

2 1 2. 6
8 3 D E

17080 3160

DEMARCHES PORTEUSES DE DEVELOPPEMENT

II. Le creusement et forage de puits et la réalimentation des
nappes phréatiques en région sahélienne

Etude réalisée par le COTA (Collectif d'Echanges pour la
Technologie Appropriée), 18 rue de la Sablonnière,
1000 Bruxelles, Belgique

Rédaction : Michel LENS

LO: 212.6 83 DE
ISA: 1708

LIBRARY
International Defence Centre
for Emergency Military Supply

DEMARCHES PORTEUSES DE DEVELOPPEMENT

II. Le creusement et forage de puits et la réalimentation des
nappes phréatiques en région sahélienne

LIBRARY, INTERNATIONAL DEFENCE CENTRE
CENTRE FOR EMERGENCY MILITARY SUPPLY
Avenue de la Sablonnière
P.O. Box 1000 1000 BRUXELLES
Tel. (070) 818311 ext. 141/142
IN: ~~11/11/78~~ ISN 1708
LO: 212.6 88DE

Etude réalisée par le COTA (Collectif d'Echanges pour la
Technologie Appropriée), 18 rue de la Sablonnière,
1000 Bruxelles, Belgique

Rédaction : Michel LENS

011983/4457/2

TABLE DES MATIERES

I. <u>INTRODUCTION</u>	p. 1
II. <u>PROBLEMATIQUE</u>	p. 4
1. <u>Le creusement et le forage de puits</u>	p. 4
A. Contexte	p. 4
B. Utilisation de l'eau	p. 6
C. Disponibilité des ressources en eau	p. 8
1°) Eaux souterraines	p. 9
2°) Eaux de surface	p. 13
D. Accès aux ressources	p. 13
1°) Accessibilité des ressources	p. 13
2°) Moyens d'accès aux eaux souterraines	p. 16
a. Puits creusés	p. 16
b. Puits forés	p. 26
3°) Exploitation des eaux de surface	p. 30
a. Le problème de la pollution	p. 30
b. Le stockage	p. 30
c. Problèmes d'évaporation et d'infiltration	p. 31
d. Exploitation des cours d'eau et mares	p. 32
e. Eaux de ruissellement	p. 35
f. Eaux de pluie	p. 36
4°) Conditions d'accès : quelles technologies choisir ?	p. 39
E. Exploitation et entretien	p. 42
2. <u>La réalimentation des nappes phréatiques</u>	p. 46
A. Contexte	p. 46
B. Principe et méthodes	p. 47

III. <u>DEMARCHES ET EXEMPLES</u>	p. 50
1. <u>Exemple du CDRY, Yako, Haute-Volta</u>	p. 50
2. <u>Exemple d'une technique appliquée dans la région de Toma, Haute-Volta</u>	p. 54
3. <u>Exemple du GARY, Yatenga, Haute-Volta</u>	p. 60
IV. <u>SYNTHESE ET CONCLUSIONS</u>	p. 65
1. <u>Synthèse</u>	p. 65
2. <u>Conclusions</u>	p. 66
V. <u>RECOMMANDATIONS</u>	p. 70
REFERENCES	p. 72

Quelques repères

Le problème de l'eau doit être abordé globalement, tel qu'il est ressenti par la population visée.

p. 6-7

L'impact de l'eau potable sur le niveau de santé demeure faible.

p. 7-8

Il importe de considérer systématiquement toutes les ressources en eau :

- les petites nappes sur lesquelles les informations hydrogéologiques sont souvent insuffisantes.

p. 9-12

p. 15-16

- les eaux de surface dont il faut freiner l'écoulement et l'évaporation.

p. 13

- les ressources existantes doivent être préservées pour la réalimentation des nappes.

p. 46-49

Quelques techniques intéressantes :

- mini-barrages en gabions

p. 33-34

p. 60-64

- la construction d'un puits

p. 17-26

- le forage manuel

p. 26-29

La participation de la population est nécessaire dans le choix de l'emplacement de l'ouvrage et le choix de la technique.

p. 39-42

I. INTRODUCTION

La sécheresse des années 68-74 a amené les pays sahéliens devant des problèmes d'eau préoccupants. En effet, on assiste dans de nombreuses régions à une descente croissante du niveau des nappes phréatiques exploitées par les puits traditionnels. L'assèchement des puits en fin de saison sèche devient ainsi de plus en plus fréquent.

Beaucoup d'efforts se sont dès lors logiquement portés sur l'amélioration de l'approvisionnement en eau, notamment par la création de points d'eau permanents.

Cependant, ces actions ne sont pas satisfaisantes si elles n'agissent pas en même temps sur tous les effets de la sécheresse. En effet, la chute du volume des pluies a également provoqué une extension accélérée du désert. La désertification est en effet essentiellement un phénomène de dégradation des sols qui se traduit par une régression du couvert végétal naturel, voire sa disparition totale, et une érosion importante. L'eau ne rencontre plus d'obstacles et s'écoule de plus en plus vite, emportant localement les couches de terres arables. Elle alimente les oueds au lieu de s'infiltrer dans le sol et approvisionner ainsi les nappes.

La seule sécheresse ne justifie pas l'ampleur du phénomène de désertification. La conférence des Nations Unies sur la Désertification de 1977 incrimine la mauvaise utilisation des terres, le surpâturage et le déboisement en faveur de l'agriculture et de la fabrication de charbon de bois pour les villes. La sécheresse apparaît ainsi davantage comme un simple élément conjoncturel.

De plus, elle n'explique pas pourquoi la population s'est trouvée si démunie devant la catastrophe naturelle.. Un des problèmes marquants est certainement la paupérisation croissante des masses rurales, à cause bien sûr de la succession de mauvaises récoltes, de la diminution du nombre d'animaux dans les troupeaux, et en particulier des bêtes d'exhaure.

Mais le blocage des prix agricoles, la hausse du coût des intrants prônés par la révolution verte et l'extension des cultures de rente pour

le paiement des impôts au détriment des cultures vivrières intervient également. Tous ces facteurs privent les paysans de toutes ressources leur permettant d'améliorer leur production, et diminuent leur capacité de faire face aux dommages causés par la sécheresse.

Ainsi, la FAO, en conclusion d'une étude sur le développement agricole des pays de la zone sahélienne (1976), notait que "la sécheresse n'a fait que radicaliser des problèmes qui s'y posaient déjà depuis longtemps et apparaissaient déjà clairement dans l'analyse des tendances observées au cours de la décennie 1960-70".

La plupart des études et évaluations montrent qu'il ne suffit pas de fournir de l'eau pour redonner une dynamique de "développement". En effet, en dehors de la nécessité d'aborder les facteurs structurels évoqués, cette dynamique et son orientation doivent obligatoirement s'inscrire dans les objectifs des personnes intéressées. A ce sujet, il est important de noter que les sociétés sahéliennes, comme les sociétés de beaucoup de pays en développement, connaissent des transformations économiques, sociales et culturelles profondes. La croissance démographique et l'exode vers les villes, les pays côtiers ou occidentaux en sont les traits les plus visibles. Anciennement, ces sociétés constituées d'éleveurs nomades et d'agriculteurs sédentaires, dont la cohabitation était réglée par la tradition, s'étaient bien adaptées à leur environnement aride ou semi-aride. Certains nomades pratiquent encore l'élevage dans les régions les plus arides car ils peuvent compenser la grande variabilité de la pluviosité par une grande mobilité, choisissant les pâturages ayant bénéficié des dernières pluies. Les agriculteurs se sont concentrés dans les régions plus pluvieuses où les cultures en sec sont possibles. En saison sèche, les éleveurs redescendent vers ces régions pour échanger leur production laitière et la possibilité d'un enrichissement des terres par la fumure des animaux, contre du mil et du sorgho. Chez les sédentaires, le jardin maraîcher est souvent entretenu par les femmes, pour les besoins familiaux essentiellement. Il y a traditionnellement peu de production de surplus. Cette économie de subsistance doit cependant peu à peu céder la place à un système plus ouvert : par exemple, la diminution des terres disponibles suite à la croissance démographique et à la dégradation des surfaces de culture et de pâturage conduit, en plus des

conflits fonciers entre éleveurs et agriculteurs pour l'occupation des terres, à un accroissement forcé de la productivité et souvent à l'achat de nouveaux intrants (engrais, outils plus performants,...). La monétarisation des économies agricoles et pastorales contribue donc également à déstabiliser le système agraire traditionnel.

L'augmentation de la production et l'introduction de cultures de rente, sur un modèle productiviste, montrent leurs limites : l'effet négatif sur les sols, révélé par la sécheresse, d'un système basé sur un accroissement des cheptels et des monocultures d'exportation n'est plus à démontrer ; l'importance du capital nécessaire aux grandes infrastructures d'irrigation interdit souvent son accès aux paysans sahéliens. L'extension de ce mode d'exploitation, si elle est basée sur l'utilisation des ressources en eau du sous-sol, présente en outre le risque de surexploiter les nappes aquifères. Si telle est l'option, elle doit alors permettre un enrichissement de l'économie locale afin que celle-ci puisse à long terme se réorienter. Or ces modèles ne rencontrent pas réellement l'intérêt des paysans. Les grands périmètres d'irrigation, souvent destinés à l'alimentation des villes et à l'exportation, connaissent des rendements nettement inférieurs aux petits périmètres fréquemment construits à l'initiative des paysans seuls. Dans les grands systèmes, ils perdent le contrôle et la maîtrise de leur outil de production et donc tout intérêt à prendre des initiatives. Or, en dehors des zones où le climat interdit toute agriculture et fait de la transhumance le mode de gestion des pâturages probablement le plus approprié (1), on remarque chez les éleveurs un intérêt croissant pour l'agriculture de subsistance et chez les cultivateurs, pour l'extension de l'élevage.

L'occupation des sols est donc en train d'être redéfinie, avec, en toile de fond, la nécessité de tenir compte des contraintes imposées par la semi-aridité et aridité des régions dans un environnement particulièrement fragile et actuellement en constante dégradation, plaçant le problème de l'utilisation et de la conservation des ressources en eau en exergue. Il est alors clair que l'utilisation de l'eau doit être considérée sous toutes ses formes, autant pour l'alimentation et l'hygiène humaines que pour les nettoyages domestiques, le maraîchage et l'abreuvement du bétail.

(1) Labonne

Nous allons, dans cette étude, nous intéresser aux communautés rurales sédentaires, pour lesquelles la disponibilité des ressources en eau et leur accès constituent souvent le problème prioritaire. Le creusement et le forage de puits, qui sont les solutions les plus fréquentes pour la création de nouveaux points d'eau, seront abordés de manière privilégiée, mais les autres formes d'utilisation des ressources en eau du Sahel seront systématiquement évoquées en alternative.

Enfin, la réalimentation des nappes sera également abordée comme problème particulier de la préservation des ressources en eau, car, à l'échelle du village et dans certaines circonstances, elle peut avoir un effet marquant sur certaines nappes locales et sur l'eau disponible. Les techniques de l'exhaure de l'eau ne seront pas abordées dans cette étude.

II. PROBLEMATIQUE

1. Le creusement et le forage de puits

A. Contexte

Selon les critères de l'OMS d'accès "raisonnable" et de qualité de l'eau, 80 % des communautés rurales du Tiers-Monde sont hors des normes. La décennie de l'eau, proclamée en 1981 par les Nations Unies, vise à attirer l'attention de l'aide internationale sur ce problème et à oeuvrer pour la fourniture d'eau potable à la majorité de ces communautés pour l'horizon 1990. Les gouvernements et les organismes d'aide ont donc défini des politiques sinon des principes d'action, avec comme objectif global d'améliorer les conditions de vie et les conditions sanitaires en assurant la disponibilité de l'eau durant toute l'année en quantité et en qualité suffisantes. Les orientations diffèrent selon les pays mais elles passent par trois stades :

- la définition des besoins
- la nécessité d'établir des critères de priorité (état actuel de l'approvisionnement, nombre de consommateurs, degré de pénurie en eau, disposition du village à participer,...)
- la définition d'une stratégie pour répondre aux besoins en fonction des priorités (par région, selon le volume financier disponible, selon le degré de participation des gens,...).

Ces politiques qui ont un objectif social, voire humanitaire, se basent dans certains cas sur le principe d'un service semblable à celui établi en zone urbaine où pour des raisons évidentes d'économie et de rationalité de la gestion, l'approvisionnement en eau s'organise à partir d'un organisme central. Elles conduisent, en fonction des possibilités du pays, à un service totalement gratuit ou partiellement payant. La tendance générale actuelle est souvent de reporter sur les utilisateurs la prise en charge de l'entretien de l'ouvrage et des frais y afférent.

En pratique, de nombreux problèmes apparaissent :

- en relation avec la notion de besoin : le besoin identifié répond-il aux critères des gens, quelle est la structure réelle de la demande ?
- en relation avec les priorités : il est nécessaire pour des raisons de programmation évidentes, que les besoins recensés s'expriment "en même temps" et de la "même manière" ; à l'annonce de tels programmes, on constate que des populations préfèrent souvent attendre qu'un projet atteigne leur région du fait de la gratuité des puits, plutôt que de poursuivre une action autonome,
- en relation avec les stratégies : le danger est grand de voir des impératifs d'efficacité ou d'économie prévaloir, en visant la construction d'un maximum d'ouvrages au coût le plus bas, au détriment d'une bonne exploitation des puits creusés, mais aussi, par exemple, de l'équipement des villages isolés ; le service d'entretien a été souvent omis ou négligé à cause des frais récurrents, de la dispersion des ouvrages et du manque de moyens financiers. Il est plus facile d'obtenir une aide pour les frais d'investissement auprès d'un organisme extérieur, ce qui conduit à un report de ces charges récurrentes sur les populations, avec le risque de les endetter davantage sans compensation effective.

Comme dans les pays industrialisés, on évalue rarement le service offert pour savoir si c'est la manière la plus efficace de remplir les objectifs sociaux fixés.

En proclamant l'urgence des besoins, on s'est finalement très peu préoccupé de développer une technologie, et de prévoir sa mise en oeuvre, de façon à ce que le système socio-économique villageois ou régional (par construction non assistée ou en favorisant le dévelop-

pement d'équipes de puisatiers autonomes) bénéficie de l'aide accordée dès la réalisation du programme.

Aussi, dans ce contexte, le creusement et le forage des puits constituent dans la région sahélienne les techniques les plus utilisées, exploitant donc essentiellement les eaux souterraines. Les autres formes d'utilisation des ressources en eau disponibles, telles que la récolte des eaux de pluie, ont été fortement dénigrées et presque systématiquement oubliées.

B. Utilisation de l'eau

En général, la décision d'implanter de nouveaux puits dans les programmes d'hydraulique est prise après l'identification des besoins des futurs utilisateurs. Ces besoins sont cependant établis suivant des critères qui ne sont pas toujours les leurs. De plus, l'utilisation d'un nouveau puits dépendra de nombreux facteurs humains (par exemple : goût de l'eau), socio-économiques et socio-culturels (notamment l'organisation interne du village, relations entre ethnies,...). La notion de besoin ne reflète donc pas nécessairement la structure de la demande potentielle, ni le problème d'eau qui se pose effectivement au village.

Par exemple, comme nous l'avons souligné dans l'introduction, la demande en eau ne peut être à priori différenciée selon l'usage qui est fait de l'eau. Le manque d'eau constitue en effet pour les communautés rurales du Sahel un frein au déroulement des diverses activités humaines et économiques : alimentation, hygiène, abreuvement du petit bétail, maraîchage,...

Pourtant les programmes d'aide se réfèrent volontiers à l'urgence des besoins strictement humains pour établir un nouveau puits : la quantité nécessaire est établie entre 10 et 15 l par personne et par jour dans la plupart des références, la qualité de l'eau doit répondre aux normes de l'OMS, la distance du point d'eau le plus proche répond au critère assez flou de "distance raisonnable".

On considère plus ou moins explicitement que le bétail par exemple,

pourra s'abreuver à d'autres points d'eau. Une enquête récente du FED au Niger montre néanmoins qu'en saison sèche, la quantité d'eau puisée et transportée par les femmes se situe entre 100 et 200 l par jour dont 20 à 50 % sont destinés au petit bétail. Les puits sont distants de 100 à 1.000 m et le transport se fait en général avec des canaris de 10 à 20 l. Il serait donc fort restrictif, vis-à-vis du développement de l'ensemble des activités, de vouloir différencier la demande suivant la destination de l'eau, d'identifier les besoins respectifs et de quantifier l'eau consommée, pour n'en couvrir ensuite qu'une partie.

S'il est effectivement important d'appréhender globalement la demande, cela ne dispense pas de rechercher une diversification des sources d'approvisionnement en eau, d'analyser avec l'utilisateur les différentes manières de répondre à la demande, en fonction des moyens et des ressources disponibles et enfin d'étudier la façon d'organiser leur exploitation.

La participation des utilisateurs s'avère ainsi indispensable dès la conception du projet, si l'on veut que les solutions apportées s'adaptent le mieux à leurs besoins.

En implantant des ouvrages, on s'attend généralement à un impact positif sur l'économie locale. Le temps gagné serait destiné à des activités productives telles que le maraîchage. Les revenus dégagés permettraient notamment la couverture des frais d'entretien. De telles hypothèses ne se vérifient que rarement.

Ce sont les femmes qui "perdent" du temps pour chercher de l'eau et souvent, le système villageois ne juge pas nécessaire d'alléger ce travail. Si l'auteur du projet s'adresse aux autorités du village, il ne touche pas les vrais utilisateurs. D'autre part, lorsqu'un ouvrage est construit, on constate souvent que les femmes préfèrent consacrer le temps gagné à des activités à caractère social ou culturel, que notre modèle occidental ne reconnaît pas toujours.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, il est établi qu'il n'y a pas de véritable demande d'eau saine. Pourtant, on considère généralement que 80 % des maladies des pays en développement sont liées à l'eau et à l'hygiène publique, elle-même liée à l'utilisation de

l'eau. Ceci place le problème en exergue aux yeux des techniciens du développement.

Cependant, les évaluations de nombreux projets ont souligné qu'un simple approvisionnement en eau potable n'aura que peu ou pas d'impact sur la santé si d'autres actions n'ont pas lieu simultanément, notamment dans les domaines de l'assainissement et de l'éducation sanitaire. La plupart des programmes d'assainissement (construction de latrines,...) sont restés sans résultats, ce qui a longtemps découragé les nouvelles initiatives. Il semble que ce soit dû à un manque d'encadrement et de moyens adéquats. Mais on se heurte à l'absence de motivation véritable chez les gens. L'utilisation d'un point d'eau dépend davantage du goût et de la facilité d'accès que de la qualité de l'eau. Les points d'eau traditionnels, même pollués, risquent toujours d'être préférés s'ils sont plus proches ou si le puisage est moins pénible. Il y a donc plutôt lieu de faire un travail d'animation spécifique où l'information sur les répercussions de la qualité de l'eau pour la santé tient une place importante. On peut alors s'attendre à ce que l'eau qui est destinée à l'alimentation humaine soit puisée dans le puits adéquat (projets Helvetas au Mali) et que des précautions soient prises lors du transport et du stockage.

C. Disponibilité des ressources en eau

La disponibilité en eau va bien entendu influencer la manière dont la demande pourra être satisfaite. L'eau disponible se divise en deux grandes catégories : l'eau souterraine et l'eau de surface.

L'exploitation des eaux souterraines présente de nombreux avantages (1) :

- elles se trouvent la plupart du temps à proximité immédiate des villages
- le captage et la distribution sont dans bien des cas pratiques et économiques
- la nappe aquifère constitue en général un emmagasinement naturel au point de captage

(1) Wagner et Lanoix

- l'eau est souvent exempte de bactéries pathogènes
- elle est généralement utilisable sans traitement.

On a ainsi de plus en plus recours aux eaux souterraines par le creusement et le forage de puits qui connaissent un développement important.

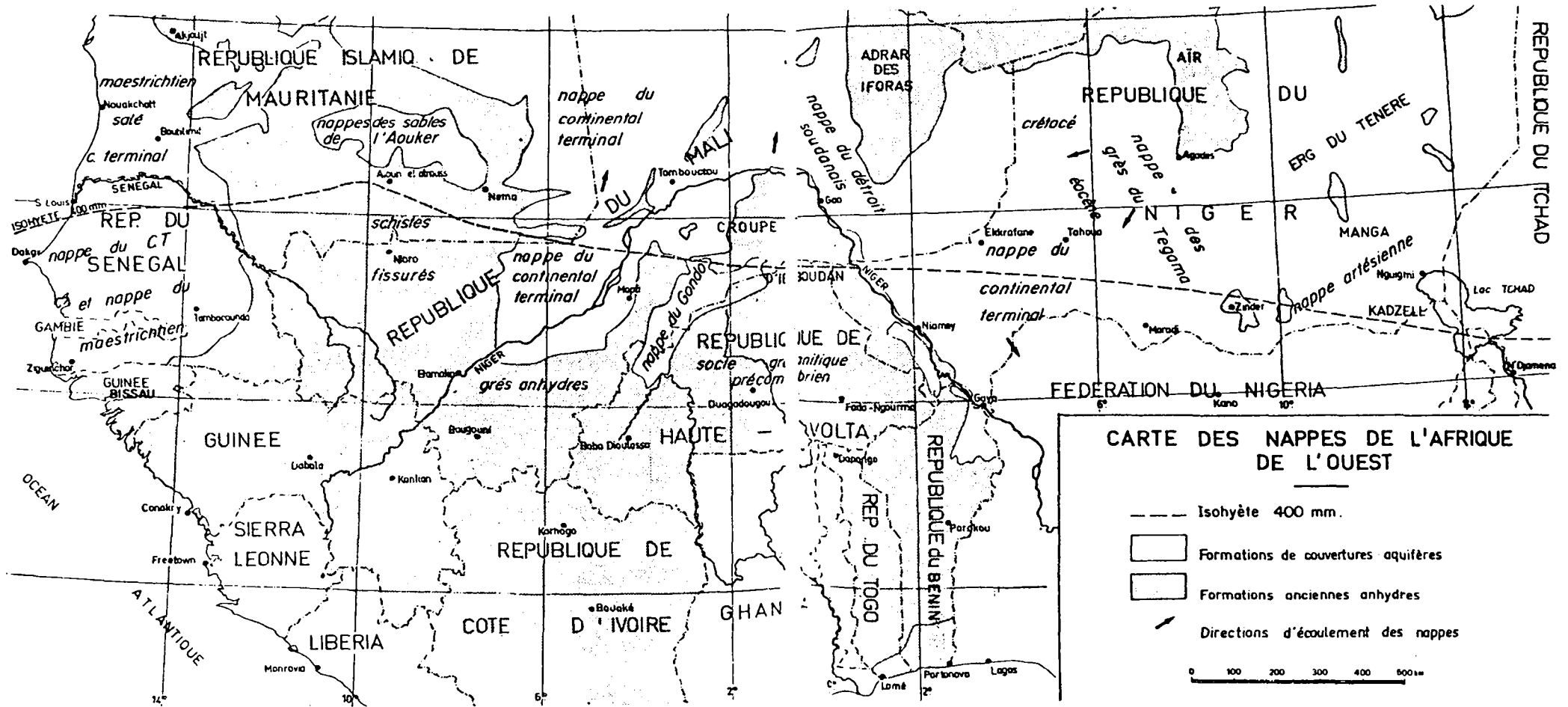
L'eau du sous-sol a diverses origines. Elle peut provenir directement de l'infiltration des eaux de pluie et former une nappe dite à niveau libre ou phréatique. Cette nappe peut être également séparée du niveau du sol par une couche imperméable. La réalimentation se fait alors en un autre lieu. Certaines nappes ne sont cependant plus alimentées, elles sont alors dites fossiles. La quantité d'eau stockée dans les nappes, et donc leur niveau, subissent des variations et saisonnières et interannuelles, en liaison avec la pluviosité.

Certaines régions du Sahel se caractérisent par un déficit pluviométrique important (zone aride - 300 mm par an). Dans les autres régions, la hauteur d'eau annuelle de 800 mm pourrait paraître suffisante ; mais les températures élevées et le faible degré hygrométrique de l'air provoquent une évaporation de l'eau du sol et une transpiration des plantes intenses. L'évapotranspiration peut atteindre théoriquement 2.500 mm par an. En outre, les pluies sont concentrées en une saison assez courte, qui du Nord au Sud peut varier de 2 à 5 mois (autour du mois d'août). Le volume total d'eau tombe durant cette période, en 20 à 60 jours. La variation interannuelle provient d'un phénomène cyclique de sécheresse. La baisse de la pluviosité entre 68 et 74 a été particulièrement décisive sur la baisse chronique du niveau de certaines nappes. Les ouvrages destinés à capter cette eau souterraine doivent dès lors tenir compte de ces fluctuations de niveau.

1°) Eaux souterraines

En ce qui concerne l'hydrogéologie des eaux souterraines, une description simple consiste à distinguer deux régions (cfr carte page suivante).

- les zones de socle et sédimentaires anciennes, où l'eau se trouve dans des fissures et des poches. Sa localisation est



difficile car les caractéristiques des nappes varient rapidement, imposant une prospection pour chaque ouvrage à réaliser. Les débits obtenus sont généralement faibles et la fluctuation saisonnière (2 à 7 m) et interannuelle (jusqu'à 2-3 m/par an) assez forte de sorte que les puits peu profonds risquent d'être secs en période sèche. Cependant, la faible profondeur du niveau de la nappe convient pour l'exhaure manuelle, car habituellement elle ne dépasse pas 10 m.

- les zones sédimentaires récentes, qui sont le siège de nappes continues, souvent très productives, bien qu'il faille distinguer une grande variété de cas. La continuité de ces nappes facilite la prospection des sites ; ainsi, une simple interpolation à partir d'autres sites connus permet de prévoir le niveau de l'eau d'un nouveau site avec une sécurité d'interprétation satisfaisante. La profondeur du niveau de l'eau est variable mais en général importante. Séparées par des couches imperméables, plusieurs nappes peuvent se superposer. Les fluctuations saisonnières de niveau sont généralement faibles mais les variations interannuelles peuvent aller jusqu'à 5 m d'amplitude.

La plupart des pays sont relativement bien couverts par une cartographie et des études géologiques qui, avec l'appui de quelques relevés sur les puits existants, permettent de définir les aquifères. Le système de réapprovisionnement des nappes dans les régions de socle est cependant moins connu. Les études hydrogéologiques, souvent réalisées dans le cadre de programmes d'hydraulique à grande échelle, négligent fréquemment les particularités géographiques locales, même si elles donnent lieu à des nappes exploitables. Dans le cadre de petits programmes, on entreprend pourtant des investigations assez approfondies.

A notre connaissance, il n'y a cependant pas de politique de collecte systématique de ces données au niveau régional ou national.

Ces nappes locales, souvent superficielles, peuvent être également :

- des nappes dites "des fonds des mares", très localisées, car tributaires d'une topographie particulière, exploitées par des

- puisards mais dont les débits sont faibles
- des nappes alluviales, plus ou moins étendues. Celles des vallées fossiles donnent souvent de bons débits mais sont plus rares, du fait de l'insuffisance des pluies et de la faible perméabilité des alluvions argileuses qui les caractérisent
 - les nappes d'arènes, qui existent dans les fosses d'altération des régions de socle à substratum granitique, aux débits faibles et aux fluctuations de niveau importantes. Ces petites nappes gagneraient beaucoup en intérêt si des mesures de préservation étaient prises, notamment par des systèmes de réapprovisionnement en eau. En effet, elles sont les plus rudement touchées par les effets directs de la sécheresse et du régime saisonnier des pluies.

Dans un cadre plus large, ceci montre l'intérêt de la gestion des eaux souterraines, même à l'échelle de ces petites nappes. La conservation des ressources est dans ce cas primordiale pour éviter une course au surcreusement et une détérioration accélérée des puits. Il n'y a souvent pas de politique générale claire à ce sujet car beaucoup d'Etats hésitent à en adopter une, n'arrivant pas à en préciser la forme, le contenu et les conditions minimales.

En ce qui concerne la qualité des eaux souterraines, la plupart des eaux sont très douces, peu minéralisées et légèrement acides. Certains bassins sédimentaires sont envahis par les eaux salées, soit récemment (littoral et deltas), soit anciennement (certains bassins intérieurs). Des pollutions bactériologiques se produisent à partir de puits non protégés ou par l'infiltration des eaux de surface polluées par la dilution des excréments. L'extension de cette pollution est plus ou moins grande suivant les caractéristiques des nappes (écoulement souterrain, taille de la nappe,...). Les pollutions chimiques industrielles ne sont encore que marginales, mais méritent d'être prévenues dans un contexte de pénurie.

2°) Eaux de surface

L'importance des eaux souterraines ne doit pas masquer l'intérêt de l'exploitation des eaux de surface, le volume annuel de l'eau de pluie dépassant largement les besoins des communautés rurales. Malheureusement les pluies diluviennes et courtes se concentrent en une saison et même en quelques jours, nécessitant un stockage important pour assurer leur disponibilité sur toute l'année. En dehors des cours d'eau permanents qui trouvent en réalité leurs sources dans des régions plus arrosées, il y a les quelques cours d'eau non permanents, ainsi que des oueds ou kori liés à la saison des pluies, qui peuvent laisser subsister des trous d'eau ainsi que quelques rares lacs, mais surtout les nombreuses mares et marigots nés de dépressions sans exutoire, dont le fond est imperméable. Si quelques mares sont pérennes, la plupart sont asséchées plusieurs mois par an, suite à une évaporation intense liée aux températures élevées, au faible degré hygrométrique de l'air et aux vents souvent importants.

La disparition du couvert végétal et l'imperméabilisation du sol par divers facteurs ont conduit dans maintes régions à un ruissellement intense et une érosion marquée. Les crues des cours d'eau sont donc particulièrement soudaines et violentes.

La qualité bactériologique des eaux de surface est très souvent médiocre. Elles sont donc potentiellement plus dangereuses pour la santé des utilisateurs.

D. Accès aux ressources

1°) Accessibilité des ressources

Pour une région donnée, le coût et la durée du creusement dépendent fortement des caractéristiques de la nappe souterraine à exploiter. Celles-ci détermineront

- la profondeur à atteindre. Elle dépendra
 - . de la profondeur du niveau libre, car il s'agit dans la majorité des cas de nappes phréatiques
 - . de l'amplitude de fluctuation saisonnière du niveau, afin d'éviter un assèchement des puits, et dans une moindre mesure,

- 1
- . de la perméabilité du sol
 - les moyens à mettre en oeuvre. Ils seront choisis selon le type de sol tendre ou rocheux, sol cohérent ou non. Le sol "bouillant" impose de prévoir un revêtement des parois.
 - la nécessité ou non d'une prospection de reconnaissance pour le choix d'un emplacement.

Beaucoup d'auteurs introduisent à ce stade des "facteurs socio-économiques et culturels" dans le choix de l'emplacement. Il est bien évident que les conditions hydrogéologiques ne sont pas les seuls éléments à considérer. Mais la nécessité de prendre en compte d'autres critères dépend du niveau de prise de décision ou de participation des futurs bénéficiaires. L'intérêt du demandeur n'est pas en effet toujours vraiment rencontré. Une participation plus effective, au lieu d'une simple consultation, ne met pas à l'abri d'abus, tels que l'appropriation du puits par des notables ou par une ethnie au détriment d'une autre. On peut noter ici l'avantage -tout relatif- de la lenteur de construction des puits, qui permet parfois de révéler ces blocages avant la fin des travaux.

Où trouver l'information sur ces nappes ? Une grande partie des données est centralisée par le Centre Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), basé à Ouagadougou. A l'échelle locale ou même régionale, ces données ne sont pas toujours accessibles et parfois trop générales vis-à-vis des particularités locales.

La source d'information des ONG est généralement très diversifiée appel à un expert de passage ou expatrié, aux traditions et connaissances locales (puisaïers locaux,...), observation, etc... Elles interviennent dans des zones relativement peu étendues. Elles peuvent donc aisément évaluer le travail à effectuer, en se référant aux projets déjà réalisés.

Dans le cas des nappes continues des bassins sédimentaires, les risques d'erreurs d'implantation de nouveaux puits sont relativement faibles. Il n'en va pas de même dans les régions de socle où la localisation des puits doit être étudiée cas par cas (du fait que l'eau se trouve dans des fractures très localisées). Dans ces régions, la photographie aérienne permet de relever ces fractures. Au cours de certains de ces relevés, on s'est rendu compte que les puits traditionnels étaient souvent placés le long de fractures assez productives. A priori on ne peut prétendre que ces puits aient été mis là en connaissance de cause. On peut imaginer que les puits aient été placés au hasard et qu'à la longue, seuls ceux situés sur les failles, plus productifs, aient été conservés. On peut cependant faire un rapprochement avec certaines observations de puisatiers : par exemple, le fait que les baobabs s'implantent le long de ces failles, où se produisent des remontées d'eau par capillarité, provoquant ainsi un alignement caractéristique. L'intersection de deux alignements est l'endroit le plus propice pour creuser un puits.

D'autres observations sont très utiles : l'analyse du type de sédiments permet de se rendre compte s'ils sont d'origine éolienne (sables,...) ou glaciaire (cailloux anguleux, quartz,...). Une vallée glaciaire, contrairement aux sols d'origine éolienne, peut être le siège d'un écoulement souterrain alimentant un marigot. On peut alors repérer la dépression qui caractérise encore cette vallée, bien que l'érosion ait aplani les reliefs, et placer le puits à proximité du marigot, dans l'axe du col de la vallée.

Les techniques de sourciers ont également été appliquées. Certains affirment que leur succès n'est pas vérifié statistiquement de manière très probante. Leur usage est néanmoins suffisamment répandu pour mériter d'être étudié.

Sur ces observations de techniques particulières, sur cette sorte de mémoire collective des expériences déjà réalisées, il semble qu'aucune recherche systématique n'ait été entreprise. Cette information est par nature diffuse et serait utilement rassemblée par une étude ad hoc.

Pour les eaux de surface, le problème principal réside moins dans l'accessibilité que dans une disponibilité permanente des ressources.

Cependant, en saison des pluies, elles sont souvent préférées aux puits "modernes", en raison de leur facilité d'accès et de leur abondance.

2°) Moyens d'accès aux eaux souterraines

Quelle qu'en soit la nature, chaque village possède déjà son mode d'approvisionnement en eau. Le nouveau point d'eau doit donc présenter des avantages à l'exploitation. Les deux critères primordiaux en région sahélienne sont la pérennité et, si l'ouvrage est la seule source d'eau, la quantité d'eau disponible, c'est-à-dire le débit dans le cas d'un puits. L'accès aux eaux souterraines exige la construction d'un puits creusé ou foré. Les eaux de surface peuvent être exploitées de diverses façons.

a. Puits creusés

Le puits est un trou de grand diamètre creusé dans le sol, de section presque toujours circulaire. Le diamètre constitue souvent un compromis entre une valeur économique qui tend à être minimale pour diminuer la surface du revêtement et le volume de terre à extraire, et une valeur pratique, qui permettra un travail aisé. On considère qu'1 m convient pour un puisatier seul et 1,3 m pour deux, qui creuseront plus rapidement. En région pastorale, ce diamètre atteint 1,8 m pour faciliter le puisage de l'eau par plusieurs utilisateurs.

La construction suppose, en théorie, de passer par trois étapes : le cuvelage, le captage et l'aménagement de surface.

Le cuvelage se réalise en plaçant un soutènement sur les parois (appelé par extension également cuvelage) pour maintenir les terrains instables et prévenir tout éboulement lors du creusement et ultérieurement, au cours de la vie de l'ouvrage. Certains sols, les schistes et roches calcaires essentiellement, ne nécessitent pas de soutènement. Le cuvelage doit pouvoir résister aux forces latérales exercées par le sol environnant, qui n'est jamais tout à fait stable et qui peut ainsi exercer des pressions uniformément réparties autour du cuvelage ou des pressions concentrées en divers endroits. Le cuvelage doit également résister aux contraintes dues à son propre poids. Si ce poids est élevé, il y a lieu de l'ancrer dans le sol en différents endroits répartis régulièrement sur la hauteur. Enfin, il doit pouvoir être étanchéifié si l'on veut éviter que des eaux polluées ne s'infiltrerent par les parois.

Le captage vise à permettre la passage de l'eau de la nappe dans le puits tout en évitant que des matériaux indésirables (sables, argiles) ne soient entraînés. Il faut descendre le plus profondément possible sous le niveau de la nappe pour obtenir un débit suffisant. Un puits de plus grand diamètre permettra la venue d'un volume d'eau plus important. Le filtrage de l'eau se fait par une couche de gravier (puis une couche de sable fin s'il y a beaucoup d'argile) placée au fond, et/ou entre les parois latérales et une crépine.

L'aménagement de surface vise à éviter l'introduction de tout objet, animal, insecte, eau souillée, ... dans le puits. Il importe également de prévenir la formation de boues et de mares d'eau stagnante aux alentours immédiats. L'accès au puits peut être facilité par une superstructure adéquate supportant le système d'exhaure.

Le grand handicap du puits creusé par rapport au forage est sa lenteur d'exécution (quelques mètres par jour). Le matériel nécessaire est cependant très simple et courant (même les outils traditionnels peuvent suffire). Dans la roche, l'utilisation de ce matériel devient particulièrement lente (parfois moins de 0,5 m par jour). Pour atteindre une vitesse d'avancée convenable, il faut utiliser un matériel coûteux (marteau pic et compresseur).

- Puits traditionnels

Parce qu'ils sont encore beaucoup plus nombreux que les ouvrages de conception "moderne", les puits et puisards (puits peu profonds) traditionnels demeurent le principal mode d'approvisionnement en eau du Sahel.

Les diamètres des puits profonds sont généralement très faibles, environ 80 cm, car le puisatier travaille souvent seul (les profondeurs peuvent dépasser 60 m). Sinon, les diamètres varient de 1,5 à 2 m, pour des raisons de facilité d'exhaure.

Le cuvelage des parois du puits, au passage de terrains "boulants", se fait au moyen d'une charpente de branchages et de paille, de rondins en bois ou encore de pierres sèches. Ces modes de cuvelage sont parfois précaires et n'inspirent guère confiance. Si le cuvelage fait défaut, le comportement des parois est bien sûr tributaire de la nature du terrain. Si celui-ci est de bonne tenue, la durée de vie du puits atteint 20-30 ans, mais dans le cas des puisards en terrain instable, ils peuvent ne durer qu'une saison (puisards en sol sablo-argileux). L'éboulement des parois constitue une cause de détérioration importante.

Les débits obtenus sont généralement faibles car les moyens d'exhaure de l'eau empêchent d'évacuer suffisamment d'eau pour creuser profondément dans la nappe. Cette restriction conduit à l'assèchement rapide des puits pour une fluctuation de niveau de la nappe relativement faible.

De plus, dans les terrains meubles, des matériaux (sables,...) sont régulièrement emportés lors du puisage. Des grottes finissent par se former, puis des éboulements qui comblent le fond des puits. Pour des puisards, peu profonds, l'éboulement se produit sur toute la hauteur du puits.

La construction des puits est réalisée soit par le village ou les futurs utilisateurs, soit avec l'aide de puisatiers professionnels en fonction des difficultés rencontrées. Dans les marigots et dépressions alluviales, par exemple, il existe de nombreux puisards, de profondeur inférieure à 10 m, qui sont facilement creusés en quelques jours et peuvent ainsi être multipliés selon les besoins. Ils sont cependant très fréquemment soumis à un assèchement saisonnier et sont relativement peu durables.

Quand il s'agit de puits profonds, pérennes, ils sont souvent l'oeuvre de puisatiers professionnels. Les outils sont ceux disponibles : daba, barre à mine, seau et corde.

Dans la description que nous venons de faire des puits traditionnels on peut remarquer des déficiences à tous niveaux : le cuvelage, le captage et même l'aménagement de surface qui est souvent sommaire.

En général, les programmes d'aide n'ont pas suffisamment cherché à améliorer ces puits traditionnels ni à résoudre les problèmes spécifiques en s'appuyant sur le savoir-faire local. Ils ont eu recours directement à des puits de conception occidentale, dont certains concilient tous les avantages en une seule technique ou technologie. Le choix de ces techniques nouvelles repose en fait sur des critères imposés par le donneur d'aide. Les critères dépendent d'exigences relatives aux normes techniques, du temps prévu pour réaliser le programme ou encore des capacités financières du donneur.

- Puits dits modernes

La technique importée la mieux adaptée à la construction de puits est probablement le béton armé. Les avantages sont en effet multiples (1) :

- la mise en oeuvre nécessite une main-d'oeuvre non spécialisée
- le béton peut être rendu imperméable au niveau du cuvelage, ou être percé au niveau de la nappe à exploiter
- il est suffisamment souple pour supporter des déformations sans céder
- le cuvelage est continu, suffisamment solide pour supporter son propre poids et celui d'une superstructure
- l'épaisseur est relativement faible (8 à 12 cm en fonction des sols)
- les matériaux peuvent être trouvés localement sauf le ciment et le fer d'armature.

La construction des puits en béton armé s'adapte facilement à différents types de terrain. Dans le cas de puits profonds dans des terrains qui présentent des risques d'éboulement, on peut utiliser une méthode de creusement et revêtement alternés. Elle consiste à creuser une certaine profondeur sans soutènement et à appliquer ensuite un moule métallique derrière lequel on coule le béton.

La technique de havage convient pour des terrains très instables. Elle consiste à construire la colonne par le haut, au niveau du sol et à creuser au bas de la colonne de façon à ce que celle-ci s'enfonçe régulièrement dans le sol.

Quand le sol est suffisamment cohérent et le puits peu profond, on peut creuser directement jusqu'à la nappe et construire ensuite la colonne en remontant.

Le béton permet de réaliser un ensemble monolithique, l'armature est indispensable pour renforcer sa résistance à la traction. Le cuvelage est donc continu, et peut être rendu parfaitement étanche depuis le niveau du sol jusqu'au niveau de l'eau.

(1) Watt et Wood

Le captage est également nettement amélioré. La méthode la plus répandue consiste à arrêter le cuvelage au niveau de la nappe et à descendre une colonne de buses en béton préfabriquées, de diamètre inférieur au cuvelage, percées de trous pour permettre le passage de l'eau. La colonne est ensuite havée (voir havage ci-dessus) dans la nappe en même temps que l'on verse du gravier entre elle et le sol pour créer ainsi un filtre.

L'aménagement de surface le plus simple consiste à réaliser une margelle et une dalle circulaire de diamètre largement supérieur à celui du puits, avec une légère pente vers l'extérieur pour évacuer les eaux.

S'il répond très étroitement aux normes techniques données au début du chapitre, ce type de puits reste très coûteux, à la fois à cause du ciment employé et du matériel, essentiellement les moules métalliques qui sont utilisés pour le coffrage du béton. Cela se remarque notamment au niveau des demandes de cofinancement des ONG auprès de la CEE où l'essentiel des demandes concerne la subsidiation du ciment et de l'équipement des puisatiers (en moyens de déplacement également). Les moules restent souvent la propriété de l'organisme d'aide et il est reconnu que si les villageois paient une partie des frais de creusement du puits, cela ne couvre presque jamais l'amortissement de l'équipement du puisatier. Dans ces conditions, on ne peut s'attendre à une diffusion de la technique dans un système socio-économique villageois appauvri.

De plus, les prix du fer à béton et du ciment connaissent une hausse continue, accentuée par les pratiques spéculatives des marchands locaux. A moins d'améliorer les circuits de commercialisation et de subventionner les prix, l'intérêt de recourir à d'autres techniques et matériaux moins coûteux diminuera d'actualité comme dans le secteur de la construction. Les possibilités sont diverses mais très souvent spécifiques aux contextes régionaux.

Si on reprend le modèle de puits en béton armé, des simplifications peuvent être apportées au niveau de la méthode de moulage.

Un simple trou dans le sol peut servir de forme pour réaliser certaines pièces particulières pour lesquelles l'utilisation d'un moule métallique n'est pas rentable. Par exemple, la technique du havage nécessite une "trousse coupante". Il s'agit d'un anneau de béton armé profilé en pointe que l'on place sous la colonne afin qu'elle descende plus facilement. Le profil peut être réalisé à même le sol où le béton est coulé. Quand le béton est durci, on déterre simplement l'anneau. De même, si une ou deux crépines seulement sont nécessaires pour le captage, elles peuvent être réalisées de manière analogue : on creuse un trou circulaire et on enduit les parois de mortier par couches successives jusqu'à l'épaisseur voulue en prévoyant bien entendu des réservations pour les trous au moyen de tiges de fer ou de bois. Plusieurs moyens simples existent pour lier ensuite ces buses entre elles (cfr Watt et Wood). Cette méthode des couches successives peut même être utilisée directement pour le cuvelage lui-même.

Dans ce cas, on tend à diminuer la part d'agrégats dans le béton, voire à le supprimer pour obtenir un mortier. La technique s'apparente à celle du ferrociment.

La construction du cuvelage peut se faire par la maçonnerie d'éléments préfabriqués. Les blocs en béton ne nécessitent que de petits moules en bois fabricables par les artisans locaux, même avec du bois de récupération. Ils sont réalisés de façon à représenter un segment d'un cercle avec des trous de réservation pour placer les armatures verticales. Ils peuvent être rendus poreux (en diminuant la proportion de sable) pour réaliser le captage. En Haute-Volta, Jos Besselinck a mis au point une telle technique, qui présente en outre l'avantage de s'adapter à tous les diamètres de puits en cas d'approfondissement de puits existants. Cet exemple est repris au chapitre III.2.

Toutes ces méthodes ne sont cependant pas nécessairement économiques en ciment. Au cours de l'étude, nous n'avons pas rencontré d'expérience qui ait visé à son remplacement par un autre liant ou à utiliser un mélange avec des matériaux disponibles moins coûteux.

Mais il existe également d'autres types de cuvelage que l'intérêt porté au béton armé a souvent masqué. Il y a en effet une tendance marquée à présenter le puits en béton armé comme la seule solution techniquement valable en alternative aux puits traditionnels.

Le cuvelage métallique utilisé depuis longtemps au Tchad revient moins cher et est de longue durée (50 ans) dans les eaux neutres. Son faible poids diminue les frais de transport. Les écrous d'assemblage constituent malgré tout souvent une gêne lors de l'exhaure, même si on prend l'habitude de veiller à maintenir le seau au milieu du puits. Des cuvelages ad hoc sont importés mais la récupération de vieux fûts pour le cuvelage est fréquente.

Ce cuvelage convient dans certains sols, surtout les terrains sablonneux. Il permet de constituer une colonne continue dont la profondeur ne peut cependant excéder 20 à 30 m.

Les pierres ou les blocs de latérite taillés sont de moins en moins utilisés ; maçonnés, ils peuvent cependant constituer des cuvelages de bonne qualité.

Il existe encore de nombreuses façons locales de cuveler, que nous ne pouvons reprendre de manière exhaustive, il est important de souligner qu'elles sont souvent liées à la disponibilité de certains matériaux (bambous, briques cuites ou non, ...). L'intérêt de ces matériaux, présentés ici en quelque sorte comme alternatifs au béton, est valable dans un contexte bien défini.

La mise en oeuvre d'une solution à l'échelle des populations n'est pas seulement affaire de technique. L'exemple de Yako, en Haute-Volta, développé au chapitre III.1, est instructif à cet égard. Ce projet d'hydraulique est basé sur l'appui à une association professionnelle locale de puisatiers. Le profil du terrain consiste en une couche de latérite dure, puis d'un sol instable. Le cuvelage, en béton armé coulé derrière un moule métallique, n'est prévu que dans le terrain instable.

Le coût du puits est très faible : 240.000 F CFA (1982) pour une profondeur de 15 m, dont 80 % sont pris en charge par les villageois, et le solde par le groupe régional d'appui (subsidiation partielle du ciment et du fer). Quand le puits risque de s'assécher, le village fait appel aux puisatiers qui procèdent à un surcreusement. Ce système, encore susceptible d'évoluer, est une réponse immédiate au problème de la descente du niveau des nappes tout aussi valable que de vouloir à tout prix créer un puits pérenne. Malgré la bonne organisation de ces groupes de puisatiers, il est navrant de constater qu'ils voient les demandes d'intervention diminuer suite à un programme gouvernemental de forages gratuits dans une région toute proche.

Si les techniques présentées améliorent les conditions de captage de la nappe phréatique, elles ne permettent pas nécessairement d'augmenter le débit. Les moyens d'exhaure insuffisants empêchent d'évacuer suffisamment d'eau pour permettre de travailler à sec et de descendre profondément dans la nappe. Mais une amélioration des moyens d'exhaure, par une pompe à moteur par exemple, outre le coût, ne convient pas toujours. Certains sols très meubles sont emportés par l'eau pompée à une vitesse trop grande.

Dans de nombreux projets au Niger, des équipes de "mise à eau" ont été spécialement formées. Elles comprennent des plongeurs qui travaillent sous l'eau. En général, ils

procèdent au havage d'une crépine. Du matériel mécanique plus performant (benoto et cuffat métalliques sur derrick) permet un travail plus rapide mais reste onéreux pour être rentabilisé.

D'autres moyens existent pour augmenter le débit, du moins pour des nappes dont le niveau est stable. On peut notamment procéder au développement du puits. Le développement consiste à enlever tous les matériaux fins contenus dans le sol environnant la crépine, qui sont susceptibles de la colmater ou d'offrir une résistance au passage de l'eau. Il consiste à communiquer un mouvement de va-et-vient à l'eau de façon à mettre en mouvement les sables fins. Ceux-ci sont peu à peu emportés par l'eau et puisés en dehors du puits. L'opération se répète jusqu'à l'obtention d'une eau claire. Le mouvement peut être obtenu par le va-et-vient d'un sac qui obture quasiment la section du puits.

Cette technique de développement est donnée à titre d'exemple et nous renvoyons le lecteur à la littérature spécialisée pour les autres techniques (drains latéraux horizontaux, puits en série,...).

Un avantage du puits de large diamètre est la possibilité d'exploiter des nappes dans des terrains à faible perméabilité, c'est-à-dire où l'eau ne peut circuler que très lentement. Le puits lui-même sert de réservoir pour une accumulation durant la nuit. En Inde, de tels puits ont parfois de grands diamètres (15 à 25 m) et de faibles profondeurs (10 à 15 m). Ils exploitent les fissures larges dans les sols rocheux pour l'irrigation de champs de 1 à 2 hectares. L'utilisation de ces larges puits présente un intérêt pour certaines régions africaines (des études sont entreprises à ce sujet par la FAO) où la pluviosité est suffisante, de l'ordre de 700 mm au moins. En dessous de ce seuil, les surfaces irrigables se réduisent, ce qui risque de compromettre la rentabilité.

Le creusement en roche dure est cependant lent (3 à 6 mois en Inde). Certains moyens manuels (coins et barres à mine) sont très répandus par ignorance de leur existence ou pour des raisons de rapidité dans l'exécution des programmes. J.L. CHLEQ nous a fait part d'une astuce originale utilisée dans la région de Titao, Haute-Volta : des lignes blanches apparaissent sur les roches et correspondent à d'anciennes fissures colmatées par un dépôt calcaire. Il suffit d'introduire un burin pour faire éclater la roche. Un peu d'expérience et un bon tour de main sont néanmoins nécessaires.

b. Puits forés

Les puits forés sont des trous de faible diamètre. Un diamètre minimum est imposé par la nécessité d'introduire le corps d'une pompe motorisée ou le cylindre d'une pompe manuelle pour l'exhaure. Il doit être de 10 cm supérieur au diamètre de ces derniers qui selon les modèles varie de 10 à 20 cm.

Le forage nécessite, comme pour les puits, les opérations de cuvelage, de captage, et d'aménagement de surface.

Le cuvelage est un tube en acier ou en PVC qui descend sous le niveau de la nappe. L'infiltration d'eaux de surface est prévenue par un cimentage au niveau du sol, à la tête du forage. La remontée d'eaux souterraines sous pression le long du tubage est évitée par une barrière imperméable réalisée par injection de ciment en profondeur au dessus du niveau de la nappe.

Le captage est réalisé au moyen d'une crépine, qui est un simple tube perforé de fins trous, placé en prolongation directe du tube de cuvelage. Un filtre de gravier doit être placé entre les parois et la crépine. Le développement, dans le cas du forage, est une opération très importante et parfois omise, à cause du coût supplémentaire occasionné. Il permet d'augmenter les débits (de 3 à 5 fois dans certains sols) mais aussi de les garantir, car il évite l'entraînement des sables fins et un colmatage prématuré de la crépine.

L'exploitation d'un forage passe nécessairement par l'installation d'une pompe manuelle ou à moteur. La fiabilité du forage est ainsi étroitement liée à la qualité de la pompe et à son entretien.

Le forage a bénéficié de la mise au point de quatre techniques, qui permettent de l'envisager sur tous les terrains avec une rapidité d'exécution et des coûts qui le rendent très compétitif vis-à-vis des puits en béton armé :

- forage par battage
- perforatrice marteau-fond-de-trou
- rotary à la boue
- rotary à l'air

Ces techniques sont adaptées à des terrains déterminés ; en résumé : - région de socle : battage et marteau-fond-de-trou
- région sédimentaire : battage et rotary

Les trois dernières techniques sont les plus rapides (2 à 10 m/h pour le marteau-fond-de-trou, jusqu'à 25 m/h pour le rotary à l'air) et sont dès lors choisies dans le cadre de programmes d'hydraulique étendus et à calendrier de travail accéléré. Elles nécessitent un matériel relativement complexe, coûteux, et un personnel qualifié très spécialisé, ainsi qu'un appui logistique efficace et un atelier mécanique. Pour amortir tous ces frais, il est nécessaire d'exécuter un grand nombre de forages suffisamment groupés. Il est assez caractéristique de remarquer que la plupart des campagnes de forages sont dès lors attribuées après appel d'offre international. Seul le marteau-fond-de-trou, plus simple et plus maniable, est utilisé par des ONG, mais son achat et fonctionnement nécessitent tout de même des fonds importants.

Le forage par battage, quoique nettement plus lent (0,1 à 1 m/h), est intéressant par son universalité (il convient pour tous les terrains sauf les roches très dures) et par la simplicité et la robustesse du matériel. Il est donc conseillé pour réaliser des points d'eau dispersés et éloignés (cfr évaluation ex-post des programmes d'hydraulique villageoise du FED).

La technique du battage connaît ainsi un récent regain d'intérêt car elle convient pour des méthodes essentiellement manuelles. En effet, le principe est simple : on laisse tomber un burin de poids élevé (50 à 100 kg), attaché au bout d'un câble, d'une hauteur et à une fréquence données. L'autre bout du câble est, par exemple, attaché à un pieu, après passage dans une poulie accrochée à un trépied placé au-dessus du puits. Le câble est abaissé et relâché alternativement. Des essais prometteurs sont effectués en Haute-Volta, dans la région du Yatenga. Pour forer des puits profonds, elle est encore très lente (3 à 6 mois) mais peut être utile pour approfondir des puits existants dans le cas où une nappe artésienne (sous pression) se trouve sous une couche rocheuse peu épaisse. Le puits sert alors de réservoir. Le matériel, dont le coût (2.000.000 à 2.500.000 F CFA) est encore élevé pour être rentabilisé, peut être réalisé entièrement par des forgerons locaux (cfr expérience du GARY, Groupe des Artisans Ruraux du Yatenga, appuyé par l'AFVP, Agence Française des Volontaires du Progrès et J.L. CHLEQ). Le prix de revient serait néanmoins, selon l'AFVP, moitié moindre de celui des forages mécaniques.

Autres méthodes de forage

Dans les vallées alluviales d'Asie, les puits instantanés (tubage en acier avec crépine forcés dans le sol au moyen d'une masse) et les forages par injection d'eau (qui utilisent la force d'un jet d'eau pour déstructurer le sol et remonter les boues) sont très utilisés car relativement bon marché. La première technique est cependant limitée par la profondeur (10-15 m) et la deuxième nécessite un important apport d'eau, qui peut être néanmoins partiellement recyclée. Les puits instantanés en bambou, que l'on a souvent présenté comme exemple de technologie appropriée (voir paragraphe 1.D.4°) en sont une variante particulière : un mouvement de va-et-vient est communiqué au moyen d'un balancier à un tubage réalisé en bambou, rempli d'eau. Une personne appose

sa main sur l'extrémité supérieure lors de la remontée de la colonne, et la retire lors de la descente pour permettre l'évacuation de l'eau chargée de boue. L'intérêt de ces méthodes est limité par la nécessité d'avoir des sols alluviaux homogènes dépourvus de gros graviers et pierres et par l'utilisation obligatoire de pompes.

Les puits forés à la tarière manuelle peuvent cependant s'accommoder de roches tendres et de graviers de petite taille.

Les sources sont des résurgences naturelles d'eau de nappes aquifères. Sous des conditions géologiques particulières, des sources artificielles peuvent être créées, notamment dans les zones arides et montagneuses.

Originaires d'Iran et d'Irak (civilisation perse) et étendues à l'Afrique de Nord, les qanats (ou foggaras) sont des galeries souterraines à faible pente, exploitant l'eau contenue dans les cônes d'éboulis, qui sont constitués de graviers déposés par les torrents de montagne quand ceux-ci aboutissent dans une plaine (la forme du dépôt rappelle le cône). Les débits obtenus peuvent être substantiels (1 à 270 l/s) et de ce fait, ils ont été construits par milliers pour l'approvisionnement en eau des cultures irriguées de ces zones arides. Le coût, la lenteur et le danger de la construction font que de nouveaux qanats ont été rarement réalisés. Les longueurs pouvaient en outre atteindre plusieurs kilomètres. De plus, le débit n'est pas réglable et est au minimum en saison sèche. Un flot d'eau important est perdu en saison de pluies.

Un moyen de régler le débit est de réaliser des forages horizontaux, de faible diamètre, au moyen d'un matériel relativement léger. Une vanne peut être alors installée sur le tubage. Ce matériel est utilisé aux Etats-Unis pour exploiter des dykes (barrière naturelle rocheuse verticale qui retient les eaux d'une nappe aquifère).

Les puits horizontaux et les qanats ont chacun le précieux avantage de n'occasionner aucun frais de pompage pour de forts débits. Le Cap Vert par exemple possède des nappes fossiles d'origine volcanique exploitables à certaines altitudes et

dont l'utilisation contrôlée peut être envisagée.

3°) Exploitation des eaux de surface

a. Le problème de la pollution

Le problème de la pollution des eaux de surface déprécie souvent leur usage pour l'alimentation humaine et dans une moindre mesure pour l'abreuvement du bétail. A moins de pouvoir conserver leur innocuité initiale (cas de la récolte de l'eau de pluie), il faudra procéder à leur épuration.

Une simple décantation dans un réservoir, fermé de préférence, améliore déjà sa qualité (après 48 heures, les larves de shistosome sont détruites). La filtration lente sur sable atteint un meilleur niveau d'épuration biologique tout en restant simple de conception, d'emploi et d'entretien et applicable à différentes échelles.

La contamination due aux excréta humains ou animaux étant plus tenace, la prévention de la pollution de l'eau reste dans ce cas la meilleure solution. N'importe quel procédé d'épuration présente un surcoût et nécessite un entretien tandis que la prévention exige une prise de conscience de la part des gens quant aux sources potentielles de pollution. A l'évidence, ce souci n'est pas unanime et nous insisterons encore sur le fait que la première étape pour aborder le problème de la qualité de l'eau est l'information et la sensibilisation des populations sur les problèmes engendrés par la pollution et les maladies liées à l'eau.

b. Le stockage

Le deuxième problème d'exploitation des eaux de surface est l'obligation pour la plupart des usagers, de stocker l'eau. Vu le caractère très saisonnier des pluies, le volume du réservoir est nécessairement important et le coût du stockage grève souvent son exploitation. En plus de la recherche de

techniques de stockage peu coûteuses, économiser l'eau ou tenter de trouver un usage direct restent les solutions les plus rationnelles.

Par exemple, en irrigation, l'économie en eau peut se faire au niveau de l'infrastructure (diminuer les pertes des réseaux de distribution), des techniques d'irrigation, des choix de variétés cultivées, de la gestion de l'eau (moduler la fourniture de l'eau en fonction des besoins des plantes).

Les pertes par infiltration dans le sous-sol peuvent être évitées en créant un horizon étanche à une certaine profondeur au moyen d'un film plastique, ou simplement en tassant une couche d'argile.

Les diguettes en V, qui concentrent l'eau de pluie vers un arbre planté dans un creux, constituent un exemple d'utilisation directe. Un autre exemple est donné par la réalisation d'un système de micro-barrages et de diguettes qui consiste à provoquer un dépôt des alluvions emportées par les eaux de ruissellement. Ces alluvions ont une bonne rétention en eau et si l'épaisseur est suffisante, elles constituent une réserve d'eau déterminante pour améliorer les cultures pluviales.

c. Problèmes d'évaporation et d'infiltration

Les étendues d'eau sont soumises à des pertes par évaporation et par infiltration. L'évaporation peut être considérable dans les zones arides (2 à 2,5 m d'eau par an). Les trois facteurs déterminants sont la température élevée, le faible degré hygrométrique de l'air et le vent. Dans tous les cas, on aura donc intérêt à présenter la surface la plus réduite possible à l'air ambiant pour un volume donné d'eau à stocker. La couverture du plan d'eau constitue la solution la plus radicale mais n'est pas applicable dans le cas de grandes étendues. Des matériaux synthétiques ont été envisagés ; des perles de polystyrène flottantes réduisent les pertes de 50 %, mais reviennent cher, des films de liquides spéciaux (tels que des alcools saturés à longue chaîne) ne les réduisent que de 20 % et se détériorent rapidement.

Une simple levée de terre plantée d'arbres permet cependant d'atteindre des résultats satisfaisants. En effet, à l'abri du vent, il se produit à la surface de l'eau une mince couche d'air saturée de vapeur, qui protège de l'évaporation (cfr J.L. Chleq mais aucune donnée chiffrée à ce sujet). Le réservoir peut également être remblayé de sable, ce qui élimine quasiment l'évaporation mais diminue le volume utile de quelques 60 %.

Le niveau des pertes par infiltration dépend de la nature du sol. L'étanchéité peut être néanmoins améliorée par un enduisage d'argile ou un recouvrement de pierres plates. Etendre des feuilles de matière plastique constitue la solution la plus radicale.

Une voie différente est de prévoir la réalimentation des nappes. Celles-ci constituent en effet un milieu de stockage naturel dont l'accès par des puits est très répandu. On recherchera évidemment dans ce cas des sites où les sols sont perméables à l'eau. Cet aspect sera développé en deuxième partie (point 2).

d. Exploitation des cours d'eau et mares

La qualité de l'eau peut être facilement améliorée par des puits filtrants ou galeries filtrantes, soit qu'ils exploitent directement les graviers présents aux abords de la rivière ou dans le lit même, soit qu'une tranchée drainante comblée de graviers grossiers amène l'eau vers le puits. La technique de tels systèmes est devenue courante et peut être étendue systématiquement à l'exploitation des eaux stagnantes des retenues artificielles.

L'exploitation des cours d'eau non permanents, oueds ou kori, nécessite l'aménagement de réservoirs régulateurs par des barrages de surface, des barrages souterrains ou des mares artificielles en dérivation.

Les principales causes d'échecs des barrages de surface sont le manque d'étanchéité du sol et les débordements lors des crues. Les problèmes de pertes par le sol ne peuvent être

évités que par une étude hydrogéologique convenable. Les digues de terres et les entassements de rocs, souvent construits à l'initiative des populations, subissent régulièrement les dégradations des crues particulièrement violentes des saisons de pluies. De plus, elles ne sont souvent pas terminées à temps pour éviter leur débordement lors des premières crues importantes.

Devant le coût excessif des barrages en béton qui étaient longtemps la seule alternative considérée, la technique du gabion représente une solution économique intéressante. Le prix du m³ installé est en effet estimé, en Haute-Volta, au 1/3 de celui du barrage-poids en béton (cfr Chleq), pour autant que les blocs de latérite nécessaires à la construction des gabions soient disponibles dans les environs proches. Le gabion est une cage parallélépipédique réalisée en treillis dans laquelle on entasse des blocs de rocher grossièrement taillés. Le treillis, du type grillage à poule, peut être facilement tressé à la main. Il existe également des machines à tresser mécaniques, actionnées manuellement, qui permettent d'accélérer le travail. L'achat du fil de fer galvanisé représente en général l'essentiel de l'investissement. La technique du gabion permet de réaliser des barrages du type déversoir, c'est-à-dire que le passage des flots d'eau lors de crues se fait sur toute la largeur de l'ouvrage sans l'endommager, contrairement aux barrages en terre. Cet intérêt nouveau pour le gabion ne doit cependant pas éclipser les avantages des petits barrages de terre, qui peuvent être réalisés et réussis de façon très économique. La réalisation d'un déversoir efficace est ici déterminante. Il doit pouvoir par exemple être placé sur le côté de la digue sur un terrain dur, (déversoir latéral). Le choix entre les types d'ouvrages dépendra plutôt de conditions locales : disponibilité en matériaux, importance de l'ouvrage à réaliser...

Les barrages souterrains exploitent les intéroflux éventuels des oueds (c'est-à-dire les écoulements d'eaux dans les alluvions de l'oued). Ils permettent ainsi de stocker de l'eau dans les alluvions mêmes de l'oued, en le barrant en un endroit propice de la vallée. Deux avantages importants s'ajoutent à la régulation du cours d'eau souterrain : le problème d'évaporation est éliminé, et le relèvement ainsi qu'une plus grande stabilisation du niveau de la nappe souterraine en amont permettent l'accès par des puits moins profonds. Le coût de l'ouvrage et la difficulté technique de sa réalisation dépendront des conditions géologiques locales. Le barrage peut être dans certains cas très peu coûteux et simple à réaliser : une tranchée est creusée au travers de la vallée (ou du thalweg) jusqu'au terrain imperméable. Cette tranchée est ensuite remplie d'un matériau étanche : argile, maçonnerie, ... La difficulté et le coût vont dans ce cas dépendre de la profondeur de la tranchée à réaliser, de la cohésion des parois et de la nécessité d'un soutènement, du volume d'eau à extraire pour travailler à sec, de la disponibilité de matériaux imperméables, ... Les intéroflux peuvent également être exploités par des galeries semi-filtrantes au cas où les barrages nécessiteraient de trop grands travaux. Ces galeries, enterrées à 1 ou 2 m de profondeur, sont rendues perméables du côté d'où vient l'eau et restent imperméables à l'aval. Elles sont placées en travers de la vallée, à l'endroit d'un rétrécissement de préférence.

Le creusement de mares artificielles reliées aux oueds par un canal et alimentées en période de crue, est une méthode ancienne. Elles sont creusées dans des bas-fonds argileux et assurent, en général de disposer d'eau en quantités suffisantes jusqu'à la fin de la saison sèche. Les terres extraites de la fosse lors du creusement initial et lors de réapprofondissements successifs, permettent de constituer autour de la mare une levée de terre sur laquelle sont plantés des acacias épineux, dédaignés par les chèvres, en guise de brise-vent. Ces mares sont connues en Haute-Volta sous le

nom de bullis et ont été récemment remises à l'honneur. Les améliorations nécessaires portent surtout sur la protection sanitaire.

Les mares naturelles sont par contre souvent non pérennes. L'approfondissement de ces mares, pour augmenter le volume d'eau stockable, peut être envisagé sous certaines conditions, par exemple dans le cas de mares alimentées par une nappe phréatique. Parfois, il vaut cependant mieux creuser simplement un puisard pour limiter l'évaporation et préserver la qualité de l'eau. Le surcreusement de beaucoup de mares présente le risque de percer la couche d'argile qui imperméabilise le fond.

e. Eaux de ruissellement

Les sols dénudés et imperméabilisés par la dispersion de l'argile ou la latérisation, et les terrains rocheux constituent une surface de captage et de collecte de l'eau de ruissellement privilégiée. Les civilisations anciennes du désert du Néguev ont mis à profit cette observation en déblayant certaines collines des roches qui jonchaient le sol et qui faisaient encore obstacle à l'écoulement de l'eau. Des fosses en bas de pente dirigeaient les eaux vers des réservoirs.

Des travaux de recherche menés dans le désert du Néguev ont permis de réexploiter, avec succès, ces systèmes.

Dans d'autres cas, il peut être plus intéressant de réaliser des retenues collinaires qui exploitent un impluvium naturel dans les zones suffisamment accidentées, en barrant l'exutoire. Ces barrages utilisent les mêmes techniques que celles données ci-dessus.

Dans les parties soudano-sahéliennes du Sahel (partie sud du Sahel, la plus pluvieuse), l'écoulement rapide de l'eau provoque une érosion intense et creuse de nombreuses ravines. Les rétrécissements des thalwegs sont des endroits propices à des barrages mais l'alluvionnement rapide de ces retenues constitue un inconvénient majeur. De plus, ces barrages inondent souvent les terres les meilleures. Il serait donc intéressant de mieux tirer profit des reliefs relativement

peu marqués de ces régions en retenant l'eau de pluie le plus tôt possible après sa chute ainsi que les terres emportées par le ruissellement. Il s'agit de lever des diguettes en terre et blocs de latérite en suivant les courbes de niveau. Des terrasses se forment alors spontanément. Les marigots les plus importants sont barrés par des digues en gabions prolongées par des diguettes. Dans le remblaiement formé naturellement, il y a une forte rétention d'eau très propice à l'agriculture. Une expérience concluante, menée à Titao, en Haute-Volta, est reprise dans le chapitre III.3.

On peut également permettre le dépôt spontané de graviers grossiers pour combler les retenues de barrages-poids afin de limiter l'évaporation. La hauteur totale du barrage ne sera réalisée que par phases successives, au fur et à mesure des dépôts. On crée ainsi une première barrière qui ralentit la vitesse de l'eau. Les matériaux les plus grossiers se déposent et les argiles en suspension dans l'eau sont emportées au-delà du barrage.

f. Eaux de pluie

La récolte de l'eau de pluie par l'aménagement de surfaces artificielles de collecte ou par une modification de la surface du sol connaît actuellement un net regain d'intérêt partout où le recours aux puits présente un coût excessif ou oblige à des déplacements importants. La récolte de l'eau des toits des habitations est très répandue en Afrique. Les récipients de stockage sont les ustensiles courants de cuisine ou des récipients en terre dont le volume est cependant souvent restreint. En agriculture, cette méthode est par contre actuellement très peu utilisée par les paysans dans les zones arides.

Pour les habitations, l'utilisation de toitures en tuiles et en tôles permet de récolter la quasi totalité de l'eau tombée mais cette solution reste coûteuse. Des recherches ont permis d'obtenir une meilleure imperméabilisation des toitures de paille par différents procédés. Les toitures traditionnell

absorbent en effet une partie de l'eau et la salissent par des débris végétaux. La portée de ces travaux est malheureusement limitée par une réticence sociale importante vis-à-vis de la réutilisation de ces toitures pour les nouvelles habitations ou l'amélioration d'anciennes.

Les premières eaux chargées des poussières du toit sont facilement déviées par des automatismes, par exemple, à balancier et contre-poids. L'eau remplit alors un premier récipient qui, une fois plein, s'escamote pour libérer le passage vers le réservoir.

Une surface de collecte peut être aménagée à même le sol et l'eau acheminée vers une fosse. Au Yémen, de tels systèmes ont été traditionnellement réalisés sur terrain rocheux en aménageant des sites favorables. Le problème sera, en général, d'imperméabiliser une surface plus ou moins grande pour réaliser l'impluvium. Une solution très simple consiste à couvrir le sol de pavés ou pierres plates et à rejointoyer ou tapisser de boue d'argile. En dehors des matériaux de couverture, tels que les feuilles de polyéthylène, le sol peut être traité chimiquement pour réduire les pertes par infiltrations. Les matériaux expérimentés à ce jour sont les sels de sodium (qui dispersent l'argile), les silicones, les latex, l'asphalte et la cire. La stabilisation au ciment est également possible. Le principal problème reste celui de la disponibilité de ces produits et de leur coût.

Le volume du réservoir de stockage peut devenir rapidement très important si on veut satisfaire l'ensemble de la consommation familiale. Au Sénégal, on estime qu'une famille de 10 personnes, consommant chaque jour 15 litres pendant les 5 mois de saison sèche, aurait besoin d'une citerne de 22.500 litres. (1) Souvent, seule une partie de la consommation pourra être satisfaite par la construction de jarres de volume plus modeste (moins de 5.000 litres) qui permettront d'alléger partiellement la corvée de l'eau.

La technique du ferro-ciment peut être appliquée pour la construction des réservoirs enterrés de grand volume (environ 30 m³) et des jarres, et a l'avantage de ne pas nécessiter de

(1) P. Germain, ENDA

moûle. La technique du ferro-ciment consiste en effet à enduire de mortier une forme faite en grillage, en bambous, ou autres fibres végétales tressées. Pour des réservoirs de plus grand volume, la forme du réservoir est creusée et les parois sont enduites de couches successives de mortier avec incorporation du grillage ou bambou d'armature. L'épaisseur des parois est de l'ordre de quelques centimètres (2 à 5 cm). La technique du ferro-ciment est relativement développée en Asie et mal connue en Afrique. Cependant, malgré ses avantages, le prix du ciment, à l'instar des puits en béton armé, pèse lourdement sur le coût de tels réservoirs. L'intervention financière de l'UNICEF dans le programme de construction de jarres en Tanzanie était de l'ordre de 50 % ; elle comprenait l'entièreté de la fourniture en ciment, dans le cas de construction de jarres en bambou-ciment de 1.500 l au Rwanda. (1)

L'utilisation de feuilles de polyéthylène pour réaliser des réservoirs-sacs ou imperméabiliser les parois des réservoirs enterrés présente le même désavantage du coût. La durée de vie de ces feuilles est de 20 ans, pour autant qu'elles soient abritées des rayons solaires et du vent.

Au Botswana, une technique intéressante à tous points de vue, utilise à la fois le ciment et le plastique. Des tubes en plastique souple de quelques centimètres de diamètre sont fermés à une extrémité et remplis d'un mélange d'argile et de ciment. Ils constituent ainsi des boudins qui seront utilisés pour tapisser les parois de réservoirs enterrés. Ces boudins sont ensuite troués et plongés dans l'eau pour humidifier le mélange, puis mis en place avant le durcissement. Ces réservoirs sont remplis de sable pour diminuer les pertes par évaporation. L'accès à l'eau se fait par un puits.

Le problème du stockage peut être évité en agriculture en dirigeant directement l'eau de l'impluvium vers une plante, pour autant que les sols permettent une infiltration suffisante de l'eau. Des arbres fruitiers sont ainsi cultivés dans les zones arides du Botswana.

(1) A noter toutefois que l'application du ciment sur une armature en bambou est une technique relativement difficile.

4°) Conditions d'accès : quelles technologies choisir ?

Les coûts des puits et forages connaissent de très grands écarts en fonction :

- du contexte local : conditions hydrogéologiques et climatiques, éloignement du site, approvisionnement et coût de certains matériaux, niveau des salaires,...
- de la façon de calculer les coûts : prise en compte de l'amortissement de l'ouvrage, des frais de chantier (transport et amortissement du matériel des puisatiers), des frais administratifs, des frais d'entretien, des salaires,...
- de l'étude du programme d'hydraulique et des moyens d'aide mis en oeuvre : service d'Etat avec ou sans "investissement humain", appui à une équipe professionnelle locale de puisatiers,...

Les coûts unitaires sont donc nécessairement variables et n'ont pas de sens en valeur absolue. On peut remarquer une divergence très nette entre le choix du secteur public (ou donneur d'aide) et le secteur privé.

Dans le premier cas, la préférence va aux technologies performantes et "avancées", pour des raisons économiques. Il n'y a pas de vraie limite au coût de l'investissement unitaire. L'économie d'échelle est privilégiée. La participation des populations à certaines phases du travail ou du programme a d'abord été considérée comme une source d'économie potentielle. Le faible taux d'utilisation des anciens ouvrages a modifié cette attitude : la participation de la population est maintenant recherchée au niveau de la prise de décision quant au choix du site, la mise en oeuvre du programme et l'acceptation de la prise en charge des frais d'entretien. Par facilité, on a souvent recours à l'exploitation des nappes souterraines très étendues.

Dans le privé, le choix va d'office au meilleur marché. On oublie souvent que le paysan est capable, plus facilement que l'Etat, de prendre des risques, d'innover ou de choisir une technologie nouvelle. Ces investissements ne sont cependant pas toujours bien orientés. Souvent l'individualisme pousse à ce que chacun réalise son propre puits au lieu de réunir les efforts pour construire un puits en béton armé plus durable ou s'acheter une

pompe. Les initiatives pour réaliser des travaux communautaires viennent surtout des femmes. Le rôle que de nombreuses ONG s'attribuent est de les appuyer en fournissant l'information nécessaire et un appui technique ou financier. Leur contribution à la coordination et à l'organisation de ces efforts est importante.

Le fait de rechercher et de développer une solution adaptée à l'économie locale dépend dès lors de nombreux facteurs. Il n'y a pas de solution universelle. L'exemple des puits instantanés en bambou en Inde, que l'on a souvent présentés comme une technologie appropriée, permet de l'illustrer. Une étude récente (E. Clay) a montré que cette technique a été développée à l'initiative de grands propriétaires et d'entrepreneurs locaux pour pallier à la lenteur et au coût du programme gouvernemental de forage de puits pour l'irrigation. Les paysans les plus pauvres ne pouvaient consacrer de temps ou d'argent pour participer à la mise au point de cette nouvelle technique dont le coût de mise en oeuvre s'est ensuite avéré particulièrement faible. Ils ne purent bénéficier des avantages qu'elle procurait que quand furent octroyés des crédits pour l'achat de pompes et qu'un service de location des services d'entretien de l'unité de pompage fut mis sur pied. Mais le recours obligatoire aux crédits et à ce service, réduit, chez les paysans les plus pauvres, la part des bénéfices engendrés par l'utilisation de cette nouvelle technologie, contrairement aux plus riches qui sont propriétaires des équipements.

Néanmoins, "cette étude de cas enseigne qu'il existe en matière de technologie d'énormes possibilités d'adaptation au milieu et que ce domaine est largement ouvert à la recherche". Mais E. CLAY précise "qu'il ne faut pas croire que les exemples d'adaptation fournissent des solutions d'une application universelle, car plus une technologie est adaptée à certaines conditions, moins elle est susceptible de généralisation".

La complexité des facteurs qui entrent en compte dans l'acceptation d'une technologie montre la nécessité de mener la recherche et le développement de solutions en collaboration étroite avec les "bénéficiaires" et ce à toutes les phases du travail afin que la solution s'intègre dans le contexte socio-économique et socio-culturel du village. Cette recherche demande généralement beaucoup de temps et les structures de financement sont souvent mal adaptées à cette contrainte ou ne couvrent pas les frais d'étude préliminaire. De plus, le projet ne peut, dans cette optique, s'appuyer d'office sur une technique pré-déterminée. L'objectif du projet est davantage la résolution d'un problème spécifique à un village ou à une région donnée.

Pour cette raison, de nombreuses ONG cherchent désormais à appuyer des structures locales déjà existantes, soit une organisation intervillageoise, soit un groupement de femmes, soit un groupement d'artisans, ... Deux avantages importants apparaissent immédiatement :

- la prise en compte des priorités réelles des gens
- le suivi de l'action au-delà du caractère éphémère du projet.

Les activités de ces structures ne doivent pas nécessairement avoir trait uniquement à l'eau. De fait, la nature de leur intervention est également plus diversifiée qu'un simple programme de construction de puits :

- information : importance de faire connaître des expériences ou problèmes similaires dans des régions différentes ou dans d'autres pays (par exemple : les puits à large diamètre d'Inde ou simplement l'expérience d'un village voisin).
- formation : pour la construction de puits, des puisatiers traditionnels ou des personnes volontaires du village sont initiés à des nouvelles techniques dans un centre ou "sur le tas" en collaborant avec d'autres puisatiers. Des lacunes importantes sont notées au niveau de la comptabilité et de la gestion des stocks, chez les puisatiers ou groupements professionnels de puisatiers.

- intervention financière. Elle se fait sous forme de crédit si l'aide proposée aboutit directement à un accroissement de revenus (cas des puits maraîchers) ou sous forme d'une subvention indirecte portant sur le prix des matériaux et sur l'équipement des puisatiers essentiellement.

E. Exploitation et entretien

L'organisation de l'exploitation et de l'entretien est souvent le parent pauvre des programmes d'hydraulique. La grande proportion d'ouvrages non utilisés montre que cet aspect a longtemps été négligé. Différentes raisons concourent à cette carence :

- les modalités en sont fréquemment mal définies ou pas du tout : montant et prise en charge des frais récurrents, niveau et garantie du service d'entretien mis en place, durée de vie des ouvrages ;
- dans le cas d'ouvrages pris en charge par une administration : déficit budgétaire, priorité donnée à de nouveaux investissements pour des raisons politiques ou par désintérêt ;
- dans les cas d'ouvrages destinés à être pris en charge par les populations : surestimation de la capacité financière des villages, intérêts et priorités divergentes des intéressés, déficience d'une structure d'appui à l'entretien.

Plusieurs facteurs plaident pour la prise en charge de l'entretien par une structure décentralisée ou par les utilisateurs ; par exemple :

- la dispersion des ouvrages grève les coûts de déplacement des services techniques d'un organisme central ;
- l'augmentation prévisible du nombre d'ouvrages et l'augmentation corrélée des frais d'entretien nécessitent des budgets annuels croissants qui risquent de ne pas toujours être garantis par l'Etat ;
- les risques de déficiences d'un service d'entretien central (des délais d'intervention démesurés diminuent la garantie d'une exploitation continue).

L'exploitation et l'entretien des ouvrages sont liés. Il est donc important que l'utilisateur prenne les mesures d'entretien qui s'imposent, suite aux dégradations et usures qui apparaissent au

cours de la vie d'un ouvrage. Dans le cas d'une nouvelle technologie, il doit en être averti et formé pour y répondre.

Il est évident que la capacité des villageois à assurer l'entretien dépendra des charges récurrentes liées à la technique choisie. L'utilisation effective du puits dépendra des avantages réels procurés. Très peu d'information existe cependant au niveau de l'évaluation des coûts réels d'entretien, et de la durée de vie des ouvrages installés.

Très peu de projets prévoient en outre l'amortissement ou le renouvellement des ouvrages. La responsabilité du financier ou de l'organisme d'aide est donc également engagée quant aux possibilités d'un fonctionnement correct et à long terme de ces installations.

Exploitation

L'exploitation des puits et forages nécessite un moyen d'exhaure. Il existe une différence fondamentale entre le puits et le forage, en ce qui concerne les moyens utilisables : seul le puits permet l'exhaure par les moyens traditionnels. Le recours au forage devrait donc être évité s'il n'y a pas de garantie de l'entretien des pompes indispensables à son exploitation et de l'approvisionnement en pièces de rechange. Si un tel service n'est pas envisageable, on aura intérêt à recourir au puits, même s'il est plus cher, ou à l'exploitation d'autres ressources en eau, telles que les eaux de surface.

L'exploitation des nappes artésiennes (nappes sous pression) par forage et contre-puits permet d'éviter cet écueil au prix d'un accroissement d'investissement. Le forage est réalisé au fond d'un puits qui servira de citerne ou effectué à côté du puits, auquel il est alors raccordé par une galerie horizontale. Ce système est également utilisé pour l'approfondissement de puits traditionnels. Il est très répandu en zone pastorale car il permet l'utilisation des moyens d'exhaure habituels des nomades (exhaure animale), là où les frais d'entretien d'une unité de pompage s'avèreraient prohibitifs.

En ce qui concerne l'exhaure par seau et corde, l'utilisation de la poulie n'est paradoxalement pas omniprésente. Le coût d'une poulie en fer en est souvent la cause. Des poulies en bois peuvent être cependant facilement fabriquées par différents systèmes relativement simples. On nous a rapporté l'exemple d'un volontaire, qui après avoir vu un tel système au Sénégal, l'a montré dans un village de Zambie, où il a été rapidement adopté.

Pour faciliter l'exhaure de l'eau dans les puits, une superstructure plus ou moins élaborée peut être prévue. La solution la plus simple, qui semble suffisante à l'expérience, est de prévoir une margelle et une dalle circulaire anti-bourbier. Tout autre aménagement s'avère souvent superflu. Un bâti métallique et des abreuvoirs séparés peuvent être ajoutés mais les autres équipements devraient se faire en fonction des utilisateurs eux-mêmes.

Le problème de la préservation de la qualité des eaux dépend surtout des pratiques des utilisateurs. Ainsi, les aménagements des puits en béton ont permis l'approche des animaux, que les risques d'éboulement des anciens puits tenaient éloignés. Pour maintenir les abords propres, il importe donc de prendre des mesures adéquates. De même pour éviter de poser les pieds au bord du puits, on peut construire une margelle haute et étroite.

Entretien

Pour les forages, l'essentiel de l'entretien se rapporte à la pompe : pendant les premières années, l'entretien du puits foré est quasi nul. Mais le recours intensif à ce type de puits est relativement récent et peu d'informations sont disponibles quant à leur vieillissement, aux types d'interventions d'urgence, à leur durée de vie,...

Les puits nécessitent par contre un entretien permanent. Les dégradations les plus courantes sont :

- l'ensablement par le dessus (puits ouvert) ou par le fond à travers le captage et l'encrassement par des détritiques ;
- le colmatage du captage ;
- la disparition du filtre de gravier du captage ;

- la détérioration du cuvelage et de la superstructure ;
- l'embourbement, l'érosion des terrains aux alentours, ou à l'opposé, le remblayement par des terres, parfois jusqu'au haut de la margelle.

Certains problèmes peuvent être évités au niveau de l'exploitation du puits. Ainsi, l'ensablement est dû en grande partie au sable collé aux cordes. Dans le cas de l'exhaure animale, un simple bâton horizontal sur lequel glisse la corde avant d'entrer dans le puits, permet de diminuer fortement la quantité de sable introduite de cette manière. On aura, comme dans ce cas, plutôt intérêt à informer l'utilisateur et le convaincre de prendre les mesures qui s'imposent, ce qui est toujours mieux et revient moins cher que de prendre des mesures malgré lui (souvent au moyen d'une superstructure plus complexe).

Certains travaux d'entretien courants sont assurés traditionnellement, notamment le désensablement. L'introduction d'une nouvelle technique implique donc une sensibilisation aux nouvelles charges d'entretien inhérentes. Par exemple, les colonnes de captage constituées de crépines en béton armé permettent de descendre plus profondément dans la nappe aquifère. Peu de villageois ont l'habitude de mettre la tête sous l'eau et le désensablement ne se fait qu'imparfaitement. Certains programmes de puits prévoient la formation de plongeurs que ce soit un villageois volontaire ou un puisatier professionnel auquel le village pourra faire appel. Le décolmatage du captage peut se faire de la même manière.

Les possibilités d'effectuer d'autres travaux de réfection (par exemple, des fissures dans le cuvelage) peuvent requérir une plus grande expérience, ou des moyens techniques plus importants, surtout si le puits n'a pas été réalisé par les villageois. Il est important de prévoir à cet effet une possibilité d'appel à un service adéquat, dans des délais et à des prix raisonnables, que ce soit un service d'entretien intervillageois ou d'Etat. Le recours aux mêmes équipes professionnelles de puisatiers qui ont réalisé le puits est en général très satisfaisant.

L'approfondissement de puits anciens ou récents est un problème très répandu. La création d'un nouveau puits pérenne est dans de nombreux cas très coûteuse et il est préférable de procéder à l'amélioration et au surcreusement des puits existants. Le forage au battage dans le fond du puits, expérimenté en Haute-Volta, peut constituer une solution économique afin d'exploiter une nappe captive (sous pression) sous une certaine épaisseur de roche. Le puits servira alors de réservoir.

Le cuvelage en béton armé est possible, pour autant que le moule s'ajuste au diamètre du puits à approfondir. Si l'écart est trop grand, la quantité de béton à utiliser peut être énorme et la solution s'avérer onéreuse. Le cuvelage par éléments permet d'éviter cet écueil. Un exemple est illustré au chapitre III.2. Il est en outre important que le village ait accès au service de réparation rapidement et qu'il le fasse à temps de façon à ce que des éboulements au fond du puits n'alourdissent les coûts de réparation.

2. La réalimentation des nappes phréatiques

A. Contexte

La baisse du niveau de nombreuses nappes phréatiques au Sahel conduit au surcreusement des puits traditionnels et à l'abandon des nappes les moins profondes, en général peu étendues, mais menacées d'épuisement ou fortement tributaires de la pluviosité, pour exploiter des nappes plus profondes mais plus productives. Le recours à ces puits profonds, qui impose fréquemment la traversée d'horizons rocheux, revient cher et limite drastiquement l'accès à l'eau.

Il y a donc un risque d'assister à une monopolisation de l'utilisation des ressources souterraines par ceux qui disposent de capitaux suffisants : gros propriétaires, firmes privées, Etat, au détriment de ceux qui n'ont pas accès à l'eau ou le pouvoir de le contrôler.

L'utilisation anarchique de certaines nappes, que ce soit dû aux nouvelles exigences de grandes villes ou à des fins industrielles et agricoles peut conduire à une surexploitation.

Le danger d'aboutir à une dégradation irréversible de ces réservoirs souterrains d'eau douce est alors présent, du fait de l'effondrement des terrains et du comblement des espaces libres par les terres, ou du fait de l'intrusion d'eaux salées.

La nécessité de disposer d'un cadre juridique apparaît donc indispensable pour assurer la préservation et une répartition équitable des ressources en eau. Le CIEH (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, établi à Ouagadougou) élabore un tel outil à l'intention des Etats membres sous la forme d'un code de l'eau.

La connaissance de la relation entre la quantité de pluie qui tombe et la quantité d'eau qui se retrouve effectivement dans les nappes, est un préalable indispensable.

En effet, certains pays du sud du Sahel reçoivent, en quantité, autant de pluie que les pays verdoyants du Nord de l'Europe. Toute l'eau tombe cependant en quelques mois seulement au lieu d'être répartie sur l'année. Les facteurs qui conduisent à un déficit dans l'alimentation des nappes ou à une fluctuation des niveaux : évapotranspiration, réduction du couvert végétal, érosion, ... doivent donc être étudiés pour prendre les mesures qui s'imposent.

B. Principe et méthodes

La réalimentation des nappes dans les bassins sédimentaires est relativement bien connue car la nature du sol permet à l'eau de circuler relativement librement. Dans les régions de socle, des études doivent par contre être systématiquement entreprises pour savoir si le terrain contient un système aquifère ou non. L'eau est en effet contenue dans des fissures et il est nécessaire d'établir si elles sont connectées entre elles ou isolées.

Il est utile de rappeler les principales causes pour lesquelles l'eau ne s'infiltré pas dans le sol.

La fraction d'eau de pluie qui s'infiltré et atteint la nappe dépend du sol, de sa couverture végétale et du relief. Trois phénomènes peuvent perturber ou restreindre cette infiltration :

- l'érosion des sols et l'écoulement torrentiel des eaux ; avec la disparition d'un couvert végétal suffisant, il se produit un phénomène de battance : les pluies, en général très fortes, dispersent l'argile et colmatent le sol, favorisant l'écoulement des eaux au détriment d'une infiltration. Les particules légères du sol sont emportées dès que l'eau atteint une vitesse suffisante
- la latérisation : sous l'action combinée de la battance puis du soleil, une réaction se passe entre l'argile, la silice et l'oxyde de fer qui forment une "cuirasse" dure, imperméable.
- l'évaporation : la température élevée et les vents importants provoquent une évaporation intense des eaux de surface.

La reconstitution d'un couvert végétal est l'action la plus satisfaisante à long terme. Elle suppose d'abord de réduire le surpâturage qui est très répandu. Une réduction autoritaire des cheptels n'est cependant pas envisageable sans concertation avec les éleveurs. Le choix des cultures et des méthodes en agriculture doit éviter les plantes nécessitant la mise à découvert du sol (sarclage,...). Certaines cultures (arachide par exemple) ont un rôle important comme source de revenus pour les paysans. Le reboisement doit être envisagé parallèlement à une réduction de la consommation du bois ou du charbon de bois pour la cuisson des aliments.

Les pertes par évapotranspiration (les arbres et les plantes plongent leurs racines dans l'eau et agissent comme des pompes) sont cependant importantes sous les climats arides et l'effet de la végétation sera indirect, en contribuant essentiellement à fixer les sols. La lutte antiérosive doit donc être complétée par la construction de digues afin de ralentir l'écoulement des eaux et forcer l'infiltration.

Des barrages-réservoirs peuvent être établis sur des terrains perméables à des endroits judicieusement choisis. L'évaporation des surfaces d'eau à l'air libre doit cependant être considérée comme un désavantage important. L'infiltration peut être accélérée en creusan

des puits jusqu'à la nappe aquifère comblés ensuite de galets. Ces puits ont souvent un effet limité dans le temps, dû à l'alluvionnement et au colmatage des vides. Des filtres en matière synthétique ont été utilisés sans grand succès pour retenir les particules les plus fines. L'entretien régulier de ces filtres est un inconvénient majeur.

Le coût de telles mesures décourage souvent les initiatives. Les politiques mises en oeuvre jusqu'à présent n'ont pas encouragé les paysans à s'engager financièrement et à s'investir dans de tels travaux.

La prise de conscience du problème de la réalimentation des nappes et du déséquilibre du bilan hydrologique peut néanmoins se faire au niveau du bassin aquifère par une gestion adéquate qui passe par le respect fondamental entre l'offre (disponibilité des ressources) et la demande.

Le contrôle ou la réduction de la consommation ne vise cependant pas nécessairement à limiter drastiquement le pompage. Certaines nappes sont parfois en connexion directe avec des mares ou des cours d'eau. Un abaissement du niveau de la nappe favorise leur alimentation par infiltration des eaux du cours d'eau ou de la mare vers la nappe. Il s'agit donc d'un équilibre à trouver. Ceci plaide également pour l'exploitation de telles mares par des puisards au lieu de surcreuser la mare.

Une voie intéressante est de développer des systèmes qui rencontrent mieux l'intérêt des utilisateurs. Le reboisement peut se faire par le choix d'espèces utilitaires. La lutte antiérosive permet le dépôt d'alluvions sur des épaisseurs parfois étonnantes (plusieurs mètres). L'eau contenue dans ces alluvions s'infiltrera lentement vers la nappe. Ces alluvions constituent aussi un excellent terrain pour les cultures. Un tel exemple est développé au chapitre III.3.

III. DEMARCHES ET EXEMPLES

Les trois exemples ci-dessous se situent en Haute-Volta. Il ne peuvent être comparés entre eux sans plus d'éléments concrets et d'informations sur le contexte dans lequel ils se placent. Le rapprochement est cependant intéressant au niveau technique car les conditions hydrogéologiques sont similaires ; c'est une raison qui a justifié notre choix.

1. Exemple du CDRY, Yako, Haute-Volta

A l'origine du projet, se trouve un problème de malnutrition. Un médecin expatrié (Dr. Gourrier) oriente initialement son travail vers l'amélioration des conditions alimentaires mais rapidement apparaissent les ramifications du problème et l'action se porte vers un travail de développement plus large, dont la lutte contre la désertification représente un aspect. Toutes les personnes de la région intéressées par le travail tant autochtones qu'expatriés se sont regroupées en un comité : le CDRY (Comité de Développement de la Région de Yako) qui bénéficie d'aides extérieures (OXFAM-UK, FCD,...).

Le problème des puits traditionnels

Traditionnellement, les puits se faisaient sans cuvelage. Celui-ci ne se justifiait pas tant que le niveau de la nappe était suffisamment élevé et restait dans une couche latéritique cohérente, épaisse de 15 m. Actuellement, la vitesse élevée de descente du niveau de la nappe (jusqu'à deux mètres par an) a nécessité l'approfondissement de la plupart des puits sous la couche latéritique, dans un terrain meuble (argileux) où se produisent de fréquents éboulements, obligeant à des curages répétés (Figure 1).

Les étapes d'une solution

Première étape : les premiers puits, construits à l'initiative du CDRY étaient en béton armé et, compte tenu de leur coût unitaire, ont été totalement financés. Les travaux étaient confiés à l'Organisme Régional de Développement gouvernemental (ORD) qui disposait de moyens techniques importants (grues, pompes) ou à une ONG française, l'Association Française des Volontaires du Progrès (AFVP) qui avait adopté une méthode bien définie de creusement (havage de la crépine avec trousse

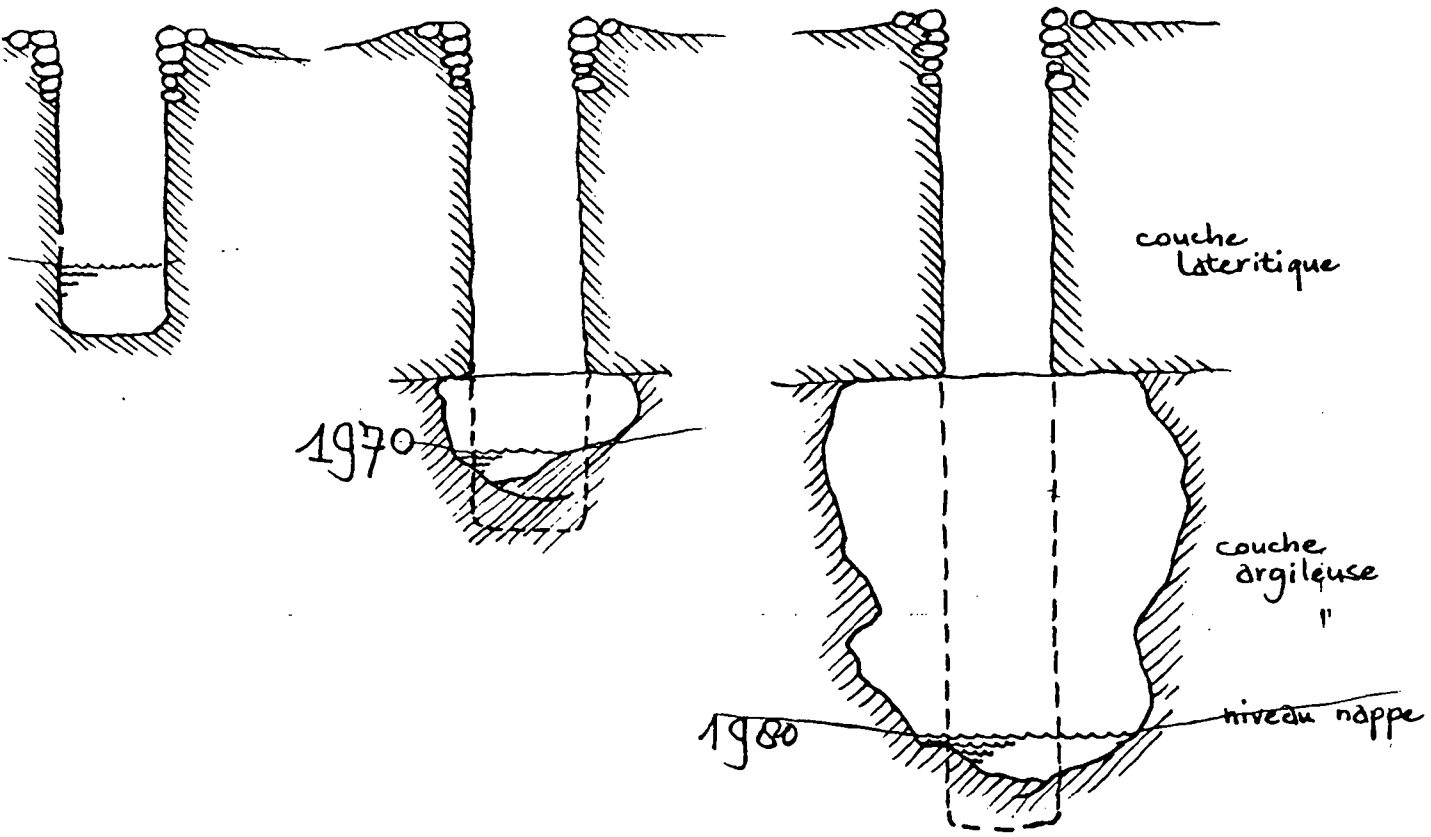


Figure 1

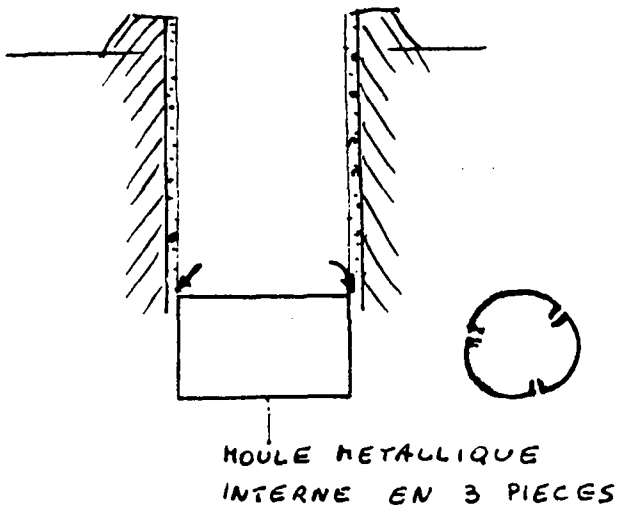


Figure 2

coupante). Ces deux actions sont restées limitées pour diverses raisons : coût, problèmes techniques (la colonne havée se "coinceait" dans le sol trop meuble).

Deuxième étape : Les puisatiers qui avaient eu une bonne formation lors des programmes précédents se sont regroupés en association et ont bénéficié de ce fait d'une aide financière et technique du CDRY. Ils travaillent essentiellement manuellement et disposent d'un équipement minimum (moule en fer pour le cuvelage, outils de puisatiers courants). La technique du cuvelage est simple : un béton est coulé entre le moule et le sol. Le creusement par étapes de 1 m et le cuvelage se font alternativement (Figure 2). Le cuvelage n'est posé qu'en dessous de la couche latéritique. Nous n'avons pu avoir d'information sur les conditions du captage. Un simple filtre de gravier posé sur le fond peut suffire, mais les débits obtenus sont de toute façon probablement limités. Ce problème, semble-t-il n'a pas été relevé.

La descente chronique du niveau des nappes nécessite des approfondissements ultérieurs qui se font à la demande des villageois, avant que des éboulements trop importants ne se produisent.

La formation de nouveaux puisatiers se fait simplement "sur le tas".

Modalités d'intervention

Les villageois font appel à l'association des puisatiers et discutent des modalités d'intervention : hébergement des puisatiers, niveau de la participation aux travaux, salaires des puisatiers. Le CDRY assure une certaine subvention pour l'achat des matériaux, de l'ordre de 30 % pour le ciment, et 50 % pour le fer. Il existe également un système de cotisation villageoise qui garantit l'approvisionnement en matériaux et paie la partie non subventionnée (ce qui permet ainsi d'éviter la spéculation des marchands de ciment).

Le coût d'un puits de 15 m de profondeur est évalué à 240.000 F CFA dont 80 % et parfois plus, sont pris en charge par les villageois. A titre de comparaison, le projet gouvernemental estimait le coût de ses puits à 4 millions l'unité. La différence s'explique aisément par différentes raisons : technique utilisée (cuvelage intégral en béton armé et havage d'une crépine), frais administratifs et de fonctionnement élevés, investissement important en matériel, recherche de nappes profondes.

La durée du travail varie bien entendu avec les conditions locales. On peut estimer à 15 mètres la profondeur moyenne à creuser et une vitesse de travail de 1 m par jour. Le puisatier calcule son travail au mètre et demande 2.000 F CFA/m. Le montant de l'intervention du puisatier et de son aide s'élève en moyenne à 50.000 F CFA/puits de 15 m.

L'entretien des puits est assuré par les villageois, qui peuvent faire appel à une équipe de puisatiers pour tout le travail dépassant leurs capacités.

Fonctionnement des équipes de puisatiers

Les puisatiers sont au total une soixantaine, répartis en 6 zones couvrant la région, avec un responsable par zone. Ils organisent eux-mêmes leur travail ; des problèmes sont cependant apparus au niveau de la gestion de l'association, affectée par leur manque de formation en comptabilité : gestion des stocks, facturation.

Remarques

La subvention du CDRY, même minime (20 %) est déterminante. L'aide se place donc essentiellement au niveau de l'approvisionnement à des prix raisonnables des matériaux importés. Les puisatiers ont bénéficié d'une excellente formation technique qui leur a permis d'envisager le travail mais d'aucune formation à la gestion, ce qui entrave leur fonctionnement autonome ! Un nouveau problème est apparu avec le lancement d'une campagne de creusement et d'approfondissement de puits lancée par un organisme gouvernemental financé par une aide bilatérale. Le service étant gratuit, l'association des puisatiers voit ainsi le nombre de demandes d'interventions diminuer.

L'extension des actions

Bien entendu, le creusement d'un puits n'est pas en soi une solution à la désertification. Des programmes de construction de barrages conçus par des services gouvernementaux assistés de techniciens étrangers (ingénieur français et volontaire AFVP) ont été entamés, mais le coût (40.000.000 F CFA) conduit à concilier un certain niveau de

mécanisation du travail avec la participation villageoise. Les espoirs sont portés sur l'utilisation de la technique des gabions pour réduire l'investissement. Le reboisement est considéré par les populations comme une des priorités : le CDRY a lancé des projets de pépinières et on assiste actuellement à la création de pépinières à l'initiative des villages, dont le fonctionnement est assuré par la vente des arbres.

Le rôle des animateurs

L'intervention des animateurs engagés dans les projets du CDRY, consiste à fournir un appui technique et financier et à faire connaître les expériences réalisées dans d'autres régions. Il arrive que les gens aillent les visiter de leur propre initiative.

Il faut enfin noter que les femmes jouent un rôle déterminant dans la dynamique des villageois : elles sont généralement à la base des initiatives et entreprennent parfois même la construction de barrages sur les marigots. Le CDRY développe actuellement diverses actions d'appui à ces initiatives mais nous n'avons pu obtenir suffisamment d'informations.

2. Exemple d'une technique appliquée dans la région de Toma, Haute-Volta

Cette technique a été développée dans le cadre d'un projet recouvrant la préfecture de TOMA, par un volontaire hollandais, Jos Besselinck. L'objectif du projet était de fournir un appui technique aux associations villageoises dans différents domaines dont celui de l'eau. La technique mise en oeuvre devait être adaptée aux moyens financiers des villageois. Le projet prévoyait la possibilité d'un recours à des crédits.

Le problème des puits traditionnels

Le problème est analogue à l'exemple précédent. Le niveau de la nappe n'est cependant qu'à 5 m de profondeur mais descend chaque année de 0,5 m. Chaque cour d'habitation a son puits mais l'eau puisée dans le terrain argileux est devenue rougeâtre et les quantités disponibles diminuent. La couche latéritique jouait en effet un rôle de filtre, qui n'existe plus dans le sol argileux.

Les données du problème

Il fallait obtenir une eau propre en sachant que le captage se ferait dorénavant dans la couche argileuse. La solution devait être suffisamment économique et simple pour permettre aux villageois de construire le puits eux-mêmes ou avec l'aide de puisatiers professionnels dont ils paieraient les services. L'investissement pour un nouveau puits n'étant pas toujours envisagé, la technique devait pouvoir permettre d'approfondir les puits existants dont les diamètres varient fortement.

Le choix d'une technique

Diverses techniques ont été étudiées. Les plus coûteuses ont été éliminées d'office. La nature du terrain ne permettait pas la technique du havage. La colonne ne pouvait être redescendue pour un approfondissement ultérieur à cause de l'argile qui fluait et bloquait souvent définitivement la colonne.

La technique présentée dans l'exemple précédent et utilisée dans un autre projet de la région, présentait le désavantage de nécessiter un moule coûteux. Le nombre de moules disponibles ne suffisait pas à la demande de puits. En outre, le diamètre fixe du moule ne s'adaptait pas à l'approfondissement de tous les puits, les quantités de béton coulées pour rattraper la différence de diamètre grèvaient inutilement le coût de l'intervention.

La solution qui a été finalement retenue est un procédé de cuvelage par éléments préfabriqués. Cette solution avait déjà été envisagée par d'autres organismes mais ceux-ci avaient hésité à la promouvoir pour différentes raisons :

- la fabrication des éléments se faisait à une distance importante du puits pour des raisons de disponibilité de main-d'oeuvre qualifiée et utilisait un sable de bonne qualité, qui ne se trouvait pas localement ;
- l'approfondissement présentait un certain danger si les éléments étaient mal maçonnés entre eux. Ils risquaient en effet de se détacher en cas d'affouillement du sol derrière les parois.

La technique présentait cependant l'avantage de nécessiter un moule relativement bon marché : ce facteur a été déterminant dans le choix.

Description de la technique mise en oeuvre

Le moule (Figure 3) est réalisé entièrement en bois et fabricable par les menuisiers locaux soit en bois importé (prix : 4.000 F CFA) soit en bois récupéré. Il permet le moulage de 3.000 à 4.000 briques. Celles-ci, dont les dimensions font 500 x 250 x 120 mm, peuvent être faites d'un mélange de gravier, de mauvais sable et de mauvais ciment.

L'utilisation d'un béton sec permet le démoulage après 10 minutes. Afin d'économiser les matériaux, on utilise des briques creuses, fabriquées à l'aide d'un bloc de bois placé dans un moule.

La particularité du moule est la possibilité d'incliner les parois du moule afin de réaliser, par assemblage des éléments, des cercles de diamètres différents (Figure 4). Un gabarit permet d'en ajuster l'inclinaison.

La réalisation du cuvelage se fait par creusement et revêtement alternés si le terrain est bouillant. Une ceinture de béton est réalisée à intervalles réguliers pour ancrer la colonne. Les éléments peuvent ne pas être maçonnés si l'on désire économiser le ciment, là où il n'y a pas de risque d'entrée d'eau polluée. Au niveau de la nappe, l'eau peut ainsi entrer par les joints (Figure 5).

Si les effondrements ont provoqué une cavité assez grande, l'utilisation d'un grillage permet un assemblage aisé, sans nécessiter de cimenter les éléments entre eux, afin de conserver la fonction de filtre (Figure 6). L'approfondissement d'un puits se fait de façon analogue à la construction du puits (Figure 7).

En un jour, 50 briques peuvent être moulées, ce qui représente environ 2,5 m de cuvelage pour un puits de 1,5 m de diamètre. Le cuvelage prend ensuite environ une semaine et demi par tronçon de 5 m.

Formation des puisatiers

Les premiers puisatiers, envoyés par les associations villageoises, ont été formés par le projet. La formation s'est faite ensuite "sur le tas" et aucune assistance technique n'est actuellement nécessaire pour la diffusion.

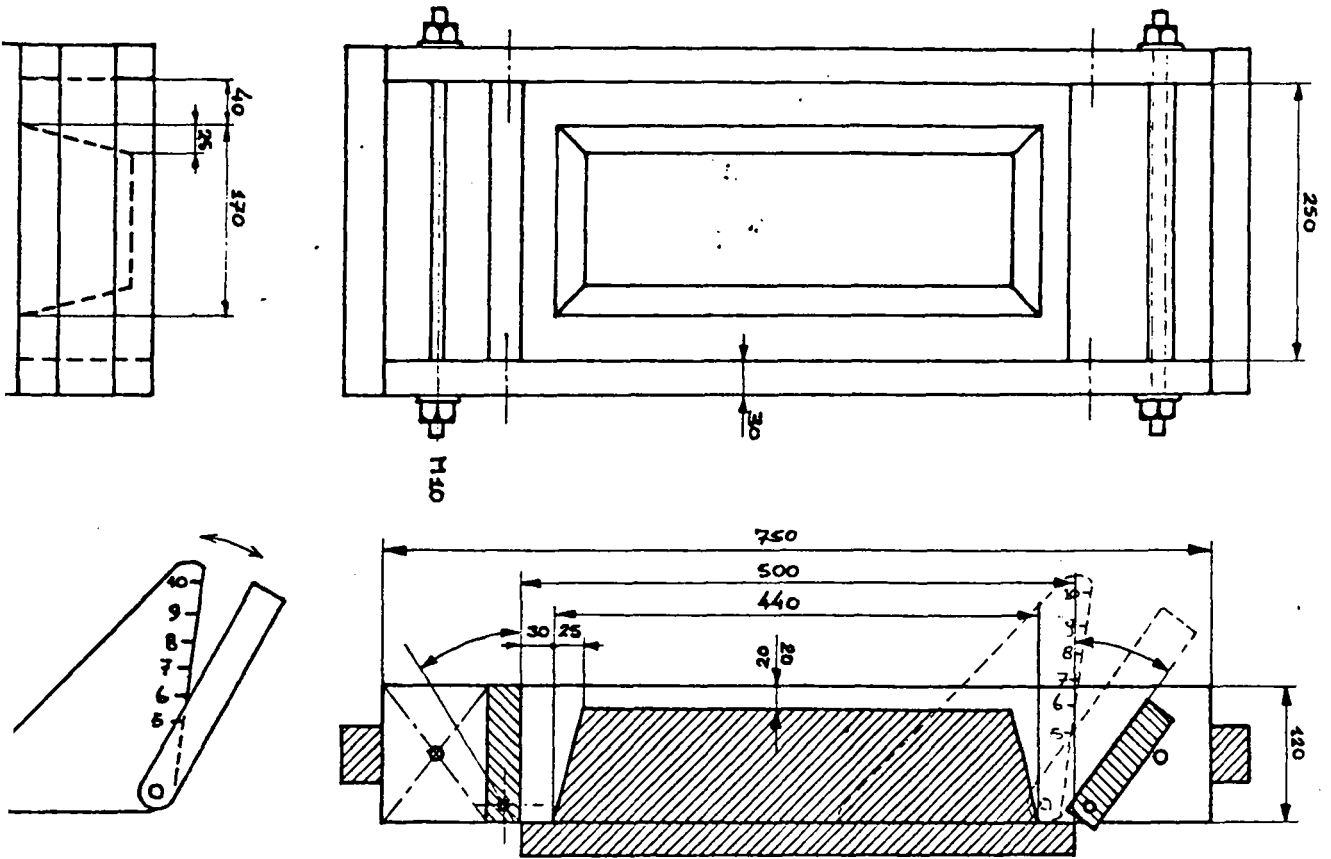


Figure 3

DIAMETRE Puits
PAR
ICHE

6	110
6	125
7	140
8	155
9	175
10	190

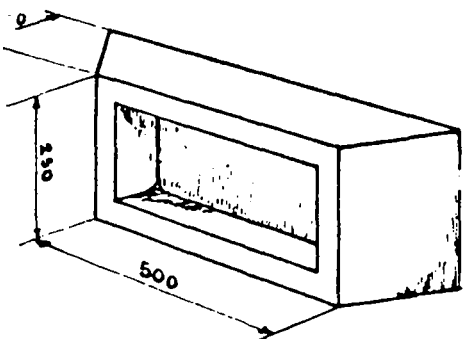
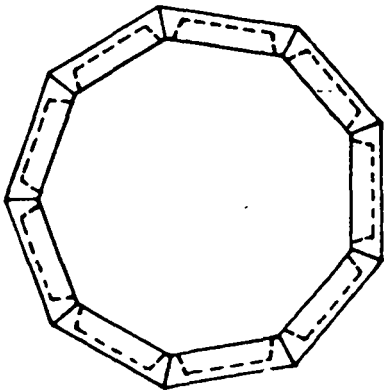


Figure 4

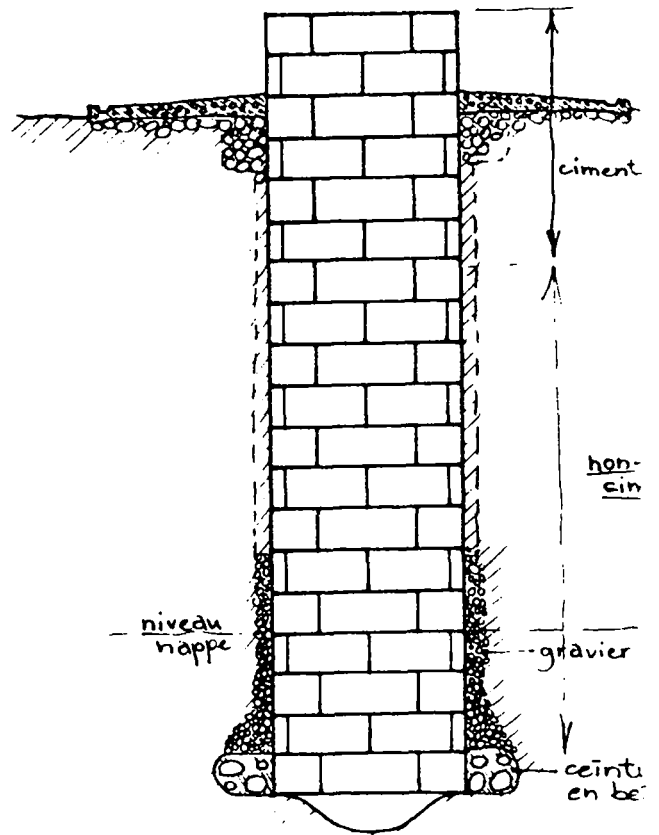


Figure 5

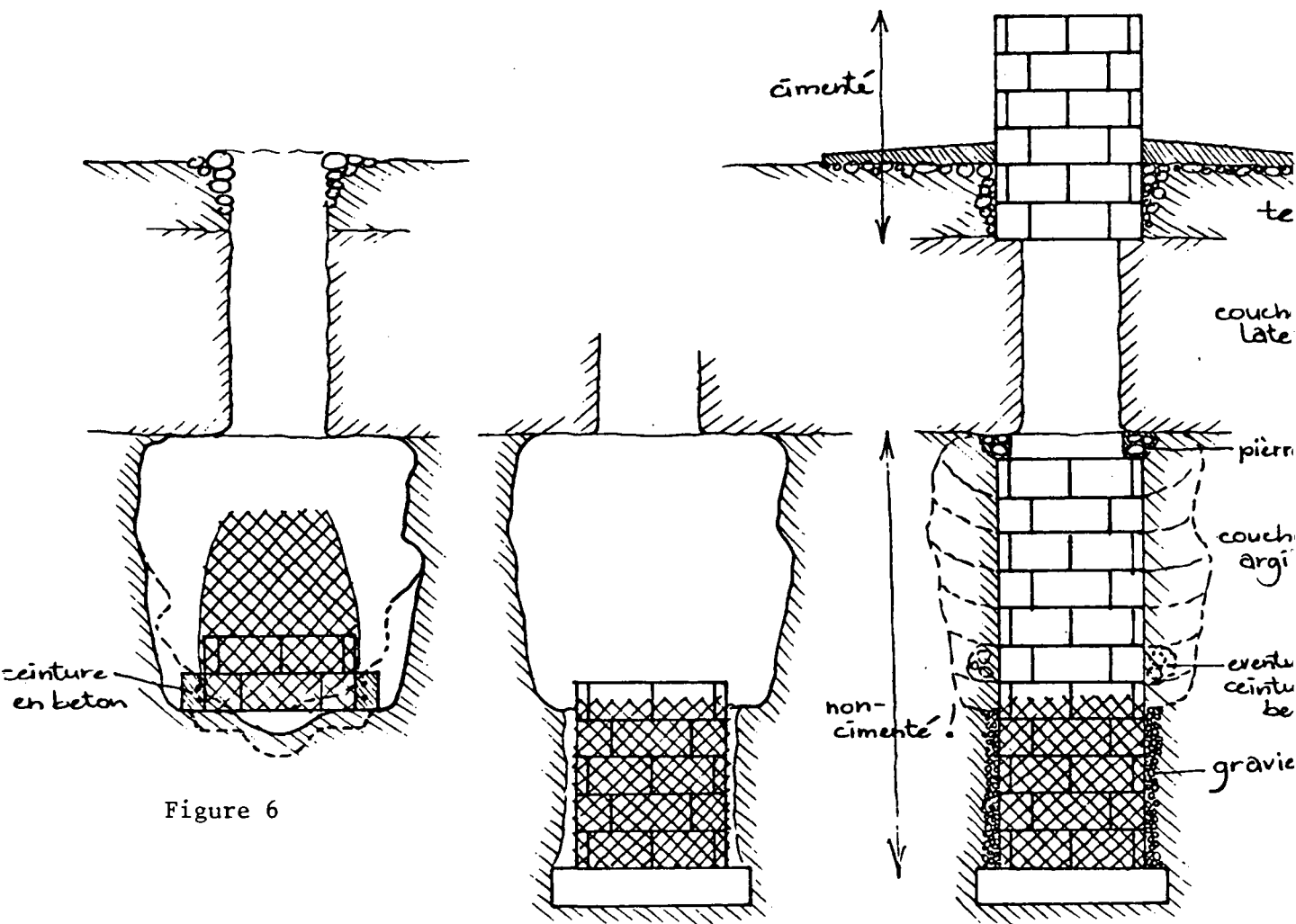
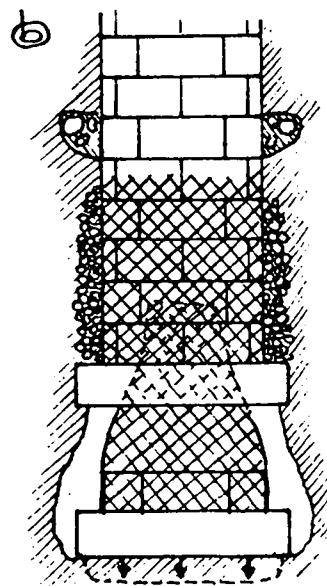
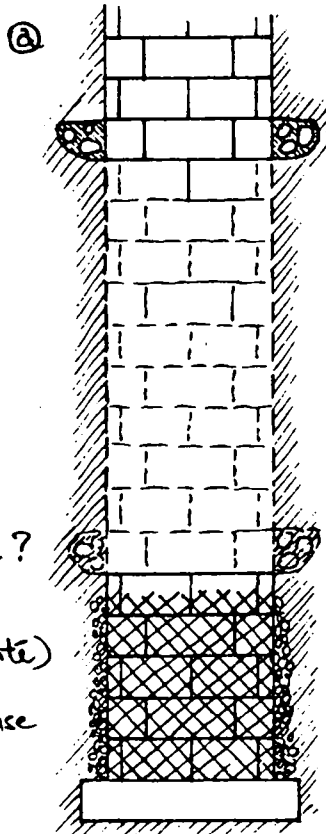
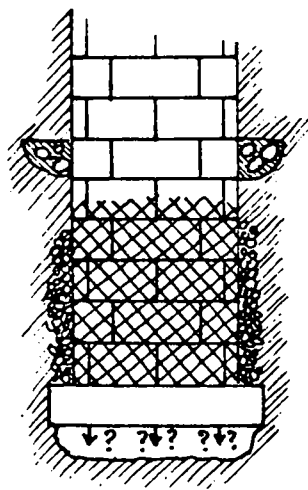


Figure 6



- APPROFONDISSEMENT :
est-ce que l'ancienne buse descend ?

- Ⓐ OUI : descendez la buse et construisez ensuite dessus (sans grillage et non-cimenté)
- Ⓑ NON : construisez une nouvelle buse dessous etc.

Figure 7

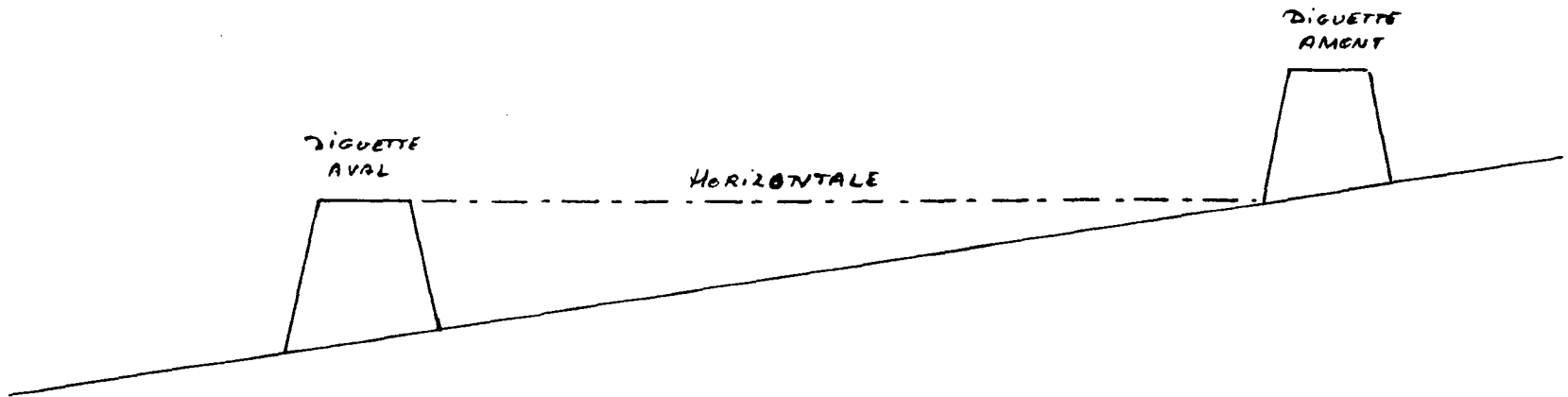


Figure 8

Les données sont malheureusement incomplètes pour évaluer le coût des ouvrages.

3. Exemple du GARY, Yatenga, Haute-Volta

A l'initiative de la Mission de Titao et d'un ingénieur français, J.L. Chleq, une association de puisatiers et d'artisans s'est créée. Le GARY, Groupement d'Artisans Ruraux du Yatenga, entend porter un appui technique aux demandes villageoises en matière d'hydraulique.

Deux principes président à la recherche et au développement des solutions :

- la sensibilisation de la population à la solution proposée et sa participation à l'exécution ;
- l'agrément unanime concernant la technique mise en oeuvre.

Le problème abordé

Un problème auquel le GARY est confronté est la désertification. Les sols devenus imperméables sous l'action des pluies et du soleil (battage et latérisation) sont propices au ruissellement intense qui provoque la formation de nombreux marigots. Le niveau des nappes permanentes, seules exploitables pour l'alimentation humaine durant toute l'année, est tombé à quelques 40 m. L'évaporation intense condamne le recours unique aux barrages-réservoirs. La voie de recherche préconisée consiste à essayer de retenir l'eau de pluie dès qu'elle est tombée et retenir par la même occasion les terres entraînées, sans modifier le profil du terrain. L'augmentation de la perméabilité du sol, et dès lors des quantités d'eau infiltrée, favorisent la réalimentation des nappes.

Nous donnons ici de larges extraits d'une note faite par J.L. Chleq sur les travaux menés par le GARY (juin 1982).

Premier niveau

"La première phase de cette action est d'arrêter la destruction de la couche protectrice par le surpâturage. Il est impensable de songer à réduire le cheptel par voie autoritaire, sous peine de susciter de

graves réactions du monde rural. Il importe d'appliquer une "stratégie douce", par exemple, en abandonnant la création de retenues d'eau non protégées ou contrôlées. Si l'eau nécessaire à abreuver les animaux exige la création d'un puits et le puisage manuel, les éleveurs, tout naturellement, seront incités à réduire l'importance de leur troupeau. Cette première phase amorcée, il sera possible de reconstituer la protection des sols par la pratique traditionnelle de la "jachère".

Ce premier résultat obtenu, il s'agit de retenir, sur place, l'eau et la terre entraînées par les marigots. Le Groupement d'Artisans Ruraux du Yatenga, (GARY), à Titao, a expérimenté avec quelques résultats encourageants, une technique simple qui consiste à obturer les marigots importants, en plusieurs endroits judicieusement choisis, par une digue en gabions pour la partie profonde du lit, prolongée de part et d'autre par une diguette en blocs de latérite, jusqu'à la ligne de partage des eaux. L'expérience a montré que, dès la première année, on obtient ainsi par remblaiement naturel, un relèvement de l'ordre de 1 m à l'amont de ce mini-barrage, par accumulation de la terre et des débris végétaux qui se sont déposés pendant les quelques jours d'existence de la retenue qui s'infiltré lentement. Les excréments des animaux qui viennent s'abreuver, enrichissent ce dépôt qui est cultivable dès la prochaine saison.

Cette couche de terre fertile et perméable a permis de récolter du mil et d'autres plantes dans de bonnes conditions car elle retient assez d'eau, même après l'hivernage, pour assurer la parfaite maturation. Observation également intéressante, nous avons constaté l'extraordinaire vitalité de souches très anciennes d'arbres et d'arbustes sahé-liens qui ont retrouvé jeunes pousses et feuilles, alors qu'elles étaient considérées comme définitivement perdues.

Ces constatations ont suscité l'intérêt des ruraux qui réclament l'aide du GARY pour l'établissement de nombreux ouvrages à la construction desquels ils participent largement en assurant l'extraction et le transport des blocs de latérite, le façonnage de ces blocs pour le remplissage des gabions fabriqués et fournis par le Groupement, les travaux de terrassement, etc... sous la conduite d'un des techniciens de GARY. La prise en charge par le village du logement et de la nourriture de

ce technicien pendant la durée du chantier permet d'approfondir les contacts humains entre classes sociales, pour le plus grand profit des intéressés et pour une meilleure compréhension des désirs de chacun.

Il existe actuellement, (Mai 1982), plus de vingt ouvrages de ce type, en service, les plus anciens depuis 4 ans et la demande est telle qu'il nous faut envisager de créer de nouveaux Groupements pour éviter des transports trop onéreux et mieux diffuser ces techniques. Par exemple, nous sommes sollicités pour ce travail jusqu'au Mali et nous avons accepté de former des stagiaires à notre Centre de Titao."

Deuxième niveau

"Pour compléter l'action collective à l'échelon du village, ainsi définie, et obtenir un résultat généralisé, il est nécessaire de promouvoir l'action individuelle, avec l'agrément des meilleurs agriculteurs de chaque village, qui serviront d'exemple, puis d'animateurs, pour l'ensemble de la communauté.

La technique des micro-barrages précédemment décrite est imposée, dans les conditions actuelles, par l'importance des marigots. La solution définitive sera de supprimer les causes de la formation de ces marigots. Cela implique l'aménagement individuel de toutes les parcelles cultivables. Les nombreuses tentatives de lutte contre l'érosion par des aménagements collectifs, parfois très importants et coûteux, ne semblent pas avoir été couronnées de succès dans nos régions Sahéliennes. La raison en est peut-être qu'elles ont été faites sans la consultation préalable des intéressés et sans avoir obtenu leur agrément.

Dans toutes les régions rurales du monde, la mentalité paysanne est identique. Chacun considère avant tout, le profit personnel qu'il pourra tirer de l'effort consenti pour améliorer le territoire qu'il cultive. Cette observation, maintes fois confirmée, nous a conduits à la recherche d'une technique simple, utilisant les moyens locaux et accessibles à tous.

Il s'agit de l'aménagement individuel, par la construction de diguettes, de chaque parcelle cultivable. L'expérience du GARY sur ce point, a été acquise dans la région de Tikaré, où, au cours de trois années, grâce à des Groupements de jeunes Africains, il a été possible d'équiper de nombreuses parcelles et de préciser une technique simple, tenant compte de la forme de chaque parcelle, de la nature du terrain, de la pente et des matériaux disponibles."

La méthode consiste essentiellement à relever la ligne de plus grande pente des parcelles et de la partager de façon à ce que le sommet d'une diguette soit à la hauteur de la base de la diguette immédiatement en amont (Figure 8). Pour simplifier le travail, la hauteur des diguettes est uniformisée à 0,30 m. La diguette est en terre.

Le matériel est très simple pour effectuer les différentes opérations :

- le nivellement est réalisé au moyen d'un tuyau de plastique transparent souple rempli d'eau
- le terrassement se fait par les outils traditionnels.

"Si l'on dispose, à proximité, de pierres ou de blocs de latérite, il est aisé de consolider les diguettes en couvrant la face aval par un perré posé à la main. La terre doit être prélevée à l'aval de chaque diguette et la crête doit être bien horizontale, ce qui entraîne de petites différences de hauteur pour compenser les inégalités du terrain.

Pour obtenir un remplissage progressif de ces bassins, on ménage un petit déversoir empierré, de 1 m à 1,50 m de longueur, tantôt à l'extrémité droite et tantôt à l'extrémité gauche de chaque diguette, en alternant. La hauteur du déversoir est environ la moitié de celle de la diguette, ce qui permet d'éviter la submersion en cas de pluie violente.

Dès la première saison de pluie, la terre transportée par le ruissellement s'accumule au pied de chaque diguette et la pente d'origine se transforme en une série de bandes horizontales faciles à cultiver. La dernière diguette doit permettre d'évacuer, s'il y a lieu, l'excédent d'eau par un petit canal dont l'emplacement est choisi pour éviter tout dégât aux parcelles situées à l'aval.

Il est recommandé de consolider les diguettes par des plantes bien enracinées, dès la première année. Ces plantes constituent une protection efficace contre l'érosion éolienne et limitent l'évaporation. Après la récolte, elles fournissent un apport végétal pour l'enrichissement du sol en matières organiques. Naturellement ces équipements de protection demandent un travail d'entretien à exécuter en saison sèche. Le choix de ces plantes est différent selon les régions et quelques essais préalables sont à conseiller. Les pluies les plus dangereuses sont celles du début de saison et justifient le choix de plantes à croissance précoce en précisant que les graminées assurent une protection meilleure que les légumineuses."

IV. SYNTHESE ET CONCLUSIONS

1. Synthèse

Au Sahel, le problème de la disponibilité et de l'accès aux ressources en eau s'est posé avec encore plus d'acuité depuis la grande sécheresse de 68-74. La déficience de la réalimentation de certaines nappes en est un autre aspect.

L'étude concerne les communautés rurales et aborde les solutions compatibles avec le contexte économique local. Il importe dès lors de partir de la demande globale en eau, de tenir compte des priorités ainsi exprimées et d'envisager l'exploitation de toutes les ressources disponibles. Néanmoins, le problème des maladies liées à l'eau est peu reconnu par la population, et nécessite un travail d'information.

Si les nappes étendues sont bien connues, par contre les petites nappes localisées et les eaux de surface, souvent les plus accessibles, ont été longtemps négligées dans les programmes d'hydraulique. Certains problèmes leur sont cependant très spécifiques et entravent une bonne exploitation. Ces nappes subissent généralement des fluctuations de niveau importantes, à cause des pluies mal réparties et d'une mauvaise réalimentation. Les eaux de surface sont également tributaires de la pluviosité et leur utilisation est souvent compromise par un stockage coûteux. Les cas de pollution sont en outre très fréquents.

L'exploitation des eaux souterraines reste, pour différentes raisons, la plus intéressante. Dans les sols rocheux, la présence d'eau est souvent difficilement localisable. Il existe des moyens de prospection simples, malheureusement mal connus.

Les puits traditionnels présentent néanmoins de nombreux défauts. Pour pallier à ces insuffisances, on s'est orienté vers des technologies modernes de forage et de creusement de puits. Elles permettent de réaliser des ouvrages dans des conditions géologiques difficiles. Cependant, de tels choix ne valorisent pas le savoir-faire existant, ce qui serait pourtant un moyen intéressant de faire retomber directement les bénéfices des aides sur l'économie locale. Ceci suppose une participation de la population à tous les stades de la recherche

et du développement d'une solution, afin d'obtenir un large consensus sur les moyens adoptés. Une large place doit être donnée à la formation des puisatiers et des villageois pour l'exploitation et l'entretien des ouvrages.

L'exploitation des eaux de surface peut être également choisie. Or, les étendues d'eau à surface libre, naturelles ou artificielles sont soumises sous le climat sahélien à une évaporation intense. Une protection minimale est donc utile et possible économiquement, mais les solutions qui visent au stockage dans le sol devraient être envisagées plus systématiquement. La récolte des eaux de ruissellement sur des surfaces naturelles ou artificielles peut être mieux rentabilisée en agriculture, notamment par des systèmes utilisant directement l'eau récoltée ou favorisant la rétention d'eau par un alluvionnement des terres emportées par l'érosion.

Une attention doit être accordée aux solutions existant ailleurs, surtout dans d'autres régions arides ; il est souvent difficile de faire parvenir l'information aux populations concernées. Les initiatives et innovations locales existent et doivent rencontrer un appui adéquat, technique et financier.

Une vision à long terme du problème de l'exploitation des ressources en eau du Sahel doit envisager en même temps l'utilisation et la conservation de l'eau. Rechercher des solutions économisant l'eau reste la première voie. Des actions plus larges doivent également être entreprises vis-à-vis des causes mêmes de la désertification.

Au niveau local, la préservation des ressources en eau peut se faire par une meilleure gestion mais aussi par un programme de réalimentation des nappes. Nous n'avons pu trouver d'expérience de gestion des nappes à l'échelle locale, mais il existe des aménagements possibles pour lutter contre l'érosion et favoriser la réalimentation des nappes. Ils rencontrent les intérêts du paysan, mieux que des systèmes de réalimentation forcée, qui ne sont jamais directement rentabilisés.

2. Conclusions

Il apparaît clairement qu'il n'y a pas de problématique générale de l'eau, elle doit être à chaque fois définie dans un contexte particu-

De nombreux facteurs physiques, économiques, humains interviennent dans le choix d'une solution. Il n'y a donc pas de technologie à définir à priori si on veut qu'elle soit adéquate à la situation spécifique et si l'on désire contribuer à l' "auto-développement" des populations. Dès lors, la notion de "besoins", identifiés de l'extérieur, ne peut servir de référence à l'élaboration d'un projet. Il importe de tenir compte des priorités des villageois et de leur propre conception du "développement" ou plutôt du bien-être. A notre avis, la seule voie honnête est donc de rechercher la plus large concertation possible.

De nombreux programmes d'hydraulique villageoise se caractérisent par un faible taux d'utilisation des points d'eau et des retombées quasi nulles sur le "développement". Ces résultats montrent toute l'ambiguïté d'actions reposant sur la notion de besoins universels. Dans une région où l'eau est un facteur limitant vis-à-vis de l'extension -et même de la pratique- de l'ensemble des activités humaines, il ne peut être donné de priorité à un seul aspect du problème (1). La demande en eau, si le problème est formulé ainsi, doit alors être traitée de façon globale. L'exploitation de toutes les ressources disponibles, y compris des eaux de surface longtemps ignorées en hydraulique villageoise, doit être envisagée et étudiée avec les utilisateurs. Il est donc préférable de développer des programmes envisageant l'ensemble des problèmes de l'eau au lieu de programmes d'investissement visant à créer un certain nombre de points d'eau définis.

Certains problèmes d'une autre nature peuvent cependant surgir. Dans la région sahélienne par exemple, le problème de l'eau est lié à la désertification et donc aussi, par exemple, au mode d'agriculture pratiquée. Certains projets d'ONG tentent à inclure ces différents aspects (cfr l'exemple du CDRY). Le programme d'hydraulique doit donc pouvoir évoluer en fonction de l'expression de nouveaux problèmes liés à l'eau, vers une approche qui les intègre.

A l'échelle des paysans, de nombreuses contraintes limitent ces actions : une politique fiscale trop lourde les obligera à pratiquer la monoculture de l'arachide, dont le sarclage

(1) *L'hydraulique villageoise s'occupe essentiellement de l'approvisionnement en eau potable des populations rurales.*

favorise l'érosion. Seul, un diagnostic correct et complet des problèmes pourra déterminer les différents niveaux d'actions à entreprendre. Cette nécessité apparaît clairement dans le domaine de l'eau : dans un contexte de pénurie, la surexploitation des nappes existe ou est souvent latente. L'appropriation des ressources par un seul type d'utilisateur (priorité à la consommation urbaine par exemple) peut conduire à l'appauvrissement des autres qui n'ont pas la possibilité de construire des puits plus profonds. Il est donc essentiel dans ce cas de prévoir un cadre juridique qui assure l'accès à l'eau à tous. Si des risques d'épuisement des nappes existent, il importe que leur exploitation (paiement de l'eau, maraîchage,...) génère suffisamment de revenus pour que l'on puisse mettre en valeur d'autres ressources par la suite.

De plus, tout programme devrait envisager la préservation des ressources. Au-delà des actions de réapprovisionnement des nappes, il faudrait éviter les déprédations de l'environnement (déforestation, érosion,...). Si l'on vise le long terme, le problème de l'eau ne sera résolu que par une gestion globale des nappes aquifères.

Il est aussi important que la politique du pays permette aux populations de maîtriser l'eau et les moyens d'accès aux ressources, et que l'économie locale profite plus directement des aides octroyées. L'eau doit être démystifiée, il s'agit d'une ressource comme une autre, à gérer de manière optimale.

Quels sont les préalables pour une telle approche ? Dans une optique d'auto-développement, il est essentiel que les populations soient motivées et participent largement à l'analyse des problèmes et aux prises de décision. De nombreux programmes d'hydraulique villageoise sont passés à côté des préoccupations réelles et ont implanté des points d'eau dont les "bénéficiaires" ne voyaient pas l'utilité. Cependant, les gens n'établissent pas toujours correctement le diagnostic des problèmes qui se posent à eux. L'exemple du manque de conscience du lien qui existe entre la plupart des maladies et l'eau le montre. A l'inverse, il existe de nombreuses initiatives (construction spontanée de barrages par les femmes dans la région de Yako) et il importe qu'elles trouvent un soutien. Plusieurs ONG se sont orientées

vers un travail d'appui, qui s'est avéré nettement plus efficace, soit en soutenant une structure existante, (cfr groupements de femmes) ou en la rendant possible (cfr association professionnelle de puisatiers de Yako et CDRY). Il est difficile de donner une méthode d' "intervention", l'historique des projets révèle que les contacts entre personnes sont aussi importants que les bonnes idées.

Quels sont les moyens disponibles ? Parfois des orientations politiques, malheureuses ou autoritaires, sabordent les initiatives privées. Le cas de l'équipe de puisatiers locaux concurrencée par une campagne gouvernementale de forage n'est pas rare (cfr exemple du CDRY). La décennie de l'eau a aussi contribué à la fourniture de points d'eau de façon "expéditive". Beaucoup de financeurs n'ont pas la volonté d'aborder ce problème, et des campagnes de forages s'attribuent de plus en plus après appel d'offre international.

Si les technologies permettant l'accès à l'eau ne nécessitent plus de recherche fondamentale, en revanche, il reste beaucoup à faire pour qu'elles soient adaptées au contexte local (cfr le cas du forage instantané en bambou). Une telle mise au point ne peut se faire qu'avec les populations concernées (cfr même exemple et J.L. Chleq en Haute-Volta) et nécessite parfois beaucoup de temps.

La nature de l'appui recouvre trois points fondamentaux :

- l'information : certains villageois de la région de Yako se rendent sur les lieux d'un autre projet. La technique du creusement de puits en zone rocheuse réalisée en Inde peut s'avérer intéressante en Afrique en région de socle
- l'appui technique : J. Besselinck étudie un système de cuvelage spécifique aux problèmes de la région du projet
- l'appui financier : le CDRY subsidie en partie les matériaux les plus coûteux.

D'autre part, une technologie nouvelle ou améliorée ne se répand pas nécessairement d'elle même. Certains blocages sont liés au contexte local (cfr les bas revenus fréquents) et il importe que s'établisse en même temps un "terrain" favorable à sa diffusion. Il s'agit de développer :

- la formation : celle de l'utilisateur pour l'exploitation et l'entretien (entretien courant des puits,...) et celle de l'équipe de

puisatiers professionnels (formation à la gestion et à la comptabilité : cfr exemple du CDRY)

- la création de services d'entretien efficaces, auxquels le village pourra faire appel si nécessaire : la même équipe de puisatiers qui réalise le puits pourra par exemple assurer cet entretien (cfr CDRY).

V. RECOMMANDATIONS

Vis-à-vis de l'esprit des projets d'hydraulique, nous proposons les recommandations suivantes :

- préférer les projets abordant globalement le problème de l'eau à ceux visant à la réalisation extensive de puits, accepter dès lors que ces projets s'élargissent, intègrent des actions pluri-sectorielles. Tenir compte des facteurs socio-économiques et culturels trop souvent négligés.
- "intégrer" l'exploitation des eaux souterraines et de surface ainsi que la préservation des ressources dans un même système de gestion.
- exiger de la part des concepteurs de projets de définir clairement le mode d'exploitation et d'entretien des ouvrages, et la façon dont le suivi sera assuré.

Prolongation de l'étude :

- étude des méthodes traditionnelles de prospection de l'eau dans les régions de socle et des moyens de collecte des données des petits projets.
- étude comparative de petits projets d'hydraulique dans une région donnée, où les conditions hydrogéologiques et le contexte socio-économique villageois sont semblables. (La Haute-Volta nous semble un pays favorable à une telle étude, cfr les 3 exemples cités).

Voies intéressantes :

- projet régional sur l'utilisation et la conservation des ressources en eau des zones rurales d'Afrique au Sud du Sahara
Unesco, Division of Water Sciences, Paris
- . le dépouillement des informations recueillies à l'occasion d'un questionnaire envoyé en janvier 1982 auprès des Etats membres, concernant les systèmes ruraux d'approvisionnement en eau, est en cours, en collaboration avec le CIEH (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques).
- . un séminaire sur les systèmes traditionnels d'approvisionnement en eau devrait se tenir à Tunis, du 3 au 14 octobre 1983.

- préparation d'un manuel sur la collecte et le stockage de l'eau de pluie :
ITDG, Water Development Programme.

- recherche sur les critères caractérisant une eau potable, Karl Wehrle,
SKAT.

REFERENCES

Documents

- AFVP (1981)
"Spécial : Niger", in : revue de l'AFVP, Bulletin n° 31, Montlhéry.
- AFVP (1982)
"Spécial : Haute-Volta" , in : revue de l'AFVP, Bulletin n° 36, Montlhéry.
- An. (1982)
"Réunion sur l'hydraulique, foire de Marseille 11-12 mai 1982,
in : Lettre d'information du club du Sahel, n° 5, pp. 13-19.
- An.
"Un puits dans votre village", fascicule de sensibilisation et vulgarisation pour l'hygiène de l'eau.
- Banque Mondiale (1976)
"Alimentation en eau des communautés rurales".
- BARNEAUD, J.C. (1978)
"Recueil et stockage de l'eau de pluie : sac à eau", IRFED, Paris.
- BCEOM (1964)
"Etude et recherche de matériels d'exhaure pour l'Afrique de l'Ouest", étude effectuée pour le CIEH, Paris.
- BCEOM (1978)
"Les barrages souterrains", Ministère de la Coopération Française, Paris.
- BENAMOUR, M. (1981)
"Hydraulique villageoise et moyens d'exhaure", CIEH, Ouagadougou.
- BESSELINCK, J. (1982)
"Système de construction de puits cuvelés par petits éléments",
in : Approvisionnement en eau des communautés rurales, rapport de stage sept. 1982, pp. 33-45, COTA, Bruxelles.
- BUCKLES, P.K. (1977)
"The integrated program strategy for rural environmental sanitation and community development", Agua del Pueblo, Chimaltenango, Guatemala.
- BURGEAP, S. (1978)
"L'équipement des villages en puits et forages en fonction des conditions hydrogéologiques dans les états ACP d'Afrique", étude effectuée pour la CEE, BURGEAP, Paris.

- BYRNE, H. (1983)
"Clean water in Kola", in : Waterlines, vol. 1, n° 3, jan. 1983, pp. 21-23, London.
- CAMPBELL, D.J., PALUTIKOF, J. (1980)
"Gestion des ressources en zone semi-aride. Un jeu de simulation à partir d'un cas est-africain", Enda, Etudes et Recherches, n° 58-80, Dakar.
- CARRUTHERS, I., STONER, R. (1982)
"Pour une bonne gestion de l'eau, il faut un cadre juridique d'intérêt général", Ceres, n° 89 (vol. 15, n° 5), pp. 15-20, Rome.
- CEE (1978)
"Evaluation ex-post des projets FED d'hydraulique villageoise", document VIII/265(78) FR rev 1, Bruxelles.
- CEE (1979)
"Principe de base se dégageant de l'évaluation ex-post de projets d'investissement financés par l'aide communautaire dans le secteur de l'approvisionnement en eau potable", réunion d'experts ACP et CEE, document VIII/313(79) FR rev 4, Bamako.
- CHLEQ, J.L. (1982)
"Forages, construction de puits et de retenues par des systèmes manuels, Expérience en Haute-Volta", in : Approvisionnement en eau des communautés rurales, rapport de stage sept. 1982, pp. 61-69, COTA, Bruxelles.
- CLAY, E. (1980)
"Le puits instantané en bambou", in : Ceres, vol. 13, n° 3, mai-juin 1980, pp. 43-47, Rome.
- COLLETT, J. (1978)
"The role of a support unit", in : Appropriate Technology, vol. 5, n° 3, pp. 6-7, London.
- de BEER, S. (1982)
"A quelles conditions un projet technique peut-il être adapté aux besoins d'une population ? L'expérience de Frères des Hommes", paru dans le rapport de séminaire sur l'"Approvisionnement en eau des communautés rurales", COTA, Bruxelles.
- DEBOOS, A., DUMANOIS, J.F.
"Petite hydraulique villageoise, pastorale et maraîchère, Département de Maradi, Niger", Mémoire de fin d'études, AFVP, Montlhéry.

- de PURY, P. (1983)
 "Report of NGO/FAO-AD mission to the Sahel. Presented to WCC member churches and their agencies", in : "Peoples Technologies and People's participation", WCC, Geneva.
- DILUCA, C. (1980)
 "La qualité des eaux dans les états membres du CIEH", Bulletin de liaison du CIEH, n° 39-40, déc. 79-mars 80, pp. 33-43.
- X - DUBOIS, J., MARTIN, P., CORNET, D., GUILBERT, Ph. (1981)
 "Une première réalisation expérimentale d'aménagement de marigots près de Bakel (Sénégal oriental) dans un esprit d'écodéveloppement auto-centré" GRED, Paris.
- EARTHSCAN (1980)
 "Eau et assainissement pour tous ?", Document Earthscan pour la presse, n°22.
- EBERLE, M., PERSONS, J.L. (1978)
 "Appropriate well drilling technologies : a manual for developing countries", Office of Health, Development Support Bureau, USAID, Washington.
- ELMENDORF, L.I., ISELY, R.B. (1982)
 "Women as the key to succes of new water supplies", in : Waterlines, vol. 1, n° 2, oct. 1982, London.
- ENDA (1978)
 "Aménagement des abords d'un puits", in : Environnement Africain, supplément Kuiga Mayele, n° 13F, Dakar.
- FAO (1980)
 "Tunisie : des cactus contre la sécheresse et la désertification", in : Ceres, n° 75 (vol. 13, n° 3), mai-juin 1980, pp. 3-4, Rome.
- FOWLER, J.P. (1977)
 "The design and construction of small earth dams", in : Appropriate Technology, vol. 3, n° 4, fév. 1977, London.
- GAY, B. (1981)
 "Pompes manuelles, exhaure à traction animale, éoliennes d'exhaure, aqualiennes", in : Approvisionnement en eau des communautés rurales, rapport de stage sept. 1982, pp. 75-89, COTA, Bruxelles.
- GEAR, D. (1982)
 "Can hard rock wells solve Africa's irrigation problem ?", World Water, february 1982, pp. 33-37.

- GERMAIN, P. (1982)
"Citernes en bambou-ciment pour le stockage de l'eau de pluie", Environnement Africain, supplément Kuiga Mayele, n° 45F, Enda, Dakar.
- GLENNIE, C. (1982)
"A model for the development of a self-help water supply", World Bank Technical Paper, n°2, TAG workingpaper, n° 1, Washington.
- GORDON, W.R. (1957)
"Techniques of cable tool drilling", in : Water Well Journal, pp. 6, 10, 20, 22, 24.
- HUON, J.M. (1982)
"Construction de puits et formation de puisatiers au Mali", in : Approvisionnement en eau des communautés rurales, rapport de stage, sept. 1982, pp. 71-74, COTA, Bruxelles.
- IDWSSD
"Les programmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement des collectivités : leur impact dans les pays en développement", Monographie n° 6.
- INADES-FORMATION (1981)
"Utiliser l'eau", in : Agripromo, n° 35, Abidjan.
- IRC (1982)
"Practical solutions in drinking water supply and wastes disposal for developing countries", IRC, Technical Paper Series, N° 20, Rijswijk.
- IRC (1981)
"Community participation in water and sanitation, Concepts, strategies and methods", IRC, Technical Paper Series, n° 17, Rijswijk.
- ITDG Water Panel (1980)
"Guidelines on planning and management of rural water supplies in developing countries", in : Appropriate Technology, vol. 7, n° 3, pp. 17-20, Londres.
- KALBERMATTEN, J.M. (1983)
"The decade - some personal comment", editorial of Waterlines, vol. 1, n° 3, jan. 1983, pp. 2-4, London.

- X - KRAYENBUHL, L. (1981)
 "Evaluation sectorielle des projets d'approvisionnement en eau potable financés ou co-financés par la DDA", rapport II. Etude effectuée pour le compte de la Direction pour la Coopération au Développement et aide humanitaire, Ecole Polytechnique de Lausanne, Institut de Génie de l'environnement, Lausanne.
- LABONNE, M., LEBAGNEUX, B. (1980)
 "Problème des régions arides, modélisation de l'agriculture pluviale", ACCT, collection techniques vivantes, Paris.
- LEMOINE, J. (1981)
 "Orientation générale des projets d'hydraulique villageoise", cours d'hydraulique villageoise, CEFIGRE.
- LEMOINE, J.
 "Le développement de la petite hydraulique villageoise en Afrique Tropicale", in : Environnement Africain 14-15-16, pp. 465-468.
- X - MARTIN, P. (1975)
 "Collecte et stockage des eaux pluviales : Méthodologie d'étude de projet, application à la Côte d'Ivoire", IRFED, Paris.
- MILLER, D. (1979)
 "La participation de la population aux systèmes d'approvisionnement d'eau en milieu rural", OCDE, Paris.
- MILLER, D. (eds) (1980)
 "Etude sur les systèmes d'approvisionnement en eau en milieu rural", in : Etude sur le développement rural, volume II, OCDE, Paris.
- MOREL, A. (1976)
 "Faire renaître le Sahel : Expériences de développement agricole dans le massif de l'Aïr-Niger", in : Culture et développement, vol. VIII-2, 1976.
- N.A.S. (1977)
 "Expansion des ressources en eau dans les zones arides", techniques prometteuses et possibilités de recherches", National Academy of Sciences, Washington.
- NISSEN-PETERSON, Erik (1982)
 "Rain catchment and water supply in rural Africa : a manual", Hodder and Stoughton Ltd, London.

- OCDE - Centre de développement (1976)
"Réunion d'experts sur l'utilisation et la gestion des ressources en eau, résumé et conclusions", OCDE, Paris.
- OFERMAT (1981)
"L'eau au Sahel ; première partie : les puits ; deuxième partie : les forages", in : DAMAT, n° 67-68, 69-70, Paris.
- OXFAM (1975)
"Tin Telloust : projet de développement agricole et pastoral", rapport d'activité, 1975, perspectives de développement, OXFAM, Bruxelles.
- OXFAM (1976)
"Tin Telloust : projet de développement agricole et pastoral", rapport d'activité, 1976, perspectives de développement, OXFAM, Bruxelles.
- PARIS, P. (1982)
"Etude (non publiée) sur l'utilisation et la maintenance des pompes au Mali", BURGEAP-GRET, Paris.
- PELIGRY, P. (1982)
"Politique de la Division Hydraulique du FED dans ses projets d'approvisionnement en eau", paru dans le rapport de séminaire sur l'Approvisionnement en eau des communautés rurales, COTA, Bruxelles.
- SARDA, J. (1983)
"Compte-rendu de travail sur le thème : Technologies pour l'exhaure animale à Koumbidia", DELLO, Paris.
- SERRES, M. (1980)
"Politiques d'hydraulique pastorale", ACCT, collection techniques vivantes, Paris.
- SINTAS, Ch. (1980)
"Programme d'aménagement et d'assainissement des puits dans l'arrondissement de Mayahi", AFVP, Montlhéry.
- STERN, P. (1981)
"Gabions for hydraulic structures", in : Appropriate Technology, vol. 7, n° 4, March 1981, London.
- STERN, P. (1982)
"Rainwater harvesting", in : Waterlines, vol. 1, n° 1, July 1982, pp. 12-17, London.

- THOMAS, R.G. (1982)
 "L'irrigation quand le sol est de roche cristalline", Ceres, n° 89,
 (vol. 15, n° 5), pp. 27-30, Rome.
- UNESCO (1983)
 "Major regional project on the rational utilization and conservation of
 water resource, of rural areas of Africa South of the Sahara", Project
 Newsletter n° 1, Unesco, Division of Water Sciences, Paris.
- UNICEF (1982)
 "Women's self help efforts for water supply in Kenya", in : Appropriate
 Technology, vol.9, n° 3, pp. 19-21, London.
- VIELAJUS, J.L. (1980)
 "Technologies pour l'exhaure villageoise à Koumbidia", annexe à l'étude
 développement d'une activité maraîchère villageoise dans le Siné Saloum -
 Sénégal, GRET-DELLO, Paris.
- VISSCHER, J.T. (1982)
 "L'application de la filtration lente sur sable", in : Approvisionnement
 en eau des communautés rurales, rapport de stage, sept. 1982, pp. 135-
 148, COTA, Bruxelles.
- VITA (1979)
 "Construction and maintenance of water wells", prepared for the United
 States Peace Corps, VITA, Mt Tainier, Maryland.
- WATT, S.B., WOOD, W.E. (1976)
 "Hand dug water wells lined with reinforced concrete", in : Appropriate
 Technology, vol. 3, n° 2, pp. 8-10, London.
- WATT, S.B., WOOD, W.E. (1979)
 "Hand dug wells and their construction", Intermediate Technology Publi-
 cations Ltd, London.
- WEHRLE, Karl (1983)
 "A reflection on ten years' work in rural water supply", Editorial,
 Waterlines, vol. I, n° 4, pp. 2-4, London.
- WAGNER, E.G., LACROIX, J.M. (1961)
 "Approvisionnement en eau des zones rurales et des petites agglomérations
 OMS, Genève.
- WOOD, A.D., RICHARDSON, E.V. (1975)
 "Design of small water storage and erosion control dams", Colorado State
 University, Department fo Civil Engineering, Fort Collins, Colorado.

Contacts

BOUVILLE, A., AFVP, Paris

BRUFFAERTS, J.C., Cepaze, Paris

CHLEQ, J.L., Volontaire, Titao, Haute-Volta

COLLET, J., ITDG, London

DEGRAEVE, P. et B., anciens volontaires, Yako, Haute-Volta

DUBOIS, M., GRED, Paris

FORST, J., ITIS, Reding

HOWARD, J., OXFAM-UK, Oxford

KARLSHAUSEN, G., Frères des Hommes, Bruxelles

MARTIN, P., CIEPAC, Paris

PELIGRY, P., FED, Bruxelles

POIZAT, M., CIMADE, Paris

VANDENBOSH, M., OXFAM-B, Bruxelles

VIELAJUS, J.L., GRET, Paris

WEHRLE, K., SKAT, St Gallen