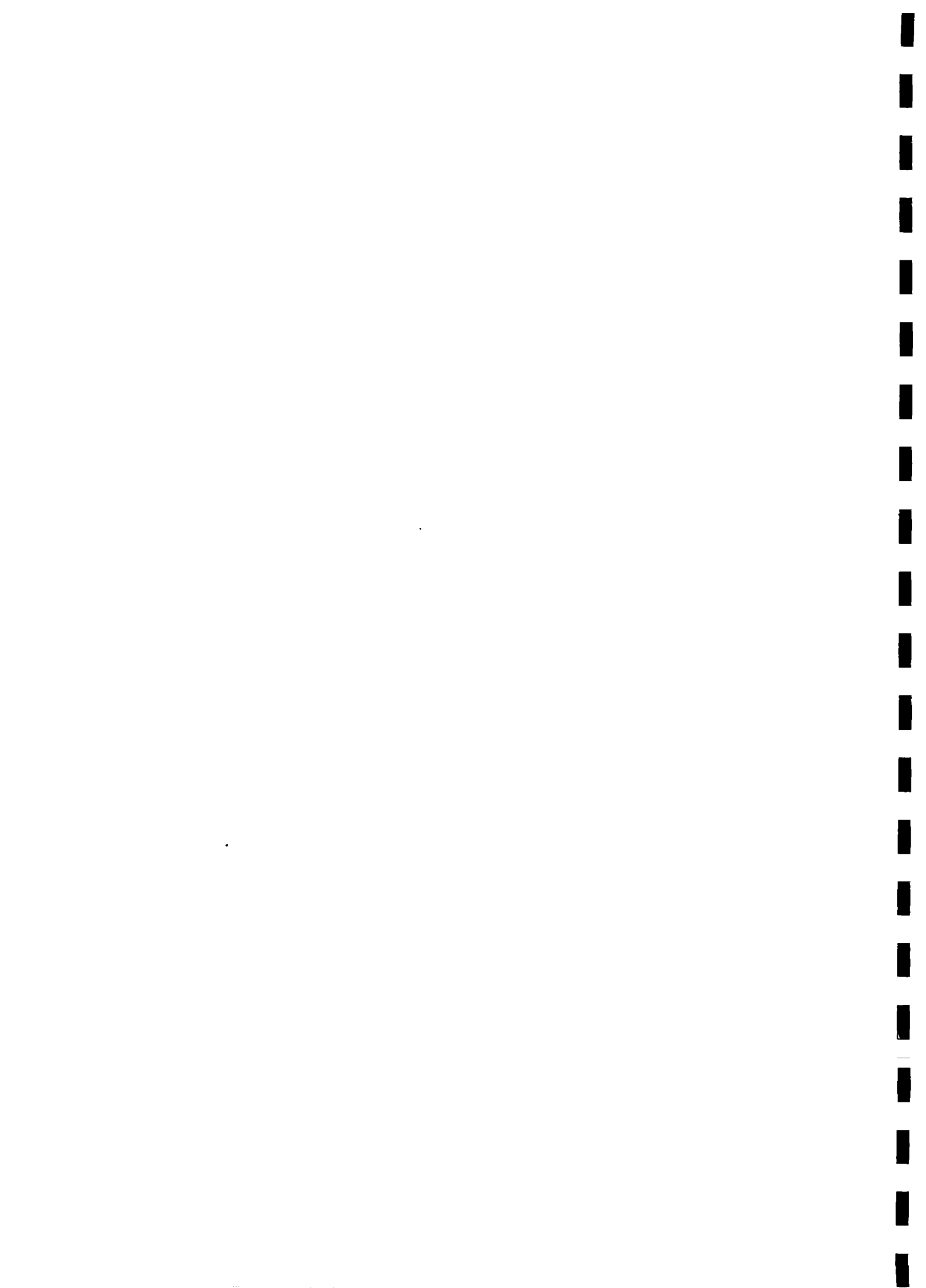
#### 615 - Observations de terrain et conclusions

Les observations de terrain ont été intéressantes mais tellement nombreuses et variées, qu'il est seulement possible d'y faire allusion dans les conclusions Il convient d'abord d'attirer l'attention sur le fait que le modèle GTZ présente (au vu de l'enquête) le taux le plus élevé de cassures de colonnes Ce défaut tient à sa conception.

- la partie captante est à paroi nue, le puisage développe une cavité sous la colonne .
- la colonne, très lourde et faiblement ferrillée, présente une faible résistance à la traction (cf tab.1).

L'enquête, qui a porté sur des puits de moins de 10 ans d'âge, a permis de distinguer trois cas de figure concernant les risques de rupture :

- 1- La colonne repose sur une bonne assise (gros blocs de la base des alluvions, socle sain ou altéré). Elle est stable.
- 2- La colonne est située dans des alluvions essentiellement sableuses sur toute la hauteur et elle n'a pas une bonne assise. Elle a tendance à s'enfoncer sans rupture.
- 3- La partie supérieure de la zone non saturée est argileuse sur une grande hauteur, alors que dans la zone saturée prédominent des sables non argileux A terme, la rupture, (voire plusieurs ruptures successives) est probable.



**La période la plus critique est l'étlage piézométrique. Il est déconseillé pendant ces périodes, d'exploiter certains puits à débit élevé.** En effet le rabattement de la nappe induit par le puisage, réduit la poussée d'Archimède, accroît temporairement la traction de la colonne sur son ferrailage et augmente les risques de rupture.

D'après nos observations, en dessous de la ligne de rupture, un anneau de maçonnerie se détache, en glissant sur les fers de 8. Ces derniers semblent éviter le déplacement latéral ultérieur de l'anneau. Il n'y a donc pas rupture du ferrailage, mais de la maçonnerie. Le phénomène est apparemment lié à un manque d'adhérence de la maçonnerie aux fers de 8. Il intervient à des valeurs de traction, inférieures à la limite de rupture du tableau n° 1.

#### 62 - LE Puits - BRIQUE AFVP 1

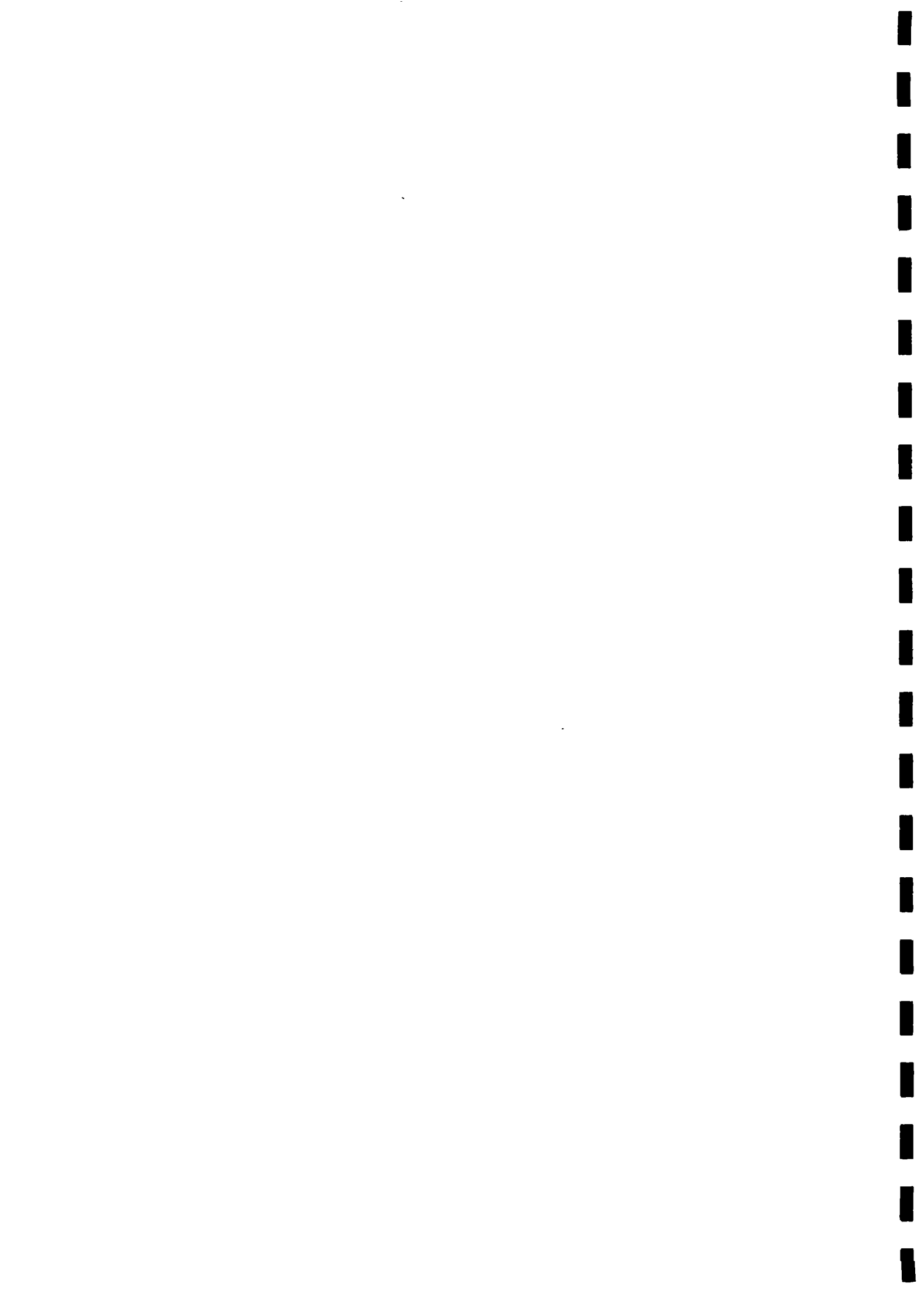
Manquant d'expérience concernant ce modèle de puits, nous sommes amenés à baser notre exposé principalement sur une analyse bibliographique assez détaillée:

#### 621 - Identification

- DESIGNATION : "puits-brque AFVP". Le terme de "puits-parpaing" serait plus approprié.
- HISTORIQUE ET DIFFUSION DU MODELE : cette technique est née au BUKINA FASO, probablement aux environs de 1980. Elle a un lien de parenté, avec deux autres modèles de puits-brique :
  - \* le modèle du Comité Central Mennonite, présenté dans un manuel de 1981 (bib. n°12),
  - \* celui décrit dans "Eaux et terres en fuite", édition de 1984 (bib. n°3), à noter que dans ce modèle, seul le cuvelage est en "briques", la partie captante étant constituée de buses. Apparemment le modèle AFVP a été très influencé par le technique Mennonite que l'AFVP a utilisée au BURKINA FASO. Il s'est diffusé au NIGER à partir de 1983, d'abord dans la région de TAMOU. A la fin des années 80, une opération d'information a été menée dans cinq autres régions dont celle d'IFEROUANE (dans le cadre du projet " Réserve Naturelle Nationale de l'AIR et du TENERE").
- BIBLIOGRAPHIE DE BASE . "La construction des puits et leur aménagement par la technique de la construction en briques", par PASCAL HUTINET, de la délégation régionale au NIGER, de l'AFVP1989 (bib 6).
- CLASSEMENT : puits en béton armé constituée de parpaings maçonnés La base de la colonne est équipée de barbacanes, repose sur une trousse coupante et est entourée d'un massif annulaire de gravier. Deux versions existent .
  - \* le puits télescopé,

---

<sup>1</sup> Rappelons que le terme de "puits-parpaing" serait plus approprié.





\*le puits monocolonne.

L'étude détaillée de la bibliographie citée par PASCAL HUTINET in bib. n°6, p 40, devrait permettre de retracer l'évolution technique entre ces 2 modèles.

## 622 - Description de la filière standard du puits télescopé

6221 - Caractéristiques de l'ouvrage terminé.

Le puits comprend trois parties :

- un cuvelage (en 140 -160) ferrailé ou non, reposant sur une fondation annulaire en béton armé; des ancrages intermédiaires sont mis en place pour les cuvelages de grande hauteur
- une colonne de mise en eau (en 100 -130 ) ferrailée et entourée d'un massif annulaire de gravier (épaisseur 5 cm).
- une trousse - coupante (en 100-130) avec un débord de 5 cm

A noter que la partie aérienne du cuvelage peut être élargie pour former une margelle classique.

Quelques caractéristiques doivent être soulignées :

A - CUVELAGE (140-160) :

le cuvelage comporte une fondation, la colonne, des ancrages intermédiaires et la margelle

- fondation : anneau ayant une largeur d'appui sur le terrain, de 50 cm. Il est constitué de deux parties concentriques :
- un anneau extérieur en béton armé, coulé en place (160-240) ferrailé.
- un anneau intérieur en briques ( 140-160)
- colonne : 6 rangées de 8 parpaings cintrés au m. linéaire ( soit 48 parpaings). Le ferrailage relie la colonne à la fondation et les parpaings entre eux .Cependant le ferrailage entre parpaings est facultatif: Quand il existe, il est souvent limité à la partie inférieure du cuvelage. Le mode d'assemblage des parpaings, par ferrailage et mortier, est le même que celui décrit ci-dessous pour la colonne de mise en eau; toutefois l'espacement entre les cadres horizontaux de fer de 6 est plus grand (50 cm).

Le vide annulaire entre le cuvelage et la paroi nue de la fouille, est rempli de terre damée

- Ancrages intermédiaires : sont réalisés tous les 10 m, sur le modèle de la fondation.
- Margelle (facultative) : rajout d'une rangée de briques autour du sommet du cuvelage.



## B - COLONNE DE MISE EN EAU (100-120)

La colonne a 4 m de hauteur (ajouter la trousse - coupante). Elle est constituée de parpaings cintrés, à raison de six rangées de 6 parpaings (soit 36 parpaings) au mètre linéaire. Chaque parpaing est percé de 4 barbacanes (soit 144 barbacanes au m. linéaire).

La cohérence de la colonne est assurée par :

- le décalage des joints verticaux des rangées successives,
- le ferrailage,
- le remplissage par du mortier .
  - \* des interstices entre parpaings (joints)
  - \* des trous pratiqués dans les parpaings pour le passage des fers verticaux de 8 mm

Le ferrailage est constitué :

- verticalement de 8 fers verticaux de 8 mm, tors,
- horizontalement de fers de 6 mm (un cercle tous les 33 cm soit trois au m).

Les fers de 8 et de 6 sont ligaturés ensemble, à leurs intersections. Les fers de 8, coupés en tiges de 130 cm, traversent verticalement les parpaings par un trou préfabriqué. Le recouvrement entre tiges successives est de 15 cm. Le raccord entre tiges est assuré non par des crochets, mais par simple contact avec ligature. Les cercles de 6 mm, horizontaux, sont noyés dans les joints entre les rangées de briques.

**La résistance à la traction verticale semble très faible.** Elle paraît dépendre seulement :

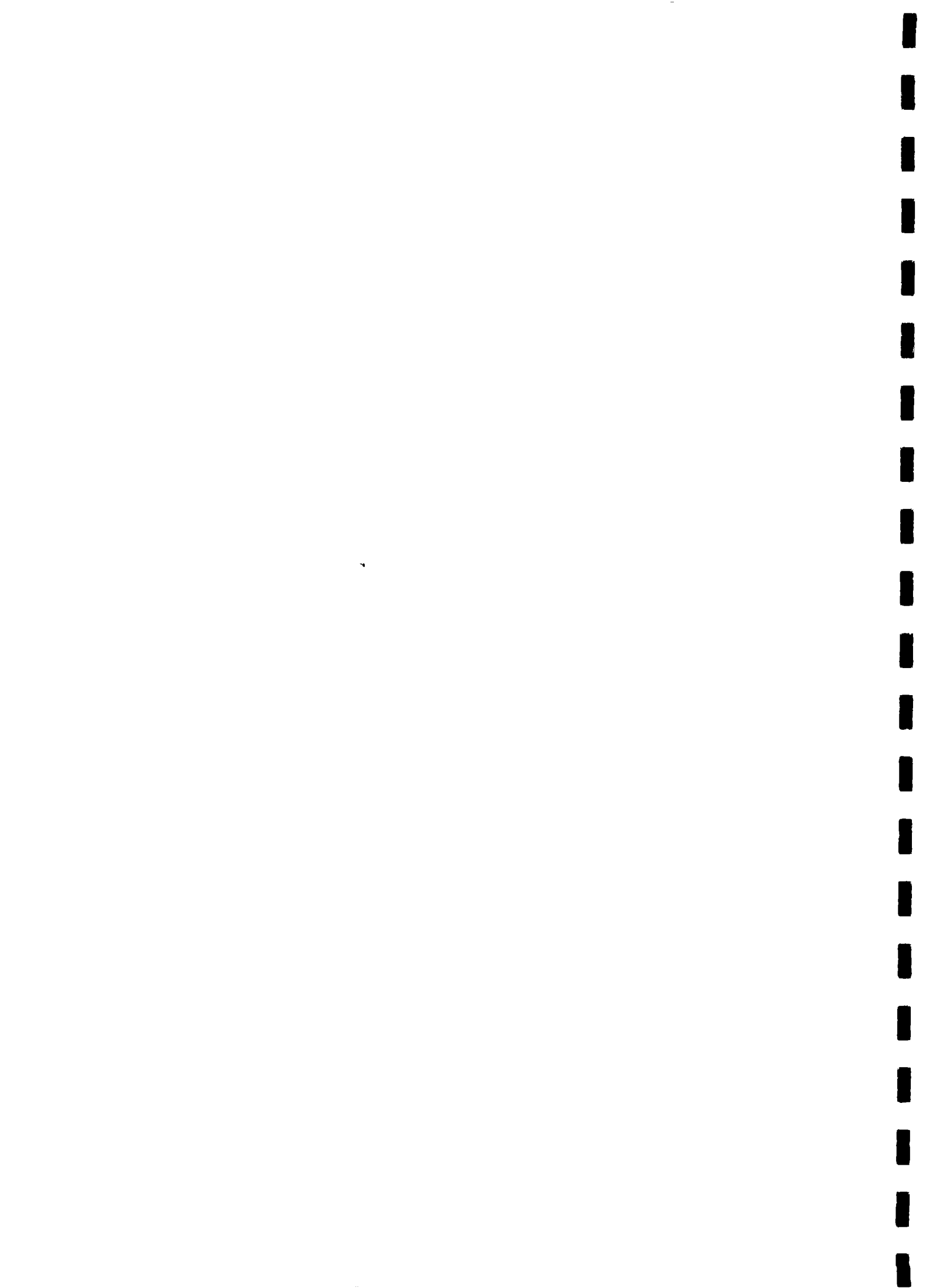
- du frottement entre tiges de 8 tors (juxtaposées sur une hauteur de 15 cm) et des ligatures,
- de l'adhérence de ces tiges au mortier sur ces 15 cm,
- de la résistance à la traction, des joints horizontaux et des parpaings

## 6222 - Matériel spécifique et programme d'exécution

Le matériel spécifique est réduit en nombre, en poids et en encombrement. Il comprend :

- deux moules à parpaings (l'un pour le cuvelage, l'autre pour le colonne de mise en eau),
- une bande de tôle souple, pour la fabrication de la trousse-coupante

Le document de référence n'établit pas de manière explicite l'ordre des opérations.



623- Description de la filière standard, pour puits monocolonne

Cette version a peut-être été créée en 1987 au NIGER. L'ouvrage terminé comprend deux parties solidarisées entre elles.

- La trousse coupante en 140-176 (d'après fig. 16 du manuel) donc avec un débord de 8 cm (supérieur de 3 cm à celui des autres modèles en usage dans la région)
- une colonne de 140-160, dont les caractéristiques sont :
  - \* pour la structure, comparables à celles du cuvelage du puits télescopé (nombre de briques par rang, ferrailage)
  - \* pour la partie captante : des barbicanes sur une hauteur de 4 m (au lieu de 3 m dans le puits télescopé; leur densité est de 192 au m. linéaire) ; un massif annulaire de gravier, épais de 8 cm au lieu de 5.

Remarques : Le matériel spécifique est limité à un moule à parpaings et à une bande de toile pour trousse-coupante. L'ordre des opérations de fabrication n'est pas précisé dans le manuel.

624- Compte - rendus d'enquête

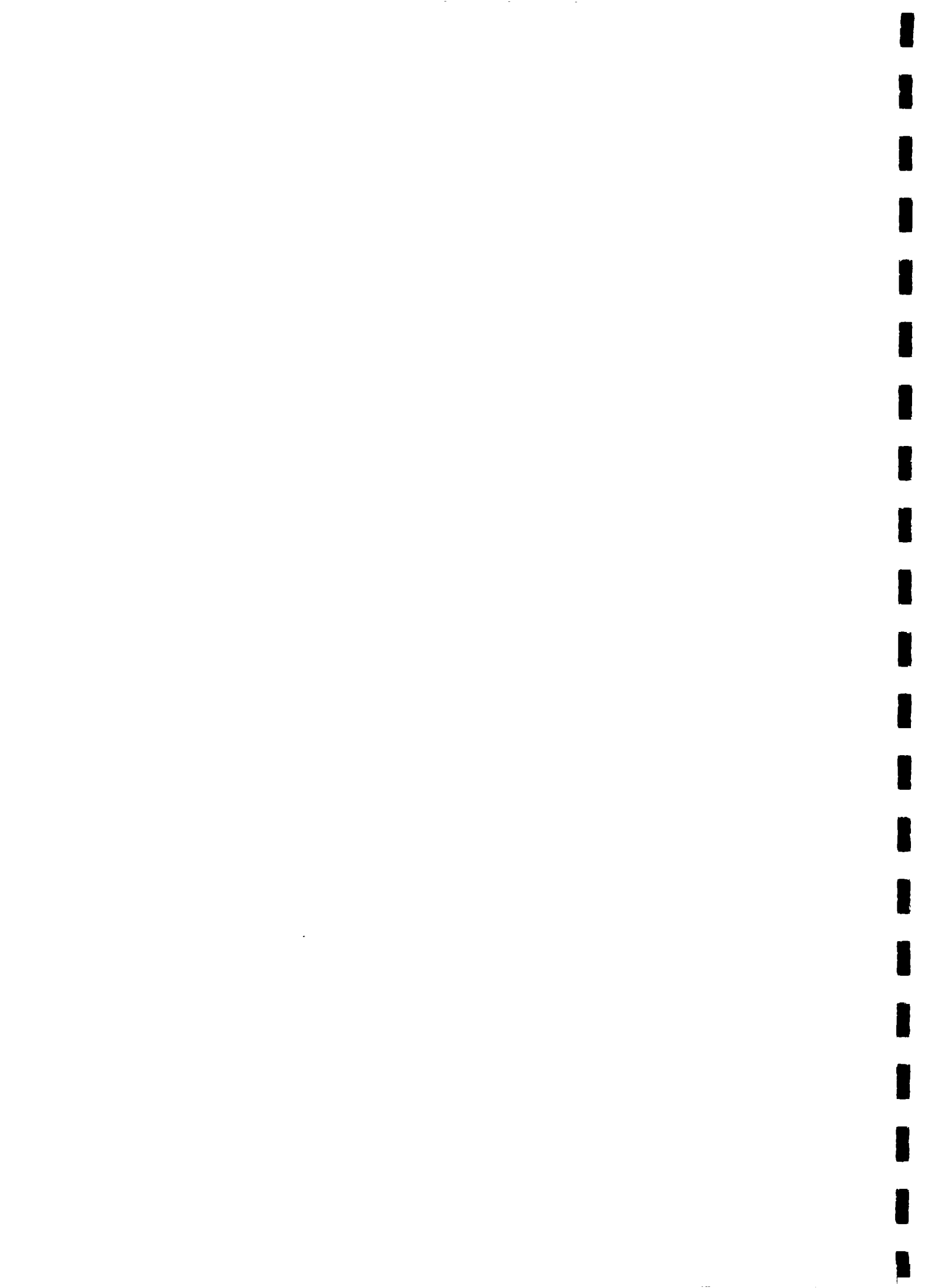
6241 - IFEROUANE

Nous avons effectué début mai 1991, une enquête sur les puits-brique de la zone de jardin d'IFEROUANE. Nous avons été amplement informé de la méthode et des conditions de sa mise en oeuvre par PETER TUNLEY et HAMIDAN HAMGAR. Nous avons eu accès aux comptes-rendus d'exécution de chaque puits (malheureusement ce type de document est systématiquement absent des archives que nous avons eu à consulter dans d'autres projets, depuis 8 ans) Ils montrent une intéressante recherche d'adaptation aux conditions de terrain. Il est vrai que beaucoup de chantiers ont porté sur la réhabilitation de puits traditionnels.

On note aussi un cas intéressant d'approfondissement de puits GTZ, apparemment en bon état (dénoyé peu de temps après sa construction ?). Une colonne en briques télescopée avec trousse-coupante et massif annulaire de gravier a été mise en place. D'une hauteur de 3 m, elle remonte un peu (?) dans la colonne en pierres.

L'examen de ces comptes-rendus de chantiers n'a pas été exhaustif. Mais un certain nombre d'observations de synthèse, écrites par HAMIDAN HAMGAR ont été relevées :

- 1) La réhabilitation des puits traditionnels anciens présentant des cavités, doit être étalée dans le temps. Le remblai sur lequel s'appuient les ancrages, se tasse. De ce fait, il arrive qu'un cuvelage en 140 - 160, **avec ancrage**, s'enfonce au fur et à mesure du creusement (ce qui provoque parfois sa fissuration). **Cette observation montre**



**bien la fragilité des constructions en briques** Il est donc préférable de ne pas réaliser d'ancrage immédiatement. Si un an après sa construction, le cuvelage n'a pas bougé, on exécute un ancrage de surface

- 2) La méthode de réparation d'une fissure de colonne, est la suivante :
  - ouverture des lèvres au brun,
  - bourrage par un gravier,
  - fermeture avec du ciment.
- 3) Les colonnes posées sur des blocs ne bougent pas Il n'est pas nécessaire de les ferrailler jusqu'au sommet.

#### 6242 - BAGZANS

Un seul puits, monocolonne, a été exécuté. Il est situé dans la zone de jardins de BAGZAN-N'AMMAS. Le puisatier avait suivi (l'année précédente ?) un stage de formation à IFEROUANE. Cet exemple qui date de mai 1991, n'est pas significatif, car le contexte a été défavorable. D'une part, le moule livré par le fabricant, artisan pourtant réputé sérieux, n'avait pas exactement les cotes voulues si bien qu'il a été impossible d'obtenir une colonne circulaire (elle a une forme festonnée). D'autre part, le jardinier, affolé par la crainte d'une remontée piézométrique imminente, a sans doute fait pression sur le puisatier pour qu'il "bâcle" son travail. La colonne présente des irrégularités nombreuses (diamètre, légère inclinaison de certaines briques, intercalations de briques non perforées dans la partie captante). Les conditions de fabrication et de séchage des parpaings, semblent également ne pas avoir été correctes.

Malgré ces imperfections, la colonne sera sans doute stable, car elle s'appuie sur le socle.

#### 625- Conclusions

Notre expérience de terrain sur les puits-brique AFVP étant presque symbolique, nous devons appuyer nos conclusions sur l'étude documentaire

Au niveau de la conception, ce modèle présente des avantages sur les puits monolithiques. Le matériel spécifique est bon marché, léger et peu encombrant. Il peut être transporté facilement. En outre la possibilité de choix entre deux versions (puits monocolonne et puits télescopé) apporte une réelle souplesse d'adaptation aux conditions de terrain.

Cependant ses inconvénients sont évidents, à nos yeux, même en l'absence d'expérience de terrain suffisante





D'une part, les colonnes sont fragiles :

A - le mode de liaison entre les tiges verticales de fer de 8, qui constitue dans les autres modèles le facteur essentiel de résistance à la traction, paraît a priori insuffisant. Sous réserve de la consultation d'un spécialiste, cette résistance dans le puits brique, semble dépendre essentiellement de l'adhérence du mortier aux extrémités de chaque tige de 8 (15 cm en haut et 15 cm en bas) et de son adhérence aux parpaings. Or on sait que certains puisatiers ne sont pas très exigeants sur les caractéristiques du sable qui entre dans la composition du mortier. Peut-on par ailleurs être sûr que les jardiniers, quand ils financeront leur propre puits, n'achèteront pas des ciments de qualité médiocre, moins chers? C'est a priori un des points faibles des techniques appropriables

Finalement, les principaux facteurs de cohésion semblent être

- pour le cuvelage des puits télescopés, la pression latérale du terrain et l'appui sur l'ancrage de base
- pour les autres colonnes (colonne de mise en eau ou puits monocolonne) le fait qu'elles soient enrobées par un massif de sable, ce qui peut favoriser leur enfoncement spontané en cas de développement de cavités dans l'aquifère. Dans certains cas, leur base peut s'appuyer sur un terrain consistant

B - On a noté des fissurations de colonnes (verticales ou horizontales ?) à IFEROUANE et, paraît-il, au BURKINA FASO. D'autre part, le nombre de barbacanes de la partie captante, au mètre linéaire (144 pour le puits télescopé, 192 dans le cas du puits monocolonne) est insuffisante pour les puits de jardin de l'AIR, exploités couramment, grâce au système de tékarkat, à des débits de l'ordre de 3 à 5 m<sup>3</sup> / h. C'est un facteur de pertes de charge et d'ensablement (mais les conditions sont pires pour le puits LWR puisque le nombre de barbacanes au mètre linéaire est encore plus faible, avec 125 trous pour une buse de 140-160). A noter pour mémoire, que la colonne de mise en eau du puits OFEDES télescopé comporte 430 barbacanes au mètre linéaire (nous n'avons pas les valeurs pour les puits monolithiques AFVP, mais elles semblent être les mêmes)



## CHAPITRE 7

### LE PUIITS OFEDES TÉLESCOPÉ.

Pendant l'enquête, très peu de temps a été consacré aux puits OFEDES. En effet ils sont géographiquement très dispersés, ils représentent un très faible pourcentage des puits-ciment existants. Enfin pour la plupart d'entre eux, il est pratiquement impossible de reconstituer l'historique de leur construction .

L'OFEDES propose deux types de puits, tous deux monolithiques : le puits télescopé et le puits monocolonne

Pour mémoire, signalons que le puits monocolonne, non décrit dans le manuel de référence (bib n°1) semble présenter les mêmes caractéristiques générales que le puits monolithique AFVP, mais avec un ferrailage vertical renforcé (22 barres de 8 mm au lieu de 9). A notre connaissance, il n'a pas été mis en oeuvre dans l'AIR Il semble que son prix élevé ne soit pas " attractif "

Le puits télescopé est celui que l'on appelle couramment "puits OFEDES". Sa filière est décrite en détail dans le manuel qui vient d'être cité Le lecteur pourra s'y reporter Dans l'AIR, il a une vocation uniquement villageoise (AEP), pastorale ou mixte (AEP et pastorale) Son coût l'exclut à priori de l'utilisation pour jardinage (il ne pourrait présenter d'intérêt que pour des puits collectifs à débit d'exploitation élevé, mais cette option n'est pas facile à adapter au contexte sociologique du jardinage de l'AIR)

Il y aurait eu deux grandes périodes de construction de puits OFEDES exécutés par l' OFEDES. La première remonterait aux années 60 (à AGADES, l'enquête n'a pas fourni d'information sur ce sujet et il n'existerait pas d'archives relatives à cette époque) La seconde période est actuelle un projet à financement allemand, est en cours, mais pour la sécurité du personnel, sa zone d'intervention est actuellement limitée en direction de l'AIR, à la région proche d'AGADEZ. Dans l'intervalle de 20 à 30 ans, compris entre ces deux phases de travaux, seuls quelques puits auraient été réalisés dans l'AIR, pas nécessairement pas l'OFEDES, d'ailleurs.

La filière des puits OFEDES télescopés, est à l'opposée de celles des techniques dites appropriables : conception classique due à des professionnels, grande solidité, matériel diversifié



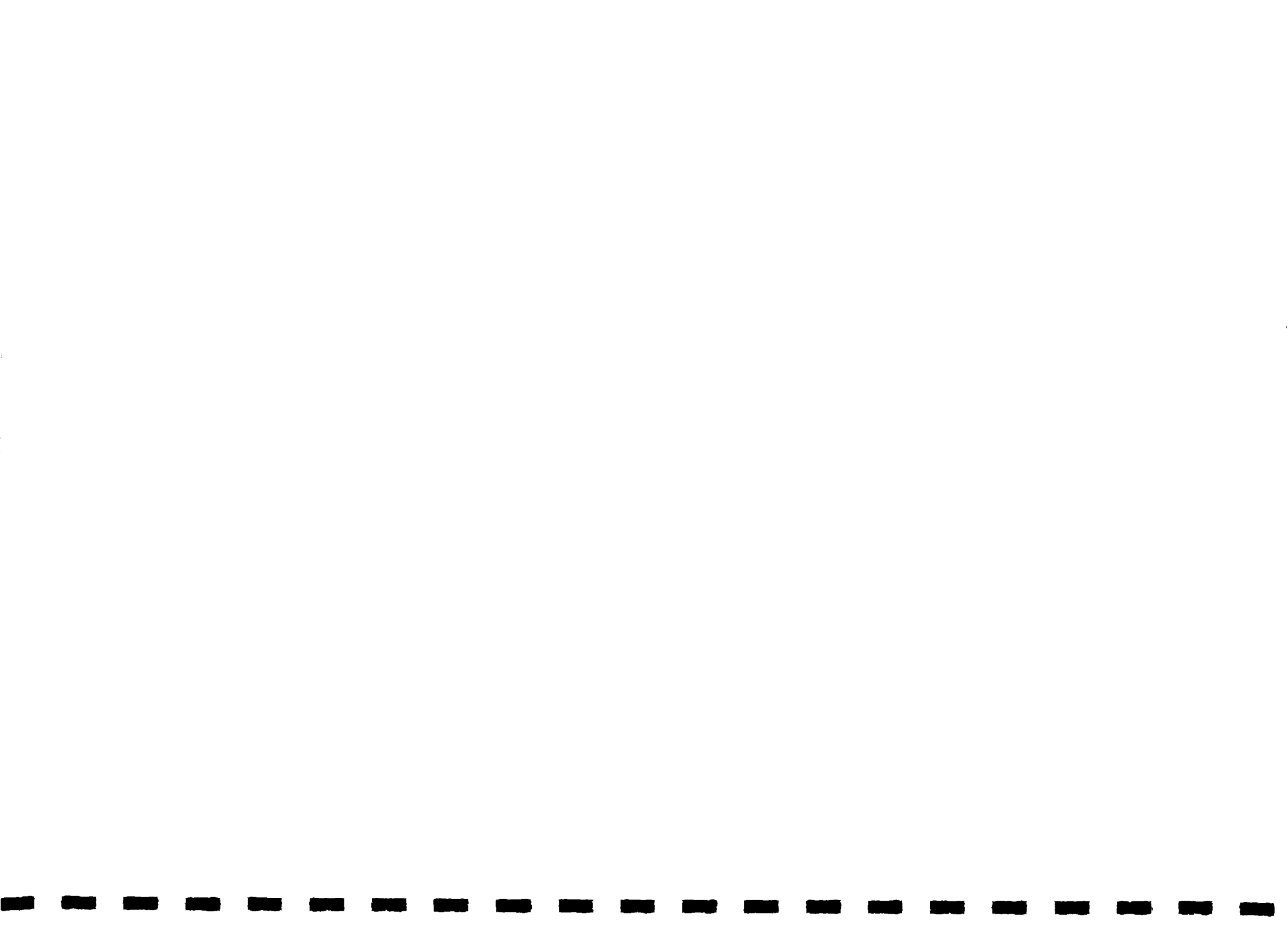
mais lourd et encombrant, possibilité de faire face pratiquement à tous les cas de figure rencontrés sur le terrain, motorisation, emploi presque exclusif de professionnels spécialisés, logistique et organisation des chantiers compliquées et naturellement coûts élevés. Tout ceci explique que le puits OFEDES n'occupe qu'un seul créneau : celui des puits AEP et pastoraux. Mais nous pensons que même dans ce créneau il peut être concurrencé par des techniques moins coûteuses, en particulier par celle du puits monocolonne, monolithique AFVP pour le captage de nappes peu profondes.

Concernant la qualité de la mise en oeuvre de ce puits, notre enquête confirme l'expérience que nous avons acquise au cours d'études hydrogéologiques sur des chantiers de puits et de forage depuis plus de 25 ans (et pas uniquement en AFRIQUE). Le bon professionnel n'est pas à l'abri d'une malfaçon, voire d'une erreur liée aux difficultés de terrain, mais les professionnels dignes de ce nom, connaissent un très faible pourcentage d'erreurs et de malfaçons.

Nous n'avons fait référence ici qu'aux puits exécutés avec le matériel spécifique de l'OFEDES. Ceci exclut les quelques puits télescopés de mêmes dimensions, réalisés avec des moules souples.

Concernant l'état des puits anciens, nous avons noté :

- l'absence apparente de réalimentation de certains massifs annulaires de gravier (risques d'ensablement et de formation de cavités dans le terrain).
- des enfoncements obliques de colonnes de mise en eau, voire de cuvelages, qui peuvent être liés
  - \* soit à des cavités consécutives à l'absence de réalimentation du massif annulaire de gravier.
  - \* soit à des tentatives de descente de colonnes lors d'étiages piézométriques sévères (tentatives entreprises par qui ?).



## CHAPITRE 8

### L'ENTRETIEN ET L'APPROFONDISSEMENT DES PUIITS

Les observations ci-après ne couvrent certainement pas tous les cas de figure envisageables.

#### 81 - TRAVAUX COURANTS

**Nous appelons courants, les travaux à la portée de la population :**

- désensablement (pour mémoire, car cette pratique est traditionnelle),
- réalimentation du massif annulaire de gravier des puits télescopés,
- décolmatage des barbacanes (cf. § 812),
- obturation des petites fissures et brèches de la colonne.

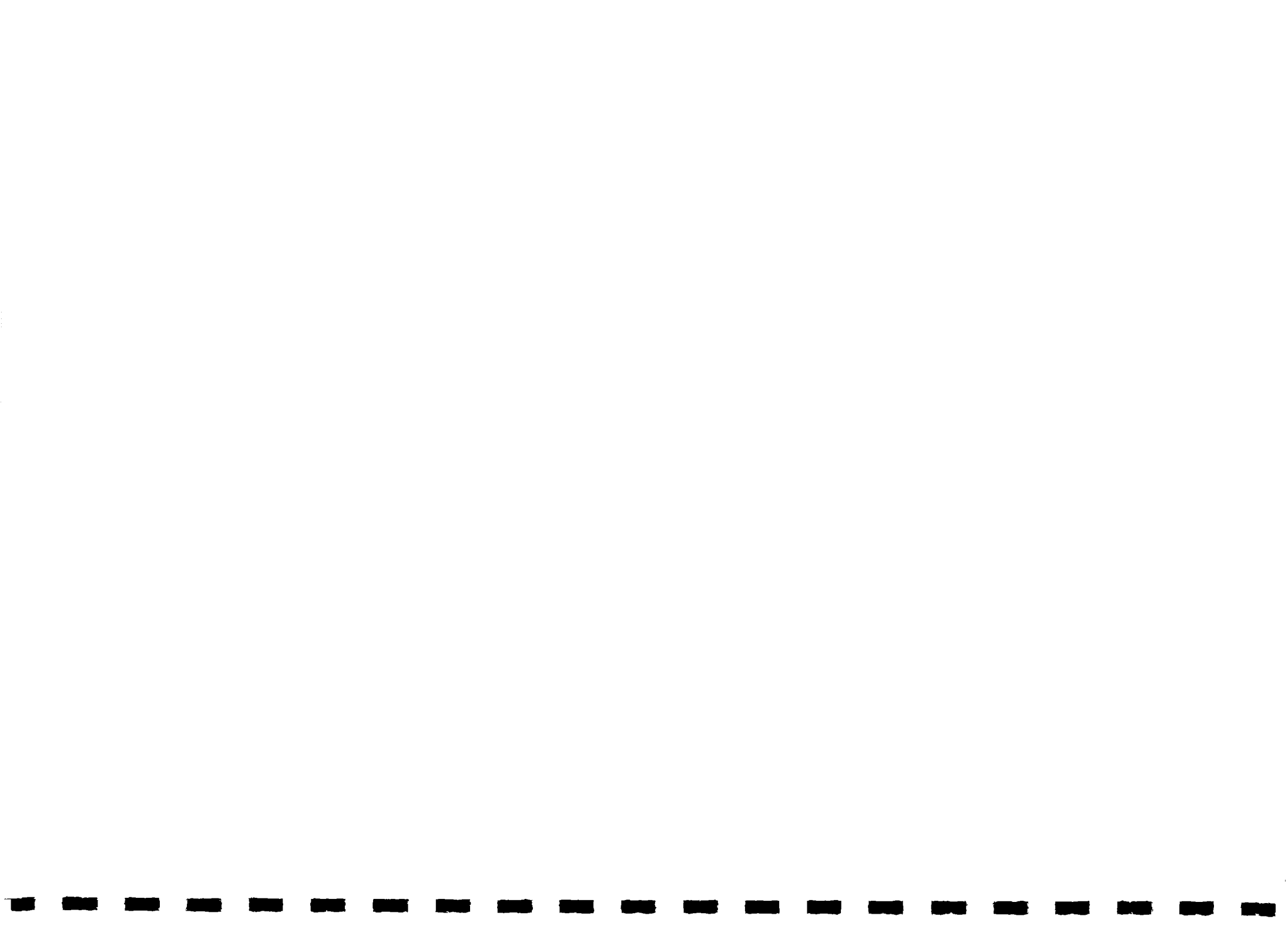
#### 811- Réalimentation du massif annulaire de gravier d'un puits télescopé

Le niveau du massif annulaire de gravier tend à baisser si le puits s'ensable du fait de venues de terrain aquifère. Ce phénomène peut intervenir dans tous les types de puits, mais c'est seulement sur les puits télescopés que l'on peut l'observer directement et le combattre.

#### 8111- Processus et conséquences éventuelles de la baisse du massif annulaire de gravier

La baisse du niveau du massif annulaire résulte du processus suivant :

- Le puisage peut provoquer des venues de sable. Une partie de ce sable sort du puits par exhaure. Le reste remblaie progressivement le fond du puits (d'où la nécessité de désensabler périodiquement).
- Les vides, laissés dans le terrain aquifère par le départ du sable, sont comblés par le massif annulaire de gravier. De ce fait, le niveau de ce massif tend à baisser. Si le phénomène ne s'atténue pas, le terrain aquifère finit par entrer en contact avec les barbacanes et **la vitesse d'ensablement s'accroît** (sauf dans les puits télescopés et à condition que le massif annulaire de gravier soit convenablement réalimenté).
- Le départ de sable aquifère n'étant pas compensé, **des cavités se développent dans le terrain** autour des buses de mise en eau et elles ont tendance à remonter vers le sol. Les conséquences possibles de ce phénomène ont déjà été décrites (tassement





du sol à la périphérie de l'ouvrage, descente de la colonne avec **inclinaison** éventuelle et **durée de vie de l'ouvrage réduite**).

Les facteurs influençant l'ensablement (en dehors de la qualité du massif annulaire de gravier), sont le nombre de barbacanes productives et le granulométrie du terrain aquifère .

a) Le nombre de barbacanes productives est déterminé par :

- Le "pourcentage d'ouverture" théorique du modèle de colonne<sup>1</sup> . cf. § 625.
- Le pourcentage réel d'ouverture, lié aux lacunes de la construction (barbacanes non percées) et au colmatage ultérieur
- Le dénoisement éventuel de rangées de barbacanes (fluctuations piézométriques ou rabattement par puisage).

b) Si la granulométrie du terrain aquifère est fine et homogène, l'ensablement ne tarit pas, sauf comme il a été dit précédemment, quand le puits est équipé d'un **massif annulaire de gravier bien fait et correctement réalimenté**. C'est donc un avantage pour le puits OFEDES télescopé et pour le puits-brique télescopé (seuls modèles en usage dans l'AIR, dont le massif puisse être réalimenté). Par contre si la granulométrie du terrain aquifère est hétérogène, avec prédominance d'éléments grossiers, l'ensablement du puits tend à éliminer seulement sa fraction fine des abords du puits : le phénomène d'ensablement peut s'atténuer progressivement, voire s'arrêter (même dans un puits dépourvu de massif annulaire de gravier). Cependant un accroissement du débit d'exploitation risque de le réactiver.

Il convient de rappeler qu'avec le modèle LWR, l'absence de guide à percevoir, dans le moule extérieur, peut être un facteur d'ensablement (inclinaison des barbacanes insuffisante, voire inversée)

#### 8112 - Entretien des massifs annulaires de gravier des puits télescopés

Pendant les périodes d'exploitation, le propriétaire doit surveiller .

- le niveau du massif annulaire de gravier.
- la profondeur totale de l'ouvrage; son remblayage éventuel peut provenir :
  - \* de venues sable par le haut (envisager un rehaussement de margelle par l'utilisateur)

---

<sup>1</sup>Pourcentage d'ouverture = Superficie cumulée des barbacanes / sup. totale des buses perforées



\* de venues de sable par le fond , difficiles à mettre en évidence (envisager la mise en place d'une dalle de fond perforée, sur lit de gravier, **par un pulsateur**)

\* de venues de sable par les barbacanes.

Sauf dans le premier cas, ces ensablements doivent provoquer un abaissement du massif annulaire de gravier. On peut fixer comme règle de prudence que chaque fois que le niveau du massif descend à 10 cm en dessous du sommet de la colonne de mise en eau, il faut rajouter du gravier de granulométrie adéquate, sur une hauteur équivalente. Si ce travail est fait consciencieusement, la vitesse d'ensablement diminue en principe progressivement, par élimination des "fines" du terrain, à proximité des buses perforées. L'entretien du massif annulaire doit pouvoir être exécuté par l'utilisateur, **après qu'on lui en ait correctement expliqué les raisons et les méthodes.**

Nous avons observé, grâce à des campagnes de relevés piézométriques, couplées avec des mesures de profondeur totale, que certains jardiniers des BAGZANS, désensablent leurs puits pendant l'étiage , et ce sur une hauteur relativement grande.

#### 812 - Cas de diminution anormale du débit et de la productivité du puits

Si l'on note au cours des années une baisse du débit et de la productivité, sans abaissement notable de la nappe au repos, ni ensablement du puits, ce changement a en principe pour cause :

- soit un colmatage progressif des barbacanes, voire du massif annulaire de gravier , (à ne pas confondre avec un colmatage initial éventuel),
- soit un puisage simultané sur un nouveau puits créé à proximité immédiate.

Le phénomène de colmatage peut être mis en évidence en comptant les jets d'eau qui sortent des buses captantes, lors d'un puisage à débit élevé. Le remède le plus simple consiste à "ramoner " chaque barbacane improductive avec une tige de fer de 6 mm (sans l'enfoncer jusque dans le terrain). Il n'y a pas de remède contre l'interférence d'un puisage proche, si ce n'est de décaler les horaires d'exploitation.

#### 813 - Obturation des petites fissures et réparation des petites brèches

Si la brèche ou la fissure sont d'importance limitée, le travail peut être exécuté par le jardinier avec du mortier ou du béton. L'intervention doit être rapide, en cas de fluage du terrain au travers de l'ouverture



82 - TRAVAUX A CONFIER A UN PUISATIER CONFIRME OU A UNE EQUIPE SPECIALISEE

Sont concernés:

- les approfondissements de puits-ciment,
- le redressement des colonnes inclinées,
- la consolidation des parois et leur réhabilitation,
- la transformation de puits traditionnels en puits-ciment,
- L'exécution des dalles de fond ( pour mémoire.cf § 8112).

821 - Les approfondissements de puits - ciment

Il ne faut pas confondre les désensablements avec les approfondissements qui consistent à creuser au delà de la base de la colonne .

Dans l'AIR, la cause la plus fréquente des approfondissements est un abaissement piézométrique de longue durée, qui réduit fortement la productivité ou denoie complètement l'ouvrage. Sont concernés principalement les puits à faible pénétration initiale dans l'eau (puits GTZ et au moins une partie des puits LWR). Mais tous les modèles de puits peuvent être plus ou moins affectés lors d'un étiage piézométrique exceptionnel comme celui de la saison sèche 1984-85.

La technique GTZ est adaptée à ce genre de situation (c'est peut-être son seul avantage) Pour les autres modèles représentés dans l'AIR , on a essayé en 1984-85, de faire descendre par havage la colonne unique (modèle LWR) ou la colonne de mise en eau (modèle OFEDES) Ces travaux ont sans doute été entrepris spontanément par la population Ils se sont révélés délicats, dangereux (pour les puits et les hommes) et les résultats n'ont pas toujours été heureux. Dans des situations comparables, à condition que le diamètre intérieur soit de 140 au minimum, il vaut mieux procéder à un télescopage ( avec une colonne de 100-120, une trousse coupante et un massif annulaire de gravier). Une telle opération doit être confiée à un professionnel, bon plongeur en apnée, capable de faire descendre très profondément la colonne. En effet, le diamètre intérieur de 100, interdit tout nouveau télescopage (sauf recours aux techniques de forage). Quel type de colonne faut-il choisir ?

Actuellement deux modèles de colonnes en 100 -120, sont en usage dans l'AIR:

- le modèle "brique AFVP" , avec trousse - coupante en 100 - 136 (projet "AIR - TENERE"),
- le modèle à buses en béton armé, solidarisées par boulonnage, avec trousse - coupante de 100 - 130 ( projet de TAMAZALAK)

Citons quelques critères importants de choix.

- les difficultés d'accès au site,



- la régularité de la paroi intérieure de la colonne de 140 - 160 (ou en 150 intérieur, des puits GTZ),
- la solidité de la colonne de 100 - 120,
- la possibilité de récupérer cette dernière colonne en cas d'échec de l'opération de télescopage.

a) DIFFICULTES D'ACCES AU SITE :

Si l'amenée du matériel spécifique doit être faite par animaux de bât et si l'opération porte sur un petit nombre d'ouvrages, la technique brique convient a priori. Mais la technique des buses peut également être mise en oeuvre, à condition de couler la trousse coupante et les buses au fond du puits (on évite ainsi l'amenée d'un matériel de levage lourd).

b) REGULARITE DE LA PAROI INTERIEURE DE DIAMETRE 140 OU 150, SUIVANT LES MODELES :

La paroi intérieure des modèles LWR et des puits - pierre, n'a pas toujours une régularité suffisante pour permettre le passage d'une trousse - coupante et de buses fabriquées au sol. Dans ce cas, le télescopage avec des "briques" s'impose (avec fabrication de la trousse - coupante au fond du trou).

c) SOLIDITE DE LA COLONNE DE 100-120

Dans la mesure où elle dépasse la base de la colonne de 140 - 160, la colonne de 100 - 120 peut se situer dans un milieu rendu mouvant par le puisage. Elle souffre sans doute moins des contraintes verticales (par traction ou compression) que des efforts de cisaillement. Laquelle des deux techniques (briques ou buses ?) est la plus résistante dans ce cas de figure? En l'absence d'expérience de terrain et de données statistiques, seul un spécialiste du béton armé serait habilité à répondre sur ce point. A priori, nous préférons les buses en béton armé.

d) POSSIBILITE DE RECUPERER LA COLONNE DE 100-120, EN CAS D'ECHEC :

La mise en eau de la colonne de 100 - 120 peut-être limitée ou interdite par la présence d'obstacles rocheux. Financièrement il est intéressant de la récupérer en vue de la réutiliser. L'opération n'est possible qu'avec la technique des buses boulonnées.

822 - Le redressement des colonnes inclinées

Sont concernés principalement les puits LWR abandonnés en raison de l'inclinaison prise par la colonne lors de la tentative d'approfondissement de 1984-85. Ils doivent se compter par dizaines (peut-être est-il possible d'en évaluer le nombre sur la base des inventaires du BRGM).





On pourrait envisager le redressement des colonnes en les soulevant de quelques dizaines de cm seulement, avec un système comprenant trois câbles, trois puissants crics de camion et des supports rigides de grande portée (par exemple fers en U ou en I, très épais)<sup>1</sup>. La traction proviendrait des crics (en appui au sol, sur les supports) et serait transmise par les câbles à trois points de la base de la colonne. Les modalités de la méthode devraient être étudiées et testées. Il faudrait tenir compte entre autres:

- du poids de la colonne (1,2 tonne/m. linéaire; 18 tonnes au total pour une colonne de 15 m),
- des frottements contre la paroi,
- de l'élasticité des câbles,
- de la résistance à l'écrasement de la base de la colonne (qualité du béton variable).

#### 823 - Consolidation et réhabilitation des parois des puits - ciment

Actuellement, cette opération ne semble utile que pour les colonnes GTZ disloquées. Elle n'est possible que dans la mesure où les anneaux détachés de la colonne, n'ont pas subi de déplacements latéraux. On peut, à notre avis, envisager la technique de réhabilitation suivante:

- 1) remblayer le fond de l'ouvrage avec du sable de kori grossier et **non argileux**. Le remblai doit remonter de 50 cm au moins au dessus du niveau piézométrique.
- 2) boucher les fissures dénoyées, avec du béton (éventuellement avant l'opération 1)
- 3) télescoper une colonne de 100-120 avec trousse -coupante. Le travail doit être confié à de bons plongeurs en apnée, afin d'obtenir une pénétration profonde dans l'aquifère. Le remblai sert de massif filtrant. Il faut en surveiller le niveau et le réalimenter en cours de travaux, si nécessaire.
- 4) A la fin des travaux de havage, rehausser le sommet de la colonne de 100-120 et le massif annulaire de gravier, de façon à obtenir un croisement d'au moins un mètre, avec la colonne GTZ (il serait d'ailleurs préférable qu'ils remontent un peu au dessus du niveau piézométrique maximum).
- 5) Après la reprise de l'exploitation, surveiller fréquemment le niveau du massif annulaire. En effet le remblaiement des anciennes cavités peut être incomplet; dans ces conditions, le puisage risque de provoquer des mouvements de terrain importants et brusques.

Remarque : à titre préventif, la même opération peut être effectuée sur des puits GTZ en bon état. Sauf si la colonne est bien posée sur un terrain stable (gros blocs, substratum) on peut considérer comme probable une évolution aboutissant (à court, moyen ou long terme), à la formation de cavités

---

<sup>1</sup> Un seul cric, un seul câble et un seul support suffiraient peut-être.



et à des ruptures de colonne. Il nous paraît préférable de stopper le processus dès le départ, par un télescopage s'inspirant de la procédure qui vient d'être décrite. A ce stade il n'y a pas de fissures à colmater, en principe.

#### 824 - Transformation des puits traditionnels en puits-ciment

Certains puits traditionnels méritent d'être consolidés par une colonne en ciment, en particulier ceux qui ont la réputation d'être très productifs et jamais à sec. La décision dépend du coût financier et des risques (variables d'un puits à l'autre) encourus par les puisatiers. Dans ce domaine le projet de réserve naturelle de l'AIR et du TENERE a donné l'exemple en montrant :

- que la solution est techniquement possible, au moins dans certains cas,
- qu'il faut l'adapter cas par cas au contexte.

La procédure de base paraît devoir être la suivante :

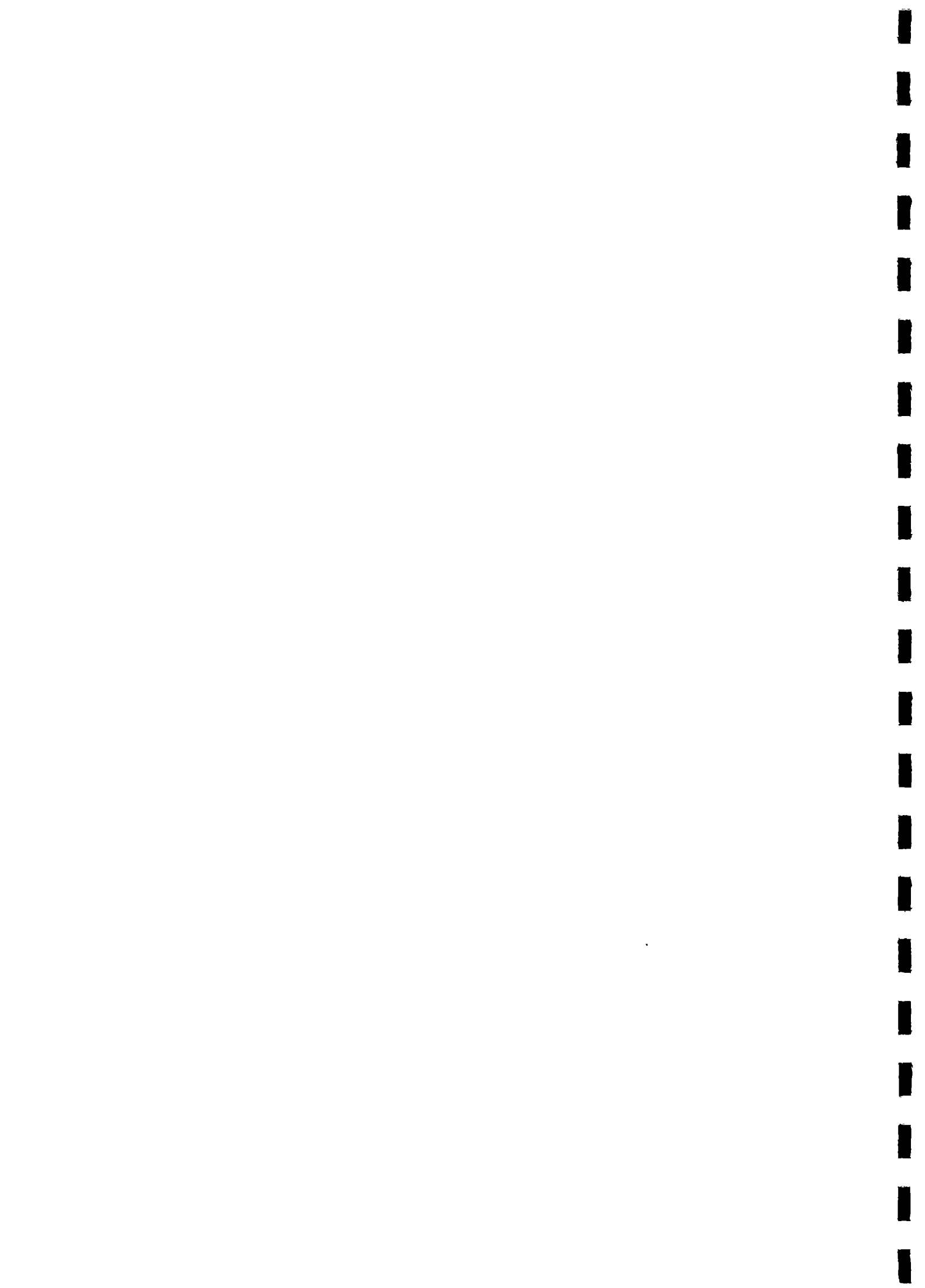
- 1) enquête précise sur l'historique de l'ouvrage à réhabiliter, vérification des allégations concernant l'intérêt du puits, examen détaillé des parois et du fond (**évaluation des risques encourus par les puisatiers, établissement du programme d'intervention**) ,
- 2) remblayage du fond du puits pour éliminer les éventuelles cavités dangereuses et disposer d'une surface horizontale pour la pose de la trousse-coupante. Le remblai est constitué de sable de kori, **non argileux**. Au fur et à mesure, les éléments gênants du boisage sont extraits par traction **à partir du sol**.
- 3) pose de la trousse-coupante et élévation de la colonne sur plusieurs mètres (cf. § 823-3)  
Suivant la section libre, la colonne sera soit en 140-160, soit en 100-120. La solution la moins dangereuse consiste à fabriquer des buses au sol et à les solidariser au fond, par boulonnage. Ainsi le temps de présence du puisatier dans le puits, est réduit; mais cette solution demande un matériel de levage assez puissant (problème éventuel d'accès au site) .
- 4) descente la plus profonde possible, de la colonne, par havage. Le massif annulaire est constitué par le remblai décrit au § 2 ci-dessus. Cette opération doit être arrêtée, si des risques d'éboulements apparaissent.
- 5) élévation de la colonne jusqu'au sol. Le remblaiement du vide annulaire ( avec du sable de kori, non argileux) doit être simultané, pour protéger la colonne et les puisatiers contre les éboulements de l'ancienne paroi. Il doit être terminé avant la fin du chantier, car il n'est pas certain que les utilisateurs le feront correctement.



**Observation importante** . le manuel des puits-brique (bib. 6, § 3-3) préconise une technique de réhabilitation des puits traditionnels qui nous paraît inadéquate. Elle concerne la base des puits qui ont subi des approfondissements successifs, sans doute en relation avec une série d'abaissements piézométriques. L'objectif est de combler les cavernes latérales, avec des matériaux stables avant d'exécuter une colonne de mise en eau. La méthode consiste à remblayer ces cavernes avec de l'argile ou avec de la terre damée. Dans l'AIR, cette technique aboutirait inévitablement à une forte diminution de la perméabilité de niveaux qui peuvent redevenir aquifère. Elle amènerait donc une diminution définitive du débit potentiel du puits.

### REMARQUE FINALE

Nos principales conclusions sont les suivantes : nécessité d'aborder les projets de puits de l'AIR, dans une perspective globale du développement de la région ; importance de la prise en compte des facteurs hydrogéologiques ; enfin nous donnons la priorité à la recherche de la qualité (dans le choix des modèles de puits, dans la formation des responsables de terrain, etc ..) et nous sommes très méfiant vis-à-vis des techniques appropriables, du moins dans le domaine des puits.



## ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE .

- | NUMERO DANS<br>LE TEXTE (BIB) | TITRE ET HAUTEUR  |
|-------------------------------|---|
| 1                             | " La construction des puits en Afrique tropicale" J. LEMOINE. BURGEAP<br>Ministère Français de la Coopération et du développement. 1980   |
| 2                             | " NIGER. Opération MAYAHI 1974-76". V de CROUY-CHANEL AFVP  |
| 3                             | "Métiers de l'eau au SAHEL. Eau et terres en fuite". J-L CHLEQ et H<br>DUPRIEZ. 1984  |
| 4                             | "Nouveau manuel sur les puits maraichers en béton armé (PMB) type LWR".<br>R. MERCIER. Lutheran World Relief, NIGER . 1986.   |
| 5                             | "Principales techniques de construction des puits modernes en usage dans la<br>République du NIGER. Conception et règles générales d'exécution".<br>R. MERCIER. Bull. liaison du CIEH, n° 69. Juillet 1987  |
| 6                             | "La construction des puits et leur aménagement par la technique de<br>construction en briques". P: HUTINET. AFVP. Mars 1989.  |
| 7                             | "Dictionnaire français d'hydrogéologie". G. CASTANY et J. MARGAT. BRGM  |
| 8                             | "Puits maraichers en béton armé, dans le cadre du développement rural de<br>BADEGUICHIRI". AFVP. 1979.  |
| 9                             | "Memento de l'agronôme". Ministère Français des Relations Extérieures,<br>de la Coopération et du Développement. Edition 3. 1984.   |
| 10                            | "Rapport de l'évaluation finale du projet APPUI AUX COOPERATIVES DU<br>MONT BAGZAN (phase 1989-1991). A. MÜLLER, VED. AFVP. Juillet 1992.   |
| 11                            | "Etude comparative des avantages respectifs des puits et forages, dans les régions à<br>substratum cristallin d'AFRIQUE de l'Ouest". BURGEAP. CIEH 1992   |
| 12                            | "La construction des puits en maçonnerie". Comité Central Mennonite. 1981.  |
| 13                            | "Carte géologique de reconnaissance du massif de l'AIR" à 1 / 500 000.<br>R. BLACK, M. JAUJOU et C. PELLATON. BRGM. 1967.   |
| 14                            | "Principes et méthodes de l'hydrogéologie". G. CASTANY. DUNOD université<br>1962.   |
| 15                            | Synthèse d'une étude hydrogéologique de 6 vallées du Sud de l'AIR par Cl.<br>ARMAND, BRGM (ref. : 87 NER 016 EAU). Etude réalisée en 1985 dans le cadre du<br>Programme d'hydraulique villageoise et agricole dans les départements de TAHOUA et<br>d'AGADEZ. |
| 16                            | Synthèse de : " Etude des vallées de l'AIR, phase 2 " par J-C SYLVESTRE,<br>BRGM. Suite de l'étude précédente. Concerne la partie centrale de l'AIR (terrain en 1987-<br>88).   |
| 17                            | " La ressource en eau souterraine: de sa définition à sa gestion".<br>J. MARGAT. BRGM. 1986.  |
| 18                            | Mobilisation des ressource en eau du socle cristallin en AFRIQUE de l'Ouest et<br>du Centre". J.C BERRE. BRGM. 1967   |





Annexe 2 : NOMBRE DE PUITIS VISITES PAR TYPES ET PAR SITE

Site	OFEDES - Tel	A F V P	L W R	Briques	Pierres+ ciment	Tradit-pierres	Tradit- sans p	Ciment divers	Observations
Azel			3						
Indoudou et environs			4						
Iferouane	1	2		2	3		1		Enquête auprès projet
Tchin lelkoust					4				Etude détaillée puits pierres cimentées
Timla	1				3	2		1	Etude détaillée puits pierres cimentées
Krip- krip		1							Enquête auprès puisatier
Bhet			2						
Assada			13						
Dabaga			3						
Tamazalak	1	10					1		Enquête détaillée auprès projet
El mek		5			3			1	
Aouderas	1		13				3		
Abardokh	2	4	5				2		
Tabelfot	1	3	8						
Divers	1		2						
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>53</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>112 au total dont 103 cimentés</b>
<b>pour mémoire (Bagzanes)</b>				<b>1</b>	<b>environ 20</b>	<b>Indéterminé</b>	<b>Indéterminé</b>		<b>Environ 140 puits en total dont 21 cimentés</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>									<b>Environ 250 puits dont 123 cimentés</b>



## ANNEXE 3 : LISTE DES FIGURES

- Figure 1 Situation du massif de l' AIR
- " 2 : Schéma simplifié de la répartition de l'eau gravitaire et de l'eau de rétention, dans un réservoir alluvial de l' AIR, suivant une coupe transversale
  - " 3 : Captage de nappe dans un aquifère mixte (alluvions sur basalte sur alluvions)
  - " 4 : Coupe technique d'un puits LWR (PMB)
  - " 5 : Croquis des principales phases de la construction d'un puits LWR
  - " 6 : Coupe technique d'un puits maraicher AFVP, monolithique
  - " 7 : Croquis des principales phases de la construction d'un puits AFVP, monolithique
  - " 8 : Puits OFEDES. Puits en béton armé, à captage autonome.

## ANNEXE 4 : LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1** : Evaluation des risques de rupture des colonnes de puits monocolumnes, dont la base est suspendue dans une cavité dénoyée (suppression de la poussée d'ARCHIMEDE).
- Tableau 2** : Normes pour la composition du béton et du mortier des modèles de puits en usage dans l'AIR (d'après notes de lecture et d'enquête).
- Tableau 3** : Synthèse des coûts partiels de certains modèles de puits-ciment en usage dans l'AIR.

