

L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

- 1968 - 1990 -



Yves Emsellem, Michel Detay et Didier Gaujous
Photographies André Benamour

- 2015 -

Les quatre auteurs dédient ce document à l'équipe dont l'expérience a permis de réaliser plus de 8 000 forages positifs dans une quinzaine de pays du continent Africain, Jean Mouton, Gilles Aubrac, Hubert Marchard de Gramont, Angelo Bernardi, Serges Borchiellini, Jean-Pierre Vinter, Issoufou Yacouba, Laurent Delucchi, Marc Legendre, Bernard Pic, Roberto Nocentini, Bernard Collignon, Ezio Dai Pra, Fadil Adadi, Patrice Poyet, Pierre Suzanne, Dominique Poitrinal, Georgette Pez,

ainsi qu'à nos amis Robert Dijon, Mayaou Gagara, Hervé-Jean Chendjou, Henri Mbepi, Pius Massock, Francis Nsoga Nsoga, Gérard Pellegrini, Jean-Rémi Martin, Pierre Zumbach, Clément Doutambaye, Gilbert Gourlemon, Jean-Jacques Si Angoula, Jean Mbaye, Michel Bonfils, Charles Diluca, Jacques Lemoine, Marc Vergnet et Jean-Michel Chabriaux.

Issa Adoum et John Théodore Moutomé, S.E. Philémon Yang, Bienvenu Fouda, Samuel Sapock, Ernest Rebuffel, S.E. Théodore Bagua Yambo, Henri Okemba, S.E. Hamid Algabid, ont su, au Cameroun, au Gabon, en Centrafrique, au Congo, au Niger, mettre, avec les moyens financiers et techniques de leur pays, l'hydraulique villageoise et pastorale et le développement rural sur les bons rails avec une intégrité et un dévouement au service public rares.

Nous avons une pensée amicale pour Abdoulaye Kanouté qui a piloté la synthèse de l'approvisionnement en eau potable dans les zones rurales des sept Etats Membres de la CEAO et Gérard Sivilia du FAC qui a eu l'idée de ce livre.

Plusieurs sont aujourd'hui disparus, ils restent pour nous parmi les vivants.

L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

- 1968 - 1990 -

Yves Emsellem, Michel Detay et Didier Gaujous
Photographies André Benamour

- 2015 -



Troupeau en route vers le point d'eau - Route de Dosso - Niger, 1976



Apprentissage - Haute-Volta, 1975

Table des matières

Préambule	9
Les grandes étapes	13
Une éclosion brutale	13
L'hydraulique traditionnelle	14
Des années 50 à 1968	14
<i>Création des Services de l'Hydraulique</i>	14
<i>Une Afrique peu peuplée</i>	14
Les grandes sécheresses	18
... le temps des questions	20
<i>Une défaillance généralisée de la maintenance des pompes</i>	20
<i>Des charges récurrentes lourdes</i>	20
<i>La faiblesse des institutions nationales en charge de l'eau</i>	20
<i>La faiblesse des politiques nationales</i>	21
<i>La préservation de la ressource</i>	22
<i>L'insuffisante coordination des aides</i>	22
<i>Les laissés pour compte du développement du secteur</i>	23
<i>L'exclusion des usagers</i>	23
Les acquis	25
Une expérience profonde	25
Des opérateurs confirmés	25
Des acquis scientifiques et techniques	26
Des réalisations	26
Une prise de conscience générale	29
<i>L'évolution des institutions</i>	29
<i>Une approche régionale</i>	30
<i>Une évolution des mentalités</i>	30
<i>Une participation communautaire</i>	30
<i>Une meilleure adaptation des ouvrages</i>	30
<i>Le début d'une gestion effective</i>	31
<i>Une prise de conscience des problèmes sanitaires</i>	31
Pouvait-on éviter les programmes massifs ?	31
Les ressources	33
Les Afriques	33
Des ressources mal réparties	34
Aperçu climatique	36
Les conditions aérologiques	36
Les conditions structurales de la pluviogenèse	38
<i>Estimation des ressources en eau disponibles</i>	38
Estimation de la recharge des aquifères	39
La progression est tout aussi inquiétante	42
Comment l'homme se rend-il responsable de la désertification ?	42
La situation risque-t-elle de s'aggraver ?	43
L'eau de surface	43
Les eaux souterraines	44
Le contexte géologique	44
<i>Formations du Précambrien inférieur et moyen de l'Afrique de l'Ouest</i>	46
<i>Formations du Précambrien supérieur et du Paléozoïque inférieur</i>	46
<i>L'altération des formations cristallines et cristallophylliennes</i>	47
Le contexte hydrogéologique	47
Les principales provinces hydrogéologiques	49
Les aquifères sédimentaires	50
Les aquifères de socle	50
La couche argilo sableuse d'altération	51
La recherche d'eau dans le socle	52

La géomorphologie	54
La méthode de recherche d'eau souterraine	57
<i>Les études de base</i>	57
Principaux acquis techniques	58
La géophysique	58
Sondages électriques	59
<i>Panneaux électriques</i>	61
Géophysique - Technique ou sorcellerie ?	62
<i>Technique et organisation de la reconnaissance électrique</i>	62
Facturer les seuls forages positifs ?	64
<i>Planifier l'emploi des ressources pour satisfaire les besoins</i>	64
L'habitat inadapté	65
Gérer les connaissances	65
Informatique et hydrogéologie	66
Informatique et cartographie	66
Les outils informatiques interdisciplinaires	67
<i>Évolutions de l'informatique et perspectives</i>	68
<i>Informatiser l'hydraulique villageoise</i>	68
<i>Les bases de données nationales</i>	69
<i>Cartographie, image satellites, SPOT</i>	70
<i>Les satellites</i>	71
<i>Les modèles mathématiques</i>	71
<i>Systèmes experts</i>	74
<i>Les analyses isotopiques</i>	75
<i>Augmenter la ressource captable</i>	75
<i>Mieux connaître le renouvellement de la ressource</i>	77

Les ouvrages et l'exhaure

79

Les points d'eau anciens	79
<i>Une exhaure adaptée et variée</i>	80
Les ouvrages modernes	82
<i>Pourquoi abandonner les puits ?</i>	84
<i>L'exhaure</i>	86
La fabrication locale des pompes	86
La maintenance	89
L'Hydro-pompe Vergnet	89
La situation à la fin des années 60	90
Des animateurs professionnels	93
L'animation et la sensibilisation	93
<i>Considérer le village et ses représentants comme un partenaire à part entière</i>	94
<i>Préparer des solutions de remplacement</i>	96
<i>Préparer la gestion et donner au Comité les moyens nécessaires</i>	96
<i>Le constat</i>	98
Organisation de la maintenance	98
Le point d'eau et la santé	101
Les besoins en eau	101
La qualité de l'eau	102
<i>Qualité bactériologique de l'eau de boisson</i>	102
<i>Qualité virologique de l'eau</i>	103
<i>Les parasites</i>	103
<i>Les facteurs chimiques</i>	103
<i>Les maladies hydriques</i>	103
<i>Les maladies à transmission fécale-orale</i>	104
<i>Les maladies à vecteur aquatique</i>	104
<i>Le constat</i>	106
<i>Prévenir ou Guérir ?</i>	107
<i>Guérir faute de mieux ?</i>	109
<i>L'éducation sanitaire</i>	110

Les acteurs et les opérations	113
Les services publics	113
Les structures publiques	114
Les bailleurs de fonds	114
Le financement du développement	116
La coopération française	117
La Caisse Centrale de Coopération	117
Les autres intervenants au niveau national	117
Les ONG	118
Les organismes inter-état	119
<i>Le CIEH, 1960-1995</i>	119
<i>Le CILSS</i>	119
<i>Le CEFIGRE, un organisme de formation dédié</i>	120
<i>Les organismes africains</i>	120
Les populations	122
<i>Une politique de développement</i>	122
La promotion d'une politique nationale de l'eau	122
<i>L'aide française continuera à privilégier :</i>	122
L'eau facteur de développement	124
L'eau, facteur de structuration du milieu rural	124
Le moyen et le long terme	127
Les besoins	127
La recherche d'ouvrages adaptés	127
Facteurs socio-économiques	127
Paramètres hydrogéologiques	128
Les contraintes techniques	128
Les contraintes sociales	128
<i>Critères de choix des moyens d'exhaure</i>	128
<i>Les ouvrages non forés</i>	129
Projet clé en main - contrôle administratif	130
L'approche terroir - Gérer en même temps qu'investir	130
<i>En quelques mots, comment décrire l'approche terroir ?</i>	130
<i>Des actions ponctuelles concentrées</i>	132
<i>Des fonds utilisés au village</i>	132
<i>Des études peu coûteuses</i>	132
<i>Une évaluation permanente des résultats</i>	132
<i>La recherche de mécanismes répétitifs</i>	132
<i>Nécessité de faire évoluer les bases d'exploitation du passé</i>	133
<i>Revenons sur les principaux axes</i>	134
Le rôle des femmes	135
L'énergie et l'environnement	136
CONCLUSION	137
Orientation bibliographique	140
Rapports de synthèse	140
Ressources en eau souterraine	140
Ressources en eau superficielle	145
Méthodes d'implantation	146
Pompage d'essai	149
Eau et santé	149
Ouvrages de captages	150
Moyen d'exhaure	150
Entretien et maintenance	151
Adduction et distribution d'eau	151
Études de cas	151



PRÉAMBULE

Je hais mon époque de toutes mes forces. L'homme y meurt de soif.

Antoine de Saint-Exupéry (30 juillet 1944).

Pourquoi 1968-1990 ? Pourquoi reprendre ce document de 1990 en 2015 ?

La fin des années 60 a vu surgir une sécheresse sans précédent, parcourant d'est en ouest l'Afrique subsaharienne. Le régime des pluies a diminué fortement, déplaçant le front intertropical, le FIT, de plusieurs centaines de kilomètres vers le sud. Les populations rurales et pastorales ont été frappées à la fois par le manque d'eau et de nourriture.

Après la Sécheresse de 1968, brutale, en 1972, seulement quatre années après, la sécheresse revient par surprise, détruisant les récoltes et le bétail et piégeant mortellement le bétail autour des points d'eau. Il y a eu très peu de victimes humaines durant cette période. En 1973, rétrospectivement par chance, se tient le Conseil des Ministres du Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques à Libreville. Il constate le désastre et rend actuelles les solutions étudiées pour remédier à la situation de 1968. La situation est assez urgente pour faire retourner dans leur pays plusieurs délégués.

La sécheresse de 1983, la plus forte a paradoxalement eu moins d'effet que les précédentes. Car les états Africains ont placé l'approvisionnement en eau des zones rurales en tête de leurs préoccupations. En particulier les routes et pistes de dégagement permettent aux populations de quitter rapidement les points d'eau lorsque leur bétail a tout dévoré alentour. La maîtrise de l'eau s'est entre-temps diffusée.

Depuis le début du XVIIIe siècle, la population humaine a été multipliée par huit et l'espérance de vie moyenne a plus que doublé. Les villes africaines ont souvent vu leur population multipliée par sept au cours des trente dernières années. Le développement urbain est clairement un phénomène inéluctable. Dans les pays les moins développés, il se fait, pour une large part, par la création de quartiers spontanés en périphérie des villes ou dans des espaces laissés libres et insalubres, dans les espaces verts. Ajoutée à celles du logement, de l'éducation et des communications, la situation de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement devient tragique.

La désertification progresse. La conférence de Nairobi sur la désertification [United Nations, 1977] prévoit que « *le tiers des terres arables du monde aura cessé d'être productif dans les 50 ans à venir* ».

Entre 1989 et 1992 se tiennent, notamment à Sophia Antipolis, les réunions des Bailleurs de fonds avec pour ordre du jour la mise en place de la future politique de coopération. Les grandes tendances sont d'abord un retrait de l'Afrique par manque de fonds, ensuite un accroissement des projets de maintenance en raison de la défaillance des pompes provoquée par la fermeture de l'entretien public, enfin une réorientation de l'aide vers les pays de l'Est enfin libérés de l'emprise soviétique. Et pourtant les perspectives sont sombres, pessimistes.

Pourtant, pendant cette période 1968-1992, près du tiers des aides aux pays du Sahel a été consacré aux programmes d'hydraulique villageoise et pastorale. Des sommes considérables ont été investies dans la construction de puits et dans la réalisation de forages, cependant les évaluations des besoins estimés au milieu des années soixante, ne sont satisfaits qu'au tiers.

En matière d'eau potable, compte tenu de la croissance démographique et de l'augmentation individuelle des besoins, liés à l'urbanisation et aux progrès de l'hygiène, on est très au-dessous de cette estimation.

La conférence mondiale de l'eau de Mar del Plata a été l'étape-clé de la Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DIEPA) achevée en 1991. La formation et la diffusion des connaissances sont les instruments capables de susciter et d'accompagner les évolutions et les changements. La maîtrise de l'eau est hissée au rang de l'un des thèmes majeurs de notre monde. La DIEPA a engendré de nombreuses réalisations et fait surgir une masse d'informations contribuant à l'émergence d'experts. L'éducation, l'alimentation et la prévention, instruments essentiels d'une politique démographique et d'une réduction de la mortalité infantile, progressent partout, et surtout dans les pays en développement.

Le milieu rural est le volet important de l'autosuffisance alimentaire. L'économie de l'eau est de mieux en mieux pratiquée. Les retenues, les barrages, les canaux, les dérivations se multiplient. La production agricole et l'irrigation en contre-saison commencent à être associées à la lutte contre la désertification et à la protection de l'environnement. La planification des besoins et des ressources devient une discipline à part entière.

Les tentatives pour gérer les interactions des individus et de leur environnement sont aussi vieilles que les civilisations humaines, mais les changements quantitatifs de vitesse, d'échelle et de complexité imposent des modifications qualitatives et quantitatives de notre approche. Et l'on voit apparaître des experts dans cette discipline difficile, en même temps que des organismes dédiés.

L'humanité a compris la nécessité de la solidarité et de l'effort. Au début du XXIème siècle, 11 % de la population mondiale, soit 768 millions d'individus, n'a pas accès à l'eau potable. C'était 23 % en 1990. Le progrès est énorme. Mais les statistiques sont trompeuses, l'Italie dispose de plus d'eau que l'Angleterre, en moyenne. En Afrique sub-saharienne, la situation reste peu rassurante. De 1990 à 2010, le taux de la population non raccordée est passé de 51 à 37%. En moyenne. Le travail à accomplir est considérable.

Si l'eau reste le patrimoine essentiel de l'espèce humaine, l'homme apprend tous les jours à la gérer, l'économiser, la préserver. Ce travail à peine ébauché progresse chaque jour, la leçon a été comprise. Il y a vingt-cinq ans, les prévisions pour l'Afrique sub-saharienne étaient fort pessimistes. Elles sont encore loin d'être bonnes.

Rien n'est jamais aussi bon que ce que l'on espère ni pire que ce que l'on craint



Délu à déversement automatique - Ce dispositif, associé à la traction animale, se rencontre fréquemment dans les jardins de l'Aïr au Niger. Les débits peuvent être importants - 1977.



CHAPITRE I

LES GRANDES ÉTAPES

De la sécheresse à la décennie de l'eau potable

Une éclosion brutale

L'hydraulique villageoise fait partie intégrante de l'histoire récente de l'Afrique au sud du Sahara. Sous sa forme moderne, elle est née d'un phénomène brutal, la sécheresse, et d'un mécanisme inexorable, l'explosion démographique.

La sécheresse s'est annoncée à petit bruit dès 1968.

En 1972, elle a brutalement explosé en Afrique Sahélienne. Les points d'eau ont constitué des pièges : les hommes n'y ont pas trouvé de nourriture. Et le bétail, après avoir tout dévoré, parfois dix kilomètres autour du point d'eau, n'a rapidement plus rien eu à paître.

La catastrophe a vu le bétail mourir de soif et de faim.

Assez spontanément les bailleurs de fonds se sont mobilisés pour répondre à la sécheresse par des programmes massifs des points d'eau. Il fallait tout apprendre, en dix ans 50 000 points d'eau sont réalisés ou aménagés.

1983 : la sécheresse repart de plus belle. Les premières mesures, campagnes de forages, routes de liaison permettant aux hommes et au bétail de s'échapper du piège des points d'eau isolés montrent leur efficacité en limitant le désastre.

L'explosion démographique est la cause profonde de la gravité du processus à peine aperçu en 1972. Tous les vingt-cinq ans, la population africaine double, et ne laisse aucun répit aux aménageurs. La désertification en est le résultat. Un exemple : la population du Niger vers 1970 était d'un peu plus de 3 millions d'habitants, elle a dépassé 15 millions en 2010. Elle était en équilibre avec les terres en 1960. Les sols étaient déjà nus en 1980. Le taux de croissance de la population ne cesse de croître, parti de 2,09 % en 1960, il dépasse 3,4 % en 2010.

Conséquence inévitable de ce déséquilibre profond entre population et ressources : la guerre, sous toutes ses formes.

Pour répondre à un souci de clarté, il faut rappeler brièvement la classification du secteur hydraulique dont chacune des composantes a sa problématique propre et ses traits spécifiques.

L'hydraulique rurale comprend l'hydraulique pastorale destinée à l'abreuvement du cheptel et l'hydraulique villageoise répondant aux besoins domestiques des populations rurales. Ce terme d'hydraulique rurale, moins restrictif que celui d'hydraulique villageoise plus fréquemment rencontré dans la littérature, lui est préférable dans la mesure où une grande part des points d'eau satisfait à un double usage. Il a également l'avantage d'évoquer le vocable de développement rural, l'une des clés du futur de l'Afrique.

L'hydraulique agricole vise à l'utilisation de l'eau pour les productions végétales, quelle qu'en soit la technicité des procédés. Bien que l'usage agricole du point d'eau tende à se développer, les frontières entre l'hydraulique rurale et l'hydraulique agricole sont assez nettes. Ce n'est pas le cas de l'hydraulique rurale et urbaine dès lors qu'il s'agit de l'alimentation des grands centres ruraux. Seule l'hydraulique rurale, et ses deux composantes pastorale et villageoise, fera l'objet du présent document.

Le secteur de l'hydraulique rurale a connu en Afrique une longue évolution ; il peut, pour sa bonne compréhension, se scinder en trois périodes essentielles ponctuées par les dates 1950, 1968, 1983. Les dates indiquées n'ont bien entendu que la valeur de repères dans la mesure où il est toujours arbitraire de fractionner un processus continu et où, d'autre part, les évolutions se sont faites à des rythmes différents selon les pays.

L'hydraulique traditionnelle

Une Afrique ancestrale

Depuis le fond des âges, seuls les aménagements traditionnels ont permis l'abreuvement des hommes et des troupeaux, les puits n'étaient pas limités à la seule alimentation des hommes. Cette évidence doit rester présente à l'esprit pour apprécier l'impact de l'hydraulique moderne sur la société rurale.

En 1950, le paysage sahélien est encore marqué par toute une infrastructure hydraulique traditionnelle — hafirs, puits — étonnamment remarquable par les profondeurs atteintes, 80 à 100 mètres, et par la qualité de l'exécution. Les moyens d'exhaure traditionnels à la corde et au délou à traction animale offrent des débits comparables aux pompes modernes. (4 m³/h sur des puits à trois délous). Ce puisage contaminait inévitablement l'eau.

L'approvisionnement en eau était un élément important de la structure de la société rurale : il y existait des règles précises d'appropriation du point d'eau dont l'accès était strictement codifié et reflétait la hiérarchie sociale.

La construction des puits appartenait à une corporation de puisatiers détenteurs de savoir-faire, mais, au demeurant, guère mieux lotie que la caste des forgerons.

Par leur technique rudimentaire, notamment au niveau du captage, les puits traditionnels ne pouvaient atteindre que la nappe phréatique, et ne descendaient guère en dessous de son niveau. Une bonne part tarissait annuellement ou subissait des chutes de débit très importantes dès qu'un épisode sec réduisait la recharge des nappes. Ils étaient par ailleurs sujets à éboulements faute d'un cuvelage solide.

Les techniques traditionnelles ne permettaient de réaliser des ouvrages ni en terrains bouillants, — fréquents en zone sahélienne — ni en régions de socle, considérées comme stériles dans un passé encore récent.

Les points d'eau traditionnels appartenaient souvent à des notables ou à des mosquées. Le travail de curage, presque partout annuel, était rémunéré par les propriétaires, toujours identifiés.

Une longue période de climat relativement clément laisse le souvenir de forêts et de gibiers là où le désert menace. Aujourd'hui, l'abaissement continu du niveau d'eau dans les forages a déstabilisé l'équipement hydraulique des états sahéliens. Non seulement l'eau s'est faite plus rare, mais les hommes ont largement contribué à déboiser le terroir, pour obtenir le bois de feu pour la cuisine, et rendre de maigres terres libres pour l'agriculture. Les chèvres, ou plutôt les mauvais bergers, ont largement leur part dans le déboisement général. Le sentiment d'insécurité permanente ressenti aujourd'hui par les populations en quête d'eau et de nourriture n'était pas perçu avec la même acuité avant 1950.

Des années 50 à 1968

Création des Services de l'Hydraulique

Le développement de l'économie pastorale consécutif à l'amélioration des conditions sanitaires du cheptel et à sa croissance dans un contexte climatique favorable ne pouvait se satisfaire de la précarité des puits traditionnels. Au cours des années cinquante se créent donc de nouveaux services administratifs dont l'objet est de créer une infrastructure hydraulique pérenne au moyen d'ouvrages modernes.

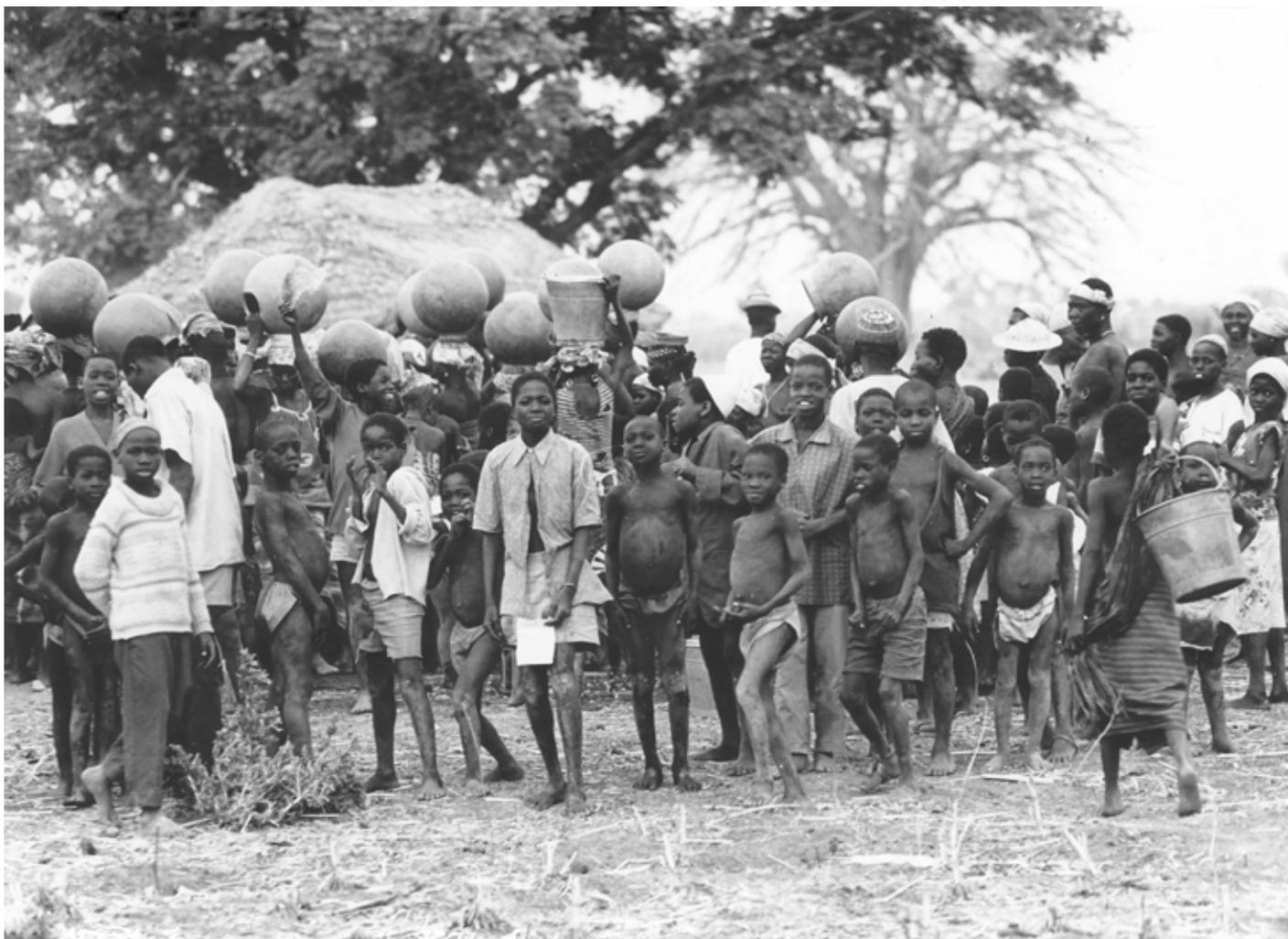
Cette Afrique n'était pas encore très peuplée. On y rencontrait encore des lions, qui trouvaient, dans des savanes naturelles, du gibier en quantités suffisantes. Mais bien moins qu'une génération avant. La population, il est vrai, a pratiquement triplé en cinquante ans. À la fin du siècle, elle sera pratiquement dix fois plus nombreuse qu'en 1900. C'est la mesure de la surcharge sur le sol et l'eau.

Une Afrique peu peuplée

Au début des années 50, les pays couvrant l'ancienne AOF représentaient 19 millions d'habitants sur 460 millions d'hectares dont 290 sont incultes, un tiers est en forêts — 125 millions ha — et en savane — 140 millions ha. 2 %, soit 10 000 000 ha, sont cultivés chaque année. Une très faible partie des terres inondables est cultivée. L'ensemble produit environ 4,8 millions de quintaux de paddy sur 800 000 ha et 25 de mil sur 5 000 000 ha.



L'usage des puits est souvent partagé entre abreuvement du bétail et utilisation domestique - Sénégal, 1976



Affluence pour la mise en service d'une pompe près de Tenkodogo - Haute-Volta 1976



Bambe - Traction bovine Guérout expérimentale - Sénégal, 1976

L'autosuffisance alimentaire s'obtenait sur 1/2 hectare par personne.

Le revenu total, 80 milliards de FCFA, représente un peu plus de 10 000 FCFA d'aujourd'hui par personne et par an. Un puits de 40 mètres coûtait moins de cinq cent mille francs.

On mesure la distance entre le monde de 1960 et celui de 1990 en rappelant l'évolution de la population des villes les plus importantes de l'époque (Tableau I-I).

Tableau I-I — Évolution des populations de quelques grandes villes.

Ville	1920	1930	1945	1960	2010-13
Dakar	25 000	55 000	130 000	250 000	1 056 009
Saint-Louis	22 000	30 000	30 000	50 000	171 623
Conakry	6 000	8 000	26 000	55 000	2 500 000
Abidjan	720	10 000	46 000	130 000	12 783 906
Bamako	6 000	20 000	37 000	70 000	2 309 106
Nouakchott			500	80 000	800 000
Cotonou				70 000	1 000 000
Libreville				250 000	753 000

La population urbaine des pays sahéliens, que font exploser à la fois développement et pauvreté, ne représentait quasiment rien en 1945. En 2000, un habitant du Sahel sur quatre sera citadin.

Tableau I-II — Population urbaine des états sahéliens.

Pays	1920	1945	1960	1980	2000
Sénégal	6 0000	240 000	650 000	1 650 000	5 500 000
Gambie	0	15 000	25 000	50 000	200 000
Mauritanie	0	0	0	300 000	1 200 000
Tchad	0	15 000	130 000	550 000	2 000 000
Mali	20 000	65 000	230 000	1 000 000	3 000 000
Burkina Faso	0	55 000	150 000	450 000	1 500 000
Niger	0	25 000	130 000	550 000	1 500 000
Population urbaine	80 000	415 000	1 270 000	4 550 000	14 900 000
Pourcentage (%)	0,7	3	7	15	25
Population rurale (%)	99,3	97	93	85	75

Les nouveaux services normalisent les ouvrages, mettent au point les techniques, définissent l'organisation des chantiers avec les brigades de puisatiers. Ils bénéficient du savoir-faire des puisatiers traditionnels qu'ils recrutent. L'hydraulique rurale est véritablement née du pastoralisme dans des années de bonne pluviométrie et non, comme on l'imagine souvent, des besoins domestiques d'une population rurale frappée par la sécheresse.

Quelques forages pastoraux équipés de pompes à moteur sont créés — Tchad, Sénégal, Niger — sur fonds du FIDES. Réalisés en faible nombre, ces programmes restèrent sans lendemain, à l'exception de ceux du Sénégal. L'ouvrage de base reste encore le puits, mais il se modernise. Aux indépendances, la plupart des États disposent d'une structure administrative ou parapublique en charge du secteur de l'hydraulique rurale. Le secteur privé est quasi inexistant hormis quelques entreprises de forage intervenant marginalement en milieu rural. La réalisation des travaux en régie par la puissance publique demeure la règle. Une tentative fut faite, sans succès durable, de lancer les ouvrages en investissement humain. Le but était d'intéresser les populations en les faisant participer, en nature, au puits. Mais les ouvrages, non traditionnels, revenaient cher, et étaient difficiles à entretenir par les puisatiers. Les efforts étaient dépensés sans compter pour fabriquer sur place du matériel, et le matériel importé était aussi varié que les bonnes volontés.

Pourtant, dans une Afrique qui se construit, force est de constater que le secteur de l'hydraulique rurale ne constitue pas une priorité, alors que la population est essentiellement rurale et que n'ont pas encore commencé les grandes migrations vers les villes.

En 1955, les 16 millions de ruraux de l'Afrique de l'Ouest ont bénéficié d'un budget d'équipement hydraulique de 500 millions de FCFA alors que les 3 millions d'urbains vivant dans les agglomérations de plus de mille habitants disposaient d'un milliard de FCFA soit un investissement per capita dix fois supérieur.

Les ressources publiques s'orientent d'abord vers la réalisation des grands programmes d'irrigation, vers l'infrastructure hydraulique urbaine, et vers les grandes espérances industrielles.

À cet égard, il est révélateur de voir le peu de place accordée à l'hydraulique rurale par les bailleurs de fonds. Il apparaissait tant aux gouvernants qu'aux agences de développement qu'il s'agissait d'un secteur social peu justiciable de rentabilité, et que, bon an mal an, les populations trouvaient toujours à s'approvisionner : question de kilomètres, surtout pour les femmes chargées de la corvée d'eau !

Les tribulations institutionnelles des services de l'hydraulique rurale sont également significatives : leur origine pastorale les situe fréquemment dans les mêmes départements ministériels que les services de l'élevage au Tchad. Mais, très souvent, ils ont été un sous produit inclassable rattaché aux ministères les plus divers : mines, travaux publics, agriculture, industrie...

La création de ces services a plus été le résultat de la volonté de quelques fonctionnaires, pionniers isolés d'un secteur encore en friche, que le fruit d'une politique volontariste.

La période se caractérise pourtant par un remarquable essor de la prospection et de l'innovation.

Les reconnaissances hydrogéologiques se généralisent et aboutissent à l'établissement d'une cartographie des aquifères. L'hydrogéologie bénéficie il est vrai de l'intensification de la recherche minière des années cinquante. L'Inventaire des Ressources Hydrauliques - l'IRH — à l'origine des recensements des points d'eau, est créé en 1952.

Mais la grande découverte des années soixante et du début des années soixante-dix réside dans la mise au point d'une technique simple et rapide de réalisation de forages qui est le résultat de la conjonction de plusieurs innovations :

- L'exploitation des vues aériennes par photo-interprétation et de la géophysique permet de repérer les fractures du socle et d'implanter des points d'eau dans de vastes régions jusque là réputées stériles. Pour bien apprécier ce progrès, on mentionnera qu'en 1965 a paru un cahier des charges type pour l'exécution des forages sans prospection préalable, car beaucoup contestaient la fiabilité des prospections.
- Le marteau fond de trou permet de réaliser des forages en zone cristalline susceptible d'être équipés de pompes manuelles.
- La mise au point de nouvelles pompes manuelles, dont la pompe à boudruche Vergnet de conception originale.

Le BRGM et le BURGEAP jouent un rôle déterminant dans l'acquisition des données de base sur lesquelles reposeront ultérieurement les grands programmes de forages. Le CIEH contribue largement à faire connaître les nouvelles techniques, à l'occasion de ses réunions périodiques. C'est au Ghana que le forage, lancé systématiquement et à grande échelle au début des années 50, est définitivement choisi, à la fin des années 70 comme moyen de captage unique. Son exemple, connu et étudié, est d'abord timidement suivi, mais compris. Et le corollaire du forage, la maintenance de l'exhaure, pénètre très vite les esprits, même si les solutions ne sont pas trouvées.

À la fin des années 70, à l'approche d'une sécheresse qui a déjà manifesté des signes annonciateurs, mais dont nul ne mesure encore l'ampleur, tous les instruments, institutionnels, documentaires, techniques, sont prêts pour donner une dimension nouvelle au secteur.

Les grandes sécheresses

1972 la grande sécheresse du Sahel réapparaît. Pour la troisième fois au cours du siècle les régions sahéliennes sont confrontées à des déficits pluviométriques importants. Beaucoup a été écrit sur cet événement pour qu'il suffise ici de n'en citer que les indicateurs les plus marquants.

Par sa durée — environ deux décennies — elle est la plus longue et la plus dure. La pluviométrie moyenne depuis 1972 a chuté de près de 30 %. Pendant les années 50, l'isohyète 100 mm, limite théorique du désert, se trouvait aux environs de la latitude de Nouakchott. Elle est descendue à Saint Louis du Sénégal en 1972, et un peu plus bas en 1983.

En 1983 et 1984 le fleuve Sénégal, suivi au plan hydrologique depuis 1902, accuse ses deux étiages les plus marqués. En 1985, pour la première fois de mémoire d'anciens, le fleuve Niger cessera de couler à Niamey.

Les effets de la sécheresse sont dévastateurs sur le bétail. Pris au piège sur des pâturages appauvris ou détruits, les pasteurs ne peuvent conduire tout leur troupeau vers le sud faute de pistes à bétail, chaîne de points d'eau régulièrement espacés permettant l'abreuvement lors des transhumances, ni se déplacer vers des pâturages se trouvant dans des zones démunies de points d'eau. Les populations pastorales du Sahel ont été déstabilisées par le choc de la sécheresse et ne s'en sont jamais remises.

Ses conséquences dramatiques sur la production agricole, également bien connues, ont donné lieu aux mouvements de solidarité internationale que l'on sait.

Dans les deux cas, la sécheresse se traduit par des déficits de production agricole ou fourragère provoquant les famines et la mortalité du cheptel. Certes, les aquifères se sont abaissés par des déficits de productions agricoles ou fourragères provoquant les famines et la mortalité du cheptel. Certes les aquifères se sont abaissés à la longue, de nombreux puits ont tari et ont rendu la corvée d'eau bien plus pénible, mais, contrairement à une idée très répandue, la sécheresse n'a pas été le manque d'eau pour la boisson domestique ou pastorale, mais le manque de nourriture. Elle a tué le bétail par la faim, non par la soif.



Puisage dans le Chari à Ndjaména pour l'arrosage de périmètres maraîchers - Tchad, 1976

La sécheresse de 1972 a réellement donné le coup d'envoi des grands travaux d'hydraulique et l'irruption des bailleurs de fonds dans un secteur qui leur était peu familier.

Devant l'urgence de la sécheresse, l'industrialisation des programmes destinés à permettre aux populations de survivre était la seule réponse réaliste. Or les années 60 avaient produit les outils indispensables au lancement de programmes de 1 000 forages, chose impossible en 1960. On avait appris à creuser un trou par jour dans le cristallin, la roche la plus commune en Afrique, et à trouver l'endroit où creuser, grâce à la photo aérienne et la géophysique. Le marteau fond de trou, la technique de forage désormais vitale est une technique minière peu coûteuse, le hammerdrill, déjà ancienne.

Pendant les années 60, les pannes des pompes installées sur les forages ont sans cesse interpellé les inventeurs. La recherche s'est orientée sur la pompe qui tombe en panne, mais se répare aisément.

La réponse à la sécheresse était donc prête. Elle a été largement exploitée.

C'est dans ce contexte dramatique qu'est lancée le 10 novembre 1980 la Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement. Ses principes accordent une priorité élevée aux zones rurales, à l'éducation, et à la place des femmes dans le développement.

Son objectif ambitieux est de fournir 10 litres par jour en 1985 et 20 litres en 1990 par personne. Le plus grand mérite de la DIEPA fut d'avoir fait de l'approvisionnement en eau du monde rural un thème mobilisateur et d'avoir éveillé la conscience des bailleurs de fonds.

Les programmes s'élaborent dans des conditions d'urgence étonnantes : des matériels de creusement de puits arrivent par avion, les programmes sont lancés sur une base industrielle. L'unité d'action est le millier de forages. L'engouement des bailleurs de fonds ne s'est plus démenti et s'est manifesté jusqu'au milieu des années 80 par des programmes massifs de forages. Plusieurs dizaines de milliers de forages, réalisés au rythme de 5 000 par an environ, jalonnent désormais le paysage sahélien et l'on peut considérer que les moyens considérables mis en œuvre ont permis aux États bénéficiaires de répondre aux besoins les plus urgents de leur population rurale.

Le deuxième changement fondamental qui caractérise la période réside dans l'adoption systématique du forage. Long à exécuter et plus coûteux, le puits est abandonné au bénéfice du forage qui peut être réalisé en un jour, mais nécessite l'installation d'un moyen d'exhaure mécanique — pompe à motricité humaine ou motorisée, éolienne mécanique, voire solaire. L'hydraulique rurale bénéficie largement de l'élan de solidarité des bailleurs de fonds vis-à-vis du Sahel, mais ceux-ci, tout comme les services nationaux, ne savent qu'apporter une réponse technique par une véritable industrialisation des programmes. De nouveaux opérateurs interviennent sur un marché en pleine expansion — ingénierie pour l'élaboration et le contrôle des travaux, entreprises de forages, fournisseurs. On est bien loin du temps où les services nationaux conduisaient placidement leur programme annuel de puits sur des budgets faméliques, mais on n'est plus loin de l'heure des mécomptes.

La seconde sécheresse de 1983 se montre dans plusieurs régions plus dure que la première. Et pourtant elle sera moins meurtrière, car beaucoup de travail a été fait : des forages et des puits équipés, certes, mais aussi des pistes à bétail. Et surtout, l'expérience est là. En pleine crise, le gouvernement du Niger lance et réussit les cultures de contresaison. Le Sénégal lance au milieu du fleuve une digue en terre qui sauve les quelques mètres cubes seconde qui coulent encore à Saint Louis. Les gens ont appris à réagir.

Le bétail a été décimé par la première sécheresse. Il n'est pas, loin s'en faut, reconstitué. Et l'on sait qu'il ne faut plus le laisser croître au niveau qu'il avait atteint, car il n'y a plus de quoi le nourrir.

Mais l'euphorie légitime que l'on pourrait éprouver après avoir surmonté la crise de 83 n'est pas présente au rendez-vous. Tout le monde se rappelle que l'atmosphère des années 80 était grave. Car tout n'a pas réussi, toutes les difficultés ne sont pas passées, il en reste de sérieuses à venir.

... le temps des questions

Le milieu des années 80 sonne l'heure des bilans. Les conclusions en sont suffisamment inquiétantes pour remettre en cause toute la dynamique du secteur. On s'aperçoit que l'approche uniquement technique peut aboutir à une impasse. Avec quelques années de retard, on suit dans le secteur de l'hydraulique rurale le même cheminement qu'en hydraulique agricole sous l'effet des mêmes causes : on y retrouve des problèmes identiques d'organisation institutionnelle, de maintenance, d'équilibre financier...

On commence à mesurer l'ampleur des conséquences de la spectaculaire accélération des programmes consécutive au saut technologique que connaît le secteur.

Une défaillance généralisée de la maintenance des pompes

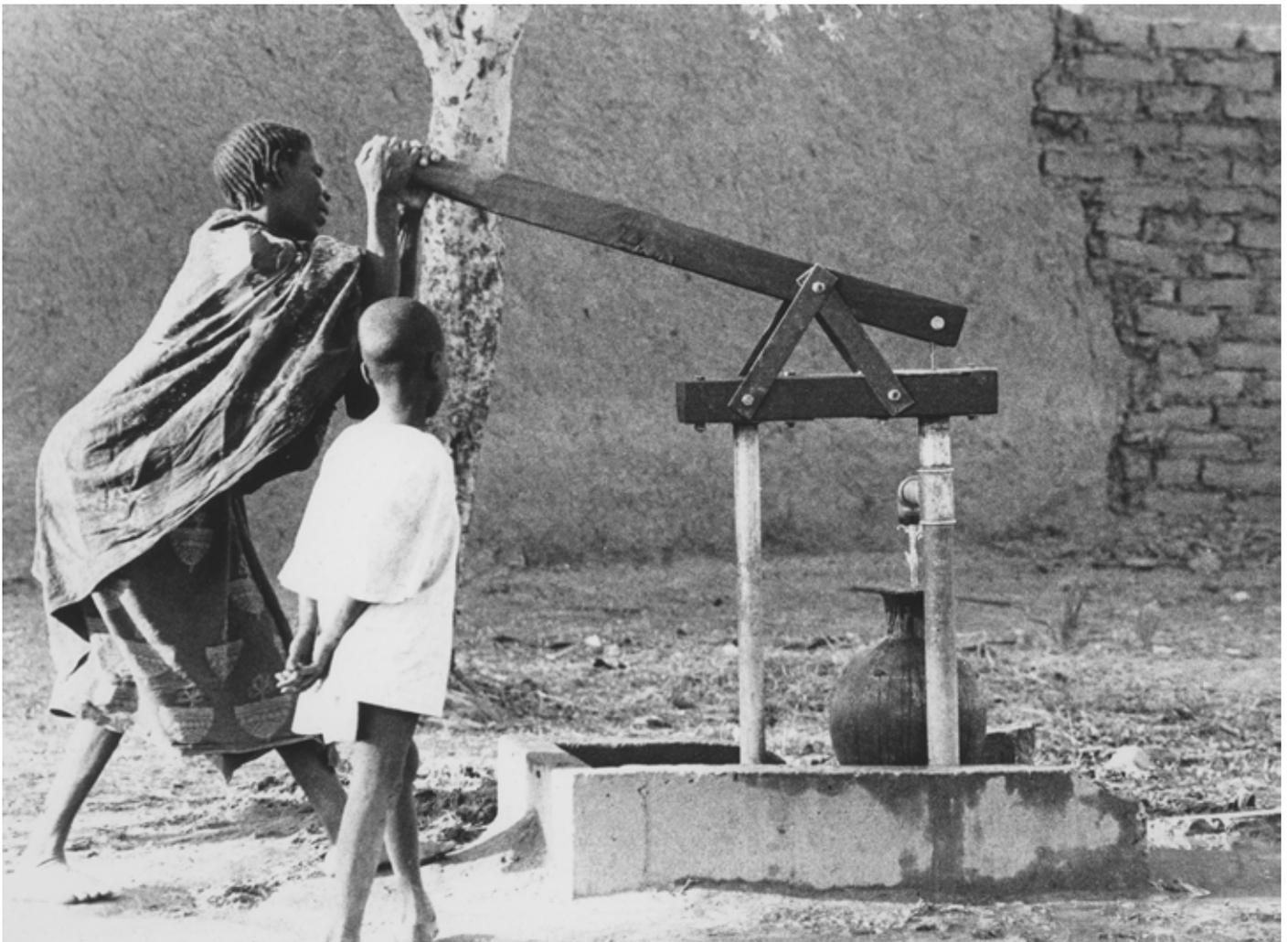
Au milieu des années 80, les enquêtes révèlent des taux d'ouvrages hors service oscillant entre 30 et 50 %. Plus de cinquante milliards de FCFA d'investissement sont ainsi stérilisés. Les conséquences sont d'autant plus graves pour les usagers que, contrairement au puits, l'accès à l'eau est impossible dès que l'appareil d'exhaure d'un forage est en panne. L'accroissement des parcs hydrauliques impose désormais des remises en cause douloureuses.

Des charges récurrentes lourdes

Les dotations des budgets publics sont très insuffisantes pour permettre l'entretien du parc hydraulique. Face aux contraintes financières, le mythe de l'eau gratuite pour tous s'effondre. La participation des usagers s'impose comme une nécessité sans qu'elle ait été préparée. Le recouvrement des coûts n'est pas assuré.

La faiblesse des institutions nationales en charge de l'eau

La capacité de maîtrise d'œuvre des services est largement débordée par la profusion des financements extérieurs et la multiplication des acteurs de toute nature : sources de financement les plus diverses, bureaux d'études, entreprises, ONG, chacun intervenant avec ses procédures spécifiques, ses normes techniques, et ses conditions et exigences particulières. En 1984, au Sénégal, entre 10 et 15 sources de financement intervenaient simultanément sur des programmes d'hydraulique rurale dans chacune des régions du pays.



Ndjaména - Pompe expérimentale USAID utilisée pour l'équipement de petits forages villageois - Tchad, 1976.

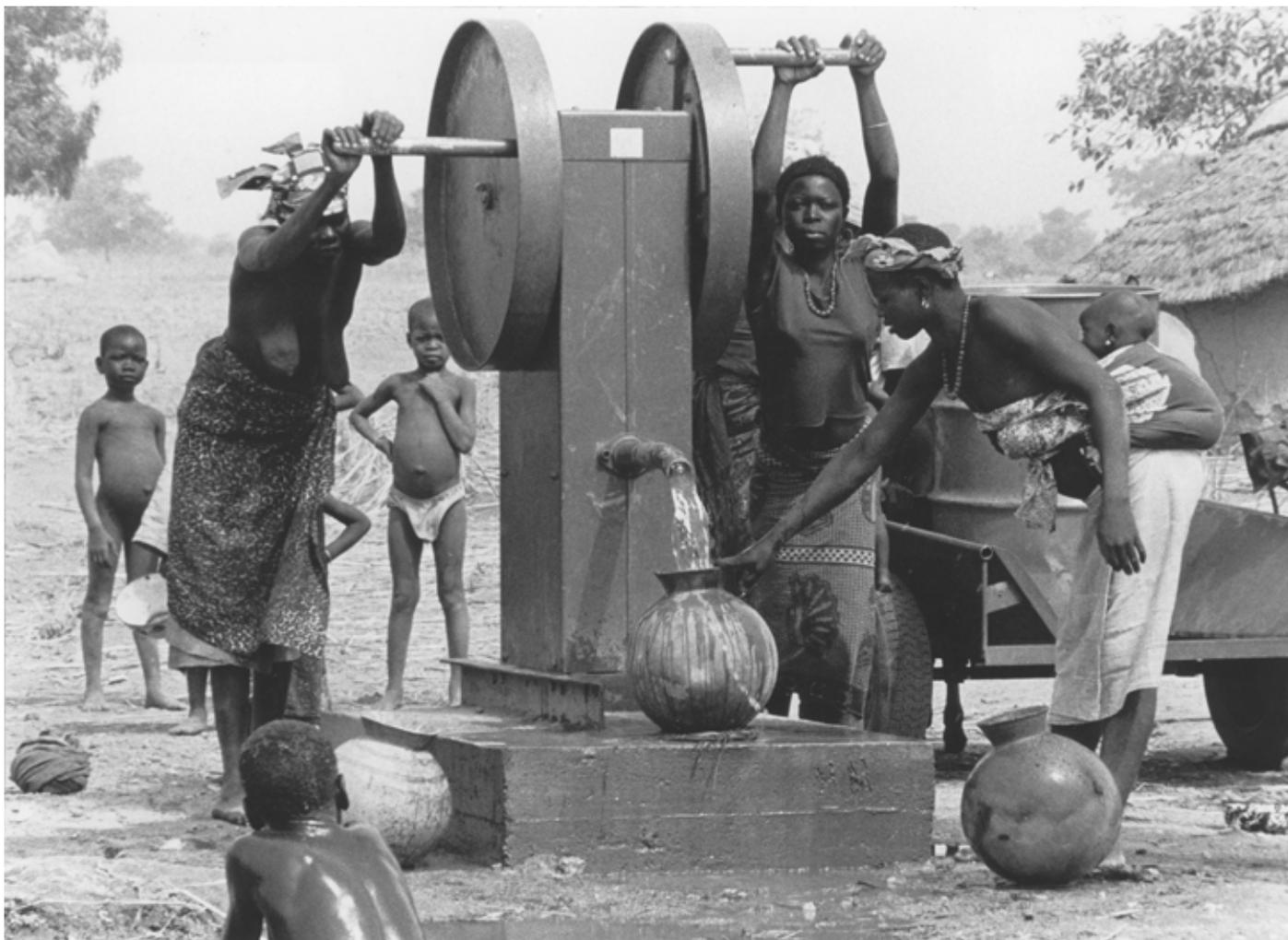
À la limite, dans de nombreux cas, les Services nationaux perdent peu à peu la maîtrise du secteur et laissent les agences de développement se substituer à eux tout au long du processus de décision et d'exécution des projets. À vrai dire, ils s'en accommodent fort bien dans un contexte qui les valorise dans les sphères du pouvoir et qui leur assure de confortables moyens de fonctionnement.

Mais pour ces mêmes raisons, on assiste à la multiplication des institutions nationales menant des programmes de travaux. Bien que mal préparés à cette tâche, et parfois sans disposer de la compétence technique voulue, les services de l'agriculture, de l'éducation nationale, de l'action sociale, par exemple, veulent chacun assurer la maîtrise d'œuvre des programmes dont ils bénéficient, sans avoir la compétence technique.

La faiblesse des politiques nationales

Peu d'États ont su définir une véritable stratégie sectorielle susceptible de créer un environnement propice aux programmes d'investissement. Dans la plupart d'entre eux la planification se réduit à des listes de projets sans recherche de cohérence avec les ressources financières mobilisables, avec la priorité des besoins et avec une politique nationale d'aménagement du territoire.

Il a fallu l'action concertée des bailleurs de fonds dans le cadre de la Décennie de l'Eau pour que la planification commence à conduire à l'expression de politique sectorielle plus globale se préoccupant notamment des facteurs financiers, institutionnels, humains.



Kostenga - Pompe Briau « Africa » en expérimentation - Haute-Volta, 1975

Particulièrement lourdes, ces pompes se sont révélées peu robustes en usage collectif

La préservation de la ressource

Les aquifères sont de plus en plus sollicités pour l'alimentation en eau urbaine et rurale par des programmes de plusieurs milliers de forages qui ne sont plus sans incidence sur leurs réserves. On observe dès à présent des pompages excédant très largement la ressource renouvelable et la mettant en péril dans les zones sensibles telles que celle du Cap-Vert au Sénégal.

La priorité donnée aux travaux a relégué au second plan le souci de bonne gestion des nappes.

L'insuffisante coordination des aides

En l'absence d'interlocuteurs nationaux pouvant guider leurs interventions, les bailleurs de fonds ne purent se coordonner. Il en est résulté une juxtaposition mal ordonnée, voire le recouvrement des programmes des travaux et des opérateurs, et une hétérogénéité des matériels installés. La prolifération des types de pompes n'a pas contribué à faciliter la maintenance.

Les tentatives faites pour amorcer un processus de coordination n'ont guère abouti lorsqu'elles n'étaient pas sous-tendues par une volonté nationale.

L'insuffisante valorisation des ressources humaines

Elle a certainement constitué une des contraintes fortes du secteur. La formation des hommes n'a pas été à la hauteur des flux financiers. Ceci explique les faiblesses constatées au niveau des services centraux pour la conception des politiques et le montage des projets, au niveau des services régionaux pour le suivi de l'exécution, au niveau des collectivités locales pour la maintenance.

De plus l'organisation cloisonnée des services ne permet pas de constituer les équipes pluridisciplinaires qu'appelle désormais le montage des projets dans leurs aspects technique, économique, social, sanitaire, financier, éducatif.



Une des premières pompes Vergnet, Tchad 1976

Les laissés pour compte du développement du secteur

L'alimentation en eau des gros bourgs ruraux de 2 000 à 5 000 habitants et des quartiers périphériques des grandes agglomérations n'a jamais véritablement été abordée. Ne relevant pas des techniques et approches de l'hydraulique urbaine où la gestion est assurée par une société distributrice, ils sont, dans le meilleur des cas, assimilés à des villages et bénéficient de quelques forages à pompes manuelles inadaptées aux besoins.

L'exclusion des usagers

La part respective des facteurs défavorables à l'expansion maîtrisée du secteur connaît des appréciations diverses selon la sensibilité des observateurs et les caractéristiques propres de chaque pays. Mais tous s'accordent pour voir dans l'exclusion de l'utilisateur un facteur important de la dégradation de la situation.

Les points d'eau modernes ont été plaqués sur une société rurale mal préparée à les prendre en charge. Combien de villageois ont cru qu'ils allaient bénéficier d'un forage à l'arrivée d'une sondeuse, ... et quelle déception quand elle repartait après avoir foré un piézomètre. Les bailleurs de fonds, réunis à Interlaken en 1987, faisaient déjà de la levée de ces contraintes la priorité de leurs actions. Peu de progrès significatifs ont été enregistrés depuis.



CHAPITRE II

LES ACQUIS

Parfois évanouis

Par un classique mouvement pendulaire l'émergence de problèmes nouveaux consécutifs à l'expansion très rapide du secteur a provoqué une réaction de retrait chez nombre de bailleurs de fonds et a eu pour effet d'en refouler les acquis à l'arrière-plan. Paradoxalement on peut considérer que d'une certaine façon ils traduisent la place centrale désormais occupée par l'hydraulique rurale dans les préoccupations des gouvernants et des bailleurs de fonds.

Une analyse plus fine révèle pourtant des acquis irréversibles sur lesquels peut se fonder une nouvelle stratégie de développement.

Une expérience profonde

Le premier acquis est peut-être le plus important : savoir que l'on peut lutter et vaincre la sécheresse. La leçon des pièges constitués par les points d'eau n'a pas été oubliée. Un gros effort a été fait sur les voies de dégagement pour désenclaver les terroirs. Lorsque survient la seconde sécheresse, en 1983, plus violente que la première, les gens se sont accoutumés à ne plus baisser les bras.

Des initiatives originales éclosent un peu partout. Au Niger, le gouvernement lance les cultures de contre saison, destinées à produire un peu plus, et à fixer des nomades désormais privés d'outil de travail. Au Sénégal, avec des moyens très simples, quelques scrapers et le génie, le fleuve est barré pour éviter que l'eau ne s'échappe à la mer et que le lac de Guiers ne s'assèche.

En novembre 1983, après deux saisons de pluies insuffisantes, le gouvernement du Cameroun lance en un mois sur ses fonds propres le Programme d'Urgence exécuté admirablement par le Fonader, sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture, bientôt renforcé par un second programme du Ministère des Mines de 1 000 forages.

Partout, les programmes se développent pour obtenir une couverture des besoins digne des objectifs de la Décennie de l'Eau Potable.

Des opérateurs confirmés

En devenant un secteur économique à part entière, l'hydraulique rurale a suscité le dynamisme des opérateurs privés et favorisé l'innovation. La longue chaîne des tâches allant de la conception à l'exécution et au contrôle des ouvrages, puis à leur entretien a imposé des spécialisations et fait naître des métiers nouveaux et nombreux. Les exigences des sources de financement ont contribué à multiplier et à diversifier exagérément les méthodes. Les opérateurs sont devenus des professionnels spécialisés. Mais professionnalisme et compétence n'ont pas que des avantages. Devant la multiplicité des spécialisations, les services nationaux éprouvent les plus grandes difficultés à les intégrer dans un cadre de travail.

Des acquis scientifiques et techniques

Un effort important a été entrepris en vue d'améliorer la connaissance des ressources en eau, de stocker et traiter les données, et de concevoir des outils de gestion.

Les décideurs nationaux disposent maintenant d'une panoplie complète d'outils d'aide à la décision et à la gestion issus des plus récentes avancées technologiques pour asseoir une politique rationnelle de l'eau dans leur pays. Il n'est pas dans l'objet de ce document de procéder à leur recensement exhaustif. Ce sujet mérite à lui seul un ouvrage.

- Le taux d'échec des forages est pratiquement maîtrisé en 1990.
- Les pompes sont repensées, reconstruites, pour éliminer les pannes inacceptables
- Le solaire explose de 80 à 88, et passe du stade expérimental à l'opérationnel avec les grands programmes.
- L'informatique s'installe dans les services. Partout, les bases de données de gestion des connaissances sur les points d'eau se mettent en place, d'abord à l'initiative du FAC, puis du PNUD, et des Coopérations bilatérales.
- La modélisation mathématique des grands aquifères sédimentaires et des écoulements de surface, la cartographie hydrogéologique par ordinateur, tous les outils deviennent disponibles.
- Les stations limnimétriques à mesures automatiques et télétransmission par satellite entrent en service l'une après l'autre,

Mais, si la technique a été maîtrisée, la preuve de la maîtrise de la gestion reste à faire, car l'appropriation des points d'eau n'est pas faite

Jean-Pierre Lahaye

Au début de l'hydraulique villageoise, les projets étaient faits de 90 % de hardware et 10 % de software. Aujourd'hui, il faut 70 % de hard et 30 % de soft.

Des réalisations

Près de 70 000 forages et puits ont été réalisés en Afrique sub-saharienne entre 1968 et 1990, dont 8 000 avec le concours de la France. L'alimentation en eau des villages a été indéniablement améliorée par des points d'eau modernes, permanents et fondamentalement salubres.

La seconde vague de sécheresse des années 80, particulièrement sévère en 1983, a été bien mieux supportée par le cheptel : l'aménagement de pistes à bétail a facilité les migrations du troupeau. De nouveaux points d'eau ont été ouverts dans des zones jusqu'alors inexploitées.

On peut considérer que les moyens mis en œuvre ont répondu à la situation d'urgence qui prévalait. Soit au total plus de 92 000 points d'eau modernes disponibles à ce jour, réalisés en moins de vingt ans, pour une population rurale totale de plus de 50 millions de personnes. Le budget, près de 400 milliards de FCFA le démontre, il s'est agi d'une véritable entreprise industrielle.

Tel quel, le tableau ne suffit pas à représenter la réalité. Les besoins ne sont pas homogènes, il faut pondérer selon les pays et les objectifs assignés. Un objectif de 40 litres par personne et par jour — tel qu'il est retenu au Mali — conduit à un taux de satisfaction de 37,5 %, qui grimpe à 75 % si l'objectif redescend à 20 l/j, norme communément retenue à l'issue de la Décennie. Au Sénégal, le ratio moyen de 24 litres par jour est par personne est obtenu par pondération de besoins unitaires très variables d'une région à l'autre, de 15 à 40 l/j.

Le taux de panne varie d'un pays à l'autre et réduit les réalisations dès que l'on veut mesurer le résultat plus que l'effort. En Côte d'Ivoire, 650 forages sur plus de 13 000 ont été abandonnés à la fin de la Décennie. La taille de l'investissement n'est donc pas le seul indicateur.



Eolienne Aermotor Tchad 1976.

Tableau II-I — Pourcentage de population desservie
d'après OMS-Banque Mondiale.

Pays	Pourcentage de la population desservie à distance raisonnable			% non desservi
	1970	1975	1980	1980
Bénin	19	34	35	65
Cap-Vert		—	10	90
Côte d'Ivoire	29	40	60	40
Gambie	3	7	10	90
Ghana	14	35	40	60
Burkina Faso	25	25	30	70
Mali	—	—	20	80
Mauritanie	—	—	10	90
Niger	16	27	30	70
Sénégal	74	75	75	25
Tchad	22	26	28	72
Togo	5	16	20	80

Les points d'eau ne sont pas limités aux points d'eau modernes, forages et puits : les puits traditionnels restent très importants, et n'ont pas été abandonnés. Au Burkina Faso, 13 700 points d'eau modernes sont en activité, sur 20 000 puits et forages modernes, permanents ou non. Il faut aussi compter environ 400 retenues permanentes, 2 600 temporaires, et, surtout, les puits traditionnels, 75 000 d'après les derniers recensements, soit, en pratique, plus que les réalisations de la Décennie pour l'ensemble des États.

Les points d'eau n'ont pas tous le même impact. Les puits permettent d'extraire plus d'eau, en principe moins sûr pour la santé, que les forages. Un forage mécanisé extrait naturellement bien davantage : les 500 forages mécanisés et les 400 puits motorisés du Sénégal ont, chacun, un autre poids qu'un simple puits traditionnel. Et cela d'autant plus que le pastoralisme est fondamental dans ce pays.

Les 88 milliards d'équipements du Cameroun de la table prennent en compte la totalité des équipements, aménagements de sources, retenues, petites adductions, et pas seulement les puits et forages.

Les sources n'existent pas partout, mais, lorsque leur aménagement est possible, elles constituent un précieux patrimoine. Les mares sont, dans de nombreux pays, le relais ancestral du pastoralisme. Notons-le ici, quelques pays seulement ont une politique d'hydraulique pastorale volontariste.

La mesure instantanée n'est pas révélatrice de l'évolution. : En 1990, en Côte d'Ivoire, aucun forage n'est programmé, car l'urgent est de réhabiliter, tandis que le Niger est en train d'exécuter 2 248 points d'eau modernes nouveaux.

Enfin, satisfaire les seuls besoins des hommes a été la priorité dictée par l'urgence. Abreuver le bétail, pourvu que son nombre reste raisonnable, et, si possible, entreprendre le maraîchage est une priorité du développement. Certains pays ne dissocient d'ailleurs pas l'hydraulique villageoise de l'hydraulique pastorale.

Le mythe de Sisyphe est le véritable symbole du défi accepté : la population africaine croît à un des rythmes les plus élevés mondialement, plus de 2 % par an, qui implique un doublement de la population en trente ans, et signifie une érosion continue des investissements productifs, même si, et ce n'est pas encore le cas, l'entretien est exemplaire.

Tableau II-II — Les réalisations en points d'eau modernes

Pays	1972		1980		1990		Stat. par point d'eau moderne			
	Puits	For.	Puits	For.	Puits	For.	pop. rurale	base en l/j	% stat.	en MFCFA
Bénin	305		600		733	1996	2,4	20	25	8.820
Burkina	3500		3049	1500	13225	6829	7,5	25	70	41.695
Cameroun	1500		2000		4707	2355	7,0	25	40	87.883
Centrafrique						1000	1,9	15	20	5.000
Gabon					404	988	0,8	25	50	6.000
Guinée							767	80		
Côte d'Ivoire			2959	4308	3835	9525	6,8	15-20	80	42.000
Mali				1318	1061	12670	6,8	20	75	56 378
Mauritanie	609		1000		1500	527	1,1	20	40	20 000
Niger			5200	161	9200	6300	6,5	20	75	40 000
Sénégal		63			7900	1700	4,2	24	60	50 000
Tchad					1050	1570	4,1	15	45	10 000
Togo	220	280		...	2770	2,2	20	40	12.000	
total	5914	283	15088	7691	43000	49000	51,1	20	60	380 000

Baisser les bras n'est pas la solution. Pour continuer l'action, encore faut-il soutenir la volonté de ceux qui agissent.

Une prise de conscience générale

Les agences de développement n'ont véritablement pris la mesure du problème de l'alimentation en eau des populations rurales que depuis moins de vingt ans et ne s'y sont massivement engagées qu'avec le lancement de la Décennie de l'Eau. De leur côté, les États ont beaucoup mieux perçu les besoins à satisfaire que la nécessité de construire une politique sectorielle. La place faite aux institutions nationales en charge de l'eau par les gouvernements et leurs allocations financières dans la planification montre que le secteur de l'hydraulique est désormais considéré comme une composante majeure du développement rural.

Ce mouvement dépasse largement les limites du Sahel. Les vigoureux programmes d'équipement lancés par certains pays tropicaux humides — Gabon, Cameroun, Congo — montrent qu'ils ne sont pas eux-mêmes exonérés de ce type de problèmes d'alimentation en eau potable.

L'évolution des institutions

Celle-ci est révélatrice, dans les États, de cette nouvelle préoccupation. La majorité des pays africains a créé des services, et, pour certains, des départements ministériels, exclusivement chargés de la connaissance de la ressource en eau, de sa gestion, et de sa mobilisation. En rupture avec la tradition qui en faisait des bureaux annexes d'administrations principalement orientées vers la desserte des villes ou vers les travaux publics.

Ils n'ont pas toujours le personnel nécessaire et l'efficacité souhaitée. Ils constituent néanmoins des interlocuteurs sur lesquels peuvent s'appuyer leurs partenaires extérieurs.

Une approche régionale

La sécheresse a provoqué la création de nouveaux organismes interétats chargés de fournir des outils et de mettre en place des services communs, notamment le CILLS et Agrhymet, et renforcé, parfois passagèrement, les organismes existants comme le CIEH ou encore l'EIER. La confrontation des expériences a conduit un certain nombre d'États africains à élaborer des politiques communes et des programmes conjoints en hydraulique.

Le Conseil de L'Entente réalise dans ses États Membres 3 000 forages sur aide française. Cet important programme sert de support à une réflexion pratique sur la gestion communautaire des forages et la valorisation agricole des eaux,

La Commission économique des États de l'Afrique de l'Ouest CEAO conduit des projets sur l'amélioration des conditions d'exploitation des points d'eau, et sur la politique à long terme. De même la BAD ou la BDEAC renforcent leur action contre la sécheresse. Les bailleurs de fonds, très nombreux à intervenir en faveur des États du Sahel sont obligés progressivement de coordonner leurs actions et leurs méthodes.

Une évolution des mentalités

L'eau n'est plus gratuite. Sa mobilisation doit être payée par les usagers.

Ce message est devenu le credo des gouvernements à l'instigation des bailleurs de fonds. Il s'ancre effectivement dans les esprits des utilisateurs comme l'atteste l'amélioration indéniable de la qualité du fonctionnement des points d'eau dans les régions ayant bénéficié de campagnes d'animation. À cet égard, un grand pas a été franchi en moins de dix ans.

Mais le revers de la médaille a été la destruction méthodique des services de l'eau fournissant gratuitement l'eau aux villageois et à leur troupeau. Les programmes d'actions étaient maintenus par ces services, il a fallu engager des programmes dits de réhabilitation, devenus la nouvelle activité des contractants.

Ne l'oublions pas, en France, il ya quelques dizaines d'années, l'eau était un bien gratuit pour nombre d'usagers, et elle le reste souvent en 1990. À un point tel que le gouvernement français vient de rappeler la nécessité pour les usagers de payer l'eau. Certes la détermination des responsables nationaux est davantage due à la pression des contraintes budgétaires qu'à un souci de promotion de communautés villageoises responsables. D'où le risque de transfert trop rapide des aménagements à des collectivités insuffisamment préparées à les recevoir en l'absence de tout statut juridique d'appropriation des ouvrages concernés.

Une participation communautaire

La participation communautaire s'est fortement affirmée au cours de la décennie autour du thème de la gestion des points d'eau. Dès 1982, le Sénégal avait érigé des comités de forages. La Société de Développement du Niger, organisation politique fondamentale du pays, a réalisé avec l'hydraulique ses premières expériences d'action concrète.

Le Burkina Faso a expérimenté parmi les premiers la participation et l'animation au Yatenga Comoé. Depuis, les formules d'organisation, variables selon les États, se sont généralisées. La progressivité de l'expérience a permis son succès. À l'occasion des nouveaux programmes de travaux de l'aide française le champ de participation de la collectivité villageoise a été élargi à la conception et au choix des ouvrages, et la valorisation du point d'eau.

Une meilleure adaptation des ouvrages

L'urgent a conduit à faire des forages en masse. Lorsque le problème de maintenance est devenu aigu, les responsables se sont interrogés sur le bien-fondé d'une politique d'aménagement mono-équipement, et le puits est revenu à la fois dans les programmes et dans les mentalités. De gros avantages lui sont attachés : des débits instantanés plus importants que ceux d'une pompe manuelle, une expérience plus ancienne, et une disponibilité persistant en cas de panne des pompes.

Le début d'une gestion effective

Encore timides, les efforts d'une gestion des investissements s'organisent.

Une prise de conscience des problèmes sanitaires

Les forages ont été mis sur le devant de la scène, au début des années 70, parcequ'ils étaient censés fournir une eau limpide et pure. Mais on a vite compris que l'important est le mode de puisage et surtout de transport, non la qualité originelle de l'eau. Le bilan sur ce plan est sévère. À la fin de la Décennie, on a fourni de l'eau en quantité à l'ensemble des pays africains, mais la qualité n'a pas suivi .

L'eau bue dans le monde rural en Afrique est rarement potable. Pourquoi ? Parce que si l'eau souterraine est le plus souvent pure, elle est recueillie dans des récipients pas toujours lavés avant usage. Ensuite le transport fait proliférer les germes.

Néanmoins, globalement, la mortalité infantile a régressé. Les naissances nombreuses d'autrefois avaient pour but de sauvegarder la famille, mais avec les progrès sanitaires les familles sont devenues nombreuses.

Enfin, bien que cela ne paraisse pas encore évident, au vu des efforts à réaliser, les populations, autrefois négligées, deviennent, par la force des choses, puisqu'elles doivent contribuer, des partenaires à part entière au moment de la conception des programmes.

Paul-Marc Henry, Président du Centre de Développement de l'OCDE après avoir dirigé le PNUD, un des rares hommes à avoir eu une vision juste et humaine du monde rural de la planète, écrit dans son livre « *La force des faibles* » : « *Il s'agissait alors de passer un contrat de génération pour vaincre la distance, maîtriser l'eau, éduquer l'homme* ».

Au marché de Niamey, en 1981, une conversation entre amis entamée sur le développement est devenue spontanément une conférence improvisée suivie par une vingtaine de personnes passionnées par sa vision de l'homme et du développement, passants, commerçants ou clients du marché. Paul-Marc marchait en développant sa pensée et tous écoutaient, souriants, heureux, éberlués de voir de si près un grand penseur de la planète.

Pouvait-on éviter les programmes massifs ?

À peine le traumatisme de la sécheresse compris, l'OMS constate que plus de 80 % de la population rurale des pays d'Afrique ne dispose pas d'eau en quantité suffisante, moins de 15 % étant desservie à distance raisonnable. (Tableau II-1).

Le premier acquis est la capacité de réaliser de très gros programmes d'hydraulique villageoise. Programmer 250 puis 1 000 forages d'un coup, les réaliser au rythme d'un par jour et par sondeuse, au lieu de mettre des mois à faire un puits, être capable de mobiliser le financement de 250 forages et sept foreuses en un mois, comme nous l'avons fait au Cameroun Nord en 1983 avec le Fonader, tel est le premier acquis.

Mais le taux de panne a incité à la critique, certains ont dit qu'il fallait tout arrêter car les Agences de coopération et les organismes internationaux manquaient de fonds après la chute du Mur de Berlin. Alors au lieu de faire des forages ont été entrepris, beaucoup à l'initiative de la Banque Mondiale, des projets de réhabilitation.

Pouvait-on faire autrement ?



CHAPITRE III

LES RESSOURCES

Ce n'est pas le puits qui est trop profond, mais c'est la corde qui est trop courte.

Proverbe chinois.

Les Afriques

« Dans notre pays il pleut neuf mois sur douze, de septembre à mi-juin. Une petite saison de sécheresse se produit en décembre-janvier, deux à trois semaines. La pluviométrie est très élevée, malheureusement je ne connais pas le chiffre par coeur. L'objectif de l'hydraulique rurale est de donner de l'eau potable à des populations principalement regroupées en villages. Tout le monde est éparpillé ça et là sur toutes les collines du pays. Chaque famille a une colline, et une source au pied de la colline. C'est le pays aux mille collines. »

Lors du premier séminaire d'hydraulique villageoise de 1981, au Cefigre, les participants sahétiens, abasourdis par l'abondance d'eau qui s'abattait sur eux, écarquillaient les yeux pour s'assurer que l'orateur burundais exposant les problèmes de l'eau de son pays était bien un africain.

L'Afrique est faite de multiples facettes. Ses ressources, ses hommes, ses paysages, les méthodes de mobilisation de l'eau sont infiniment variés. Au Kenya, 85 % du territoire est aride. En saison des pluies, l'érosion est telle qu'un petit barrage mal conçu est inutilisable en deux ans. Au Congo, les étiages des plus petites rivières mesurées régulièrement dépassent couramment la crue de la Seine à Paris. Dans les plateaux Batékés, gorgés d'eau en profondeur, l'eau est difficilement accessible. La Bénoué ne ressemble pas au Sénégal, le Logone et le Chari ne sont ni le Niger, ni le Congo. Le lac Tchad de 1990 ne ressemble d'ailleurs plus au lac Tchad de 1950, pas plus que le fleuve Niger de Guinée ne ressemble à celui du Niger.

Si la nature, la végétation et l'habitat diffèrent autant d'un pays à l'autre, au point de permettre de différencier, sur photo, un paysage du Mali d'un paysage du Togo, on peut plus simplement se demander si Bilma, Agadès, Tahoua, ou Dosso se ressemblent davantage que la Catalogne et le Tyrol, guère plus éloignés.

Que dire des différences entre un bamoun, un bambara, un baoulé, un bacongo, un mossi, un sarakolé, ou encore entre deux haoussas, l'un de Niamey l'autre de Kano, deux Peuls de Forecariah et de Makary, ou même deux doualas de Douala. Rien de ce que l'on peut dire en Afrique ne peut être généralisé hâtivement. Particulièrement en hydraulique.

L'unité de distance africaine est mille kilomètres, l'unité des éleveurs transhumant du Nigeria au Tchad, du Niger à la Centrafrique et au Soudan. À deux unités de distance, les solutions ne sont plus les mêmes, y compris dans un même état.

Les ressources et leur mise en valeur sont aussi variées que les hommes et les sols. Au Burkina Faso, des centaines de petits barrages fournissaient une ressource utilisable de plus de 100 millions de mètres cubes d'eau par an depuis plus de vingt ans. Au Ghana, la politique des puits était déjà abandonnée en 1970. Les forages dans les schistes birrimiens avaient montré la voie, et fait ressortir la nécessité d'une maintenance organisée et réaliste. Au Nord Cameroun, le climat est sahélien, il ne pleut guère en dehors de la saison des pluies de juillet à septembre, et les eaux de surfaces ne sont pas pérennes. Mais, dans les Monts Mandaras, le premier forage productif a été obtenu en 1984. Au Sénégal, la priorité est de maintenir et de développer les forages profonds mécanisés à but multiples : eau potable, bétail, maraîchage. Au Gabon, les 600 forages réalisés pour un petit tiers de la population ont d'abord eu pour objectif la santé, ensuite diminuer la charge représentée par le puisage de l'eau en zone de forêt, enfin permettre aux villageois de se stabiliser. Au Mali les forages ne sont pas faits comme en Guinée, ni comme au Burkina.

Et pourtant, une information importante sur l'eau fait le tour du continent en un mois.

Des ressources mal réparties

L'Afrique n'est pas dépourvue de ressources en eau. Bien au contraire, elle dispose de grands fleuves, et certaines régions, aux latitudes de la Guinée, du Gabon et du Congo, sont bien arrosées. Mais elles sont mal réparties, très variables, et manquent, de ce fait de régularisation.

Tableau III-I — Les ressources renouvelables en zone de socle.

Pays	Ressources renouvelables en terrain cristallin en millions de m³
Bénin	12
Burkina Faso	35
Côte d'Ivoire	6
Ghana	26
Mali	11
Niger	0,5
Sénégal	0,8
Togo	5,6

L'évaluation précise des ressources renouvelables, dont une fraction est exploitable tout au long de l'année, a été réalisée à l'occasion des cartes de planification des ressources en eau de l'Afrique, réalisées sur financement FAC par le CIEH et le BRGM.

Le tableau III-1 montre que les ressources renouvelables en terrain cristallin de huit états représentent environ 80 millions de mètres cubes, très diversement distribués. Il montre surtout à quel point la nature du réservoir jouent un rôle fondamental pour la disponibilité réelle de l'eau : même si la Côte d'Ivoire dispose en milieu cristallin de moins de ressources renouvelables que le Mali, l'eau y est bien plus facile à capter. On ne peut donc se fier aux seules évaluations brutes pour gérer l'eau.

Sur les 5 à 8 millions de km² des pays du Sahel, il pleut, selon les années et compte tenu des incertitudes, de 600 à 2 000 milliards de mètres cubes d'eau, sur lesquels, après évaporation, il reste de 150 à 250 milliards de mètres cubes d'eau efficace, qui mesurent la différence entre la disette et l'abondance. Sur le volume mobilisable, qui finit par ruisseler pour l'essentiel, une faible partie est disponible pour les nappes, desquelles on peut envisager d'extraire 10 à 15 milliards de mètres cubes par an, de façon régulière tout au long de l'année.

Ces ressources brutes et nettes sont sans commune mesure avec les besoins de la centaine de millions de personnes qui vivent là. En tablant sur un besoin de 35 litres d'eau par jour et par personne en zone rurale, c'est-à-dire 10 m³ par an, le besoin total pour deux cents millions de personnes en zone rurale dépasse à peine deux milliards de mètres cubes d'eau par an, à doubler d'ici 2010, et moins de la moitié pour le bétail.

Le volume disponible n'est donc pas en cause, mais sa répartition dans l'espace et le temps.

Les aquifères souterrains sont le grand régulateur des eaux souterraines. Or, à l'exception de quelques grands systèmes sédimentaires, les nappes les plus courantes sont recelées par les couches d'altération surmontant les roches granitiques ou cristallines. Ces aquifères d'altération sont argileux, peu perméables, et ne constituent pas des aquifères continus. Ils jouent le rôle d'un réservoir.

D'autre part, l'Afrique, soumise à l'érosion depuis des milliards d'années, a été décapée sur d'immenses étendues. Les masses sédimentaires n'y jouent donc pas le rôle régulateur des grands aquifères des pays tempérés. Plus le régime est aride, signe d'une absence d'eau et de réservoir, plus les crues sont violentes, rapides et éphémères, plus vite l'eau file vers la mer ou est reprise par évaporation dans les zones endoréiques. La variabilité de la ressource a une première conséquence. Les troupeaux ne peuvent cesser de transhumer depuis la nuit des temps, et, par voie de conséquence, d'occuper des terrains n'appartenant pas à leur propriétaire.

Les lois non écrites, les usages, les coutumes sont donc l'irremplaçable régulateur des relations humaines. La population sédentaire croissant à grande vitesse, les conflits entre éleveurs et agriculteurs ne cesseront pas de s'aggraver.



El Kelani - Puits traditionnel avec exhaure par traction animale à 60 m de profondeur - Tchad, 1976

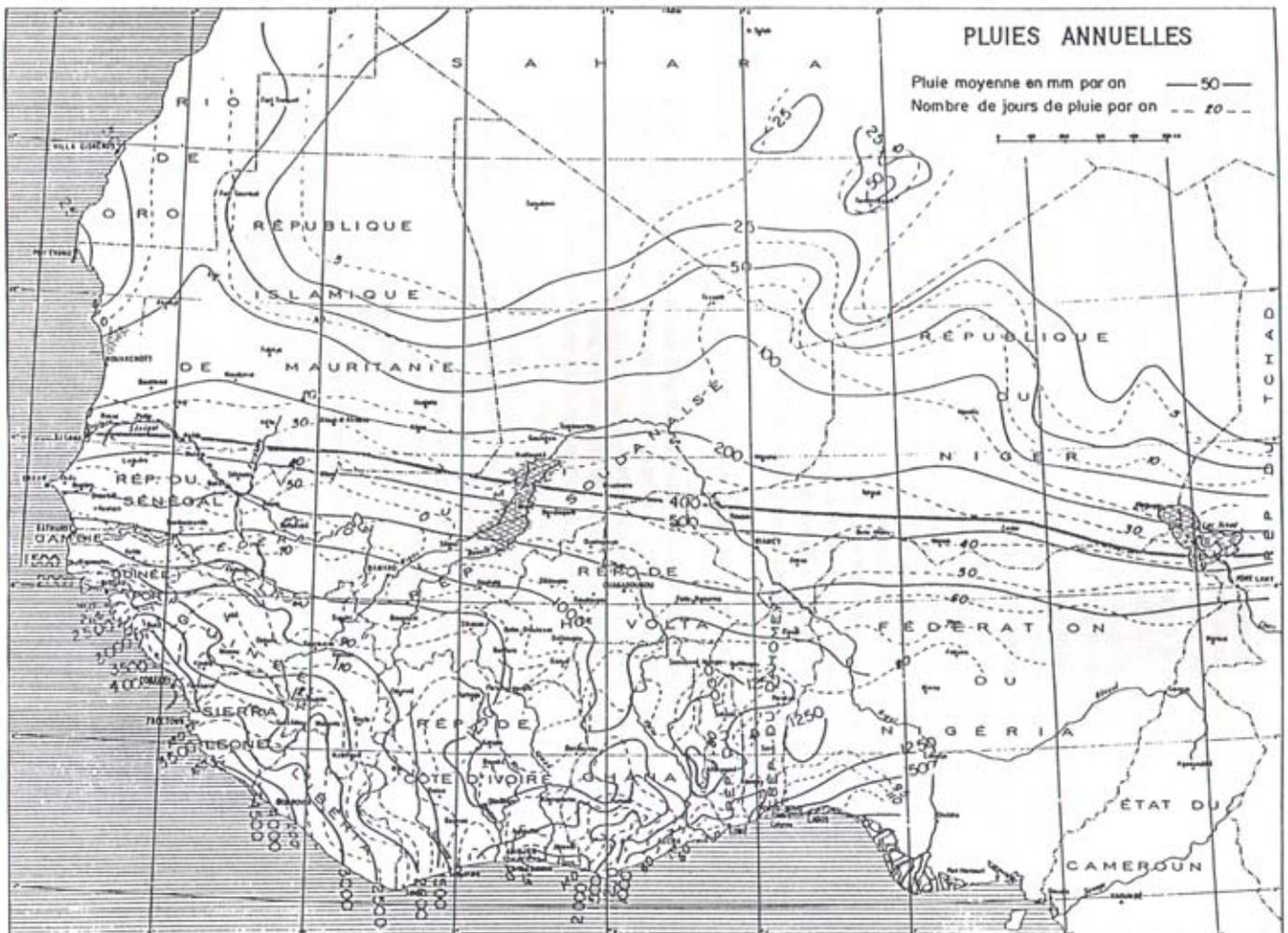


Figure 3-1 — Carte des pluies annuelles

Aperçu climatique

L'Afrique de l'Ouest est caractérisée par une zonalité climatique présentant toutes les variations depuis le climat désertique sec au Nord jusqu'au climat équatorial chaud et humide au Sud.

Ces variations se traduisent naturellement au niveau de facteurs comme la température, la pluviométrie, l'évapotranspiration ou l'indice d'aridité, de même qu'au niveau de l'hydrographie.

Enfin, du Sud au Nord, on passe progressivement de la forêt dense à la savane, puis à la steppe plus sèche qui règne sous climat sahélien. Les forêts reculent régulièrement par dégradation anthropique ; la savane et la steppe par une combinaison de celle-ci et d'un assèchement climatique.

Les conditions aérologiques

L'Afrique occidentale doit essentiellement ses caractères climatiques aux flux d'alizés boréaux d'une part, et à la mousson atlantique d'origine australe d'autre part, séparés par l'Équateur Météorologique (le FIT : Front Inter-Tropical).

Au Nord de la trace au sol de l'Équateur Météorologique soufflent les alizés :

- l'alizé maritime sur le littoral, du Maroc jusqu'au Libéria au coeur de la saison hivernale (janvier-février), et jusqu'au Nord du Sénégal en période estivale. Cet alizé maritime est frais, humide, mais non-pluvieux, sa structure verticale stratifiée n'autorisant pas l'utilisation du potentiel précipitable, en interdisant le développement des formations nuageuses (cisailées et évaporées dès qu'elles franchissent l'inversion d'Alizé située vers 1 000 mètres). Mais l'humidité contenue dans la strate inférieure est susceptible de se condenser, notamment la nuit (possible brouillard de rayonnement), les basses couches étant préalablement rafraîchies par le survol des eaux marines issues de la remontée d'eaux profondes à proximité du littoral (upwelling) ;
- l'alizé continental appelé harmattan, souffle sur la majeure partie de l'Afrique septentrionale. Il est d'abord frais et relativement humide (humidité fournie par la Méditerranée) lorsqu'il pénètre sur le continent ; il se réchauffe ensuite rapidement et voit s'accroître fortement son amplitude thermique, notamment journalière, tandis que son déficit de saturation s'accroît considérablement en direction de l'Ouest. Lorsqu'il parvient à proximité du littoral occidental, il s'élève au-dessus de l'alizé maritime (plus frais et donc plus dense), rendant encore plus sèche la strate supérieure de ce flux maritime ; lorsque sa trajectoire est méridienne il rencontre le flux de mousson, et de la même façon s'élève au-dessus d'elle. De plus en plus turbulent, l'harmattan souffle pendant les heures chaudes par bouffées espacées, les mouvements ascendants soulevant des lithométéores, qui vont du simple tourbillon de poussière de faible dimension et de courte durée (« *dust devil* »), jusqu'à la « *tornado sèche* », voire au « *haboob* » (tempête de sable), perturbation semblable (bien que moins étendue) aux lignes de grains, mais ne soulevant que de la poussière. Les particules soulevées les plus fines demeurent en suspension sous forme de brume sèche, concentrée sous le niveau d'Inversion d'Alizé, vers 3 000-3 500 mètres.

Au Sud de la trace au sol de l'Équateur Météorologique souffle la mousson atlantique, qui résulte (par changement de signe de la force géostrophique lors du franchissement de l'Équateur géographique) de la déviation de la strate inférieure de l'alizé austral. De décembre à février le flux de mousson se maintient sur le Sud de l'Afrique occidentale, la forêt prolongeant sur le continent le comportement thermique de l'océan, en rejetant les plus fortes températures sur sa lisière nord, où les dépressions thermiques accueillent la trace au sol de l'Équateur Météorologique. La mousson envahit le continent en période estivale, atteignant sa plus grande extension en juillet-août, notamment dans l'Ouest-saharien où se creuse la dépression thermique du Tanezrouft ; mais elle reste pelliculaire (de plus en plus vers le Nord), son épaisseur maximale étant de l'ordre de 2 000-2 500 mètres. Relativement fraîche en abordant les littoraux, notamment en été boréal sur la basse-côte du Golfe de Guinée (hiver austral), la mousson se réchauffe progressivement, sa continentalisation en direction du Sahara diminuant sa forte humidité initiale.



Le transport de l'eau - Linoghin, Haute-Volta, 1973

Les conditions structurales de la pluviogenèse

L'eau précipitée sur l'Afrique occidentale provient de façon non négligeable de la Méditerranée, ainsi que de multiples réutilisations (l'évaporation suivant immédiatement la précipitation) ; mais l'essentiel du potentiel précipitable est issu de l'Atlantique, et advecté par la mousson. La mise en oeuvre de ce potentiel est fonction de la structure aérologique, trois conditions différentes étant ainsi offertes à la pluviogenèse :

- la structure la plus septentrionale de l'Équateur Météorologique, la structure FIT ou « *Front Intertropical* » est stérilisante à cause des discontinuités brutales d'humidité entre la mousson d'Ouest de basses couches et l'harmattan d'Est qui la surmonte ; les formations nuageuses sont cisailées ou évaporées ; la non-pluviosité est donc de règle en dépit d'un abondant potentiel précipitable. Les conditions stérilisantes sont momentanément annulées lors du passage d'est en ouest d'une ligne de grains, formée de nuages à grand développement vertical de type cumulo-nimbus. Associées à des situations conflictuelles passagères, les précipitations sont brèves, violentes, principalement orageuses, mais relativement peu abondantes ;
- la structure « *centrale* » de l'Équateur Météorologique, la structure Z.I.C. (Zone Intertropicale de Convergence), qui se situe sur le continent dans les couches moyennes, et à l'aplomb de la plus forte épaisseur de mousson, est l'axe de confluence entre la strate supérieure de l'alizé austral, et l'alizé boréal soulevé au-dessus de la mousson ; ces deux flux ramènent vers la Z.I.C. l'humidité évaporée aux dépens du flux de mousson de basses couches. La concentration de l'énergie, venue du Nord comme du Sud, fait de cette structure l'axe de formations nuageuses denses (principalement composées d'altocumulus et d'altostratus) ; les pluies sont abondantes, de caractère continu, peu orageuses dans l'ensemble, mais avec des foyers d'activité plus intense, la Z.I.C. constituant le point d'aboutissement des lignes de grains de la structure F.I.T. ;
- au Sud de la Z.I.C. se rencontre la structure habituelle de l'alizé, caractérisée par sa stratification rigoureuse ; cisaillement du vent et contrastes de caractères rendent cette structure stérilisante ; sa pénétration sur le Sud de l'Afrique occidentale - au coeur de l'été - se traduit par la « *petite saison* » non-pluvieuse estivale sur la basse-côte.

Des pluies, beaucoup plus modestes, peuvent intervenir au cours de la période hivernale. Appelées pluies de « *heug* » au Sénégal, ou « *pluies des mangues* », elles sont associées à la pénétration profonde d'une perturbation d'origine tempérée sur le Sahara. Les conditions qui règnent alors (Hautes pressions Tropicales subsidentes, air à très faible potentiel précipitable, stratification aérologique vigoureuse) limitent fortement les probabilités de pluies, qui sont souvent évaporées avant même d'atteindre le sol.

Estimation des ressources en eau disponibles

Il est difficile de quantifier les ressources en eau disponibles dans les formations cristallines, cristallophyl-liennes et sédimentaires anciennes. Cette quantification suppose en effet que l'on connaisse l'épaisseur des réservoirs aquifères et leurs extensions latérales, ce qui n'est généralement pas le cas. Cependant certains moyens de calcul apportent une aide intéressante.

Considérant des valeurs hypothétiques de porosité utile de 2 à 5 % pour le réservoir capacitif et de 1 à 2 % pour le réservoir de fissures [Engalenc M., 1981] on obtient les estimations suivantes : un kilomètre carré de réservoir capacitif renferme 20 000 à 50 000 m³ par mètre saturé. Une superficie identique de réservoir de fissure n'en recèle que 1 000 à 2 000 m³. Pour une épaisseur saturée de 5 à 15 m, le réservoir d'altérites a une réserve disponible de 100 000 à 750 000 m³/km². La réserve utile du réservoir de fissures de 40 m d'épaisseur est de 4 000 à 80 000 m³/km².

Il est possible de coupler ces estimations à un coefficient de porosité fonction de la profondeur (fermeture progressive des fissures) et à un modèle de répartition des réserves en fonction de la profondeur. On peut aussi procéder à une estimation des valeurs moyennes de l'infiltration efficace en fonction de la nature des terrains affleurants [Bourgeois M., 1980-81].

- 1/4 de Pf sur les argilites et les schistes de toute nature,
- 1/3 de Pf sur les granitoïdes et autres terrains cristallins non schisteux,
- 1/2 de Pf sur les terrains sableux et gréseux non métamorphisés,
- 3/4 de Pf sur les épanchements volcaniques récents.

Avec Pf (Pf = Précipitations efficaces, qui représentent la fraction des précipitations échappant à l'évapotranspiration réelle pour ruisseler directement vers la rivière ou indirectement après avoir transité dans le

terrain, ceci à l'échelle du bassin local. Le calcul de Pf a été effectué par bilan mensuel à partir des précipitations et de l'évaporation potentielle par la formule mensuelle de Turc). Dans le système expert le domaine de pluviométrie est couplé aux données géographiques, géomorphologiques et climatologiques et permet de déduire l'infiltration efficace et d'estimer la recharge. Celle-ci est calculée en fonction de la taille du bassin versant, du domaine de pluviométrie, des cartes d'évapotranspirations, du développement relatif des réservoirs, de la position morphologique, etc.

Estimation de la recharge des aquifères

Estimation de la recharge par la méthode des bilans hydrologiques : on admet qu'il doit exister un équilibre entre les précipitations d'une part et le ruissellement, l'évapotranspiration et l'infiltration d'autre part sous la forme de L'équation :

$$P = R + E + I$$

Avec : P = Précipitation , R = Ruissellement , E = Évapotranspiration réelle, I = Infiltration.

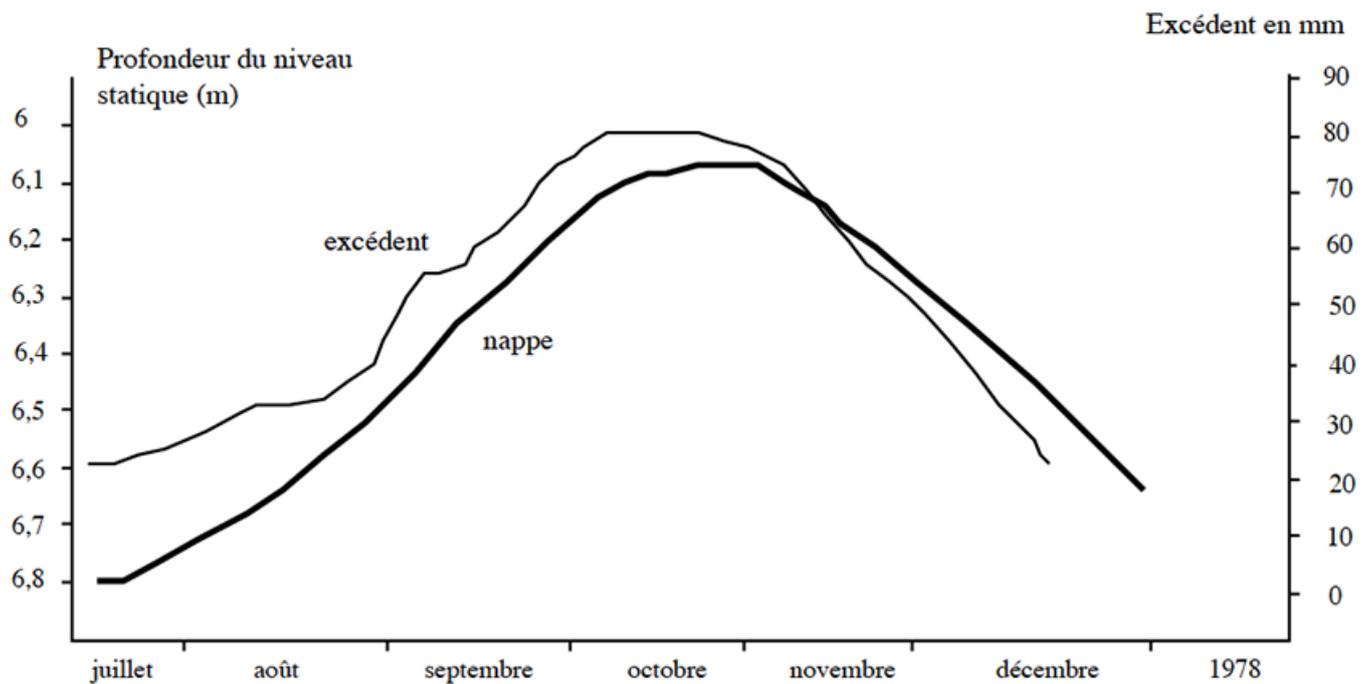


Figure 3-2 — Simulation des fluctuations du niveau piézométrique. Piézomètre du CIEH, nappe des granites, application de la méthode de calcul de bilan décadaire.

Dans ces quatre termes, seule l'infiltration contribue à la recharge des aquifères. L'estimation de l'évapotranspiration est particulièrement délicate et, le plus souvent, est approchée par les formules de Penman, Turc, Coutagne ou Thornthwaite. Ces formules présentent un inconvénient majeur, elles ne tiennent pas compte de la répartition journalière des averses dans le temps, ni la relation intensité - durée de pluie. Différentes approches ont été effectuées dans le cadre d'études antérieures, pour connaître l'ordre de grandeur de la recharge des aquifères.

Dans la région du Centre-est du Burkina Faso, où la pluviométrie moyenne est voisine de 700 mm, un bilan hydrologique du sous bassin de la Volta Blanche a permis [Kaboré, 1975] d'estimer l'infiltration moyenne à 127 mm sur la période 1974-1975 et une porosité utile de la nappe d'arènes intéressée par les fluctuations saisonnières à 1,5 %. Cette valeur relativement faible s'explique dans le cas particulier par la présence de niveaux argileux. Ce calcul de bilan montre qu'environ 18 % de la pluie contribue à l'alimentation des aquifères.

Dans le cadre de la surveillance de la ressource, le CIEH a installé un piézomètre à Ouagadougou. Différentes méthodes de calcul de bilan hydrologique ont été appliquées pour restituer les fluctuations piézométriques. Ces méthodes prennent en compte l'évapotranspiration et la réserve utile du sol .

La meilleure correspondance entre le graphique des excédents décennaires et la piézométrie a été obtenue à Saria (Burkina Faso) et appliquée avec une RFU de 100 mm (Figure 3.2). L'excédent cumulé est de l'ordre de 81 mm pour l'année 1978 dont la pluviométrie annuelle est de 789 mm. Soit une infiltration utile de 10,2 %.

La comparaison entre l'excédent annuel et la remontée de la nappe (1 055 m) conduit à un coefficient d'emmagasinement moyen du milieu fissuré de l'ordre de 7,7 %.

Une approche de l'évaluation de la recharge a été effectuée dans le cadre du projet « *Bilan d'eau* » mis en oeuvre au Burkina Faso à partir de programme de simulation de bilan hydrique (BILJAN) mis au point par le CIEH sur une période végétative pour une culture.

L'équation générale du bilan d'eau est la suivante :

$$\text{PREC} = \text{EVTR} + \text{RS} + \text{DRAIN} + \text{RUIS}$$

Avec : PREC = Précipitation, EVTR = Évapotranspiration réelle, RS= Stock d'eau du sol , DRAIN= Drainage, RUIS= Ruissellement .

La région étudiée par ce modèle a été le bassin versant de la Volta Noire. L'ETP adoptée a été celle de Penmann et que les calculs ont été effectués à un pas de temps journalier. Les résultats de la simulation menée sur la période 1979-1980 montrent que, durant la période mars-avril, il n'y a presque pas d'évapotranspiration et de drainage (infiltration profonde) à cause du manque d'eau en surface. Le début du drainage a lieu en juillet avec un maximum en septembre. Le drainage moyen annuel (infiltration profonde) est de l'ordre de 5,8 % des précipitations. C'est l'ordre de grandeur des valeurs trouvées par Roose, 1981, sur la station des Saria au Burkina Faso.

Ces différentes approches du coefficient de recharge des aquifères de socle évaluent ce paramètre du simple au triple selon les méthodes, soit de 6 % à 18 %. Dans la programmation des opérations hydraulique et notamment des possibilités d'exploitation, il conviendrait de retenir la valeur la plus pessimiste soit une recharge d'environ 6 % de l'apport annuel par les pluies .

Sécheresse ou désertification ?

Dans le courant des années 60, et particulièrement après 1965, la notion de sécheresse et de vulnérabilité de l'Afrique a émergé progressivement. De fait, les pluies dites historiques du début du siècle n'ont plus été observées depuis cette époque.

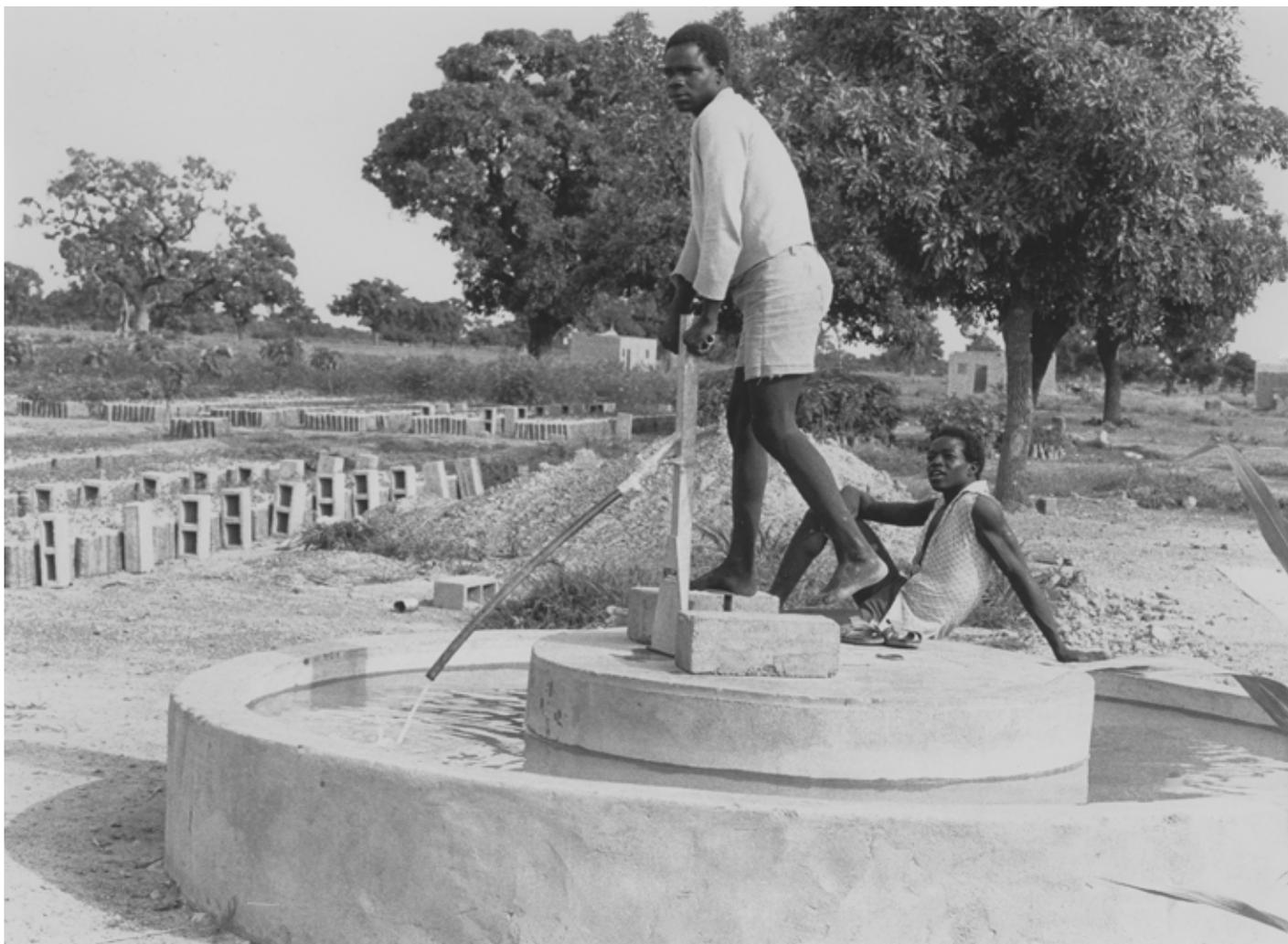
Depuis 1968, et, particulièrement en 1972-1973 et en 1983-1984, la sécheresse n'a cessé de tuer les gens et les animaux. Plus encore par famine que par manque d'eau. Le déficit céréalier était estimé à 1 600 000 tonnes pour les huit pays du CILSS, le double de 1973.

Les déserts reçoivent moins de 100 mm d'eau par an, les zones semi-arides se situent entre 100 et 400 mm : le Sahel - ceinture, rivage, en arabe - est la frontière entre le sud du Sahara et les terres cultivables. Les déserts s'étendent, au point de provoquer une conférence du Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

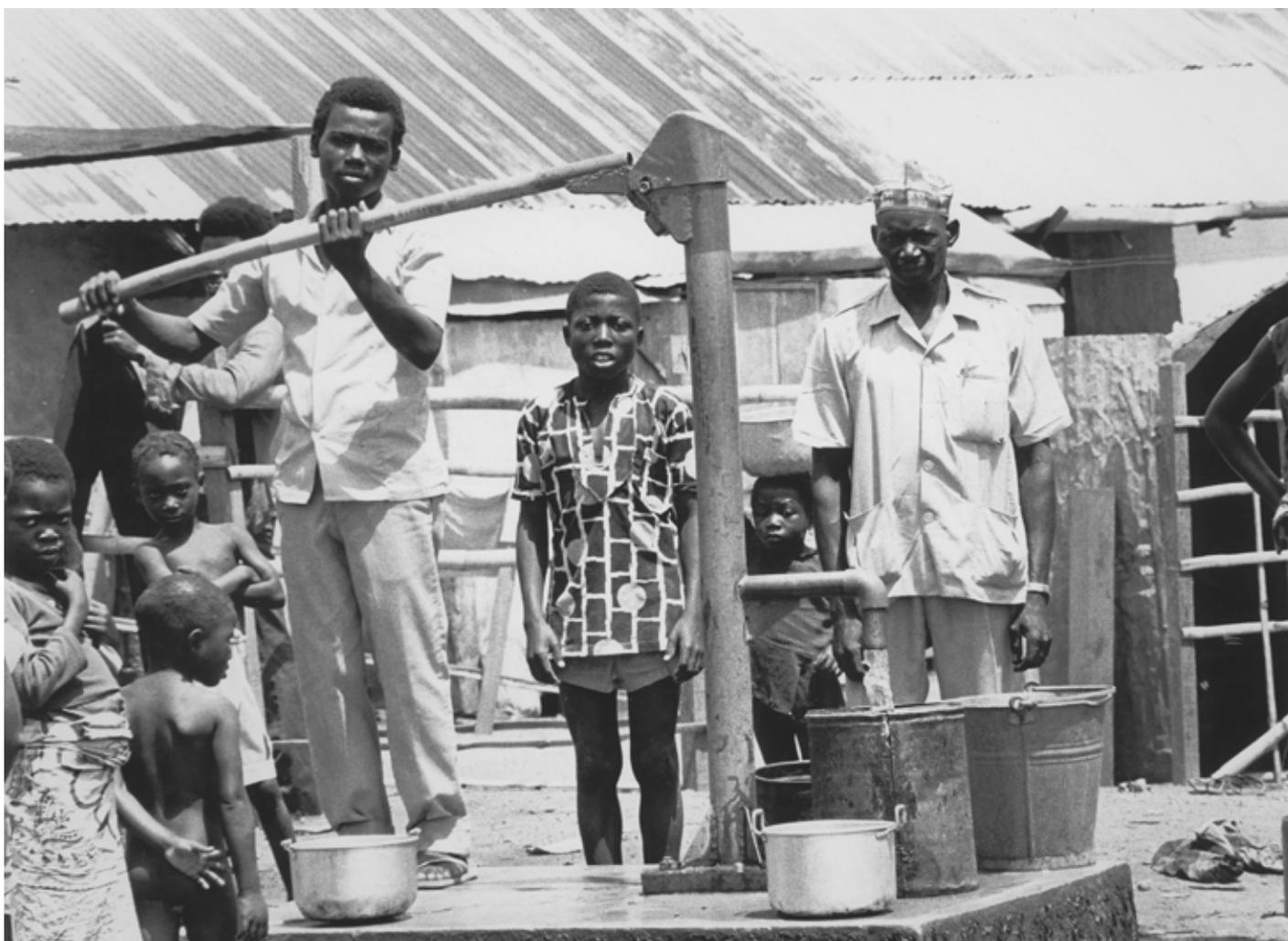
La FAO a tenté d'évaluer la désertification (cf. tableau III-II).

Tableau III-II — La désertification dans le monde en milliers de km²

Régions	Monde	Afrique
désert extrême	7 959	6 178
risque de désertification très élevée	2 929	1 725
risque de désertification élevée	13 425	4 911
risque de désertification modérée	10 951	3 741
Total	35 264	16 655



Une des première pompe Vergnet en service sur un puits - Haute-Volta, 1977



Pompe fabriquée localement - Ghana, 1973

L'Afrique détient donc le redoutable privilège de posséder l'essentiel des superficies désertiques, et la moitié de celles qui vont vers la désertification totale.

La progression est tout aussi inquiétante

Dans le monde, elle est de 5 à 6 millions d'ha, dont une bonne partie en Afrique. Au sud du Sahara, le désert a avancé de 90 à 100 km entre 1960 et 1977. Pendant les années 50, l'isohyète 100 se situait vers la latitude de Nouakchott. Elle est descendue à Saint Louis du Sénégal en 1972, encore bas en 1983.

La sécheresse ne s'est pas toujours manifestée de façon orthodoxe : en 1985, pour la première fois de mémoire d'homme, le Niger s'est arrêté de couler à Niamey. Le précédent triste record de 0,5 m³/s observé en 1974 avait conduit à barrer le fleuve pour garder de quoi empêcher la ville de mourir de soif. Par contre, la crue de 68 du Niger à Tossaye est centenaire, à une époque où la sécheresse commence à poindre au Soudan, en Éthiopie et en Amérique Latine. On peut penser que les débits de pointe, autrefois régularisés par la végétation, auront de plus en plus tendance à être plus élevés que dans le passé.

Comment l'homme se rend-il responsable de la désertification ?

En premier lieu par le déboisement : les arbres, arbustes et broussailles xérophiiles capables de survivre en zone sèche semi-aride, sont brûlés comme combustible. On déboise pour cultiver, mais le sol s'épuise et se désertifie.

Ensuite par surpopulation animale incontrôlée : les troupeaux, trop nombreux ne peuvent transhumer. Ils piétinent les pâturages. On a souvent fait le procès de la chèvre, qui dévore tout. En fait la chèvre est un animal précieux, capable de vivre de rien, qui transforme des épineux inconsommables en excellents rôtis, qui peut perdre le tiers de son poids et le récupérer au gré des circonstances. La chèvre n'est pas en cause. Si elle dévore les arbres et les jeunes pousses, la faute en revient aux mauvais bergers, ou, plus prosaïquement, à l'ignorance des bergers qui ne font pas le lien entre une chèvre dans un arbre ou dans un champ et le désert.

Également par salinisation des sols par l'eau d'irrigation concentrant en surface les sels.

La croissance démographique entraîne surculture et surpâturage, et multiplication du bétail sur des surfaces qui diminuent. La végétation naturelle ne repousse plus ; il y a déboisement par utilisation du bois comme combustible. Le seul moyen actuel de lutte, le reboisement, est insuffisant. Au rythme actuel de 4 millions d'ha par an dans le monde, 40 % des forêts tropicales auront disparu en 2000, et toutes avant la fin du siècle prochain. Les conséquences sont connues : inondations, périodes de sécheresse, érosion, sédimentation des réservoirs, disparition de milliers d'espèces de plantes et d'animaux, altération du cycle de l'eau et diminution de la capacité d'absorption du gaz carbonique par les végétaux.

Si rien n'est fait pour sauver la forêt africaine, d'ici 20 ans les besoins en bois de chauffage dépasseront les disponibilités de 25 %.

S'agit-il d'une sécheresse passagère, qui cédera devant une nouvelle période humide, ou d'une désertification, partiellement liée à l'action de l'homme ? Dès le début de la catastrophe, le CIEH a étudié les variations de pluviométrie et recherché des cycles. Résultats clairs et nets de novembre 1973 : il n'existe aucun cycle. La sécheresse de 1972 est pire que la sécheresse centennale

Deux conclusions inéducables :

- L'Afrique sahélienne va vers la désertification, et l'on doit craindre que l'homme n'en soit le principal sinon le seul responsable.
- Tous les voyageurs observent la disparition progressive de la végétation qu'ils connaissaient, par mitage, dégradation progressive du paysage.

La situation risque-t-elle de s'aggraver ?

Il ne faut pas se bercer des douces illusions procurées par les pluies récentes, mais imaginer ce qui se passerait en cas de nouvelle crise.

Le drame pour les populations touchées par la première sécheresse de 73 a été la difficulté de s'échapper des zones sans eau et sans nourriture. C'est pourquoi l'une des actions prioritaires lancées par le Niger, le Tchad, le Burkina, fut la construction de pistes à bétail et voies de dégagement. Ces pistes ont permis aux populations et au bétail, lors de la seconde sécheresse, de rejoindre plus aisément les cours d'eau.

En 1983, plus de 20 000 forages avaient déjà été creusés et équipés. Malgré cet équipement, la nouvelle attaque de la sécheresse, sur tous les fronts, est très sévère : Mauritanie, Sénégal, Mali, Burkina Faso, Niger, Cameroun, Tchad. Le Sénégal enregistre le record de la période 1903-1983. La période sèche va continuer en 1984.

La sécheresse de 1983 a été plus sévère que celle de 72. L'une et l'autre ont été plus fortes que la sécheresse centenaire. Pourtant elle a été mieux surmontée. Depuis 1972, plus de 90 000 points d'eau de première urgence ont été réalisés, et, malgré le déchet des puits et forages mal entretenus aujourd'hui inutilisés, ils garantissent un minimum de sécurité.

Cette sécurité apparente est, du reste, un véritable problème, dans la mesure où l'on est en droit de se demander si des actions de développement d'envergure peuvent être entreprises autrement que dans l'urgence.

La première conclusion, positive, est que le risque de catastrophe est aujourd'hui atténué. La seconde est que les perspectives à terme sont bien sombres en raison de la dégradation continue de l'environnement. Seule une action en profondeur peut faire évoluer le diagnostic.

L'eau de surface

la quantité, pas la qualité.

Médecins sans frontières 1986 - l'eau dans les camps de personnes déplacées :

L'eau est nécessaire à la vie, et il faut en avoir même si la qualité n'est pas entièrement satisfaisante, en cas de pénurie, la quantité a plus d'importance que la qualité.

Les ressources en eau superficielle, les marigots, les lacs, les mares, les fleuves, sont depuis toujours la première ressource en eau. Ces eaux sont parfois pérennes, mais, le plus souvent, soumises aux fluctuations saisonnières, et la plupart des marigots tarissent pendant la saison sèche. Elles sont toujours chargées en bactéries et parasites, et leur emploi pour la boisson reste problématique. Aussi, pendant les vingt dernières années, elles ont été délaissées au profit des eaux souterraines.

La contamination des eaux de surface a conduit le Gabon, pourtant réputé riche en eau malgré les pénuries qu'il connaît pendant la saison sèche un peu partout, et pas seulement sur les plateaux Batékés, à lancer, à partir de 1976 et plus fortement dès 1981, sur ses fonds propres, une campagne d'hydraulique villageoise de 600 forages, c'est-à-dire 300 000 personnes, près du tiers de sa population totale : il s'agissait d'abord de protéger la santé de la population, et de permettre aux enfants d'échapper aux maladies hydriques qui les déciment.

L'eau des grands fleuves est toujours la ressource ultime en cas de sécheresse. En 1972, mais surtout en 1984, les populations touchées se sont réfugiées, quand il leur en restait la possibilité, vers le Niger, le Sénégal, la Bénoué, l'Oubangui, le Logone et le Chari. En 1984, le lac Tchad s'était tellement éloigné de ses rives habituelles, pourtant bien incertaines, que l'on n'y faisait plus référence, le jugeant inaccessible.

Traditionnellement, les grands aménagements ont toujours été conçus autour des fleuves : barrages de Diama, Manantali, Kandadji. Depuis la fin des années 70, l'époque des grands aménagements réalisés en série semble révolue, et le souterrain a rejoint le superficiel dans les préoccupations des aménageurs.

La nature des préoccupations a changé. Lorsque la Banque Mondiale a entrepris les études de faisabilité du canal de Cayor, destiné à alimenter Dakar à partir du Sénégal, les termes de référence ont incorporé les nappes, les possibilités de réalimentation des nappes, les besoins de l'hydraulique villageoise le long du tracé.

Au Nord Cameroun, la Semry a progressivement incorporé à son travail d'irriguant la fourniture d'eau aux populations. Un peu partout, du Burkina au Cameroun, les projets de petites retenues collinaires sont de plus en plus inséparables des points d'eau potable, par forage, puits ou puisards, destinés à donner au bétail assez d'eau, tout en protégeant la santé des éleveurs, de leurs familles, et des sédentaires.

Négligées pendant deux décennies, les eaux de surface reviennent dans les projets. Il est très probable que la situation se modifiera avant la fin du XXe siècle.

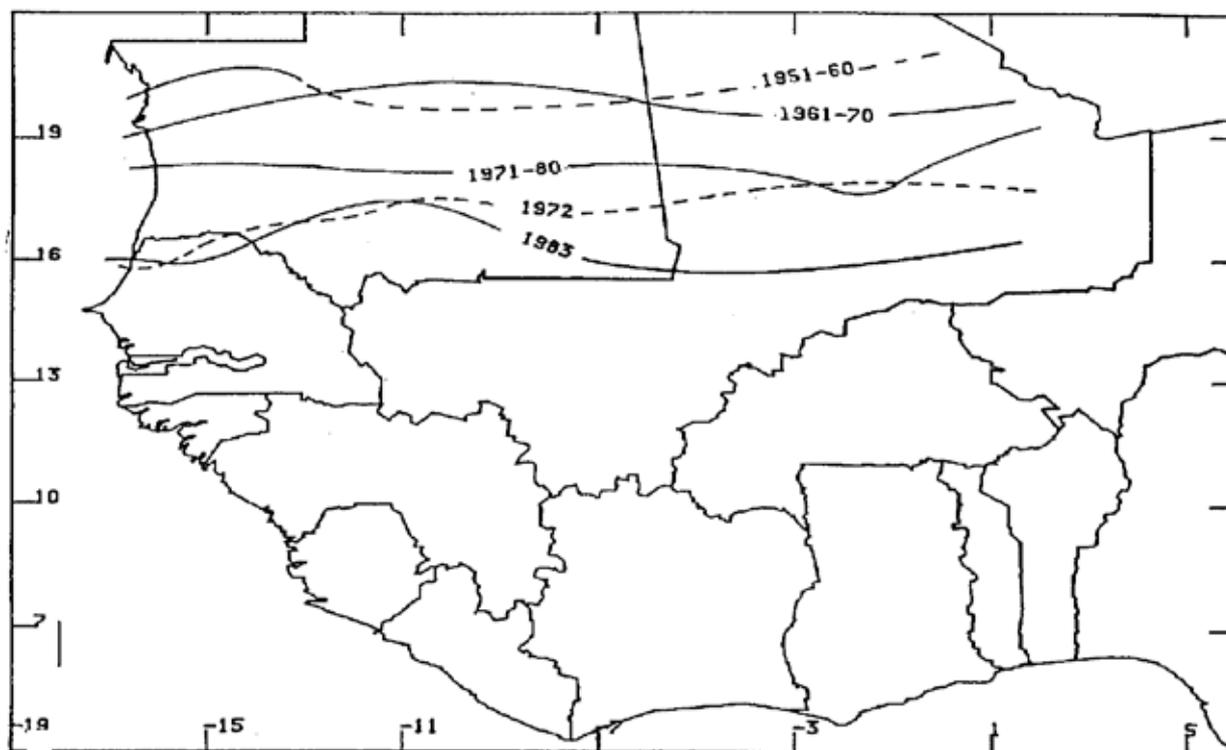


Figure 3-3 — Sahel : évolution de l'isohyète 100 mm (limite théorique du désert).

Les eaux souterraines

L'Afrique, continent très ancien, est érodée profondément jusqu'au socle cristallin ou métamorphisé de granites, gneiss, migmatites, schistes. Ça et là, des massifs volcaniques développent des épisodes plus récents.

Par endroits, quelques grands bassins sédimentaires plus récents recèlent des aquifères étendus. Ces aquifères et les nappes contenues dans les arènes et les altérations argileuses du rocher étaient jusqu'aux années 60 les seules ressources connues et exploitées.

Le contexte géologique

Sur le plan géologique, l'Afrique de l'Ouest est caractérisée par un ensemble de formations dont la caractéristique hydrogéologique essentielle commune est l'absence partielle ou totale de porosité d'interstice. Ces formations s'échelonnent du Précambrien inférieur au Cambro-Ordovicien. Au-dessus du Cambro-Ordovicien, en effet, les formations siluriennes ou post-siluriennes deviennent argileuses ou gréseuses, mais moins consolidées (Bassin de Taoudenni dans ses régions centrales, périphérie du Hoggar).

En outre, on peut également englober dans cette étude des formations métamorphiques ou magmatiques post-ordoviennes que l'on rencontre dans la chaîne des Mauritanides et des Rokérides, ainsi que les « *Younger-Granites* » du Nigéria.



Boulsa - Corvée matinale - Haute-Volta, 1976

Tous ces ensembles géologiques ont fait l'objet de nombreuses études, mais leur chronostratigraphie et leur tectonométamorphisme ne sont pas toujours bien connus. Dans ce qui suit, nous aborderons principalement les aspects lithologiques et tectoniques.

Formations du Précambrien inférieur et moyen de l'Afrique de l'Ouest

Le Précambrien inférieur et moyen constitue le vieux socle pénéplané, qui occupe une bonne partie de l'Afrique de l'Ouest :

- dorsale réguibate en Mauritanie et au Sahara Occidental ;
- dorsale de Léo en Guinée, Sierra Léone, Libéria, Côte d'Ivoire, Ghana, Burkina Faso, Mali et fenêtres de Kayes, Kédougou et Kéniéba ;
- zone mobile [(Unité de la plaine du Bénin ou ancien Dahoméyen au Ghana, Togo, Bénin et Nigéria et son prolongement septentrional au Niger (Aïr) et au Mali (Gourma, Adrar des Iforas)]. Cette zone est antébirrimienne (libérienne) ou birrimienne (éburnéenne), et comprend des roches magmatiques et des roches métamorphiques acides ou basiques « *rajeunies* » au Panafricain.

Les faciès montrent un métamorphisme méso à catazonal pour le Libérien, et épizonal pour le Birrimien : il s'agit principalement de granito-gneiss, de flyschs schisto-gréseux, et de roches volcaniques ou volcano-sédimentaires. Le Tarkwaïen représente une formation détritique post-tectonique.

Formations du Précambrien supérieur et du Paléozoïque inférieur

Des formations du Précambrien supérieur et du Paléozoïque inférieur constituent de vastes bassins sédimentaires dans lesquels elles sont tabulaires (bassin voltaïen au Ghana, Burkina Faso, Niger, Bénin et Togo ; bassin de Taoudenni en Mauritanie, Mali, Sénégal, Guinée et Burkina Faso). Elles sont parfois plissées et métamorphisées (Dahoméyides, Gourma).

Abdou Hassane, Secrétaire Général du CIEH :

Pendant longtemps, le socle cristallin ancien de l'Afrique de l'Ouest était connu pour ne permettre que très difficilement la mobilisation d'eau souterraine de qualité, apte à satisfaire les besoins en eau des populations rurales et de leur cheptel. Puis des progrès considérables ont été accomplis grâce à une meilleure connaissance de sa formation géologique et à l'introduction de nouvelles techniques. Des programmes très importants d'hydraulique villageoise ont alors été mis en oeuvre avec succès, mais, en raison de l'ampleur des besoins encore insatisfaits, il convient de poursuivre cette action encore pendant de nombreuses années.

4e de couverture de L'Hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest. 2e édition.

L'altération des formations cristallines et cristallophylliennes

Les formations magmatiques et métamorphiques de l'Afrique de l'Ouest sont généralement recouvertes par un manteau d'altérites, représentant le résultat d'une désagrégation physico-chimique due essentiellement à deux facteurs d'ordre climatique : l'eau et la température. Ce recouvrement altéritique superficiel a une épaisseur qui varie régionalement suivant la latitude : par exemple très grande en Côte d'Ivoire et très faible dans le Nord du Sahel. En outre, on observe des variations locales, qui sont imprévisibles et principalement fonction du faciès géologique, de la pluviométrie et de la géomorphologie (présence ou non de cuirasse latéritique protectrice, de reliefs, etc.) Cette épaisseur, qui est souvent de l'ordre de 10 à 30 m dans les granito-gneiss, peut atteindre et même dépasser 60 m dans les schistes birrimiens de Côte d'Ivoire (Boucle du Cacao).

Le contexte hydrogéologique

Les ressources en eau souterraine les plus importantes sont liées aux formations sédimentaires caractérisées par des aquifères continus, le plus souvent de grande extension. Ils sont déjà largement sollicités pour l'alimentation en eau des populations, mais aussi à des fins agricoles et industrielles. Le degré de connaissance de ces réservoirs est généralement satisfaisant.

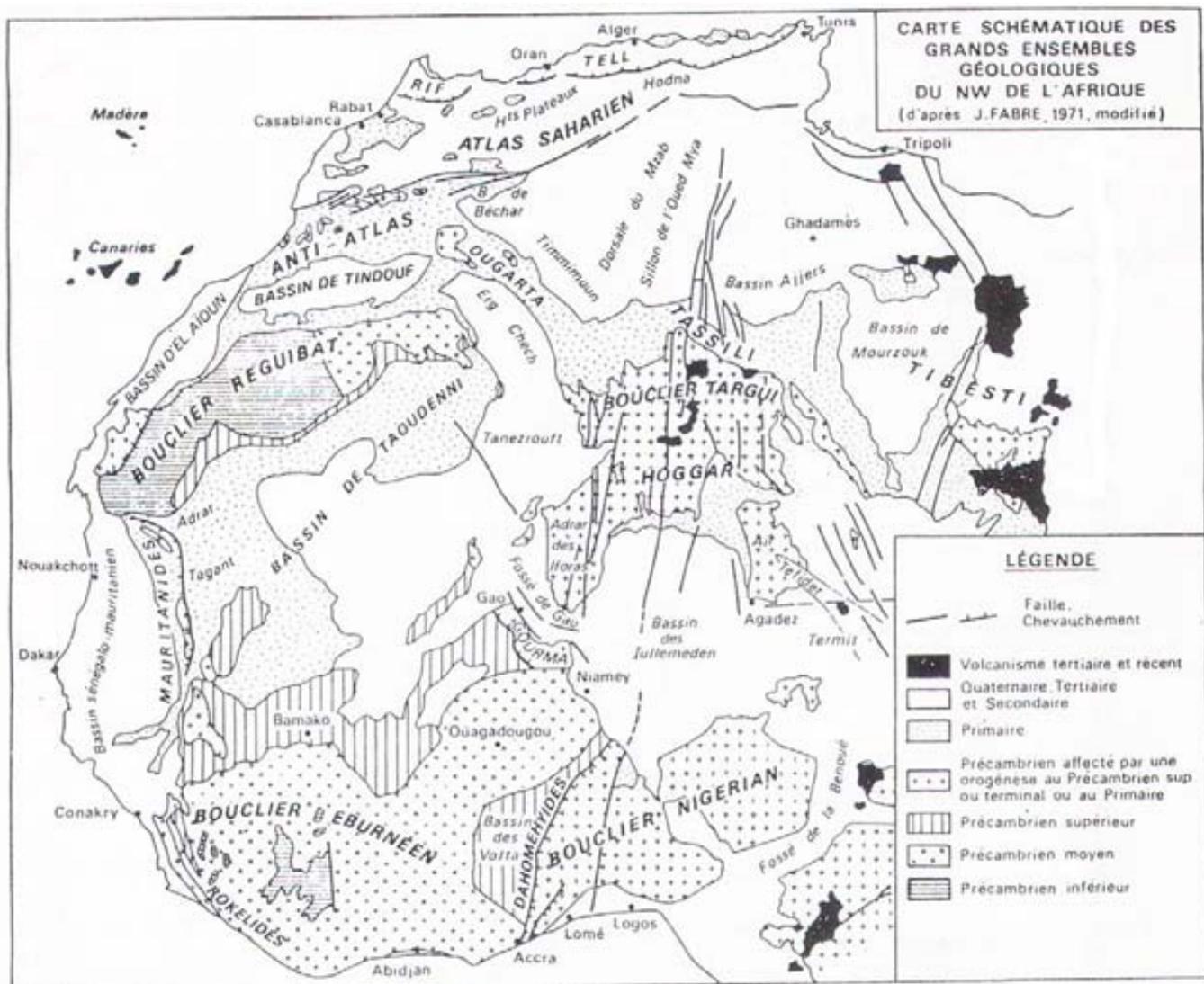


Figure 3-4 — Carte schématique des grands ensembles géologiques

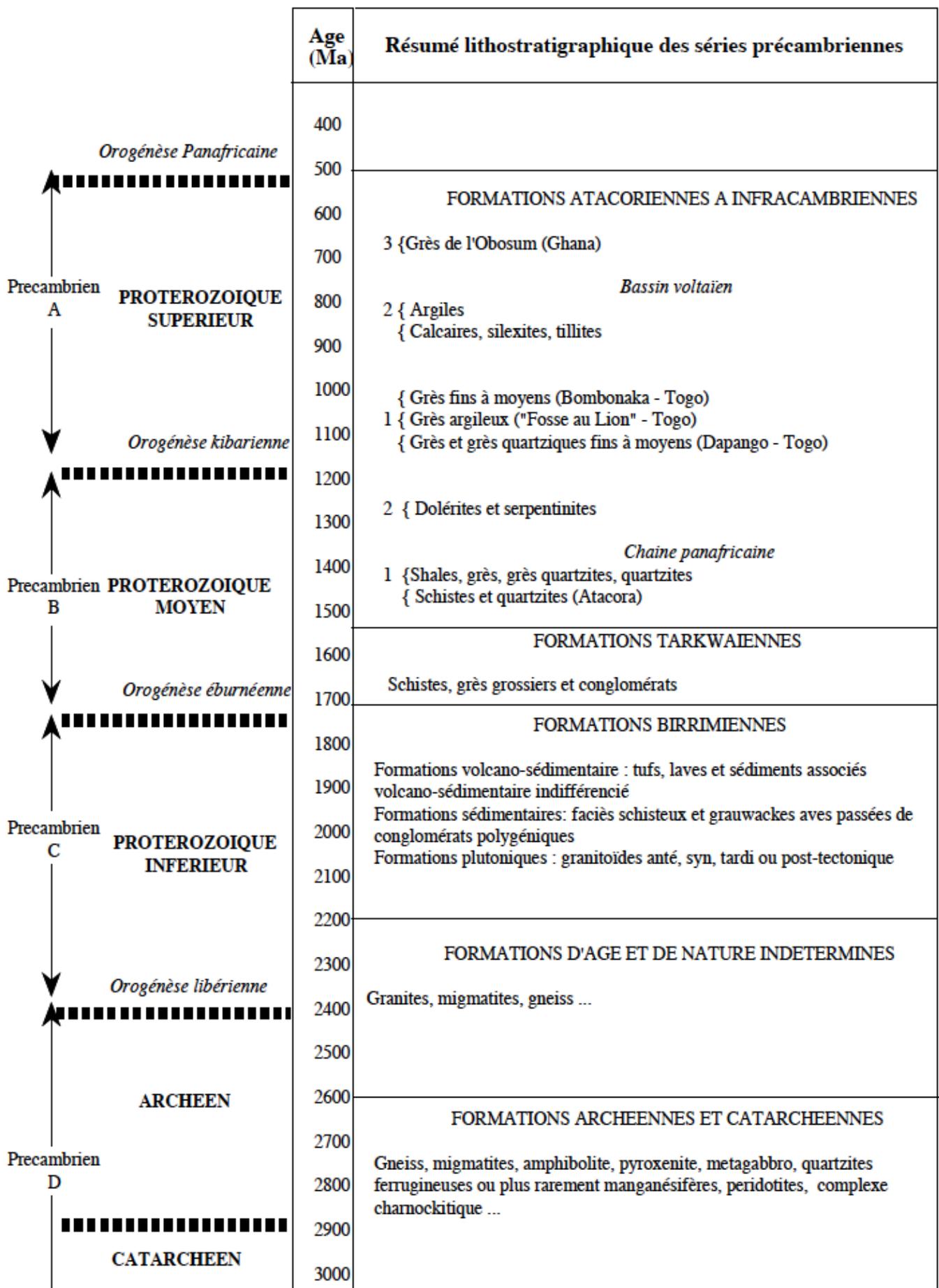


Figure 3-5 — Résumé lithostratigraphique des séries précambriennes.

Ces unités se rencontrent dans de grands bassins sédimentaires situés, pour la plupart, aux latitudes sahéliennes : bassin sénégalo-mauritanien, delta central du fleuve Niger, bassin de Taoudeni, bassin nigérien, bassin tchadien. Elles représentent 85 % de la superficie du Sénégal, 65 % de la Mauritanie, 75 % du Niger, 64 % du Mali, 65 % du Congo, 52 % du Tchad, et forment une bande côtière étroite, qui occupe une faible partie de la Côte d'Ivoire, du Togo, du Bénin, du Gabon, du Congo et du Cameroun.

Ces unités hydrogéologiques s'opposent aux formations cristallines et cristallophylliennes et aux dépôts sédimentaires plus ou moins métamorphisés qui sont caractérisés par la présence d'un aquifère discontinu, lié à l'altération et à la fracturation. Elles occupent la majeure partie de la Côte d'Ivoire (97% de la superficie du pays), du Burkina Faso (95 %), du Togo (94 %), du Bénin (83 %), du Cameroun (89 %), du Gabon (80 %), et correspond généralement à des zones de fort peuplement.

Les principales provinces hydrogéologiques

On peut distinguer schématiquement trois grandes provinces aux conditions hydrogéologiques respectivement homogènes, correspondant aux trois principales familles lithologiques :

- une province à dominante granito-gneissique ou migmatitique, la plus étendue du point de vue géographique, qui correspond à la partie occidentale du craton ouest-africain (domaine Kénéma-Man, Réguiat Occidental), au bloc mossi, au Burkina Faso et à la zone mobile de l'Afrique Centrale. Elle est caractérisée par une épaisseur d'altération, donc une potentialité hydraulique, assez faible, mais qui peut être localement améliorée par l'existence de différents réseaux de fractures aux mailles parfois serrées - à condition toutefois que celles-ci ne soient pas colmatées par des argiles d'altération ;
- une province à dominante schisto-gréseuse ou volcano-sédimentaire, plus particulièrement développée dans les confins ivoiro-ghanéens et guinéo-maliens (Birrimien ou Précambrien moyen). Celle-ci se caractérise par une frange d'altération généralement très épaisse et argileuse, et une forte hétérogénéité lithologique liée à l'alternance des schistes avec des grès, des arkoses, des conglomérats, des grauweekes ou des tuffites, ainsi qu'à l'existence de petits filonnets quartzeux. Cette série hétérogène dessine des plis isoclinaux, aux flancs redressés, les roches étant affectées par plusieurs schistosités généralisées qui augmentent considérablement la porosité de l'ensemble. Aussi les séries birrimiennes, même les plus schisteuses, peuvent-elles constituer de grands réservoirs du fait de l'acquisition d'une porosité de fracture ; mais les ressources sont limitées en raison de la faible perméabilité du matériau. Cependant, la présence d'intercalations détritiques ou volcano-détritiques, et de filons de quartz, qui agissent comme des drains, contribue grandement à améliorer la qualité du réservoir, non seulement dans la tranche superficielle altérée, mais également en profondeur ;

**Jacques Lemoine (1972) attribue à Jean Mouton la paternité des méthodes de recherche d'eau en terrain cristallin — Jean Mouton - Marcello Bolognini - (AIH 1967)
Sommaire :**

Les terrains cristallins d'Afrique sont recouverts de manière presque continue d'une couche d'altération argilo sableuse qui est le siège d'une nappe de très faible ressource et soumise à de fortes variations saisonnières de niveau. Sous la couche d'altération, les zones fracturées des terrains métamorphiques qui accompagnent les dislocations tectoniques et les zones fissurées dues aux diaclases des granito - gneiss présentent des ressources nettement plus importantes et plus constantes dans le temps. La reconnaissance de ces zones de fractures et fissures aquifères, pratiquement inexploitées, n'est généralement pas possible sur le terrain à cause de l'écran formé par la couche d'altération. La photointerprétation et la géophysique permettent de remédier à cet inconvénient.

La mise en évidence des lignes de fractures par photointerprétation est particulièrement nette dans les terrains métamorphiques.

- une province à dominante gréseuse (grès du Précambrien supérieur et du Paléozoïque inférieur), s'étendant principalement sur le bassin des Volta et les bordures du bassin de Taoudenni, du Hoggar et du Tibesti, constituée par des formations subhorizontales, très homogènes sur le plan lithologique et épaisses de plusieurs centaines de mètres. Ces grès étant très consolidés, l'eau circule seulement dans les fissures et les failles. Néanmoins, une certaine porosité d'interstice peut améliorer notablement le réservoir (grès à galets de quartz du plateau de Bobo-Banfora par exemple).

Au sujet de cette province « à dominante gréseuse », on ne peut passer sous silence le fait qu'il existe au sein des formations gréseuses des intercalations schisto-pélicites ou calcaro-dolomitiques. Si les premières sont très généralement stériles sur le plan hydrogéologique, en dehors des zones faillées, les secondes sont en revanche susceptibles de fournir d'excellents débits lorsqu'elles sont karstifiées (SE Mauritanie, N Burkina-Faso).

Les aquifères sédimentaires

L'Afrique comporte plusieurs grands bassins sédimentaires, souvent liés à un océan aujourd'hui disparu, donc un littoral fossile ou un grand fleuve, signes de perméabilité : dépôts marins calcaires poreux une fois émergés, érosion forte en bord de mer, plages, falaises, alluvions. Le Maestrichtien du Sénégal, le bassin de la Bénoué, les épisodes du Continental terminal et du Continental intercalaire, les alluvions du Logone, les grès de Carnot, sont autant de grands aquifères connus depuis longtemps, et exploités par forage.

Leur intérêt est de constituer des nappes continues, qui, une fois identifiées, peuvent être forées pratiquement à coup sûr. La carte hydrogéologique du Nord Cameroun révèle ainsi de vastes territoires, le long du Logone, où les études sont pratiquement inutiles pour implanter des forages positifs, ou, au contraire, les zones stériles.

Pratiquement toutes les nappes sédimentaires ont été étudiées en détail, et ont fait l'objet de modèles financés le plus souvent par le FAC et le FED. La plupart sont surexploitées ou en limite de surexploitation.

Les aquifères de socle

Les puits villageois pénètrent dans le sol constitué par la latérite et la masse de roches altérées surmontant le rocher cristallin. Cette masse altérée, assez peu perméable, libère par égouttage assez d'eau pour alimenter un puits de grand diamètre. Malheureusement, ces puits villageois ne pénétrant pas assez profondément dans le socle tarissent en saison sèche. Leur approfondissement à chaque tarissement ne suffit pas, car les conditions de travail du puisatier, déjà très dures, ne permettent pas d'enraciner le puits profondément dans le socle, ni, d'ailleurs, de plus de un ou deux mètres sous le niveau de l'eau. On imagine aisément les difficultés et le courage du puisatier à des dizaines de mètres sous le sol.

Le socle était jusqu'aux années 60 considéré comme stérile. En réalité, fait de roches rigides et cassantes, il draine par ses fractures l'eau contenue dans la masse d'altération qui la surmonte. C'est donc dans le socle que l'on doit rechercher l'eau. C'est la ressource aujourd'hui la plus exploitée par les programmes villageois. Les fractures atteintes par les forages peuvent se trouver dix mètres, vingt mètres et parfois plus sous la surface du socle. Pour y parvenir, il faut donc un outil adapté : c'est le marteau fond de trou.

Pour trouver de l'eau dans le socle, la compréhension de sa structure lithologique est indispensable.

Soumise depuis des millions d'années à des mouvements spectaculaires dont les traces ont l'ampleur de la Rift Valley, l'Afrique est intensément fracturée : les roches les plus dures, les plus massives, les plus cristallisées ont cassé. La fissuration, jamais anarchique, est d'abord orientée le long des principaux événements tectoniques. Les fractures longitudinales parallèles à l'allongement des structures se sont souvent fermées, mais la compression a pu écraser la roche et la rendre perméable. Les fractures transversales aux structures sont généralement ouvertes, donc aquifères dès que de l'eau est disponible. Les fractures médianes aux précédentes jouent parfois en décrochements avec des ouvertures variables.

Sur le terrain, de telles fractures sont rendues visibles de loin par les lignes d'arbres élevés profondément enracinés dans le sol broyé.

L'hydrogéologue ne s'intéresse qu'aux fractures ouvertes. Une majorité d'entre elles se referment vers 40 mètres de profondeur. C'est cette valeur que l'on retiendra pour l'épaisseur de l'aquifère de fissures, et la décision d'arrêter ou non un forage. Certaines fractures majeures, s'étendant sur plusieurs kilomètres ou dizaines de kilomètres, peuvent rester ouvertes jusqu'à 80 mètres, et, très productives, sont d'autant plus

recherchées. Ces grands accidents sont visibles sur photographies aériennes ou sur les images satellites.

Les puits et les forages en zone de socle font apparaître deux réservoirs dans l'aquifère de socle : un recouvrement semi-perméable, le réservoir d'altérites, constitué de sables et d'argiles provenant de l'altération, de latérite, alimenté par la surface, surmonte un réseau de fissures ou de failles du socle, captif, drainant la couverture.

La couche argilo sableuse d'altération

De moins de 50 mètres d'épaisseur, peu perméable malgré un assez bonne porosité, est le siège d'une nappe sujette à de très fortes variations de niveau. Les puits encore utilisables en saison sèche fournissent difficilement 1 à 2 m³/j en puisant jour et nuit. Partout, l'érosion et la destruction des couches superficielles a créé les grandes formes douces que l'on observe dans le paysage. L'humidité désagrège les feldspaths, les micas, les différents composants dégradables des roches cristallines grenues ou schisteuses en argiles et sables.

Les fractures importantes sont souvent remplies de divers matériaux de décomposition des roches, et sont souvent pleines d'eau. Ce rocher dégradé et sa zone fissurée, ignorée jusqu'aux années 60, constituent l'aquifère le plus important : sa perméabilité est en moyenne dix fois celle des altérations dans lesquelles les puits traditionnels sont creusés. Les variations saisonnières de niveau y sont modestes, 1 à 5 mètres, et les débits moyens fournis par forage de l'ordre de 2 m³/h, fournis généralement entre 40 et 70 m de profondeur, car les fissures se referment progressivement en profondeur et le milieu devient stérile. Pour simplifier, il faut, pour atteindre l'eau, des profondeurs de forage de 30 à 60 mètres dans les granites et les gneiss, de 40 à 80 mètres dans les roches métamorphiques, de 10 à 40 mètres dans les couches latéritiques.

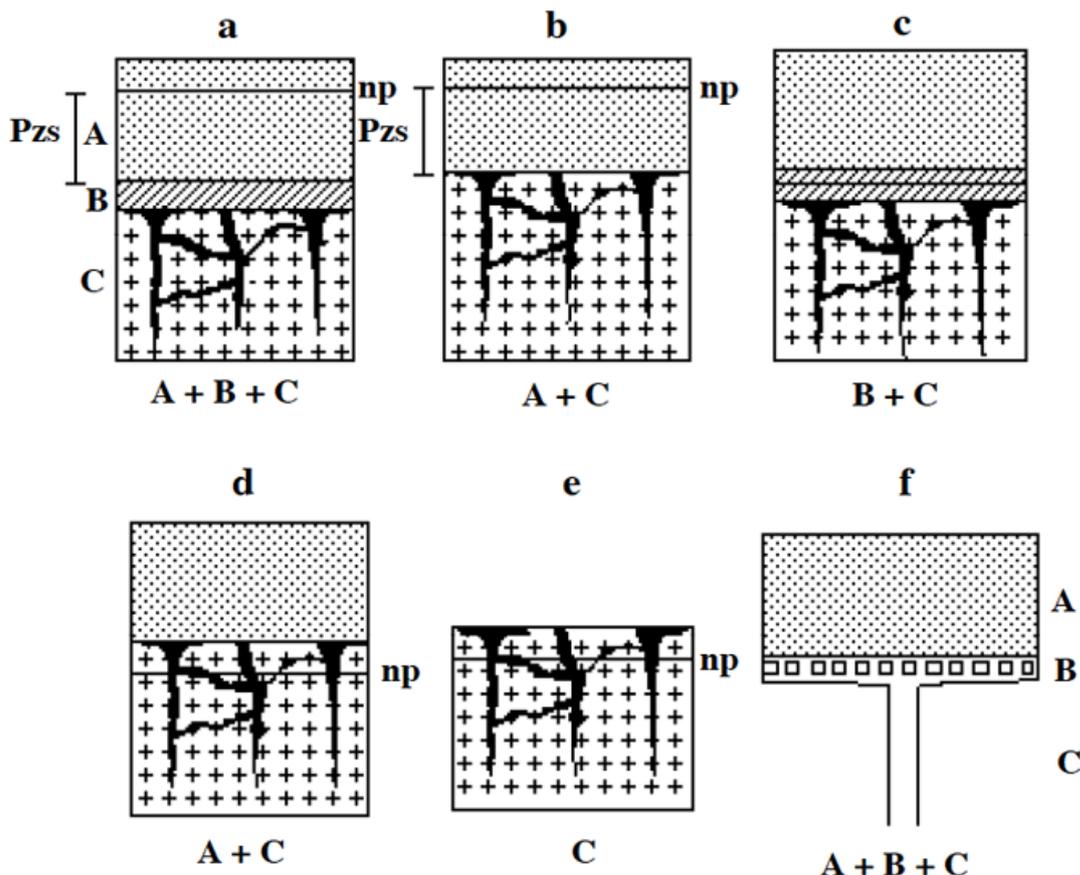


Figure 3-6 — Modèle conceptuel des divers systèmes aquifères en zone de socle. Avec :

- À : Altérations (Ea) - milieu capacitif - Réservoir d'altérites
- B : Zone fissurée - milieu conducteur - Aquifère de fissure
- C : milieu fracturé - milieu conducteur - Aquifère de fissure
- f : Modèle équivalent du système aquifère a

En milieu cristallin (socle), les fonctions capacitives et conductrices coexistent au sein de chaque niveau aquifère, le milieu altéré étant essentiellement capacitif et le socle stricto sensu étant à tendance conductrice marquée. Le modèle conceptuel d'aquifère de socle généralement admis, est constitué d'un recouvrement semi-perméable (réservoir d'altérites), surtout capacitif et alimenté par la surface, surmontant un aquifère de fissures ou de failles (socle stricto sensu), captif, drainant la couverture, à fonction essentiellement conductrice [M. Detay *et al.*, 1989]. Ce schéma simple est loin d'être général, mais il fournit un guide commode au raisonnement. Le système aquifère en milieu cristallin présente la structure d'un aquifère bicouche (Figure 3-6 : b, c, d) ou même multicouche (Fig. 3-6 : a, f). Des aquifères monocouches d'altérites, de fissures ou de failles (Fig. 3-3 : c), peuvent éventuellement exister de façon isolée [CIEH 1978-79 ; Bernardi *et al.*, 1987-88].

La recherche d'eau dans le socle

Dans le socle on recherche la combinaison d'un réservoir capacitif (le plus d'altérations possible) et d'un système de drainage (pour alimenter les fractures). Sauf dans les schistes, qui s'altèrent tellement en argiles que les fractures sont bouchées.

On survole souvent d'immenses étendues striées de fractures épaisses dont sortent des arbres de plus de 40 m, mais qui entourent des pavés de roche décapée sans réserve : le pronostic est alors peu favorable.

On s'assure de la présence d'une couverture d'altération en faisant l'inventaire des puits, car ils s'arrêtent au rocher et leur profondeur donne une évaluation de l'épaisseur des altérations.

Le puits est inadapté lorsque l'épaisseur des altérites est faible, car il tarit très vite. Par contre, quand la ressource est plus épaisse, l'avantage du puits est son grand diamètre, qui permet de constituer une réserve et de puiser à plusieurs personnes simultanément.

Malgré sa faible productivité, la couche altérée ne doit pas être pour autant ignorée, car c'est elle qui alimente les arbres, la végétation, et les fractures sous-jacentes.

Surtout, l'absence de couche altérée condamne une région. C'est elle qui recueille l'eau de pluie, la stocke, retarde son écoulement vers les fleuves, alimente les fractures, retarde l'écoulement inéluctable vers les grands fleuves et la mer.

En dehors de cas rarissimes — 250 m³/h à Bangui — les nappes de fractures fournissent des débits limités, considérés comme bons au-dessus de 5 m³/h, excellents au-dessus de 10 m³/h, exceptionnels au-dessus de 30 m³/h, valeurs très moyennes pour une nappe sédimentaire. Mais Le débit de 1 à 2 m³/h est le champ d'application des pompes manuelles limitées par la force d'un homme — ou plus souvent d'une femme ou d'un enfant.

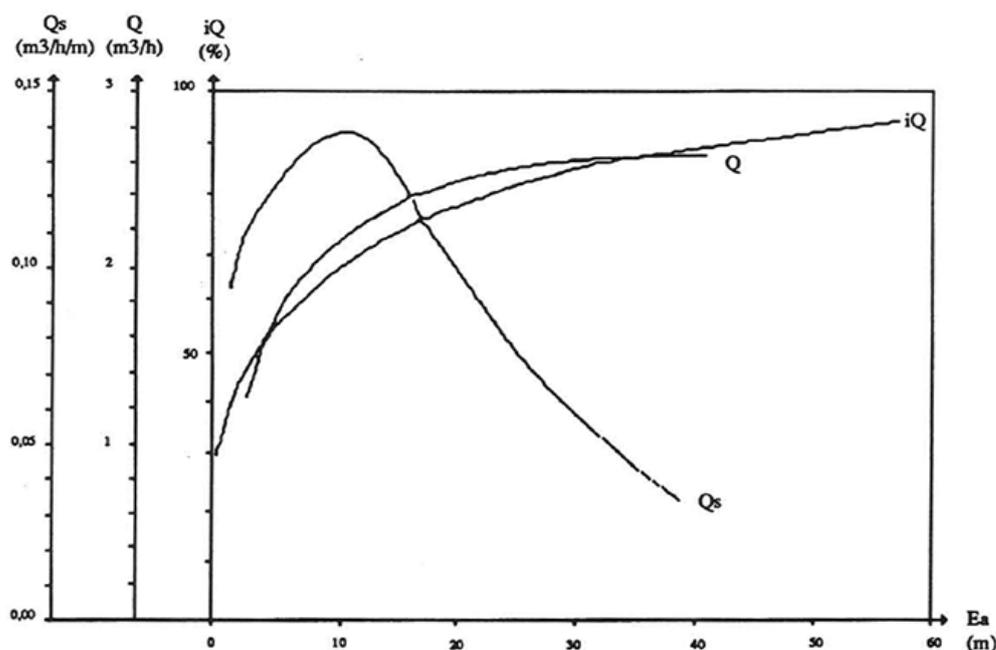


Figure 3-7— Influence de la puissance du réservoir capacitive sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages. Avec : Q_s débit spécifique ; Q débit ; iQ infra-débit (probabilité d'obtenir un débit minimal de 0,5 m³/h).

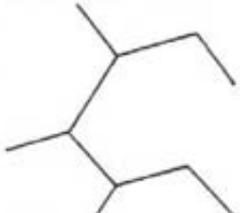
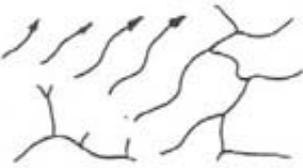
Figure du réseau hydrographique	Type	Observations morphologiques critères d'implantation	Épaisseur altération (m)	échec en forage %	échec puits %
	1	Réseau arrondi, en chou-fleur. Plateau cuirassé. Zone inondable, faible pente du réseau hydro. Critères implantation : absence d'indices géologiques, zone inondable, filons, linéaments, dénivellation par rapport au marigot < 15 m. Puits traditionnels.	20-25	16	35
	2	Réseau polygonal, en nid d'abeilles. Interfluves érodées, affleurements fréquents. Réseau à forte pente, marigots étroits. Forêt galerie. Rechercher : linéaments sécants, nœud de fractures, replats, rupture de pente avec changement de végétation.	10-15	64	/
	3	Réseau orthogonal ou oblique. Interfluves érodées, forte pente du réseau. Marigots temporairement étroits. Forêt galerie. Montinsules, affleurements, cas peu favorable. Rechercher : site bas (alt. < 15 m), nœud de fractures.	15-20	38	52
	4	Sur gneiss. Réseau à pente faible, cuirasse, forêt galerie. Nombreux puits traditionnels. Rechercher : linéaments, replats, la présence de granites.	15-24	43	42
	5	Zone forestière où on ne perçoit pas le réseau hydro. Zone granitique. Pente faible du réseau. Cuirasse, nombreux puits. Grandes zones de drainage.	élevée	?	26
	6	Schistes et granites. Zone indéterminée à secteur variable. Épaisseur altération variable, pas de puits. Chercher altération épaisse avec cuirasse, zone inondable, fractures.	variable	26	pas de puits
	7	Schistes birrimiens à linéation parallèle. Altération très épaisse. Pente du réseau faible. Grandes zones inondables. Absence d'indices géologiques. Pas de puits.	sup. à 27	7	—
	8		sup. à 60	faible	—
	9	Réseau digité, autour des collines de roches vertes, dans schistes birrimiens. Chercher marigots étroits avec forêt galerie.	15-35	50	—

Figure 3-8 — Tableau récapitulatif des observations morphologiques (pluie 1 300 mm), d'après Engalenc, 1981.

La recherche d'eau dans le socle se fait toujours à pied, mais, de préférence, avec des photos aériennes, et, pour les régions difficiles, muni de matériel de prospection géophysique. Elle utilise la notion de facteurs déterminants :

- La présence d'une couverture d'altération : pas de réservoir, pas de réserves.
- La longueur et la densité du réseau de fracturation. Les fractures longues et les points nodaux, intersections de fractures, sont à privilégier. Les images satellites sont toujours utiles à consulter pour dégrossir les accidents majeurs, et la photo aérienne est l'outil indispensable.
- La lithologie du socle : des relations entre débit des forages et nature du socle ont été mises en évidence statistiquement. Les aquifères de socle les plus productifs sont les calcaires métamorphiques - plus de 5 m³/h dans 50 % des cas suivis des granites et des gneiss (2 m³/h dans 50 % des cas) et des schistes argileux.

La géomorphologie

Les formations de socle des vastes boucliers précambriens peuvent être localement aquifères. Elles sont souvent situées dans des zones de fort peuplement : 30 millions de personnes (MP) en Amérique latine, 50 MP en Afrique et plusieurs centaines de MP en Asie. La recherche et la mise en valeur des eaux souterraines de ces formations restent récentes, elles sont apparues il y a une vingtaine d'années, avec la technique du « marteau fond de trou ». Lors de la dernière décennie, la communauté internationale s'est efforcée de réaliser des programmes d'hydraulique villageoise pour donner de l'eau potable aux populations rurales des pays en développement. L'utilisation des bases de données, créées à l'occasion de ces campagnes de forages, permet de tirer des enseignements statistiques sur l'hydrogéologie du socle.

La topographie des zones de socle est généralement assez plane par suite des longues périodes d'érosion au cours de leur histoire géologique. Les systèmes de drainage superficiels sont peu marqués et on n'y observe qu'un faible écoulement. De telles conditions favorisent l'évaporation. Dans les régions humides, l'infiltration ne pourra se produire que si les sols et les caractéristiques des couches altérées sont favorables. Dans les régions arides, l'infiltration n'aura lieu que si le réseau de drainage superficiel permet à l'écoulement de s'effectuer de telle façon que l'eau s'accumule dans les zones relativement basses et fracturées d'où elle pourra percoler et s'emmagasiner sous la surface du sol.

Constantin Fleurié a développé une méthode statistique mettant en évidence l'influence de la position géomorphologique sur les caractéristiques hydrodynamiques du socle plutonique du Burkina Faso. Cette méthode dite « *méthode de moyenne mobile à trois étapes* » est simple et rapide à mettre en œuvre. Elle permet d'étudier des comportements globaux entre des variables très faiblement corrélées entre elles. Les résultats obtenus sont d'ordre qualitatif (description d'un phénomène), semi-quantitatif (comparaison relative de phénomènes différents) et statistique (considération de valeurs moyennes). Cette méthode a permis de mettre en évidence l'influence de la position morphologique sur le rabattement et le débit spécifique des forages dans le socle plutonique Burkinabais.

Les moyennes mobiles semblent bien appropriées pour le traitement des données relatives à l'hydrogéologie des milieux discontinus qui, compte tenu de leur hétérogénéité, nécessitent une approche descriptive probabiliste de phénomènes moyens, fondée sur l'analyse du plus grand nombre de données

Au Burkina Faso 80 % de la superficie du pays est constituée de formations cristallines du Précambrien C et D (cf. Figure 3-5). Le Burkina Faso se présente comme une immense pénéplaine qui s'étend sur les trois quart du pays. L'altitude moyenne est de 300 m et près de 90 % du pays se situe entre 240 m et 400 m. Les formations plutoniques sont situées dans le domaine des plateaux latéritiques, parfois cuirassés ou mollement vallonnés, et de bas-fonds à réseau hydrographique à peine marqué. Compte tenu des faibles ondulations du relief une relation liant la position morphologique et les caractéristiques hydrodynamiques était pressentie par les hydrogéologues, mais elle n'avait jamais été mise en évidence ni quantifiée. Trois localisations géomorphologiques ont été retenues et étudiées, se sont les positions de bas-fonds (BF), d'interfluve (IF) et de mis-pente (MP).

Les résultats présentés proviennent d'une étude relative aux 679 forages réalisés dans le socle plutonique (gabbro, granodiorite, granite, migmatite) du Burkina Faso. Cette approche est avant tout probabiliste, orientée vers une analyse du comportement global du système en étudiant sa réponse à un pompage d'essai en régime transitoire. Les solutions analytiques proposées sont conformes à la nature des phénomènes observés. Certaines contraintes inhérentes aux objectifs des programmes d'hydraulique villageoise ont été prises en compte, à savoir : $Q < 10 \text{ m}^3/\text{h}$ et $Q_s < 2 \text{ m}^3/\text{h/m}$.



Aux abords des points d'eau les pâturages sont dégradés - Niger, 1976



Usure des bois de puits par les cordes - Niger, 1981

Compte tenu de la modélisation géométrique du milieu considéré et des résultats de l'approche probabiliste, l'interprétation des phénomènes observés s'intègre dans l'état des connaissances du milieu fracturé de la manière suivante :

- Influence de la position en bas-fonds. - Le bas fond est une zone de convergence et de drainage où se concentrent, par migration, les produits d'altération. C'est une zone de réserve, à bonne stabilité piézométrique saisonnière avec des altérites à textures plus fines que celle des MP et IF. Sur le plan hydrodynamique on observe des rabattements plus importants que dans les situations de MP et de IF, et un « retard » au colmatage par rapport aux MP. Ceci est vraisemblablement lié à une grande stabilité piézométrique qui réduit les processus d'altération chimique, par oscillation de la nappe, responsables du colmatage.
- Influence de la position en mis-pente. - Situé entre le BF et le IF, c'est une zone d'écoulement entre la zone drainée (IF) et la zone drainante (BF). Les variations saisonnières du niveau piézométrique peuvent être importantes. La MP se caractérise par un réservoir capacitif plus grossier que celui du BF. Les conditions d'écoulement et la texture du réservoir induisent des rabattements plus faibles et des débits spécifiques les plus élevés que ceux observés sur les BF et les IF. Parallèlement l'importance du battement piézométrique est la cause d'une altération chimique poussée et par conséquent d'un colmatage « précoce » à environ 17 mètres d'altération.
- Influence de la position en interfluve. - Sommet topographique et piézométrique l'IF est une zone drainée et lessivée, la texture de son réservoir capacitif est grossière et son niveau piézométrique connaît de fortes variations saisonnières. Le lessivage et la texture de ses niveaux altérés en fait une zone à colmatage « tardif » (40 m d'altération) et à rabattement faible, en contrepartie les débits pompés y sont faibles.

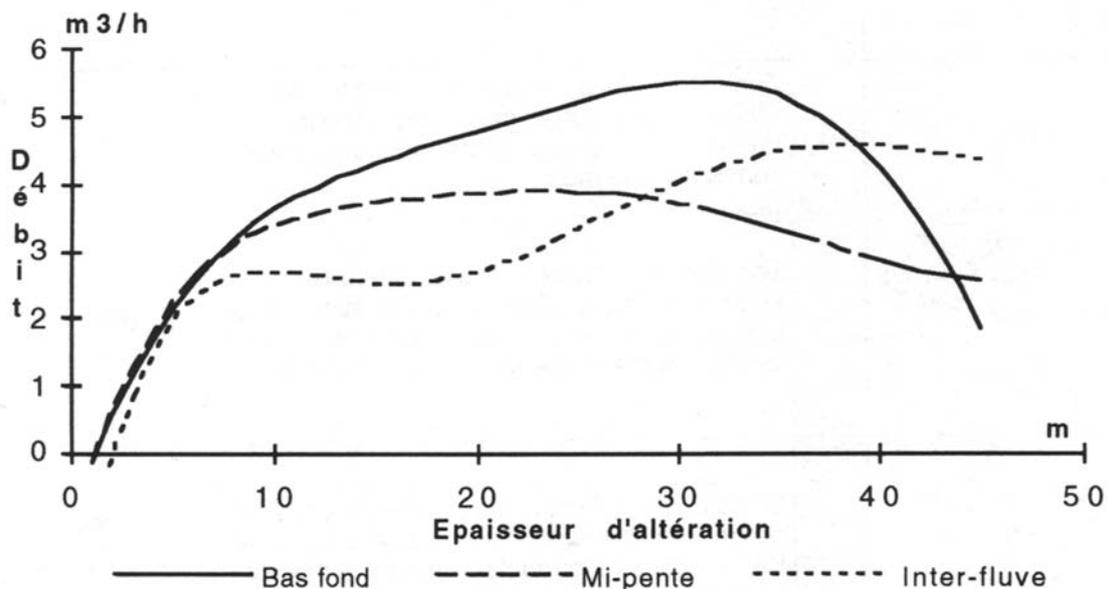


Figure 3-9 — Influence de la position géomorphologique sur les caractéristiques hydrodynamiques.

La position du village, en crête, sur un versant, dans un bas fond, l'importance du bassin versant amont, la présence de cours d'eau, les possibilités d'existence d'une nappe de sous-écoulement, sont autant de facteurs déterminants.

Le géologue doit toujours décider sur le chantier le moment où il faut arrêter le forage. Les chances de succès augmentent avec la profondeur, mais de plus en plus faiblement, et il arrive un moment où trop descendre augmente inutilement le coût du forage.

L'ensemble des expériences accumulées permet de conclure ainsi :

- de simples considérations géomorphologiques permettent de garantir un débit minimum de 1 m³/h dans 60 % à 80 % des cas en zone métamorphique et dans 50 % à 60 % des cas en zone cristalline.

- l'emploi systématique de la photointerprétation fait monter la proportion de débits favorables jusqu'à 85 % des cas en zone métamorphique et jusqu'à 75 % des cas en zone cristalline.
- les études géophysiques peuvent améliorer ultérieurement ces résultats, jusqu'à 95 % ou plus.

Encore faut-il spécifier ce que l'on entend par géophysique.

La méthode de recherche d'eau souterraine

L'approche hydrogéologique classique et la démarche poursuivie par les experts se décomposent schématiquement en quatre phases complémentaires :

Les études de base

Elles conduisent à la localisation des villages sur les cartes, à l'étude des documents disponibles concernant la zone et à une première approche de l'environnement géologique, climatologique, hydrogéologique, géomorphologique, socio-économique, etc.

La photo-interprétation

Elle permet de préciser, entre autres, les éléments d'ordre morphologique (plateaux, versants, bas fonds, allure du réseau hydrographique, etc.) ; géologique, structuraux (direction d'allongement, foliation, stratification, fracturation) ; les moyens d'accès, ...

La photo-interprétation a pris de l'importance en hydrogéologie du socle en Afrique de l'Ouest depuis que l'on oriente systématiquement la prospection des eaux souterraines vers la recherche des fractures pour implanter des forages.

La photographie aérienne constitue le document le plus précieux. Elle complète efficacement les cartes existantes (topographiques, géologiques, pédologiques, etc.), ou les remplace carrément lorsque celles-ci sont inexistantes ou bien à des échelles trop petites comme c'est fréquemment le cas en Afrique de l'Ouest.

La photo-interprétation est une méthode rapide et peu coûteuse pour tracer une esquisse structurale, voire géologique, mais surtout pour repérer les fractures. On relève a priori tous les alignements morphostructuraux, ou linéaments, soulignés par le réseau hydrographique ou se détachant simplement en clair ou sombre sur la photo. On obtient ainsi une vision régionale de la fracturation et l'on peut en faire une étude statistique. Cette technique permet également un levé rapide et précis du chevelu hydrographique, et peut donner une idée sur l'épaisseur moyenne probable des altérites.

Utilisée sans la géophysique, la photo-interprétation a donné de bons résultats dans les schistes (90 % de succès dans les schistes birrimiens de la Boucle du Cacao de Côte d'Ivoire). Dans les granito-gneiss en revanche, où les taux d'échec sont souvent élevés (de l'ordre de 30 % à 50 % en Côte d'Ivoire, Bénin, Togo, etc.), de même que dans le sédimentaire ancien (Mali) ou lorsque les débits recherchés sont relativement élevés, l'étude des photographies aériennes ne suffit pas, et il convient de rechercher des compléments d'information à l'aide des méthodes géophysiques.

Les études de terrain

Elles permettent à l'hydrogéologue de faire le complément d'observations indispensables sur le site. Cette étape permet de réaliser l'inventaire des points d'eau et un entretien consécutif avec les autorités villageoises permet de prendre en considération les contraintes culturelles et socio-économiques du village.

Au terme de la visite de terrain, l'hydrogéologue, tenant compte des observations de l'environnement géologique (épaisseur de la frange altérée, niveau piézométrique, nature du soubassement, etc.), des contraintes socio-économiques, des moyens d'accès, de la géomorphologie, pourra, soit réaliser une implantation si les données sont suffisantes, soit définir un périmètre dans lequel il sera nécessaire de réaliser des investigations complémentaires.

Les investigations complémentaires

Les investigations complémentaires font le plus souvent appel aux méthodes de prospection géophysique. Celles-ci, fréquemment employées pour confirmer ou infirmer les hypothèses de l'hydrogéologue, sont généralement utilisées dans des cas complexes ou lorsqu'on recherche de gros débits.

Ce récapitulatif, simplifié, permet de rendre compte de la démarche utilisée par les hydrogéologues et de la stratégie d'implantation mise en oeuvre dans le cadre de programmes d'hydraulique villageoise. Nous allons voir comment il est possible de modéliser cette approche.

Principaux acquis techniques

Avant d'aborder les problèmes d'implantation des ouvrages, nous énumérerons ici un certain nombre de données susceptibles d'orienter les recherches des gisements aquifères dans les formations cristallines et cristallophyliennes et sédimentaires anciennes de l'Afrique de l'Ouest.

- En régime peu ou non influencé, le bassin versant hydrologique est grossièrement superposable au bassin versant hydrogéologique.
- Les réserves d'eau souterraine sont emmagasinées dans la partie supérieure altérée, mais sont drainées préférentiellement par les fissures et fractures sous-jacentes, ouvertes parfois sur de grandes profondeurs. Dans certains cas, assez fréquents, la circulation d'eau souterraine se fera plutôt au niveau des épontes de dykes volcaniques tardifs ; et lorsque ceux-ci ont subi une altération suffisamment avancée, ils peuvent alors constituer d'excellents drains.
- Statistiquement, le socle est d'autant plus fissuré et productif que l'épaisseur des altérites qui surmontent le substratum sain est plus importante. Toutefois, il existe une épaisseur d'altération optimale, dans les schistes en particulier, au-delà de laquelle la productivité des ouvrages chute.
- Les niveaux d'altérites les plus productifs sont ceux qui sont situés le plus près de la roche saine.
- La zone fissurée du socle, située sous la tranche altérée, est surtout aquifère dans les 20 à 30 premiers mètres de roche saine.
- La productivité d'une fracture dépend généralement de sa taille et de son ouverture, et peut-être parfois, de son orientation -en effet, l'ouverture ou la fermeture d'une fracture devrait varier en fonction de la position de celle-ci par rapport au champ de contraintes actuel.
- Il faut sélectionner des fractures multikilométriques lorsqu'on se trouve en zone climatique sèche, ou lorsque la topographie est accidentée.
- Les forages implantés sur les noeuds de fractures peuvent présenter une productivité et un taux de réussite élevé.
- Une erreur d'implantation de quelques mètres peut conduire à un échec lorsqu'on cherche à exploiter l'eau drainée par une faille.
- Enfin, la lithologie du substratum joue un grand rôle ; si les granito-gneiss fournissent les débits les plus élevés, c'est en domaine schisto-gréseux que l'on obtient les taux de réussite les meilleurs.

On trouvera dans des ouvrages de synthèse (Engalenc M., 1979-81, CEFIGRE 1991, Detay M., 1987) de nombreux tableaux qui illustrent ces considérations.

La géophysique

Trois méthodes géophysiques sont employées : la sismique, la magnétométrie, et le sondage électrique.

La sismique est une technique chère, adaptée à la recherche de très gros débits, ne concerne pas l'hydraulique villageoise, mais l'alimentation en eau des villes ou l'étude du socle pour des travaux de génie civil. La magnétométrie, peu coûteuse et simple d'emploi permet de dégrossir la recherche des fractures quand les photos aériennes n'existent pas ou sont inutilisables. Mais l'outil principal de la géophysique reste le sondage électrique. Disons en deux mots, pour mettre en évidence ce qui a une répercussion sur la conception des programmes de prospection.

Sondages électriques

Le principe de la méthode des sondages électriques est basé sur l'identification des couches de terrains par leur résistivité. Celle-ci varie en fonction de deux paramètres principaux :

- La nature lithologique : plus un terrain est argileux, plus sa résistivité est faible. Ainsi un sable argileux sera plus conducteur qu'un sable propre ou qu'un grès, de même, un calcaire compact sera plus résistant qu'un calcaire fissuré ou altéré.
- La teneur en eau et la minéralisation de l'eau : un terrain saturé en eau sera beaucoup plus conducteur qu'un terrain sec ; plus l'eau d'inhibition sera minéralisée et plus le terrain sera conducteur. La présence d'eau très minéralisée (eau salée par exemple) dans un terrain rendra celui-ci très conducteur, en « masquant » les caractéristiques électriques des terrains sous-jacents.

Ainsi, en fonction du contexte géologique, on peut, à partir des valeurs de résistivité, déterminer la nature lithologique des terrains rencontrés, leur degré de fracturation et leur invasion potentielle par de l'eau saumâtre ou salée.

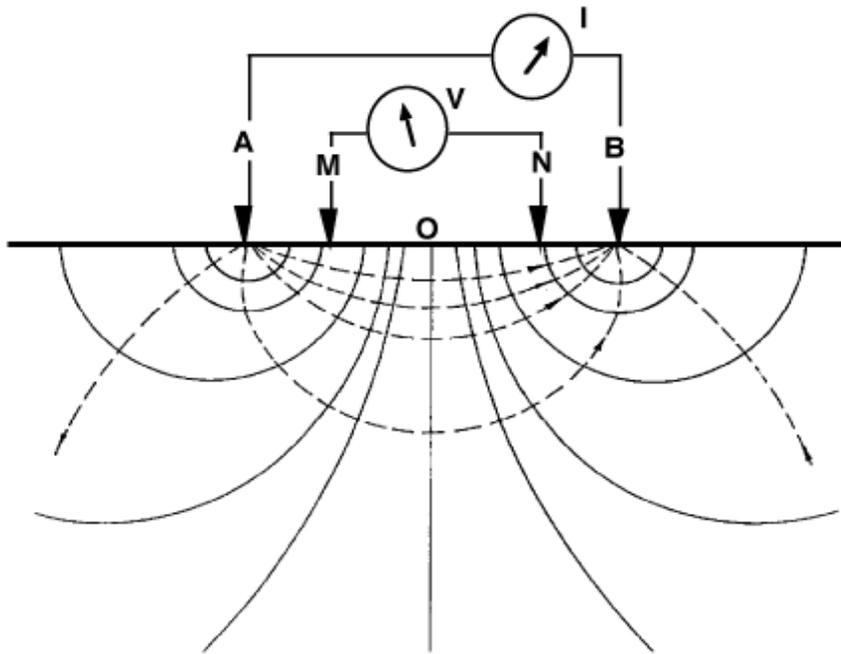


Figure 3-10 — Schéma du dispositif (type Schlumberger).

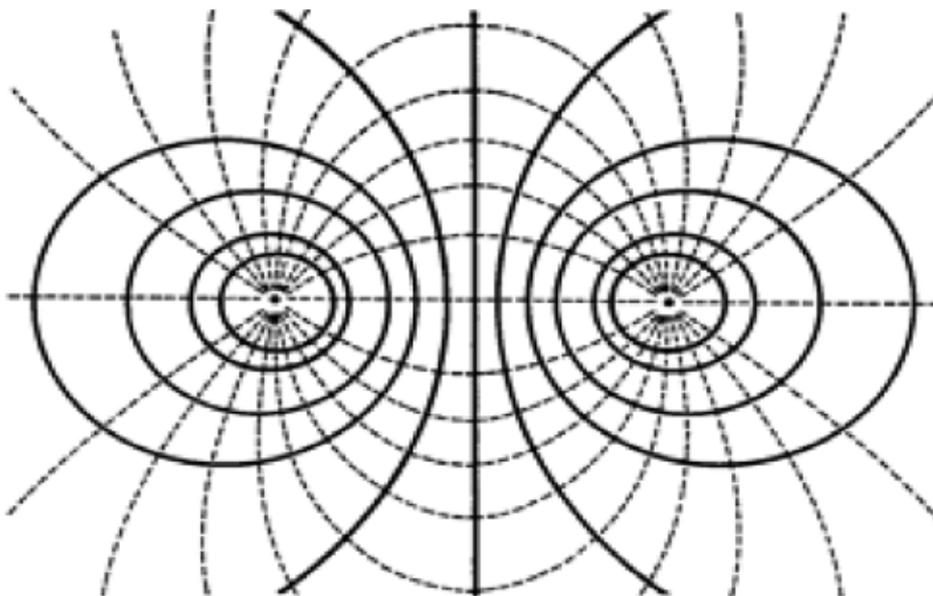


Figure 3-11— Répartition des filets de courant (trait pointillé) et des équipotentielles (trait plein) sur le terrain et sous le sol.

La détermination de ces résistivités se fait à partir de l'interprétation des sondages électriques. La réalisation des sondages électriques se fait par injection de courant (I) dans le sol à l'aide de deux électrodes (A, B). Il se crée alors un réseau d'équipotentiels dont deux courbes en particulier qui arrivent à la surface en M et N (électrodes réceptrices) et permettent de mesurer la différence de potentiel. Les dispositifs les plus employés sont le dispositif Schlumberger composé d'un quadripôle AMNB aligné (cf. figure 3-10), avec $MN \leq 1/5 AB$; et le dispositif Wenner caractérisé par une disposition en ligne avec $AM = MN = NB$.

Tableau III-III — Relations entre débit, pourcentage de succès et conductance longitudinale totale.

Conductance longitudinale (mho)	Nombre de mesures	Pourcentage de succès	Débit obtenu (en m ³ /h)
inférieure à 0,1	48	inférieur à 25 %	inférieur à 1
de 0,1 à 0,2	61	78 %	2
de 0,2 à 0,5	88	98 %	2,8
de 0,5 à 2,5	76	66 %	3,5

La connaissance de cette différence de potentiel $\Delta V = V_M - V_N$, de l'intensité I et de la géométrie du dispositif AMNB (appelé quadripôle) permet de calculer la résistivité moyenne d'un certain volume de terrain situé en gros au droit de MN. La profondeur intéressée dépend de la distance AB, des résistivités des terrains et de leur répartition. L'augmentation des distances entre A et B d'une part, et M et N d'autre part, permet généralement d'augmenter la profondeur d'investigation. La courbe des résistivités apparentes pa en fonction de la demi-distance entre A et B, $pa = f(AB/2)$ ainsi établie sur papier bilogarithmique sera alors soumise à l'interprétation pour déterminer les résistivités vraies des terrains successifs. Un programme de calcul permet en fonction de l'hypothèse de départ (nombre de couches, résistivité/h ou épaisseur) d'ajuster au mieux la courbe théorique à la courbe de terrain.

L'interprétation des sondages électriques se fait par comparaison des courbes de terrain à des abaques théoriques, soit manuellement, soit automatiquement sur ordinateur. On détermine pour chaque couche définie, l'épaisseur et la résistivité vraie. Pour la formation la plus profonde, on ne détermine que la résistivité.

Des recherches récentes, entreprises en zone de socle, montrent qu'il existe une relation directe entre les conductances longitudinales enregistrées, le taux d'échec et les débits obtenus dans les ouvrages de captage (cf. tableau III-IV).

La conductance longitudinale totale est déterminée sur les sondages électriques d'après la position de la branche finale ascendante des diagrammes. Elle correspond à la somme des rapports ξ_i/χ_i dans lesquels ξ_i représente l'épaisseur des différentes « strates » qui composent le complexe et χ_i leur résistivité.

Le tableau III-IV indique statistiquement qu'à des valeurs élevées de conductance longitudinale totale correspondent des débits relativement élevés. Inversement, à des valeurs basses de conductance correspondent des débits faibles.

Dans la mesure du possible, il est indispensable de réaliser des sondages électriques à proximité de forages dont la coupe géologique est connue (sondages d'étalonnage). Dans le cas contraire, il est toujours souhaitable de réaliser au moins un sondage mécanique de reconnaissance après une campagne de géophysique électrique afin d'étalonner et d'affiner l'interprétation des sondages électriques.

En hydrogéologie, les sondages électriques sont bien adaptés, par exemple :

- en milieu alluvial (vallées fluviales) pour la détermination de l'épaisseur et de la qualité des alluvions, la localisation du niveau statique dans certains cas, et des lentilles argileuses ;
- en milieu de socle granitique et volcanique, pour définir la puissance des zones d'altération ;
- en milieu sédimentaire, pour la définition des zones argileuses et la détermination du degré de fissuration (par l'influence sur la perméabilité) ;
- en milieu côtier, pour la délimitation du front de salinité : limite eau douce - eau salée.

Les sondages électriques, à partir des logs électriques et de leurs évolutions latérales, permettent l'implantation de sondages mécaniques de reconnaissance et la définition des coupes lithologiques prévisionnelles (nature et épaisseur des terrains, objectif du forage).

Lorsque l'on veut étudier rapidement les terrains, on peut utiliser une base AB courte, 100 m par exemple, et la déplacer pour mesurer la variation de résistivité le long d'un profil. Ce procédé s'appelle le traîné.

Panneaux électriques

Dans un panneau électrique les électrodes A, M et N sont situées sur un même axe, l'électrode B étant placée à l'infini sur une direction perpendiculaire à AMN.

Il s'agit de réaliser des mesures de résistivité apparente entre M et N, espacées d'un pas constant, et déplacées selon ce même pas, pour différentes positions de l'électrode A. Celle-ci est ainsi déplacée de part et d'autre du doublet de réception MN. Six mesures de résistivité sont réalisées à la verticale de chaque doublet MN avec une épaisseur de terrain intéressée par la mesure de plus en plus faible au fur et à mesure que A se rapproche de MN (cf. figure 1-17).

Pour chaque doublet, deux séries de mesures sont effectuées, avec injection à droite et injection à gauche.

Les différences obtenues entre les deux injections s'expliquent par l'hétérogénéité des terrains de part et d'autre du doublet MN.

Les panneaux électriques sont généralement représentés sous la forme injection à droite, injection à gauche et injection moyenne.

L'interprétation de ces documents est uniquement qualitative, en fonction de l'évolution latérale des valeurs de résistivité.

Les panneaux électriques sont généralement réalisés pour mettre en évidence ou confirmer le tracé d'accidents structuraux importants (dans ce cas le panneau est réalisé perpendiculairement à l'axe présumé de l'accident). Ils permettent dès lors l'implantation de sondages mécaniques de reconnaissance à proximité de ces accidents, afin de vérifier leur rôle de drain ou de limite étanche hydrodynamique (par exemple dans la craie ou dans les basaltes).

Signalons les dispositifs dits du carré et du double rectangle qui sont très utilisés en prospection géoélectrique. Le carré permet de mesurer la direction d'anisotropie correspondant à la direction de la fissuration, le coefficient d'anisotropie dépendant de l'intensité de la fissuration et la résistivité moyenne apparente. Le double rectangle permet une investigation horizontale, à profondeur pratiquement constante, dans deux directions : parallèle et perpendiculaire à la direction d'anisotropie issue du carré. L'interprétation du double rectangle fournit une grande précision dans l'implantation du forage.

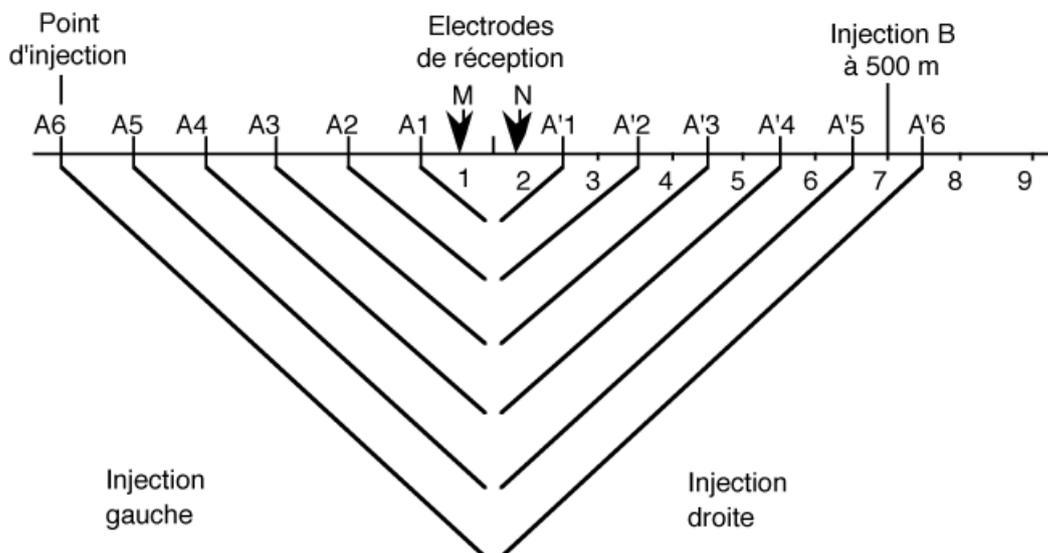


Figure 3-12 — Principe du panneau électrique.

Pour être complet, il faut mentionner l'emploi de sondages électriques pluridirectionnels, en rectangle ou en carré, destinés à étudier simultanément les valeurs de résistivité du sous-sol et l'anisotropie du milieu révélatrice de l'intensité de la fissuration.

Les terrains secs sont très peu conducteurs. Mouillée, leur résistivité baisse. Les argiles ont aussi des résistivités relativement basses, et l'incertitude n'est levée que pour des épaisseurs mouillées notables.

Les sondages électriques ont, très souvent, une allure en fond de bateau mettant en évidence la superposition de trois milieux électriquement différenciés :

- un recouvrement résistant : 200 à 3 000 Ω/m
- un complexe conducteur : 10 à 200 Ω/m
- un substratum résistant : plus de 500 Ω/m .

Le recouvrement résistant est le milieu sec de la cuirasse latéritique, des altérites sèches, du rocher sec. Bien sur, on ne l'observe pas dans les zones d'émergence de la nappe, en particulier le long des marigots.

Le complexe conducteur comprend la base des altérites saturées d'eau et les niveaux humides non saturés situés au-dessus, et peut englober le niveau fissuré aquifère du rocher.

Dans une majorité des cas l'importance du complexe conducteur et les ressources en eau du socle fracturé sont directement corrélées, car une anomalie conductrice signale souvent la présence d'un accident tectonique. Au contraire l'absence d'anomalies indique un secteur homogène, sans accidents tectoniques marqués. Enfin l'absence du complexe conducteur, traduisant l'absence de la couche d'altérites saturée, l'absence d'un réseau important de fissures remplies d'eau dans le socle, est dans tous les cas une situation très défavorable.

Géophysique - Technique ou sorcellerie ?

Les sondages électriques interrogent une épaisseur comprise entre le quart et le sixième de AB. Pour observer les fractures pleines d'eau du socle à 50 mètres de profondeur, il faut tirer des lignes d'au moins 300 400 m, 600 mètres pour les socles profonds.

D'autre part un sondage électrique isolé ne donne pas d'indication sur l'évolution locale de terrain, car l'on recherche les anomalies conductrices. Il faut donc plusieurs sondages électriques pour un site, se recoupant. En moyenne, il faut, pour un village de 500 personnes, de 5 à 10 sondages électriques.

Ceci explique pourquoi la géophysique est souvent mal utilisée en zone tropicale. Tirer 400 à 600 mètres de lignes, en portant les bobines à travers la brousse à l'aide des coupe-coupe est fatigant, mais la seule façon d'utiliser la géophysique.

Divers expérimentateurs ont cherché vainement à simplifier la procédure pour faciliter le travail de terrain. Deux méthodes fréquemment utilisées sont à proscrire :

- Faire des petits traînés : tirant une flotte, constituée d'un ensemble de AB-MN de 100 m, le long des piste, où l'on circule mieux. Cette pratique donne rarement de bons résultats, car une flûte de 100 m permet d'interroger au mieux 15 à 25 mètres d'épaisseur de terrain, or l'eau est souvent plus bas.
- Choisir un ensemble de fractures sur photo, et, à l'intersection de deux bonnes fractures, implanter un seul sondage électrique, puis découvrant que le croisement des fractures est le meilleur site, à le forer. Il vaut mieux faire l'économie de l'unique sondage électrique, si le but n'est pas d'impressionner les observateurs.

Ces pratiques ont, à juste titre, incité d'excellents géologues à se défier de la géophysique. Il vaut mieux les proscrire purement et simplement, et s'appuyer sur la photo et l'expérience du géologue si l'on n'a pas les moyens pour faire une reconnaissance géophysique efficace.

Revenons donc à l'orthodoxie, pour décrire l'emploi correct de la méthode.

Technique et organisation de la reconnaissance électrique

En pratique, trois phases se succèdent

- reconnaître sur photo aérienne les fractures, chercher le plus près possible du village les noeuds de fractures, ou à la rigueur des fractures intéressantes,
- puis aller effectuer les sondages électriques sur place en cherchant les meilleures anomalies conductrices.
- enfin interpréter les résultats le mieux possible.

Un géophysicien entraîné réalisant des cadences élevées de mesure, et sachant ou pouvant interpréter avec finesse des sondages électriques est un spécialiste très rare. Cet homme doit, dans la même journée, organiser le programme des manœuvres qui portent les bobines de fil électrique et les batteries, s'assurer que les parcours ont été nettoyés au coupe-coupe, vérifier la qualité de ses électrodes et de son fil, veiller à ce que chacun se nourrisse et soit logé correctement, et, bien sûr, faire les mesures, réparer le matériel qui a toujours d'infimes pannes, et interpréter les résultats.

Or l'interprétation de mesures se fait bien dans la sérénité, pas dans l'urgence. Le mieux est donc de préparer sur photos aériennes les parcours, village par village, de lancer l'équipe de prospection sur ces bases, avec un travail préorganisé. Le prospecteur procède à une première interprétation, qui est contrôlée par un géophysicien expérimenté - donc plus ancien et moins alerte. Une fois validées les interprétations, elles sont matérialisées sur le terrain par des bornes ou des marques de peinture sur les arbres, placées sous l'autorité du chef de village.

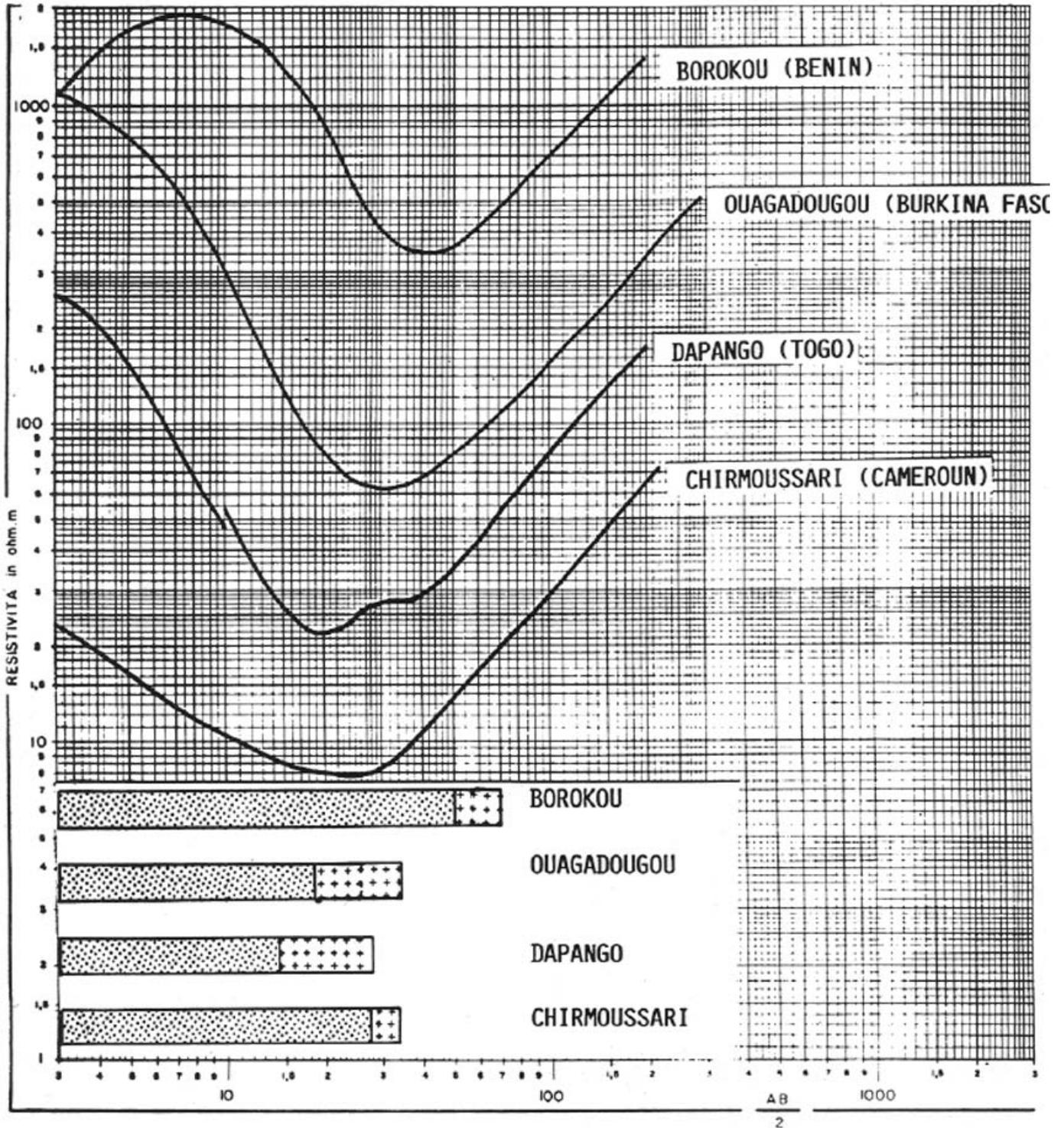


Figure 3-13 — Exemple de sondages électriques

Facturer les seuls forages positifs ?

L'expérience croissant, on a pu constater que le taux d'échec peut être piloté. La découverte de gros débits dans les zones cristallines ne relève plus du hasard. Cette constatation a permis récemment de lancer des programmes de forage dans lesquels seuls les forages positifs étaient rémunérés.

À ce stade, on a pu dire que le taux de succès devient un facteur social : Le fait de choisir un taux de succès de 80 % dans une région où la connaissance permettrait de choisir les forages à exécuter en garantissent 90 % de réussite signifie que l'on va forer 10 % dans des zones peu favorables où les chances de trouver de l'eau sont très réduites parce que l'on refuse d'abandonner les populations défavorisées.

Arlab et Geolab l'ont été fait au Nord Cameroun, sur 1 000 forages, pour lesquels on s'était fixé a priori un taux de réussite de 80 %, qui a été piloté sans discontinuer pendant 5 ans. De même, dans le programme ADECAF de Centrafrique, le groupement chargé de la réalisation du projet a accepté d'être rémunéré aux seuls forages positifs. Les forages secs étaient à sa charge. En fin de compte, un seul forage est resté sec sur quarante, dans une zone où 35 % d'échec est courant. Au Mali, la facturation aux résultats a été adoptée dans un projet exécuté par Forafrique sur fonds BID.

Comment parvenir à ce résultat ? Il faut d'abord classer les probabilités de succès a priori, en fonction des résultats des reconnaissances. Un site est décrit par deux facteurs : l'urgence, et les probabilités de réussite.

La reconnaissance permet de classer les sites en classe de probabilité :

— 0 - 20 % de probabilité de réussite :	très défavorable	TD
— 20 - 40 % de probabilité de réussite :	défavorable	D
— 40 - 60 % de probabilité de réussite :	moyen	M
— 60 - 80 % de probabilité de réussite :	favorable	F
— 80 -100 % de probabilité de réussite :	très favorable	TF

Un facteur très défavorable ne signifie pas qu'il est impossible de trouver de l'eau. Mais les chances de trouver un débit de plus de 2 m³/h sont quasi nulles, et l'on peut tout au plus espérer avoir un débit faible. Il arrive par contre d'avoir un débit très faible à nul sur un site très favorable.

Neuf fois sur dix la cause de l'échec est le forage, mal exécuté ou mal supervisé. Par ailleurs les villages doivent être classés en fonction de l'urgence de leurs besoins. Le seul véritable problème, sur lequel nous reviendrons, est l'attitude à l'égard des villageois, car étudier un site ne constitue pas un engagement de forage, ce qui est pourtant souvent sous-entendu.

Au démarrage d'une campagne, la liste des villages ayant été arrêtée selon les procédures adéquates, on peut simuler le taux de réussite a priori auquel va aboutir la campagne. S'il n'est pas satisfaisant, il faut retirer des villages non prioritaires à faible chance de succès, et les remplacer par d'autres. Il faut donc toujours étudier plus de villages que le projet ne prévoit d'en alimenter.

La responsabilisation du bureau d'études, au moment où les budgets et les effectifs de l'administration africaine s'amointrissent est donc une nécessité. Le clé en main fourni par un groupement s'oppose à la règle déontologique de séparation des fonctions d'étude et de contrôle d'une part, de réalisation d'autre part. Mais la question se pose de trouver une autre solution.

Planifier l'emploi des ressources pour satisfaire les besoins

Rien n'est plus désastreux pour un bon géologue que de précéder la sondeuses de 48 heures sans photos aériennes et sans géophysique pour implanter les forages au fur et à mesure. Cette pratique, que sa seule description condamne, est pourtant répandue et se pratique tous les jours. Elle est responsable de gaspillage pur et simple de ressources, car un forage sec a un double coût social : d'abord son coût direct, ensuite la déception et la démobilisation des populations qui comptaient sur un forage positif.

C'est un mécanisme autoamplificateur, car l'urgence perpétuelle fait commettre des erreurs. Lorsqu'il est clair que la sondeuse suivra le géologue, le forage est un dû, même s'il est sec. Faire un forage sec dans un village sur trois a un coût social effrayant. Amplifié par le passage des animateurs sur un village sur trois.

Il est pourtant bien préférable de travailler plus industriellement, en séparant dans les esprits et dans les faits en préparant à l'avance un volant d'implantations, et en puisant dedans au fur et à mesure. Cela évite d'envoyer des animateurs signer avec les populations des contrats de maintenance, qui seront sans objet. Faire des forages secs est injustifiable. Les éviter est pourtant bien simple, si l'on programme pour travailler méthodiquement et sans urgence.

Source : budget GEOLAB, Nord Cameroun

Évaluons le budget d'une campagne d'implantation de 1 000 forages positifs :

Budget matières

Photos aériennes	1500
géophysicien	2 mois
Prospecteur 20 % des cas préparation, rapport	
200 villages, 1 à 2 villages par jour :	6 mois
Équipe géophysique pendant	5 mois
Véhicules	18 mois
Géologues	
4 villages par jour	12 mois

Matériel géophysique

Budget financier (en MFCFA)	
Fournitures et véhicules	50
Experts 20 mois	90
Logistique 18 mois	40
Rapports et cartes	20
Total de	200 MFCFA.

L'habitat inadapté

En 1990, après avoir réalisé à peine moins de 100 000 points d'eau en vingt ans, les géologues connaissent bien l'Afrique soudano-sahélienne. Il devient de plus en plus difficile de faire des trous secs, si on se limite au seul objectif de trouver de l'eau. La recherche d'eau reste compliquée parce que les hommes vivent là où des critères parfois anciens ont guidé leur installation : presque toujours sur les hauteurs, là où l'eau sera la plus difficile à atteindre, pour éviter les pillards aujourd'hui disparus et l'onchocercose. En zone boisée, la clairière habitée est rarement près des fractures productives, et le forage positif situé à 600 m, en pleine forêt, a toutes chances de rester désert. C'est pourquoi nombre de projets ont entrepris de déplacer les villages, notamment le long des routes, pour ne pas accumuler toutes les difficultés. Aujourd'hui, le déplacement des villages ne se pratique plus guère. Par contre, la recherche d'une meilleure implantation des centres de vie progresse.

Gérer les connaissances

Évoquer l'informatique comme une composante et une conséquence du développement est devenu un lieu commun. Les technologies de l'informatique sont celles qui connaissent le taux de croissance le plus élevé ; elles ont représenté un marché de près de 400 milliards de dollars en 1986 et l'on s'attend à ce que cette valeur soit multipliée par trois en 1995. Leur impact sur l'industrie et sur l'ensemble de l'environnement socio-économique est si fort qu'il est impensable aujourd'hui d'imaginer une politique de développement qui ne ferait pas appel à de telles technologies. L'outil informatique, en raison de son large éventail d'applications, dans la quasi-totalité des secteurs de l'activité humaine, est un instrument puissant de gestion du développement technologique et ouvre des perspectives nouvelles en matière d'essor culturel et éducatif. L'informatique se fait donc de plus en plus instrument du pouvoir, dans tous les domaines : politique, économique, technique, social et culturel, à l'échelle nationale et mondiale suite à l'extension des réseaux télématiques ; à ce titre elle intéresse nécessairement tous les géologues, hydrogéologues et hydrologues à tous les niveaux.

Informatique et hydrogéologie

L'hydrogéologie est la Science de l'eau souterraine. « *Ses objectifs sont l'acquisition de données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, le captage et la planification de l'exploitation des eaux souterraines* », pour reprendre les termes de Gilbert Castany. Dans ce domaine, où les données numériques sont nombreuses, l'emploi de calculateurs pour le traitement de l'information et la réalisation de modèles mathématiques est une des composantes majeures du développement de la discipline. En effet, à partir de la quantification des écoulements, l'informatique ouvre la voie de la modélisation, outil fondamental pour la gestion et la planification de l'exploitation des nappes. Mais l'informatique moderne permet aussi l'acquisition et le traitement des données de terrain. Dans ce domaine des outils avancés ont été réalisés en France avec notamment le système GIDE (Gestion Informatisée des Données Eau) développé par le BRGM.

Ce système incorpore de nombreux programmes notamment ACTIF qui permet l'élaboration automatisée de compte-rendu de forage d'eau. C'est un outil qui accélère nombre de tâches routinières et fastidieuses auxquelles étaient soumis les responsables de campagnes de forages. Il contribue en outre à une grande rigueur dans le traitement de l'information, grâce à la normalisation et à la standardisation des données acquises. Ce logiciel permet, entre autres, la saisie et l'édition des données, le tracé des coupes et des courbes caractéristiques ainsi que le tracé des diagrammes Schoeller-Berkaloff.

À partir de l'acquisition de données de terrain, divers outils de gestion de base de données ont été développés, comme celui réalisé par la Société GEOLAB pour la gestion de la base de données hydrogéologique du Niger ou PROSPER, développé par le BURGEAP, qui permet la gestion, la programmation et le contrôle de projet d'hydraulique villageoise.

Dans le cas de l'étude de bassin, le stockage de nombreuses données est un prélude à leur traitement par des modèles de nappes et l'on note une quantité impressionnante de programmes. Beaucoup ont été développés sur de gros calculateurs et une proportion nettement plus faible est disponible sur micro-ordinateur.

On trouve dans le commerce toute sorte de documentation informatique, dans un large éventail de prix, que ce soit des ouvrages didactiques, des programmes conversationnels, ou encore une multitude de modules dédiés à des applications particulières.

Au niveau des modèles de nappe, on rencontre sur le marché une multitude de logiciels, notamment le modèle Islandais AQUA qui permet de simuler les écoulements souterrains et le transport des polluants ; des logiciels français développés par le BRGM, FRANLAB, etc., où encore des logiciels américains comme TRACER2D et TRACER3D, développés par TENTIME, et le logiciel Hydrosoft InterSat qui est basé sur la méthode des différences finies.

Enfin, divers outils rendent des services dans les domaines de l'hydrogéologie (interprétation de pompage, pollution, rabattement de nappe, etc.), notamment le logiciel Shaddock, de simulation de pompage et d'aide à l'interprétation de pompages d'essai, développé par GEOARMOR ou encore le logiciel RIO, développé par le BRGM, qui simule des écoulements superficiels et souterrains et leurs échanges. Ce dernier calcule à la fois l'évolution des lignes d'eau, des cours d'eau, les potentialités de l'aquifère sous-jacent et les débits d'échanges résultants.

Informatique et cartographie

Cartographie : le développement de la cartographie d'aide à la décision destinée à des aménageurs et des décideurs a commencé à faire son apparition dans les Sciences de la Terre. En particulier le groupement BRGM-GEOHYDRAULIQUE a réalisé la carte de potentialité des ressources en eau souterraine de l'Afrique occidentale. De même la cartographie thématique dérivée des images satellitaires fournit un moyen exceptionnel d'évaluation, de synthèse et de suivi des informations géologiques, à l'heure où la gestion des ressources naturelles va de pair avec le développement, et où les problèmes de l'environnement sont à prendre en compte dans leur globalité. On peut citer un logiciel français de cartographie et télédétection (CARTO-PC) développé par M. Albuissou et J.M. Monget du CTAMN de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, vendu aux États Unis par Carto Systems.

Depuis quelques années, la télédétection multispectrale est devenue le complément indispensable de la photographie aérienne pour l'étude et la gestion des ressources naturelles. Dans le domaine de l'imagerie satellitaire, l'apparition d'images nouvelles, telles que celles du Thematic Mapper de Landsat ou du capteur Haute Résolution Visible de SPOT, conduit à des développements complètement nouveaux, étant donné les changements apportés par leurs résolutions accrues, aussi bien spectrales que géométriques.



Informatisation des données des forages - GEOLAB Nord Cameroun, 1984

Pendant le Programme d'Urgence au Nord Cameroun débuté en 1983, les campagnes de forages ont fourni une abondante information permettant d'optimiser les budgets de forage en cartographiant les taux de réussite. Aussi, dès sa sortie en juin 84, la « machine à coudre » est partie en brousse. À Garoua, dans la maison des hydrogéologues de la société aux Gros Camions – les Toyota BJ60 LandCruiser, puis à Maroua, les moustiques pullulaient. La caractéristique technique unique du Compaq est que les moustiques entraînent par la grille de ventilation... puis en sortaient comme si de rien n'était.

Cet ordinateur a permis de valider dans la journée les PV de réunion de coordination mensuelle des campagnes de forages. Après la réunion, pris en note sur l'ordinateur, le PV était imprimé puis signé en fin d'après-midi par tous les participants.

D'une manière générale, on peut dire que l'information satellitaire peut faciliter à la fois l'établissement de nouvelles cartes thématiques, dans des domaines non couverts jusqu'à présent, et aussi la révision de cartes déjà existantes, avec une accélération possible du rythme de révision, et une amélioration du choix des zones à réviser.

Enfin, l'imagerie stéréoscopique du satellite SPOT a conduit à des applications remarquables, telles celles conduisant à la genèse automatique de modèles numériques de terrain à partir de couples d'images, et à leur visualisation tridimensionnelle permettant d'ouvrir la voie à des applications en géologie structurale, en cartographie thématique et en simulation de survol de zones inaccessibles. Ces travaux sont le fruit d'une avance acquise par des chercheurs français regroupés dans la Société ISTAR en collaboration avec l'INRIA.

Les outils informatiques interdisciplinaires

Après avoir présenté un certain nombre d'outils spécifiques il nous est apparu intéressant de citer des applications à caractère pluridisciplinaire qui méritent, à notre sens, d'être mieux connus. Ce sont des programmes généraux de cartographie, de statistiques, de géostatistiques, etc.

Quelques grands standards méritent d'être cités :

- Les outils proposés par l'United States Geological Survey (USGS.) tels que « *USGS Microcomputer Programs for Mapping, Statistics, and Geostatistics (Kriging)* » qui proposent des softs pour des applications du domaine minier, du pétrole ou du gaz. On note également les « *Inexpensive software for geologists* » destinés à des applications de géologie générale, du domaine pétrolier ou minier, des applications géophysiques, etc., ou encore STATPAC.
- Les outils « *fondamentaux* » tels que SURFER® ou GRAPHER® qui permettent de réaliser des cartes et d'avoir une vision 3-D ou de réaliser toutes sortes de graphiques souvent indispensables pour illustrer nos rapports géologiques.

- La COGS (Computer Oriented Geological Society) propose pour 18.5 US \$ un catalogue des programmes géologiques connus. Ce catalogue contient plus de 600 références de programmes regroupés par secteurs d'activité et types d'ordinateurs. On y trouve le nom du programme, une brève description de ses fonctionnalités et les informations indispensables pour se le procurer : nom, adresse, téléphone et adresse des concepteurs.

Dans son mensuel, COGS, propose également, pour la somme modique d'une dizaine de dollars, des disquettes du domaine public pour micro-ordinateurs de types Macintosh, Apple, IBM. Ces programmes permettent des applications diverses allant des listes des trames des symboles stratigraphiques pour imprimante laser, à la table des périodiques par accès Hypercard en passant par des modèles mathématiques et statistiques appliqués à l'hydrogéologie, à la cartographie ou au monde du pétrole.

- Des outils de calcul scientifique comme geoMATE qui permet d'optimiser l'acquisition des informations est par là même également d'un intérêt général en géologie.
- CONTOUR qui permet à partir de fichiers ASCII de réaliser des graphiques d'isovaleurs de variables quelconques. Programme développé par EARTHWARE.
- LITHSEC : destiné à représenter des coupes géologiques et à visualiser des sondages. Programme développé par EARTHWARE.
- INTERPEX Ltd. P. O. Box 839, Golden, Colorado 80402. U.S.A.
- ROCKWORKS TM distribué par RockWare, Inc., 4251 Kipling St., Suite 595, Wheat Ridge, CO 80033 - U.S.A.

Évolutions de l'informatique et perspectives

Il y a dix ans un micro-ordinateur exécutait moins de 100 000 instructions (opérations élémentaires) par seconde, il disposait d'une mémoire centrale (immédiatement accessible pour les calculs) de 64 ko (kilo-octet : un octet est une « place » en mémoire permettant de ranger par exemple un caractère ; le préfixe « kilo » employé en informatique introduit un facteur multiplicatif égal à 2 puissance 10, soit 1 024). Enfin la mémoire de masse était au mieux d'une capacité de 5 Mo (méga-octets). Aujourd'hui, le Deskpro 386/25 de la société Compaq, par exemple, l'un des plus puissants micro-ordinateur du moment exécute environ quatre millions d'instructions par seconde et sa puissance tourne donc autour de 4 Mips (millions d'instructions par seconde), offre jusqu'à 16 méga-octets de mémoire centrale et dispose en standard d'un disque de 300 Mo. En dix ans ces trois paramètres : vitesse de calcul, capacité de mémoire centrale et de mémoire de masse ont gagné, à coût constant, un facteur que l'on situera entre 20 et 50.

Les estimations des experts conduisent à penser que ces valeurs croîtront dans le futur encore vertigineusement. On imagine des vitesses d'exécution dépassant les 100 Mips, des mémoires centrales de 256 Mo, des disques (vraisemblablement magnéto-optiques) de plusieurs dizaines de giga-octets. Les microprocesseurs sont l'un des facteurs de développement des micro-ordinateurs : de génération en génération, le nombre de transistors rassemblés sur la même pastille de silicium est passé de 4 000 à 350 000 et le nombre d'informations binaires (bits) traitées par les registres, ou mot mémoire, est passé de 4 à 8 (un octet), puis 16 et enfin 32 avec le 80386.

Cependant les lois même de la physique conduisent désormais à des limitations qui vont nécessiter l'exploration de nouvelles voies. En effet, la vitesse des électrons dans les circuits et entre ces derniers est un facteur limitant, d'autant plus qu'ils sont sujets à un ralentissement dû à l'échauffement des circuits par effet Joule, ce qui motive les recherches actuelles dans le domaine de la supraconductivité, et en particulier dans les hautes températures. Une autre approche, qui élimine de surcroît les désagréments liés à l'interaction entre composants, lorsque leur proximité devient trop grande, explore la voie des calculateurs optiques où le signal est véhiculé par les photons à une vitesse que l'on ne saurait excéder.

Informatiser l'hydraulique villageoise

La conception des projets d'alimentation en eau nécessite la connaissance de données concernant les ressources en eau des localités à desservir, les besoins en eau des populations rurales et de leur cheptel, les contextes hydrologique, géologique et hydrogéologique des zones des projets, les contextes socio-économiques.

L'exécution des points d'eau permet d'obtenir des données sur la profondeur des captages et leur productivité, les variables géologiques recouvrement, altération, sédiments, les variables hydrodynamiques niveaux statiques, débits spécifiques et transmissivité, les variables physico-chimiques, température, conductivité, par exemple.

La maintenance des points d'eau réalisés captages et moyens d'exhaure ne peut être assurée correctement sans une connaissance permanente d'informations concernant l'état de fonctionnement des ouvrages.

L'étude des nappes d'eau souterraines nécessite la connaissance de données relatives à l'hydrologie, aux précipitations, à la géologie et aux bassins versants. Elle permet d'obtenir des renseignements sur la recharge des nappes et leurs conditions d'exploitation optimales.

L'approvisionnement en eau du milieu rural implique donc une importante collecte de données. Le seul inventaire des ressources hydrauliques de la République du Niger équivaut sous forme condensée à 10 000 pages de texte, cinq petits Larousse illustré.

Seule l'informatique permet de les gérer rationnellement et efficacement.

Pourquoi associer d'entrée de jeu la gestion des ressources en eau et l'informatique ?

Parce que les points d'eau se traitent un par un, et sont nombreux : des milliers par pays. Cette connaissance ne se gère plus aujourd'hui manuellement, car les budgets se resserrent et les fonctionnaires sont de plus en plus surchargés. Chaque point d'eau représente 300 à 500 personnes, et bien s'en occuper mérite l'effort d'un suivi soigné.

La gestion des ressources passe d'abord par la gestion de la connaissance des ressources. Suivons le cheminement logique :

- créer des fichiers commodes et complets des données ponctuelles, pour ranger les données dans des bases de données exploitables, de façon à les retrouver, les traiter, les synthétiser,
- exploiter les images satellites pour obtenir des cartes des grandeurs géographiques,
- prévoir les conséquences des aménagements par modèles mathématiques,
- exploiter le raisonnement logique et non plus seulement quantifier, pour s'aider à prendre des décisions dans la reconnaissance de terrain, dans la mise en œuvre d'un programme, ou dans la conception même du programme.

Enfin, et ceci pour le moment n'est engagé que dans les principes, suivre l'exécution et la maintenance des projets avec toute l'efficacité permise par les techniques modernes.

Les bases de données nationales

L'informatisation des données de l'hydraulique villageoise pour la gestion n'a pas coulé de source. Sans l'arrivée des micro-ordinateurs, on serait encore en plein tâtonnement, coûteux et improductif.

La raison est simple : contrairement à l'Europe et l'Afrique du Nord, l'Afrique est alimentée en eau, en milieu rural, pour la quasi-totalité, à partir des aquifères cristallins discontinus, très localisés, et assez peu à partir d'aquifères généralisés sédimentaires. Par conséquent, une mesure ponctuelle présente très peu d'intérêt pour les régions avoisinantes, elle n'est donc pas systématiquement recueillie. Il suffit pour s'en convaincre de recenser les données disponibles sur la centaine de milliers de points d'eau réalisée depuis vingt ans. Le bilan est encore plus sombre quant à l'informatisation de ces mesures.

Les eaux de surface sont bien mieux traitées que les eaux souterraines. Les travaux de l'ORSTOM, déjà anciens, permettent de disposer de données hydrologiques et climatologiques bien informatisées, relativement peu utilisées en hydraulique villageoise. En outre, très logiquement et sans que cela n'ait à aucun moment remis en cause son rôle de pilote, l'ORSTOM a offert sans contrepartie ses programmes aux utilisateurs, en clair. Cette attitude positive a permis à l'hydrologie informatique de prendre son essor.

Malgré les efforts dépensés sans compter des années 70, les premières véritables bases de données informatique utilisées à des fins opérationnelles pour l'hydrogéologie n'ont pas été construites par les responsables de l'informatisation : elles ont été élaborées à la fin des années 80, pour des projets précis : le Plan Directeur des Ressources en eau du Niger, la gestion sur modèle mathématique du Maestrichtien du Sénégal, ou encore le projet Danois au Niger, les programmes du Conseil de l'Entente. Les données classées plus ou moins méthodiquement dans les placards ont été introduites dans des fichiers informatiques structurés permettant d'obtenir une vision d'ensemble, à des fins de prévision, de planification ou de gestion.

Ces logiciels avaient des buts opérationnels, non des objectifs fonctionnels d'aide au fonctionnement des services de l'hydraulique. C'est pourquoi ils ont abouti, à l'époque, rapidement.

Mais ils étaient trop limités.

À la fin des années 70, coexistaient en effet plusieurs projets purement informatiques : la base des données hydroclimatologiques de la DCH de Côte d'Ivoire, la Météorologie du Congo. En règle générale, ce qui concernait la météo et l'hydrologie fonctionnait, souvent sur mini-ordinateurs, qui, à l'époque, atteignaient péniblement la puissance de micro-ordinateurs moyens d'aujourd'hui.

Des programmes d'équipement structurel, tel que le renforcement PNUD de l'HER du Burkina Faso, ou encore Agrhymet, centré à Niamey et diffusé dans les États du CILSS, fonctionnaient ou démarraient, sur Apple ou PDP 11.

Enfin, les informatisations de la DEH du Sénégal ou de l'IRH du Niger, embryonnaires, relevant d'une vision ancienne, partaient sur des voies qui ne pouvaient aboutir, à partir de mini-ordinateurs centraux.

C'est avec la montée en puissance des micro-ordinateurs que les outils se sont progressivement constitués. Au départ Apple s'était bien implanté en Afrique, mais, très vite, les compatibles PC XT ont emporté la décision, vers 84-85. Puis sont arrivés les PC AT286 et surtout 386, qui ont apporté confort et vitesse. Aujourd'hui, les services bien équipés sont passés à l'interconnexion des moyens informatiques, à base de compatibles.

Quelques Macintosh apparaissent, toujours appréciés, mais incompatibles. Dans l'ensemble, on est arrivé à la conclusion que la standardisation est une obligation, pour la maintenance et pour la facilité d'échanges.

En matière de langage, on est passé d'une pensée Fortran, lié aux grands systèmes, ou Cobol, qui ne menait nulle part, puis au Basic, aujourd'hui dépassés par le Pascal, et les systèmes de base de données tels que DBASE III+. L'évolution de cet auxiliaire indispensable, traitement de texte + tableur + communications, l'intégré, a été aussi spectaculaire, avec une mention pour Framework, devenu le trait d'union indiscutable des conseillers techniques en Afrique de l'Ouest. En 1990 tous les systèmes disponibles sur le marché sont pratiqués.

Les techniques de l'informatique sont portées par un domaine commercial dont la croissance annuelle dépasse 12 % en matériel et plus de 20 % en logiciel. En Afrique, la croissance, après avoir été lente, décolle, essentiellement à base de microinformatique, et, proportionnellement à l'Europe, presque uniquement à base de compatibles PC IBM.

Il faudra tenir compte de cette réalité pour les années à venir, malgré l'intérêt des Macintosh d'Apple, dont le coût n'est pas sensiblement différent à puissance égale des hauts de gamme PC. La standardisation des matériels est, en Afrique, une nécessité pour disposer d'une maintenance efficace à un coût raisonnable.

Cartographie, image satellites, SPOT

Dès 1955 la cartographie courante et géologique de l'Afrique était une réalité. Les puits dans les altérations et les forages au socle ont permis de compléter l'image des nappes, déjà bien avancée pour les ensembles sédimentaires. Lorsque l'hydraulique villageoise a pris son rythme de croisière, la Coopération Française a confié aux deux bureaux d'études BRGM et Géohydraulique, sous l'égide du CIEH, la réalisation des cartes de synthèse et de potentialité des aquifères de l'Afrique de l'Ouest, puis de l'Afrique Centrale.

Le besoin d'une cartographie à une échelle aussi grande que possible de plus en plus fine se démontre tous les jours, car les crédits vont aller de plus en plus à l'entretien des investissements. Il est donc logique de rentabiliser les énormes investissements de reconnaissance faits depuis quarante ans, et de les rendre disponibles.

Le support évident est la carte, celui qui va apparaître comme une évidence est le disque magnétique. Au Niger, au sein du Ministère de l'Hydraulique, sur un projet PNUD, les cartes disponibles sont numérisées, et stockées sur disque. Les contours ne sont plus de simples tracés, mais peuvent délimiter des objets : forêt, pâturage, nappes alluviales, unités administratives. Dans un premier temps, les cartes et les données stockées serviront pour les modèles, et, dans une seconde phase, elles seront utilisées pour la programmation.

La couverture cartographique et géologique de l'Afrique peut être considérée comme bonne, vue la surface à couvrir et la densité de population, au moment où commence l'hydraulique villageoise. En particulier les photos aériennes ont fait l'objet de toute une série de campagnes pendant les années 50. Ces photos sont aujourd'hui employées journalièrement. Elles servent à interpréter le terrain que l'on va rencontrer dans les campagnes de forage en cours, à remplacer les cartes topographiques à échelle petite ou moyenne, et établir les cartes de fractures. Par contre, la position des villages n'a, en général plus rien à voir avec ce qui apparaît sur les photos. Constamment, un village que l'on croit rassembler 300 habitants, mais en contient désormais 2 000, ou encore le village de 800 personnes s'est déplacé de dix kilomètres.

On a très vite compris l'intérêt des images satellites pour compléter à petite échelle les informations recueillies sur photo aérienne.

D'autre part les cartes de végétation ont varié de façon phénoménale depuis les années 50. Il suffit de relire les livres d'observateurs de l'époque, de revoir leurs photos, de consulter les photos aériennes de l'époque pour observer la disparition de savanes, la création de glacis sans végétation, l'érosion des sols. Ceux qui ont vu le dernier lion à Saint Louis sont aujourd'hui grands parents, depuis longtemps.

Il faut donc d'autres outils. Les campagnes de photos aériennes ne sont pas faciles à organiser, et restent relativement coûteuses. Le moyen simple de revivifier le fonds photo des années 50 est l'image satellite.

Les satellites

Il existe en gros deux systèmes de satellites :

- les satellites géostationnaires restent sur une même position, au-dessus de l'équateur, Météosat face à l'Europe, par exemple, émettant à heure fixe, à la demande ou encore sur alerte, et qui ont une assez bonne durée de vie, mais sont plus chers,
- les satellites à orbite polaire, du système Argos, qui tournent, mais nécessitent des stations de traitement moins coûteuses.

En 1975, la Commission Économique pour l'Afrique a débuté son programme panafricain de Télédétection. En 1976, un groupe d'experts a visité différents pays, pour mettre sur pied un réseau de Centres Régionaux de Télédétection. Ouagadougou a été choisi pour l'installation de l'un d'entre eux, le Centre Régional de Télédétection de Ouagadougou. Le CRTO comporte un centre de formation, un centre d'aide aux utilisateurs, une station de réception, un centre de traitement de données. En 1977 un Comité Technique a été constitué à l'initiative de la CEA, composé des représentants du Burkina Faso, de la CEA, et des bailleurs de fonds, Canada, France, USA. La première application des images retransmises au CRTO a concerné les barrages.

Depuis, SPOT, satellite lancé par la France, a permis d'obtenir des images plus fines, puisque l'on obtient 10 mètres de résolution, c'est-à-dire que l'on compte facilement les cases des villages.

L'échelle des différentes images est importante à préciser :

En hydraulique villageoise, une photo aérienne s'agrandit au 10 000e pour faire des cartes topographiques en zone difficile, mais on peut descendre à 1/2 500 pour des travaux précis. Par contre une image satellite Landsat permet de sortir une carte géologique à 1/250 000 ou à 100 000, mais procure de purs artefacts si l'on essaie de descendre en dessous du 1/50 000. D'ailleurs 80 m, pouvoir séparateur du Landsat, représente 80 000 mm : à 1/50 000 le résultat fait 1,6 mm : c'est trop.

Il n'en est plus de même avec SPOT, qui fournit des images avec un pouvoir séparateur de 10 m, qui permet de sortir au 25 000e à peu près lisible, et dont une application en progrès constant est le modèle numérique de terrain, c'est-à-dire la restitution en courbes de niveau, lignes de pente, et altitudes des mesures brutes.

Les coûts des images satellites sont réduits, quelques centaines de milliers de fcfa pour une campagne moyenne. Cela ne signifie pas que l'on puisse utiliser directement les images sans chercher à les comprendre. En règle générale, ce que l'on voit - ou croit voir - sur une image doit être contrôlé au sol.

Les modèles mathématiques

Un modèle, c'est d'abord le contrôle du bilan des flux d'entrée et de sortie

À quoi sert un modèle ?

Dans les grands ensembles sédimentaires, les nappes sont continues et s'étendent sur de grandes étendues. C'est le cas du Maestrichtien du Sénégal, qui alimente Dakar par forages, des nappes des grands bassins fluviaux, des Dallols, des bassins de Douala, de la nappe du Gondo. Dans ces ensembles, les interactions entre captages sont importantes, et peuvent mettre en péril les investissements : par exemple en dénoyant les pompes, ou en faisant entrer de l'eau de mer dans les nappes surexploitées.

Comment construit - on un modèle ?

Un modèle se définit par :

- une structure : la mer, les fleuves, la pluie les nappes, les forêts, les villes, les captages, l'irrigation,
- des paramètres : la pluviométrie, le climat, la géométrie des nappes, leur porosité, leur perméabilité, leurs relations avec les fleuves et l'atmosphère,
- un comportement : soumises à des exploitations, ou à des fluctuations saisonnières, les niveaux d'eau et les concentrations en sel varient dans le temps et l'espace.

On a toujours des informations tronquées, partielles, incomplètes, insuffisantes, sur les trois attributs du modèle, structure, paramètres, comportement. On va donc se servir de ces images floues pour cerner l'objet, puis simuler son comportement face à des situations que l'on souhaite mettre en œuvre ou que l'on craint voir se réaliser.

Le premier temps de la construction d'un modèle consiste à mettre de l'ordre dans les idées et dans les données. Le plus souvent, pour ne pas dire toujours, les données sont rangées une peu n'importe comment, un peu n'importe où. On les range donc dans des tableaux informatisés structurés, dont l'organisation permet de faire deux choses essentielles :

- Retrouver les valeurs mesurées sur le terrain pour les comparer avec les résultats de la simulation, c'est le calage du modèle, qui s'achève lorsque l'homme de l'art - l'hydrogéologue - est satisfait,
- Préparer les hypothèses de captage et de pluviométrie pour pouvoir lancer les scénarios de simulation de façon logique et cohérente, et pouvoir ensuite les comparer entre elles, pour prendre des décisions sur des dossiers complets.

On a pu dire que la première véritable base de données des points d'eau du Sénégal a été faite à l'occasion de la construction du modèle. Plus de 10 000 mesures de niveau, des centaines d'observations hydro-météorologiques, des cartes, ont été informatisées, dans un ensemble cohérent.

Quand s'en sert - on ?

La mise en place d'un ou de plusieurs forages d'hydraulique villageoise dans le cristallin ne nécessite pas la mise en œuvre d'un modèle. Les aquifères cristallins sont trop compartimentés pour que l'on puisse construire un modèle qui comporte, comme hypothèse sous-jacente l'existence d'une nappe continue. Or l'eau, dans le cristallin, circule rapidement dans les fissures, qui sont lentement rechargées par la masse d'altération. Un tel mécanisme, bien connu dans son principe, ne sera jamais assez connu dans sa substance, car le coût de l'exploration ne peut dépasser quelques centaines de milliers de FCFA par point d'eau.

Par contre, lancer un programme ambitieux, sur un territoire bénéficiant d'une nappe continue, devrait se faire chaque fois que le captage risque de dépasser l'alimentation naturelle des nappes. Pour ne pas rester dans le théorique, donnons quelques chiffres, sur un calcul fondamental.

La pluie réelle est souvent comprise entre 400 et 800 mm réels, sur lesquels l'essentiel se réévapore avant d'avoir touché les nappes. Il reste - et c'est confortable - 50 à 150 mm utiles par an. L'essentiel coule tout de suite, va au marigot, à la rivière, au fleuve, à la mer, ou se réévapore. Il en reste 5 à 10 mm qui vont à la nappe, soit, transformé en cubage d'eau, 5 000 à 10 000 m³ d'eau par an, qui vont aux nappes. Là-dessus, une bonne partie alimente les sources et les marigots, les rivières et les fleuves, et l'on peut espérer en capter quelques centaines par an par kilomètre carré. Cela veut dire qu'un forage d'un mètre cube par heure, dix heures par jour, trois cent soixante-cinq jours par ans, tirant donc 3 650 m³ d'eau par an a besoin d'un bassin d'alimentation de plusieurs kilomètres carrés pour fournir son eau de façon pérenne. C'est pourquoi les études de terrain préalables à une implantation commencent toujours par un examen de la morphologie du site. En Afrique, la topographie est assez plate, et il faut donc commencer par se faire une idée de la taille du bassin versant recueillant l'eau que l'on compte capter sur le site à implanter.

Chaque fois que les exploitations prévues dépassent donc quelques centaines de m³ par an et par kilomètre carré, il faut faire un bilan soigné de la nappe. Un modèle simple reste le meilleur outil pour le faire.

Quel est le futur immédiat des modèles en Afrique ?

Le coût des modèles, aux cours des deux précédentes décennies, était élevé, en règle générale, parce que la récolte des informations était soit fragmentaire, soit à faire. Aujourd'hui cette phase préalable, qui absorbait l'essentiel des budgets dévolus aux modèles est notablement simplifiée par l'énorme travail de mise en forme des données déjà accompli.

Une fois calé, un modèle moderne est rapide et peu coûteux à mettre en œuvre. Les micro-ordinateurs permettent de construire, à l'aide de la souris et sur le mode conversationnel, des modèles de bonne qualité, avec lesquelles un problème de nappe que l'on connaît bien peut être traité en quelques jours. On peut donc penser que l'usage des modèles ne sera bientôt plus réservé aux seuls experts.

Et le futur proche ?

Mais le principal progrès de la dernière décennie a consisté à intégrer dans les modèles la simulation de l'ensemble du cycle de l'eau : la pluie tombe, s'évapore pour partie, et ainsi de suite, nous venons de le voir : c'est cela qui est important, car chaque goutte d'eau que l'on prend à une nappe risque de manquer à la source ou au marigot à la saison sèche.

D'autre part, les bases de données se développent, et l'une des sorties naturelles en est précisément l'entrée des modèles de nappes. On va donc assister à une intégration plus poussée base de données modèle. C'est déjà engagé au Niger, il s'agit donc d'un futur proche et non plus à moyen terme.

Le modèle intégré du Sénégal : pérenniser les investissements

La baisse du niveau d'eau provoquée par la sécheresse et l'accroissement des prélèvements ont provoqué une montée simultanée de la salinité dans les nappes de la région de la presqu'île du Cap vert a conduit le Sénégal, sur financement FED, à construire le premier grand modèle multicouche entre 1981 et 1983. Le caractère inquiétant à terme est manifesté par la dernière phrase de la réunion de clôture du projet : « *Si nous ne prenons pas de mesure pour réduire la dépression de la nappe, la nature le fera à notre place, avec de l'eau salée* ».

Rapidement, la structure hydrogéologique étant maîtrisée, le modèle a été étendu à tout le pays, sur 200 000 km². Cela a permis de reprendre le projet d'adduction d'eau depuis le Lac de Guiers par le Canal de Cayor. Puis l'outil a été repris avec les mêmes cartes et bases en 1984-1985 pour les alimentations en eau réalisées par RRI, puis en 1986-1987 dans le groupement du Canal de Cayor piloté par le BCEOM sur financement Banque Mondiale. Ensuite le modèle a été repris en 1999-2002, sur financement Banque Mondiale et Coopération Scandinave pour le Plan Sectoriel Eau PSE piloté par COWI sur l'ensemble du pays pour disposer d'un outil capable de traiter avec un seul outil le Sénégal, les régions et l'eau salée provenant de la profondeur ou de l'Océan. Modflow avait été choisi dans les termes de références mais n'a pas été en mesure d'atteindre les objectifs. Puis, en 2010-2012 le Sénégal a lancé le PAGIRE sur financement Banque Africaine de Développement – Facilité Eau. Le grand modèle sur 6 couches plus le sol a été relancé pour effectuer les bilans des Unités de Gestion et de Planification.

Cette pérennisation des investissements a été rendu possible par la structure de Watermodel, logiciel de Geolab, intégrant un Système d'information géographique et un mailleur Quadtree à mailles dont la finesse est adaptée aux régions. L'outil fonctionne en intégré, c'est-à-dire traite aussi bien le ruissellement, les cours d'eau que les aquifères et le non saturé, avec eau salée 3 dimensions. La structure intégrée permet de travailler avec un seul ensemble de cartes, de bases de données des paramètres et des séries chronologiques, enrichi au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles informations et avec un maillage évoluant en quelques clics selon la finesse nécessaire.

Systèmes experts

Les systèmes experts ont été d'abord utilisés pour des raisons sanitaires, dans le domaine de l'eau, pour faciliter certains diagnostics. Constatant que le raisonnement du géologue implantant des forages devait très méthodique, grâce aux connaissances accumulées, l'équipe Michel Detay et Patrice Poyet a créé, sur l'expérience du Nord Cameroun, où plus de 2 500 forages ont été implantés, un logiciel reconstituant l'approche de terrain d'un bon géologue. Le système expert Hydrolab a été utilisé avec succès au Nord Cameroun et en RCA. Une application au Burkina Faso a été réalisée pour le CIEH. Enfin une version dédiée à la formation a également été réalisée. L'intérêt de ce type d'outil est de s'enrichir progressivement des connaissances recueillies, chose qu'aucun homme ne peut faire lorsque la masse de données concerne des milliers de forages.

Ces systèmes experts seront de plus en plus employés, tant sur le terrain pour alléger la tâche du géologue, que pour former les jeunes géologues ou informer les responsables de campagnes, en insistant sur les raisons qui provoquent telle ou telle conclusion.

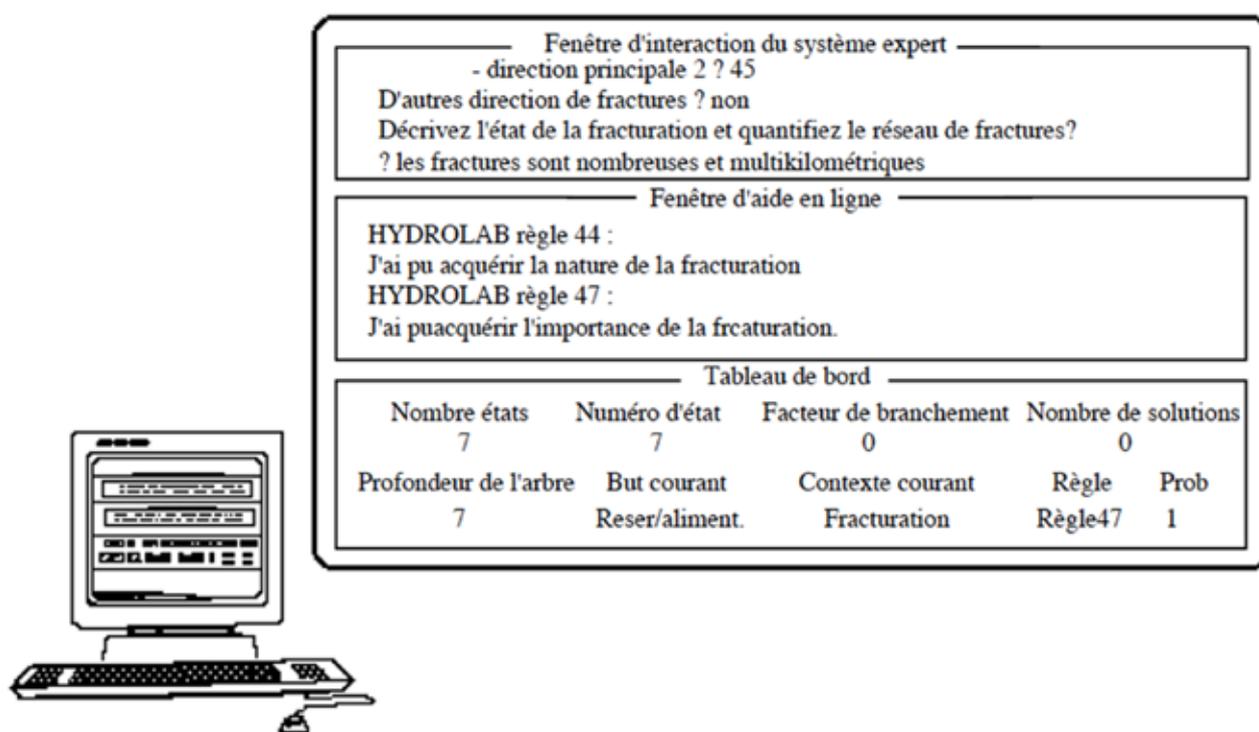


Figure 3-14 — Exemple de fenêtre d'Hydrolab©.

L'apport de l'intelligence artificielle dépasse l'objectif scientifique et industriel et confère à Hydrolab© la propriété d'être également « *un outil pédagogique global* » en rendant possible la simulation et l'explication d'une gamme de scénarii qu'il est capable de produire (variations de conditions géologiques, climatologiques, structurales, hydrologiques, démographiques, etc.). Ses fonctions pédagogiques ont été utilisées au cours de nombreuses sessions internationales de formation au Centre de Formation International à la Gestion des Ressources en Eau (CEFIGRE) dans le cadre du perfectionnement de cadres africains aux techniques d'implantations. Les utilisateurs ont eu à retraiter des cas réels à partir des cartes topographiques et géologiques, de fiches d'inventaires des points d'eau, de résultats de la photo-interprétation, de données géophysiques et des études de terrain déjà effectuées, puis à comparer les conclusions d'Hydrolab© aux résultats des forages réalisés dans ces mêmes localités.

Le défi qu'a relevé Hydrolab© est d'être un système expert compact, opérationnels sur des machines portables, et directement utilisables sur le terrain. Les difficultés majeures de réalisation proviennent des limitations matérielles imposées afin de garantir la diffusion et l'utilisation in situ du logiciel sur des machines aux performances limitées. Hydrolab© peut être utilisé aujourd'hui, par des hydrogéologues sur le terrain, grâce à des ordinateurs portables (écran à cristaux liquides), dans les conditions sévères des campagnes d'hydraulique villageoise.

Ce logiciel a demandé plusieurs années d'efforts pour sa spécification, sa réalisation et sa validation. Les résultats obtenus nous amènent à une reformalisation de la connaissance en hydraulique villageoise qui intègre l'extrême diversité des compétences mises à contribution. L'obtention d'un taux de succès allant jusqu'à 85 % des forages dans des zones considérées par les experts comme particulièrement difficiles constitue une retombée concrète et particulièrement motivante des recherches entreprises.

Les analyses isotopiques

Les isotopes radioactifs ont été utilisés dans plusieurs bassins sédimentaires africains pour évaluer les durées de circulation de l'eau dans les nappes. Les principaux isotopes employés sont le deutérium, le carbone 14 et l'oxygène 18, qui sont des isotopes stables, présents naturellement dans l'atmosphère et dans le sol, et le tritium, isotope instable, aujourd'hui inutilisé, car lié aux expériences nucléaires dans l'atmosphère qui ont eu lieu de 1958 et 1963.

Le tritium a une période d'activité de 12,6 années, c'est-à-dire que sa concentration diminue de moitié en 12,6 années. Le carbone 14, lui, a une période de 5 730 années. Ils permettent donc de suivre, avec deux périodes caractéristiques, le mouvement de l'eau dans le sol.

Le deutérium et l'oxygène 18, isotopes stables de l'hydrogène et de l'oxygène, sont liés à la température.

Les principaux laboratoires spécialisés dans l'étude de ces isotopes sont les laboratoires de Radiogéologie de Bordeaux, de Géodynamique de Paris, le Laboratoire de Radioc carbone de Lyon, le Centre de Recherche Géodynamique de Thonon, et l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique de Vienne.

Au Sénégal, les mesures effectuées en collaboration entre le BRGM et l'AIEA ont montré que le fleuve Sénégal alimente faiblement la nappe au sud-est du pays, et peu sur le reste du pays. Au Tchad, les analyses menées par la FAO, l'UNESCO et la CBLT - Commission du Bassin du Lac Tchad - ont montré que les pertes du Lac se faisaient en partie au profit des eaux souterraines, et pas seulement par évaporation. Au Togo, les études isotopiques du PNUD ont montré que l'aquifère maestrichtien est très ancien, et alimenté très au nord seulement. En Côte d'Ivoire, une analyse très originale sur les eaux souterraines montrent qu'une forte partie de l'eau de pluie ne parvient jamais aux nappes.

Tous ces résultats, qui ont été obtenus pendant les années 70, sont d'abord scientifiques. Ils intéressent les grandes masses d'eau en circulation et concernent très indirectement l'hydraulique villageoise. Il fallait les mentionner, car ils ont correspondu à une époque où tout était mis en œuvre pour mieux comprendre l'eau souterraine, afin de mieux la capter.

Augmenter la ressource captable

Les pluies provoquées : des recherches importantes ont été exécutées sur les pluies provoquées au Burkina Faso, autour de 1970, à la suite de la sécheresse enregistrée en 1966-1968 autour de Ouagadougou. La Direction de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural, le CIEH et l'ASECNA ont étudié la possibilité de provoquer des pluies dans le but d'avancer la date de remplissage des réservoirs. Ces expériences de pluie provoquée ont été menées principalement en Haute-Volta, mais aussi, sur de brèves missions, en Côte d'Ivoire et au Niger. Sur financement FAC. En 1976 nous avons perdu en Côte d'Ivoire un avion, son pilote et un ingénieur météo expérimenté.

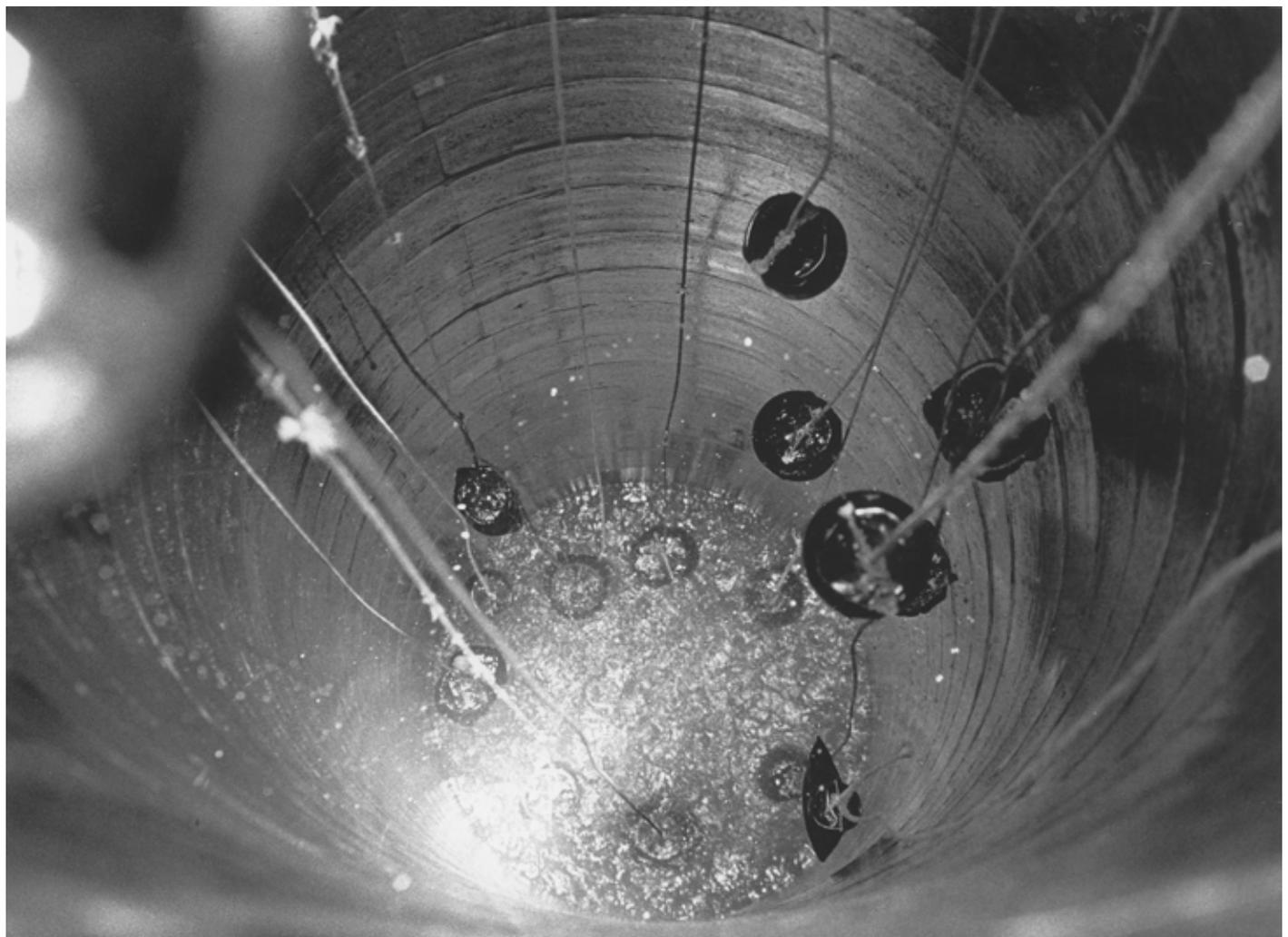
Énormément d'information a été obtenue à l'occasion des différentes campagnes de pluie provoquée. On connaît les résultats obtenus avec l'iodure de sodium, et l'on a pu confirmer des résultats analogues avec le chlorure de sodium anhydre. Ce produit, peu coûteux, montre une certaine efficacité pour provoquer la chute d'eau prêt à tomber. Encore fallait-il que le sel soit bien sec et bien conservé.

Mais, globalement, les résultats ne dépassent pas 25 % d'amélioration du volume écoulé, et les améliorations semblent avant tout localisées. Ces recherches, qu'il fallait entreprendre à l'époque, sont aujourd'hui abandonnées. Elles ont beaucoup souffert, en Afrique de l'accident d'avion dont a été victime Albert Cotte, météorologue, en 1976, au retour d'une mission de pluie provoquée.

Cela ne signifie pas pour autant qu'elles ont été abandonnées partout. L'Australie est un continent semi aride ou aride, et la pluie artificielle y donne des résultats assez positifs, en faisant tomber les précipitations plutôt plus là où en a besoin que n'importe où. C'est d'ailleurs l'objectif qu'il convient d'assigner à cette technique encore jeune.



Thieouel - L'usage de la poulie est très répandu au Sénégal. Les poulies amovibles sont la propriété des utilisatrices -1976



Sur le même puits : 15 personnes puisent en même temps, à 20 mètres de profondeur le débit est de 4 m³/h

Mieux connaître le renouvellement de la ressource

Les nappes jouent un rôle régulateur important sur les ressources en eau. Il est donc de première importance de chercher à les augmenter le plus possible, et, en tous cas, de tirer le meilleur parti des nappes. Aujourd'hui, les principales estimations de ressources sont assez globales. Elles sont exprimées à petite échelle par des cartes de planification exécutées, sur financement FAC, par le CIEH, pour l'ensemble des États membres du CIEH de l'Afrique Soudano Sahélienne. Une bonne gestion de la ressource commence par l'évaluation de la recharge annuelle et sa variabilité, de façon à trouver le meilleur compromis entre les besoins d'exploitation et la protection de la ressource.

Le Burkina Faso a été choisi en raison du grand nombre de programmes effectués, et du réseau important de forages équipés disponibles.

Les essais ont porté sur des essais de pompage hydrauliques, des analyses isotopiques, sur tritium, deutérium, oxygène 18. Les résultats qualitatifs ont été les suivants. Tout d'abord, l'aquifère du socle est apparemment captif, mais il est rapidement dénoyé lors du pompage, ce qui fait réagir simultanément les deux horizons, la zone fissurée et la matrice altérée. Selon les régions, on a de grandes nappes relativement continues latéralement, ou bien de petites nappes cloisonnées.

La recharge observée en Afrique soudano-sahélienne est plus faible, environ 50 à 100 mm par an, que celle que l'on observe en Europe, mais, proportionnellement plus forte que ce que l'on aurait pu croire. C'est probablement dû à la teneur en argile des altérites, dont la conséquence est la faible perméabilité. Ceci signifie qu'un forage d'hydraulique villageoise exploitant 1 m³/heure, donc tirant 3 000 m³ par an a besoin de plusieurs kilomètres carrés de bassin dans une telle région.

Une seconde voie de recherche vient d'être ouverte. Les forages au socle peuvent être secs pour avoir raté de peu les fractures qui permettent de drainer l'eau. La Coopération Française fait procéder par le BRGM à des essais de fracturation sur site, pour augmenter les résultats de forages improductifs. Les essais sont en cours. Ils permettront de juger, une fois la rentabilité du procédé établie, d'arbitrer entre une amélioration des méthodes de reconnaissance et l'amélioration des performances du captage.

Augmenter vraiment la ressource : agir sur l'écosystème. Le véritable moyen d'accroître les ressources, c'est de ne pas dégrader l'environnement, et, lorsque c'est possible, l'améliorer. Chaque fois que l'on coupe une forêt pour en faire du feu, on perd de l'eau. L'eau que l'on capte n'est pas une substance immobile. Les Chinois disent que l'on ne se baigne jamais dans la même eau. On ne pompe jamais deux fois la même eau. Si l'on améliore le flux, on accroît la capacité de captage. Le Maroc l'a non seulement très bien compris, mais mis en œuvre, beaucoup sous l'impulsion de Robert Ambroggi. Il suffit pour s'en convaincre de voir vingt ans après les plantations de forêts devenues des forêts, et, surtout, le travail à l'amont des barrages, où les plantations et la préparation des sols, qui visent à limiter l'envasement des barrages, a pour second effet de créer des microclimats et de faire recirculer l'eau.



Chapitre IV

LES OUVRAGES ET L'EXHAURE

Au fond d'un trou ou d'un puits, il arrive qu'on aperçoive les étoiles.

Aristote

Les points d'eau anciens

Les ouvrages ont radicalement changé d'allure depuis 1970. Auparavant, on pouvait distinguer plusieurs catégories de puits, les forages étant rares et destinés à l'alimentation urbaine :

- Les puits collectifs, surtout en zone nomade, propriété collective d'une fraction peule ou touareg.
- Les puits privés, appartenant souvent à la chefferie, à un notable, ou, en pays musulman, à la mosquée, et utilisés par l'ensemble de la collectivité. Le propriétaire s'assurait ainsi une clientèle - au sens romain du terme -.
- Les puits administratifs, busés, avec margelle, et souvent une colonne de captage, commencés par les militaires - le célèbre puits FRIRY - et continués par l'administration civile.

Le point d'eau n'était presque jamais réservé à la seule alimentation en eau de boisson ; il servait aussi bien l'homme que les bêtes, et, parfois, le maraîchage.

Dès la fin de la guerre, l'administration entreprend la réalisation de puits administratifs modernes. Le cuvelage est en béton. On lui adjoint un captage en buses de béton enfoncé de plusieurs mètres dans la nappe par des moyens mécaniques, havage, pompage. L'emploi du compresseur et de l'explosif permet désormais des fonçages en zone rocheuse jusque là inaccessible.

Tableau IV-I — Le métré réalisé en 1955.

Pays	nombre d'ouvrages	métrage	Nombre	%	dépenses totales
			d'ouvrages secs	d'ouvrage s secs	
Sénégal	194	6 483	4	2,06	341
Mauritanie	303	7 353	8	2,64	456
Burkina Faso	72	921	12	16,66	89
Bénin	123	2 973	5	4,06	89
Mali	153	4 212	12	7,84	118
Côte d'Ivoire	66	827	6	7,57	>32
Niger	422	13 669	23	5,45	>400
Total	1333	36 438	70	5,25	1 500

Mais ces ouvrages non traditionnels revenaient chers et ils étaient difficiles à entretenir par les puisatiers. Dans le courant des années 60, une tentative fut faite, sans succès durable, de lancer les ouvrages en investissement humain. Le but était d'intéresser les populations en les faisant participer, en nature, d'abord à la construction du puits, ensuite à son entretien.

Très tôt, la solution à laquelle on est finalement arrivé était pressentie dans son principe : il ne faut concevoir qu'en fonction de la maintenance, supprimer les pièces en mouvement, se servir de l'hydraulique comme moyen de transmission de l'énergie. L'intérêt de l'hydropompe Vergnet, sur le plan historique, est d'avoir été conçue en Afrique, et son prototype construit avec des matériaux de fortune.

Une exhaure adaptée et variée

Les modes de puisage étaient ancestraux, la corde et laalebasse, l'écopage, parfois le chadouf, en Égypte ou au Soudan, le délou ou le takarkart. Ce puisage contaminait inévitablement l'eau. Certains restent d'actualité : le délou fonctionne toujours dans les zones pastorales. Les efforts étaient déployés sans compter pour améliorer ces méthodes, mais les poulies, les treuils à main, les fourches métalliques, les b, tis à rouleaux, tous coûteux sont usés très vite par le sable et la latérite abrasive.

Les puits anciens fournissaient environ 2 à 5 m³/h, à condition d'être correctement exécutés. L'énergie d'extraction était classée, en 1950, en énergies immuables - hommes et animaux - pour développer des puissances allant de moins d'un dixième de cheval à un demi cheval, énergies variables, le vent et l'eau, et les énergies futures : le solaire.

Un même homme était sensé pomper deux heures d'affilée, à régime soutenu, ou, en fournissant 0,08 CV, pendant huit heures... Mais les animaux de trait, chameau, âne ou boeuf, étaient l'énergie la plus appréciée. Les boeufs dressés et les chameaux sont capables de tirer 2 à 3 m³/h, soit 25 à 40 m³ par jour, de 80 mètres de profondeur.

Les citernes, très répandues depuis très longtemps dans le Gourma de Gao, rassemblent directement, ou après ruissellement, les eaux de pluie. Elles ont bénéficié d'un regain d'intérêt dans l'étude des Plateaux Batéké du Congo et du Gabon, qui reçoivent énormément d'eau qui, malheureusement s'infiltré assez rapidement en grande profondeur.



Guidiguir - Aux abords d'un puits pastoral - Niger



Puits pastoraux avec traction animale (haut) et manuelle (bas)

Les roues hydrauliques, peu répandues, car difficiles d'entretien, devaient permettre d'irriguer 4 à 5 ha de maïs en fonctionnement normal.

Les béliers hydrauliques, Mengin, Lecheux ou Coupez, aujourd'hui totalement disparus, semblaient promis à un bel avenir, il y a 25 ans, en raison de leur rusticité. Leur principe entraînant un rendement faible et des pertes d'eau importantes, la sécheresse a eu raison de ce matériel.

Les éoliennes, Neyrpic, CEM ou Wincharger, en raison de leur complexité, des problèmes d'entretien, n'ont pas eu le succès rencontré ailleurs. Le solaire était déjà pressenti, mais seul le thermique était maîtrisé, et son faible rendement ne permettait aucun décollage du procédé. Les efforts pour créer et construire sur place du matériel adapté n'étaient pas mesurés, mais les résultats étaient peu convaincants. La pompe ABI tombait très vite en panne, et montrait rapidement que tout système de tringlerie doit être étudié soigneusement en robustesse et fiabilité.

Le matériel importé était aussi varié que les bonnes volontés : pompes Africa (Briau), peu convaincante, Briau, limitée, mais simple, les pompes Bodin, souvent en panne, les pompes Caruelle à élévateur à bande multicellulaire, aujourd'hui oubliées, Lemaire, à godets, testée au Sénégal, au Bénin, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire.

Les ouvrages modernes

Dès la fin des années 60, le métrage des puits disponibles en Afrique de l'Ouest dépasse 100 000 m. Les résultats ont été relativement moyens, et le rapport Biscaldi de 1967 (BRGM-CIEH-FAC) fait le point sur les facteurs prépondérants du débit, notamment, sans que cela soit monté en épingle, la qualité des opérateurs.

Les trois principaux reproches que l'on peut adresser aux puits sont le tarissement en saison sèche en raison de sa faible pénétration dans l'aquifère de socle et des fluctuations du niveau piézométrique, la lenteur d'exécution, la contamination automatique de l'eau.

Depuis 1965, les conditions météo ont évolué, sans que la sécheresse ne soit prévisible. Mouton et Bolognini découvrent en 1965 sur plusieurs campagnes au Burkina, au Togo, au Bénin, au Kenya, que le cristallin n'est pas stérile, et que le couple géophysique — photointerprétation permet d'y implanter des forages avec de bonnes chances de succès. Les méthodes étaient auparavant si peu claires que Brémond, connu pour son sérieux, publie, en 1965, un « *Cahier des charges types pour l'exécution de forages d'eau entrepris sans prospection préalable* ».

D'excellents géologues, vingt-cinq ans après, continuent à se défier des méthodes de reconnaissance et prônent le forage direct. Fort heureusement, on a démontré depuis que la reconnaissance, dans le pire des cas, est « *gratuite* », si l'on regarde le coût du forage productif, et payante si l'on regarde les débits extraits.

Or, dès le début des années 50, le Ghana s'était engagé dans une politique de réalisation de points d'eau en grand nombre, par forages et pompes à bras. Vers la fin des années 60, la Ghana Water and Sewerage Corporation cessait même purement et simplement de réaliser des puits, pour ne se consacrer qu'aux forages.

Conclusions du rapport Burgeap au CIEH 1971

- Les puits en investissement humain sont dépassés.
- Les puits sont pratiquement abandonnés au Ghana.
- Pour un prix équivalent le forage donne un débit meilleur et plus stable.
- Les forages réalisés en grande série ont un prix plus bas.
- La structure de l'habitat conditionne le débit recherché pour un ouvrage.
- Les études préliminaires des sites de villages sont indispensables.
- La majorité des pompes visitées sont en mauvais état.
- La condition sine qua non d'une politique d'équipement des forages est une solution viable au problème de l'entretien des pompes.



Atelier Calweld utilisé pour le fonçage de puits à moyenne profondeur en terrain meuble. Munie d'une kelly télescopique cette machine peut forer et équiper en une journée, un puits de un mètre de diamètre, à une vingtaine de mètres de profondeur - Côte d'Ivoire, 1973.

Pourquoi abandonner les puits ?

Le Ghana connaissait une période de développement permettant d'espérer au bout la prospérité. Cette époque est caractérisée par le nombre élevés de cadres très bien formés, que l'on retrouve dans nombre d'organismes internationaux. Une des priorités est l'eau potable, et l'objectif affiché est de donner un point d'eau par groupe de 300 habitants. Il est hors de question d'y parvenir dans un délai raisonnable avec des programmes de puits.

Le seul moyen industriel est le forage : le parc de la G.W.S.C se compose donc de 17 sondeuses. Jusqu'à 1969, 1 200 forages sont exécutés, plus de 56 000 m. Les plus profonds recherchent 5 m³/h pour alimenter les agglomérations de plus de 5 000 habitants.

Les plus petits, captant de l'ordre du m³/h sont destinés aux villages, ou aux groupes de 300 habitants. Les taux de réussite dans le cristallin n'ont jusque là pas été miraculeux, mais 20 % seulement des forages du Ghana de 60 m de profondeur ne parvient pas à fournir moins 300 l/h dans le granite. Bien sûr dans les schistes birrimiens, l'aquifère abondamment représenté en Côte d'Ivoire, les résultats sont plus encourageants.

Le Ghana rencontre dès le début les problèmes de maintenance des pompes publiques. Une seule pompe, à bain d'huile, résiste aux efforts des villageois, et parvient à tourner deux ans sans pannes. Pour toutes les autres, le coût de l'entretien parvient parfois à égaler le quart de la valeur de la pompe neuve. Il ne faut jamais oublier que, dans le cristallin, l'eau est souvent agressive.

Du reste, presque tous les constructeurs de pompe ont un jour ou l'autre été tentés de réaliser un modèle de leur produit en Inox, certains l'ont fabriqué effectivement, sans succès commercial.

En Afrique francophone, on découvre les mêmes limites aux forages, et, la renommée du Ghana se propageant, le CIEH demande au Burgeap un rapport qui fera date. Le mérite du Burgeap est d'avoir soutenu avec conviction à partir de ce moment un changement de cap inéluctable qui, à l'époque, était difficile à prendre.

Conseil des Ministres du CIEH, Libreville, 1973

Premier jour, premier thème : les moyens d'exhaure

Première intervention : « *La grande difficulté que nous avons se situe au niveau de l'entretien ; il est très facile de créer des nouveaux points d'eau, mais entretenir ces puits nous pose de sérieux problèmes non par les difficultés techniques, mais plutôt par des questions d'organisation. On vient de nous révéler que l'on a formé des équipes d'entretien qui passent périodiquement sur les pompes. Peut-on nous dire comment sont couverts les frais d'entretien ? Est-ce l'Etat qui chaque année prévoit une somme pour les frais d'entretien ou bien est-ce que les frais d'entretien courants sont à la charge des villageois ?* »

Réponse : « *Nous avons créé une équipe d'entretien, dirigée par un technicien de l'Hydraulique, fonctionnaire de l'Etat auquel il faut adjoindre des manœuvres. Chaque année le Gouvernement fait une inscription budgétaire pour couvrir les frais d'installation et de réparation de ces pompes. Donc au niveau de la population la seule contribution revient à aider l'équipe dans l'installation des pompes.* »

Une fois la pompe installée, on leur montre les techniques élémentaires de manipulation. C'est leur seule intervention

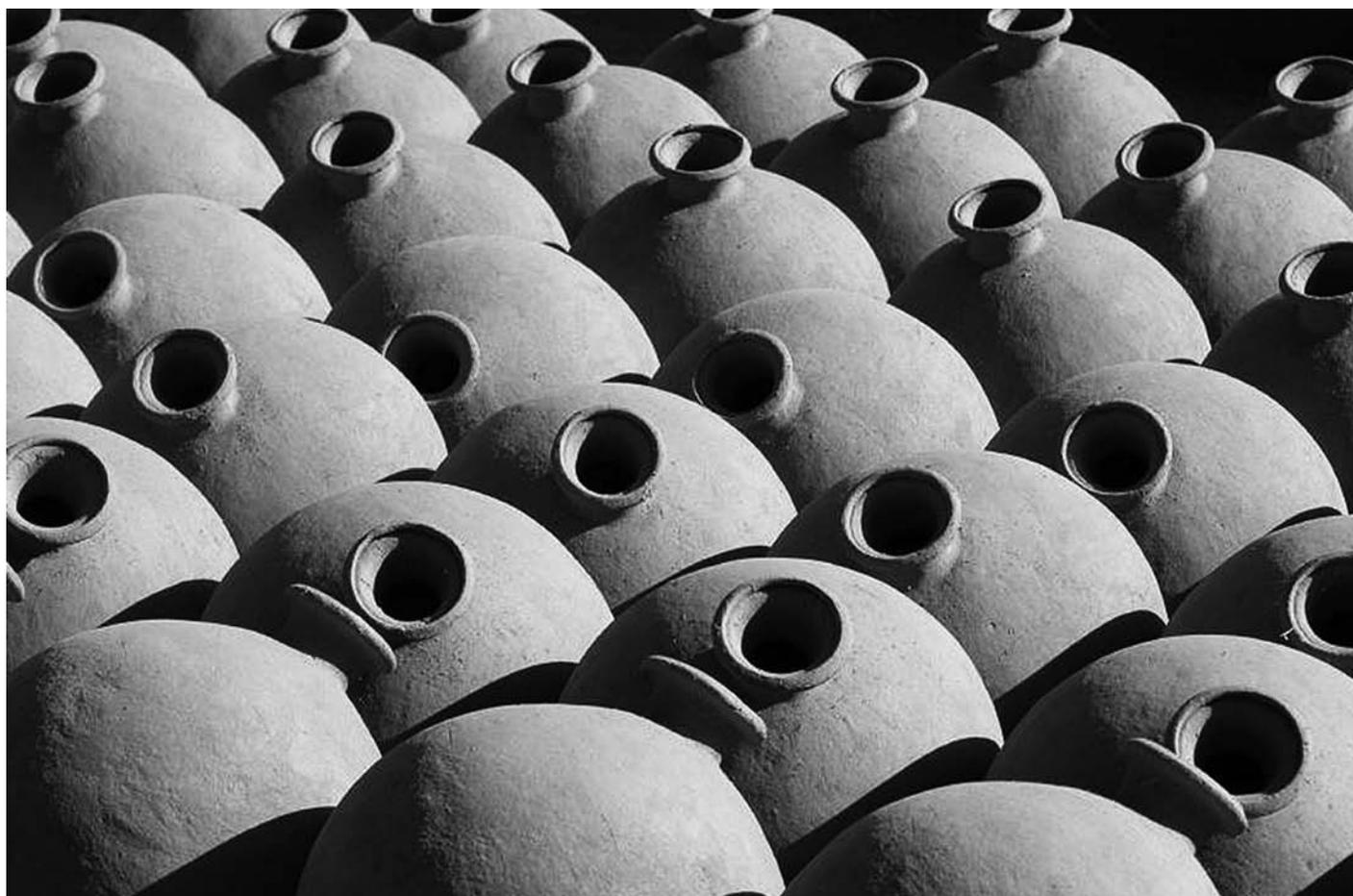
Question : « *Jusqu'à présent les exposés ont surtout concerné la pose et la maintenance du matériel, le premier but, je pense, à rechercher c'est la propreté de l'eau dans un but sanitaire surtout, et par conséquent le premier problème à se poser c'est que les populations se sentent concernées, parce que si on ne leur fait pas comprendre la nécessité d'une eau saine, pure, propre, si on installe une pompe chez eux, ils l'utiliseront pour des raisons de commodité de simplification, mais ça ne les empêchera pas d'aller boire l'eau du marigot un peu plus loin s'ils en ont envie.* »

Il restait à forer et à équiper les forages. Le forage au battage qui permet de passer partout, était long, le rotary très technique, et nécessite de l'eau. Ce qui est bien le problème. En 1971, Burgeap met en œuvre le premier programme concerté de plusieurs ateliers de forage équipés de marteaux fond de trou, aux îles du Cap Vert : on redécouvre donc le marteau fond de trou. C'est une technique déjà ancienne - le hammerdrill - dérivé du marteau piqueur des carriers et des mineurs. Trois avantages décisifs : pénétrer dans à peu près n'importe quel terrain dur, ne pas demander d'eau pour évacuer les déblais et refroidir l'outil, et permettre de faire un trou par jour - si tout va bien par ailleurs -.

Le terme d'hydraulique villageoise ne figurait pas dans le numéro 1 du bulletin de liaison du CIEH, en mai 1970. Il est né sur le terrain, en cours de route.



Conduite et abreuvement des troupeaux sont les tâches quotidiennes des pasteurs - Niger, 1976



Djirataoua - Fabrication en série de canaris destinés au transport et au stockage de l'eau - Niger, 1981

L'exhaure

Au même moment Vergnet conçoit, avec André Benamour, dans leurs jardins respectifs, l'hydropompe, à partir de l'idée qu'il faut une pompe facile à entretenir. Elle va être perfectionnée de programme en programme, jusqu'à équiper les deux tiers des forages d'hydraulique villageoise. Mais les difficultés de mise au point des prototypes, et l'idée bien ancrée qu'il vaut mieux avoir plusieurs fournisseurs qu'un seul - plutôt deux qu'un disent les responsables prudents - conduisent à expérimenter toutes les pompes. La Banque Mondiale effectue des tests systématiques.

Les problèmes rencontrés pour l'approvisionnement pièces détachées font naître l'idée de fabriquer les pompes sur place. Au Mali la pompe India qui équipe les projets Unicef sera sélectionnée et sa fabrication lancée localement.

La fabrication locale des pompes

L'idée a été amorcée très rapidement en 1978 au Mali, lorsque la Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Énergie a entrepris, dans le cadre du projet PNUD, une expérience de fabrication de pompes locales : la Sahelia. Il s'agit d'une pompe à tringle typiquement conçue pour être fabriquée avec des moyens simples. Le premier prototype a été assemblé à Bamako, dans une école professionnelle. Il a fonctionné huit mois sans intervention, puis s'est arrêté sur panne du roulement de l'axe de commande. Cet exemple, qui n'a pas été suivi avec suffisamment de rigueur, a été abandonné.

À la suite de cette expérience, la DGHE a commencé à fabriquer, à partir de 1981, la pompe India Mark II. Plusieurs raisons ont milité en faveur de ce choix : le prix, à l'époque moins de 200 000 FCFA, la capacité de pompage, équivalente à celle des autres, l'expérience dont elle bénéficie en Inde, l'absence de royalties sur la fabrication.

Marc Vergnet septembre 1989 :

À l'HER, au Burkina Faso, nos puits en investissement humain tarissaient au bout de deux ans. BURGEAP nous dit : « *le socle n'est pas stérile, voyez le Ghana* ». Avec une équipe et une vieille sondeuse Walkernir au battage nous avons fait trente forages dans la région la plus difficile de Koupela, et obtenu des débits très importants. L'idée forage pompe adoptée, il fallait des pompes. Toutes étaient à tringle, avec les pièces d'usure sous l'eau. Cette pompe devait être entretenue par les villageois, sans structure centralisée. Le cœur humain, déformable, sans usure est la pompe la plus fiable. Mettons au fond du trou une pompe conçue sur ce principe, et localisons en surface les pièces d'usure, avec une liaison hydraulique souple.

Le premier prototype est testé dans la cour de l'École Interétats. Déception : une pièce en plastique avait cassé. On répare et tout de suite l'eau a giclé à deux ou trois mètres. Lamothe de Foraco passe, voit la pompe, dit : « *C'est l'avenir. J'en commande 600 avec 20 % d'acompte (sans caution bancaire). En Côte d'Ivoire, nous avons décidé avec l'administration ivoirienne de trouver de l'eau dans la Boucle du Cacao. Nous allons le faire, avec cette pompe.* » Girardier passe, voit la pompe qui ne marchait pas comme tous les prototypes le jour venu. On a réparé, découpé la pompe à la scie, regardé la boudruche. Girardier a conclu : « *Je peux la construire à l'usine de Montargis* ». Pendant trois ans, nous l'avons mise au point sur la Boucle du Cacao, avec les engueulades habituelles, mais aussi avec le soutien de l'administration ivoirienne, et de ceux qui ont compris tout de suite, André Benamour, Michel Haubert, qui ont réfléchi, et nous ont aidés à mettre au point l'engin. Les deux premiers prototypes étaient parfaits, lourds. Je voulais au contraire une pompe bon marché donc légère pour l'Afrique. Il nous a fallu quatre ans pour revenir aux prototypes en inox, en laiton, testés, faits à la main, car les pompes bon marché ont cassé. C'est une règle : il faut d'abord un produit qui marche avant de faire un produit bon marché.

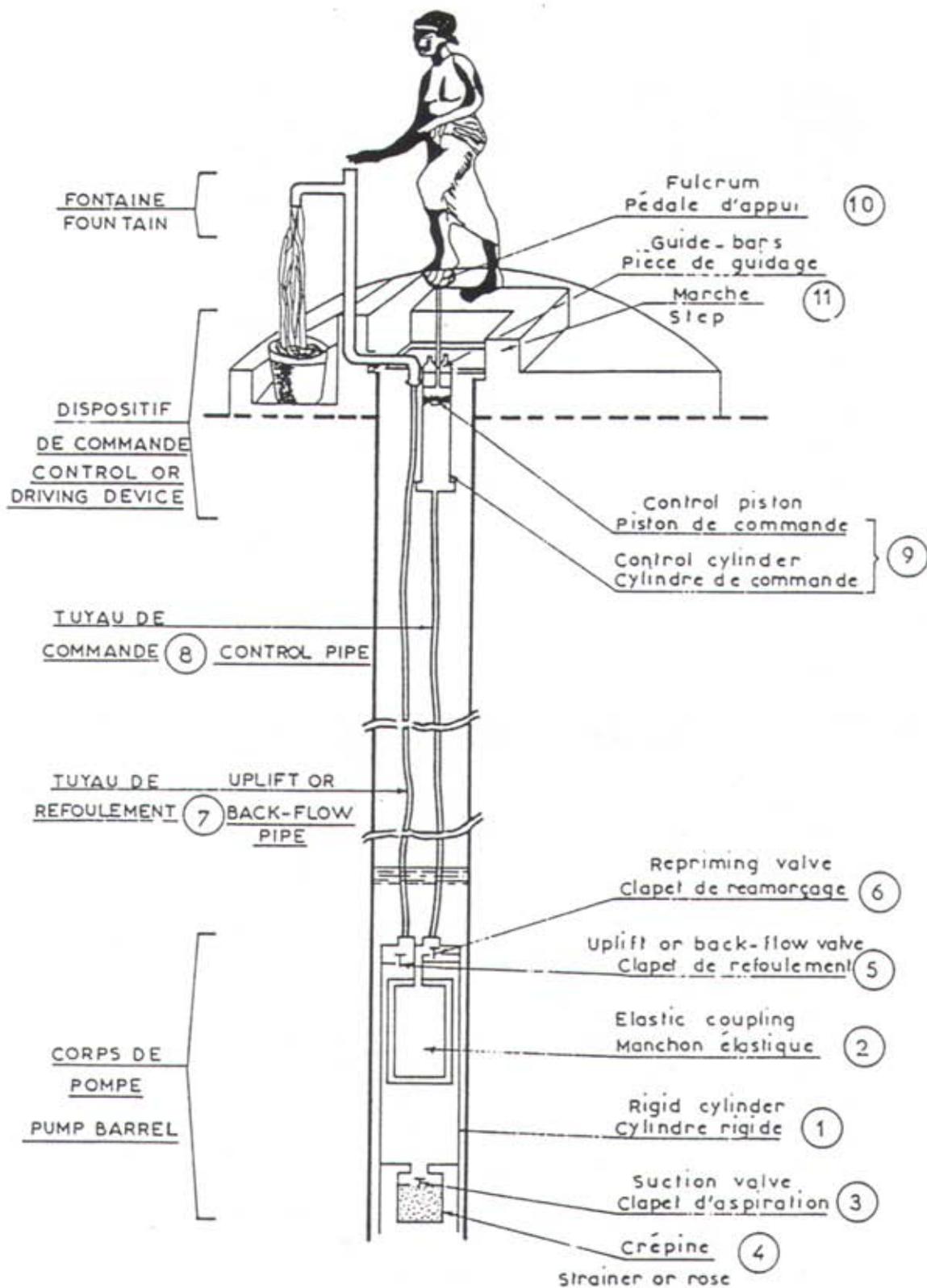
L'évènement important a été le soutien de Monsieur Teyssonière, du FED, qui était convaincu que le produit est un système, pas une machine. Nous avons été dans les villages faire de la sensibilisation, dès le début de l'hydraulique villageoise, qui a été reprise un peu partout après sous cette forme.



Cuvelage monolithique sur un puits profond - Région de Maradi - Niger



Ouagadougou - Pompe «Uganda» de fabrication kenyane, en expérimentation - Haute-Volta, 1975



HYDRO - PUMP "VERGNET"
DIAGRAM OF PRINCIPLE

HYDRO - POMPE "VERGNET"
SCHEMA DE PRINCIPE

Figure 4-3 — L'hydropompe Vergnet .

La maintenance

Tout tombe en panne

Futuribles - 1975 :

Metéosat, le projet de satellite géostationnaire, est tombé en panne après quelques centaines d'heures de fonctionnement, par suite de la défaillance d'une résistance de quelques dizaines de francs.

L'Hydro-pompe Vergnet

Les problèmes de maintenance des ouvrages anciens ne se posaient pas dans les mêmes termes que pour les points d'eau modernes. À de rares exceptions près, les villageois, les éleveurs, et en général les propriétaires de points d'eau privés ou collectifs devaient se débrouiller par eux même. L'OFEDS du Niger, qui visitait les ouvrages approximativement tous les trois ans, et les services du Tchad, constituent une exception.

La maintenance était assurée par des puisatiers, travaillant en équipe de deux, et ayant subi une initiation particulière pour s'assurer la bienveillance des puissances souterraines. Le métier de puisatier est très dangereux, toute erreur ayant des conséquences imprévisibles. La profession est souvent castée.

L'entretien consistait surtout en un curage périodique des puits, pour enlever le sable et la latérite apportés par la nappe ou venant de l'extérieur, portés par les vents de sable, les cordes de puisage, l'écoulement des pluies ou des eaux de ruissellement. De temps en temps des essais de surcreusement visaient, en période particulièrement sèche, à accroître la productivité de l'ouvrage.

Les travaux étaient toujours limités par l'impossibilité physique de travailler dans plus d'un mètre d'eau et la difficulté de vider le puits, dont on cherche toujours, en captant les venues d'eau au mieux, à améliorer le débit. À ces difficultés physiques s'ajoutent divers interdits, par exemple l'interdiction d'attaquer les roches dures à l'exception des forgerons.

Ce travail de curage, presque partout annuel, était rémunéré par les propriétaires des puits.

Pour les puits administratifs, l'équipe de la circonscription était chargée d'assurer l'entretien, curage et réparation, sur les crédits du budget local, avec une périodicité dépendant des possibilités financières et de l'éloignement du chef-lieu, ce qui explique le mauvais état et parfois l'abandon des puits peu accessibles.

L'insuffisance des crédits de fonçage de puits et d'entretien et le manque d'intérêt des utilisateurs de puits administratifs à entretenir les ouvrages administratifs sont les deux origines des « *puits en investissement humain* ». Il s'agissait de puits dont le creusement était exécuté par la population, le ciment étant fourni par l'administration ou le partenaire financier. Le plus souvent le travail de mise en eau était confié à une équipe de spécialistes. Ce système, en vogue au tout début de l'hydraulique villageoise moderne, devait présenter deux avantages : une économie de main d'œuvre, fournie gratuitement par les utilisateurs, et, surtout, l'appropriation de l'ouvrage par ceux qui l'avaient réalisé.

Les résultats, on s'en souvient, ont été décevants. D'abord parce que les travaux s'éternisaient. Lorsque la sécheresse est arrivée, la cadence du marteau fond de trou a montré l'inadaptation du produit. C'est probablement ce qui a le plus joué, car, en plus les dépenses étaient difficiles à contrôler, on s'est vite aperçu du coût très élevé de la main-d'œuvre que l'on croyait gratuite, au départ. En outre, contrairement à ce que l'on escomptait, le propriétaire, dans l'esprit des villageois, restait l'administration, car les modes de fabrication rompaient avec le savoir-faire des puisatiers traditionnels : un puits traditionnel est de petit diamètre, l'accès au fond se fait par des encoches dans les parois. Rien de semblable avec les puits cimentés, aux parois lisses de 1,4 m à 1,8 m de diamètre.

Et, pire, les génies familiers des puits traditionnels étaient connus et nommés. Allez savoir sur quel pied danser avec les démons des puits modernes.

La situation à la fin des années 60

Deux faits nouveaux sous-tendent la problématique : la mise en œuvre de grands programmes d'hydraulique rurale et le recours, de plus en plus étendu, aux forages, au lieu des puits. Conçus comme volet hydraulique d'opérations de développement plus ou moins intégré, ou comme élément de la grille d'équipement socio-économique des gros villages, ou pour les gros programmes agricoles tels que le Plan du coton, les grands programmes se sont très vite trouvés confrontés au problème de la maintenance. Les solutions adoptées jusque là, recours aux équipes locales ou aux équipes spécialisées type OFEDES au Niger ne pouvaient permettre de faire face aux nécessités de l'entretien, et la généralisation des forages, imposée par l'urgence de la sécheresse et la géologie du cristallin ajoutait un second problème : l'exhaure, trouver les bonnes pompes, organiser leur entretien courant, exécuter les réparations petites et grandes.

Les premiers volets des programmes, plan Coton de Côte d'Ivoire, par exemple, ne prévoyaient pas de maintenance autrement qu'à la charge de l'État, le cas échéant. Les services de l'hydraulique ont très vite constaté que les dépenses de maintenance dépassent très largement les budgets disponibles. Il a fallu innover. En Côte d'Ivoire, les visites du Service ont été partiellement financées par une surtaxe sur l'eau urbaine. Le Niger, venu plus tard aux forages, calculait en 1981 - 1982 que ses 2 800 pompes devaient revenir annuellement à 162 millions de maintenance, le double des dotations de fonctionnement du Ministère. Le noeud du problème est : les sommes nécessaires pour la maintenance sont faibles par rapport aux investissements, et la programmation a tendance à les négliger. Mais les payeurs ne sont pas les mêmes. Il a donc fallu innover.

Rapidement le problème s'est posé de trouver un autre partenaire que l'État pour financer la maintenance. Il s'agissait donc de mettre en place une tout autre forme de participation, ne se limitant pas à la contribution sous forme de travail d'exécution. L'initiative de l'opération, le choix des techniques, le choix de l'équipement, le calendrier des travaux, leur localisation, la ventilation des tâches, tout était décidé en dehors des bénéficiaires. Il était donc parfaitement illogique de leur demander après coup de prendre en charge l'objet, dont ils ne sentaient nullement responsables, ou tout au plus, en qualité de main-d'œuvre non qualifiée.

Les premiers pas étaient donc bien loin de l'autodéveloppement, qui traduit le désir de vivre et le dynamisme d'une collectivité.

— La recherche des solutions capables de satisfaire les besoins prioritaires, et le choix des solutions les plus favorables à l'exécution et la prise en charge du fonctionnement, sur les plans technique, social, financier. Le choix n'ira pas forcément au plus performant, mais pas, non plus, a contrario, par angélisme, au plus archaïque.

L'organisation s'appuie donc sur trois niveaux :

Le Comité de point d'eau collecte et gère les fonds, et assure l'entretien courant, l'artisan réparateur

Constater la validité de la démarche et l'appliquer sont deux choses très différentes. Surtout lorsque l'on vient heurter les habitudes bien ancrées, fondées sur la reconnaissance d'une autorité supérieure dont dépendent l'initiative, les études, le choix des solutions, la décision d'exécution, le pouvoir en bref, mais aussi l'obligation d'apporter le financement.

Dans les services, le changement nécessaire de mentalités ne peut se faire sans entreprendre de façon synchrone et coordonnée la décentralisation accordant, ou plutôt imposant dans un premier temps, les pouvoirs d'initiative, d'études, de choix des solutions, la décision d'exécution, et par voie de conséquence, l'obligation de contribuer financièrement.

Dans la plupart des États Africains, la Décennie de l'Eau a été l'occasion de préciser la politique retenue, qui, dans la presque totalité des cas, reconnaît aux collectivités le droit d'initiative en contrepartie de l'obligation de responsabilité.

Autre condition nécessaire : aider les collectivités à faire l'auto analyse de base, à définir les actions nécessaires, à trouver les solutions, en étant à leur écoute, sans chercher à plaquer sur leur problème - ou leur absence de problème s'ils ne l'ont pas formulé selon les mêmes termes - une solution toute prête déterminée ailleurs.

Il faut donc aider les gens - pour ne pas toujours dire la population, car elle est multiple - à s'organiser, pour passer du stade reconnaissance d'un besoin à celui du choix de la solution, puis à l'exécution et à la gestion. La structure traditionnelle du village, fondée sur un pouvoir hiérarchique, est mal adaptée à l'intégration de l'ensemble de la population à ces phases successives.



Pompe « Dempster » de fabrication américaine installée en 1959, entretenue par le forgeron du village. Si l'on compte bien, sur cette photo on peut identifier 18 réparations - Sénégal, 1976

Le projet Yatenga Comoé - Burkina Faso - FED

Le projet d'hydraulique villageoise Yatenga Comoé a cherché dès sa conception à prendre en compte d'abord la maintenance des équipements. Les bénéficiaires eux-mêmes doivent la prendre en charge, libérant l'administration des charges qu'elle ne peut assumer à long terme.

Pour ce faire, les villages font l'objet d'une présélection rigoureuse, associant les autorités provinciales et les représentants de la population. Les villageois se prononcent ensuite, en connaissance de cause, sur le choix de l'ouvrage, puits ou forage équipé d'une pompe. 75 % des villages ont opté pour le forage et sa pompe. Quelques villages ont refusé tout nouveau point d'eau.

Les villageois s'organisent ensuite pour gérer collectivement le point d'eau : nomination des responsables, volume et rythme des cotisations. Les membres du Comité de Point d'eau sont formés à la comptabilité et à la gestion à l'occasion de stages. Une fois l'animation et la formation terminées, soit après cinq réunions, l'ouvrage est implanté par un hydrogéologue.

Parallèlement un véritable réseau d'entretien des pompes est mis en place : l'entretien courant de la pompe est assuré par un responsable villageois, pour la pose et pour les réparations importantes le Comité fait appel à un artisan réparateur, l'approvisionnement en pièces détachées est assuré par le fournisseur de pompes.

L'organisation s'appuie donc sur trois niveaux :

Le Comité de point d'eau collecte et gère les fonds, et assure l'entretien courant, l'artisan réparateur pose les pompes et les répare, le commerçant dépositaire - relais du fournisseur et de l'importateur - approvisionne en pièces détachées.

Le résultat du projet a été 1 075 points d'eau réalisés en cinq années, soit 650 forages équipés de pompes, 265 nouveaux puits, et 160 approfondissements de puits anciens. 3 000 personnes ont été formées. Les pannes sont très peu nombreuses, le coût d'entretien est faible, en moyenne de 17 000 FCFA, les charges de renouvellement et d'entretien représentent 90 000 FCFA

Le point faible de l'approvisionnement en pièces détachées est la relation importateur - fabricant

Burgeap

La validité de cette méthode rapidement adoptée par les ONG travaillant au niveau du village, ou de petits groupes de villages, fut testée en hydraulique villageoise au cours de deux études : De la Barra Rowland sur 137 collectivités mexicaines et D. Miller sur 97 villages africains. (OCDE 1976-78). Quatre conclusions majeures :

- la participation est directement fonction du besoin ressenti et augmente avec la consultation et l'information ;
- elle augmente lorsque le projet concerne un approvisionnement ne concernant que la collectivité, et décroît si plusieurs collectivités sont concernées, par refus de dépendance ;
- la participation améliore la réussite d'un projet lorsqu'elle est requise pour l'identification du projet, pour le choix de l'emplacement, pour la structure opérationnelle à mettre en place ;
- par contre, la simple participation aux travaux ne déclenche aucune réponse significative, et le gain de qualité de l'eau de forage n'est pas un facteur déterminant.

Cette nouvelle participation, pratiquée d'abord au Maroc et au Sénégal par les services d'animation du développement, repose sur une démarche à trois composantes :

- L'analyse de la situation est faite avec, ou, mieux, par la collectivité, au cours de l'enquête participative désormais traditionnelle dont les résultats sont restitués à l'ensemble de la collectivité. C'est la traduction du vieil adage : *on ne fait pas le bonheur des gens contre leur gré.*
- L'identification des besoins collectifs prioritaires : elle doit distinguer l'urgent de l'important, et c'est la collectivité qui fixe les priorités.

Des animateurs professionnels

Les actions de préparation, d'appui et de suivi à donner à la population nécessitent une spécialisation, un état d'esprit, et une maîtrise des méthodes de pédagogie rurale qui font rarement partie de la formation des techniciens. Divers essais de création d'une cellule animation rattachée au Service de l'Hydraulique ont eu des résultats variés, parfois peu convaincants, ce qui explique le recours à des organismes spécialisés, bureaux d'études, ONG, formateurs, consultants, soit le recours aux services nationaux de l'animation, qu'il agissent seuls ou avec l'appui d'un organisme extérieur : c'est le cas du Niger, à partir de 1984.

Une autre solution consiste à associer les divers organismes, publics ou privés, intervenant dans le développement rural, dans la même structure. Une telle expérience, convaincante, a été conduite en République Centrafricaine, depuis 1986.

Les méthodes et les conditions de la participation une fois définies, comment les appliquer à l'hydraulique, avec les contraintes ?

L'urgence dans laquelle tout le monde se trouvait dès 1972 au Sahel, et la prédominance du socle, qui imposait le couple forage pompe, était favorable à l'industrialisation de la production des points d'eau. La participation des villageois aurait, dans cette première phase, été considérée comme un frein plus que comme un investissement pour une meilleure maintenance à venir.

Une première équivoque concernait le besoin en eau, postulat confondant le besoin quantitatif et le besoin qualitatif : le besoin de santé, classé en tête dans les enquêtes effectuées au Sénégal dans les départements de Nioro et Kaolack - USAID/ENEA 1980 - était rarement lié à la qualité de l'eau bien que 75 % des causes de fréquentation des cases de santé soient les maladies hydriques.

Le besoin en quantité est parfaitement identifié par les villageois, que l'on doit aider pour identifier le besoin en qualité.

Le rythme d'exécution des programmes, et la nécessaire recherche d'efficacité ont été autant d'obstacles à la prise de ce que l'on peut appeler la greffe participative.

L'animation et la sensibilisation

Illustrons ce propos par les interventions de sensibilisation - animation - formation au Niger du programme de 412 forages du Conseil de l'Entente, interventions exécutées selon un schéma défini par le Ministre de l'Hydraulique, après étude particulière. La zone de travail s'étend sur 1 200 km de long de la frontière avec le Burkina jusqu'à Zinder à l'Est, et les forages et équipements ont été réalisés de 1982 à 1985. Les interventions participatives ont consisté à sensibiliser et informer les populations en leur donnant le choix entre accepter ou refuser le forage proposé, et, en cas de réponse positive, organiser la maintenance.

Les opérations se sont déroulées de la façon suivante :

Une première visite de sensibilisation est limitée à l'exposé des avantages du forage et d'une pompe, en quantité et qualité, et aux contreparties demandées aux villageois : édification des superstructures, choix de quatre délégués, constitution d'une caisse de 50 000 FCFA par pompe.

Cette visite, d'une demi-journée, est illustrée par des panneaux pédagogiques et des films vidéo tournés dans la région.

Deux à trois semaines plus tard, visite de décision du village : acceptation ou refus du contrat proposé, sans possibilité d'en discuter ou d'en modifier les termes. En général, la décision proprement dite nécessitait deux réunions.

La dernière réunion devait assurer une formation sur le tas des délégués villageois, responsables du point d'eau, trésorier, responsable technique, ou responsable propreté - en principe une femme. Elle permet aussi de constater les premiers versements effectués selon la répartition choisie par le village, vérifier l'existence des matériaux prévus pour la construction des clôtures, de la margelle et de l'antibourbier, de donner le feu vert à l'atelier de forage, qui suivait très rapidement.

Enfin, l'équipe d'animation devait assister celle du poseur de pompe pour la formation technique des villageois chargés de l'entretien et des petites réparations.

À la fin du projet, l'appui des équipes d'animation se poursuivait pendant un an pour aider au fonctionnement du système, et une évaluation finale, pratiquée en juin 1985, relevait plusieurs difficultés :

— le manque de temps laissé aux villages pour appréhender dans son ensemble le couple forage pompe.

- le planning établi en fonction des contraintes des ateliers de forage et de modifications imprévues, l'absence de possibilité de négociation permettant une véritable responsabilisation des villages,
- les difficultés de formation des responsables villageois réparties entre plusieurs périodes et plusieurs partenaires techniques, le non emploi des réparateurs villageois ou artisans inter-villageois pendant la période de garantie où l'entretien, et les réparations ont été assurées par le fournisseur sans aucune participation des responsables du Comité.
- la rareté des points de vente des pièces détachées.

Les résultats de la prise en charge de la maintenance après une période de un an pour les dernières installations et de pratiquement trois ans pour les premières soulevaient plusieurs questions. Globalement, le fonctionnement des pompes se révélait satisfaisant : 23 pompes en panne sur 445 installées, soit 95 % de fonctionnement correct est un bon résultat. On peut le comparer au programme des 1 000 forages où plus de la moitié des pompes ne fonctionnait pas et où les villages n'avaient pratiquement pas bénéficié d'un appui d'animation.

L'intérêt des populations était acquis, mesuré par les temps d'utilisation de la pompe dans 216 villages :

- 40 villages utilisent la pompe plus de 10 heures par jour
- 144 villages utilisent la pompe de 7 à 10 heures par jour
- 26 villages utilisent la pompe de 4 à 7 heures par jour
- 6 villages utilisent la pompe moins de 4 heures par jour,

et, dans ce dernier cas, presque toujours pour des raisons de « *mauvais goût* ». Paradoxalement, ce mauvais goût est fréquemment celui de l'eau pure, les villageois ayant l'habitude de celui des cours d'eau ou des sources. On notait cependant assez souvent l'utilisation des autres puits, soit pour des raisons de goût, soit en raison de distances plus grandes qu'à l'accoutumée, soit enfin en raison des délais d'attente au forage.

Par contre la prise de conscience des villageois pour les question d'hygiène de l'eau, de propreté et d'assainissement des abords laissait beaucoup à désirer, malgré l'utilisation avec les membres du Comité d'un certain nombre d'indicateurs chiffrés décrivant la propreté de la dalle et l'état de l'anti boubier, l'état de l'escalier d'accès, celui des murets de clôture, l'existence et l'état du puisard. La plupart de ces indicateurs, cotés de 1 à 5, obtient une note de 0 à 2, alors qu'il faut au moins 3. Il faut noter, comme c'est le plus souvent le cas en matière de maintenance, et pas seulement en hydraulique villageoise, que le travail nécessaire pour remédier aux états de fait constatés est modeste, et n'entraîne aucune dépense monétaire. C'est le principe même de son déclenchement qu'il faut faire entrer dans les moeurs.

Un problème d'organisation du travail du Comité villageois se manifeste presque chaque fois. Chaque membre du Comité fait sa part de travail, presque indépendamment des autres membres, et il n'y a pas de pilotage de l'ensemble capable de remédier aux problèmes qui se posent hors norme. La priorité pour les villageois est de maintenir la pompe en fonctionnement, et, dans la plupart des cas, les villageois ont su faire face aux grosses dépenses, soit par collecte, soit par don du chef ou d'un commerçant. Mais il n'y a pas de décision prise pour maintenir la caisse à un niveau minimum, ni pour assurer l'entretien des superstructures, ni pour la propreté des abords.

Globalement, cet exemple est intéressant, car les résultats obtenus, bien que perfectibles, sont positifs. Comment améliorer le rendement des efforts ?

On peut faire plusieurs recommandations, issues des techniques d'animation, dont aucune n'est impérative, mais dont l'ensemble doit rester présent dans les esprits :

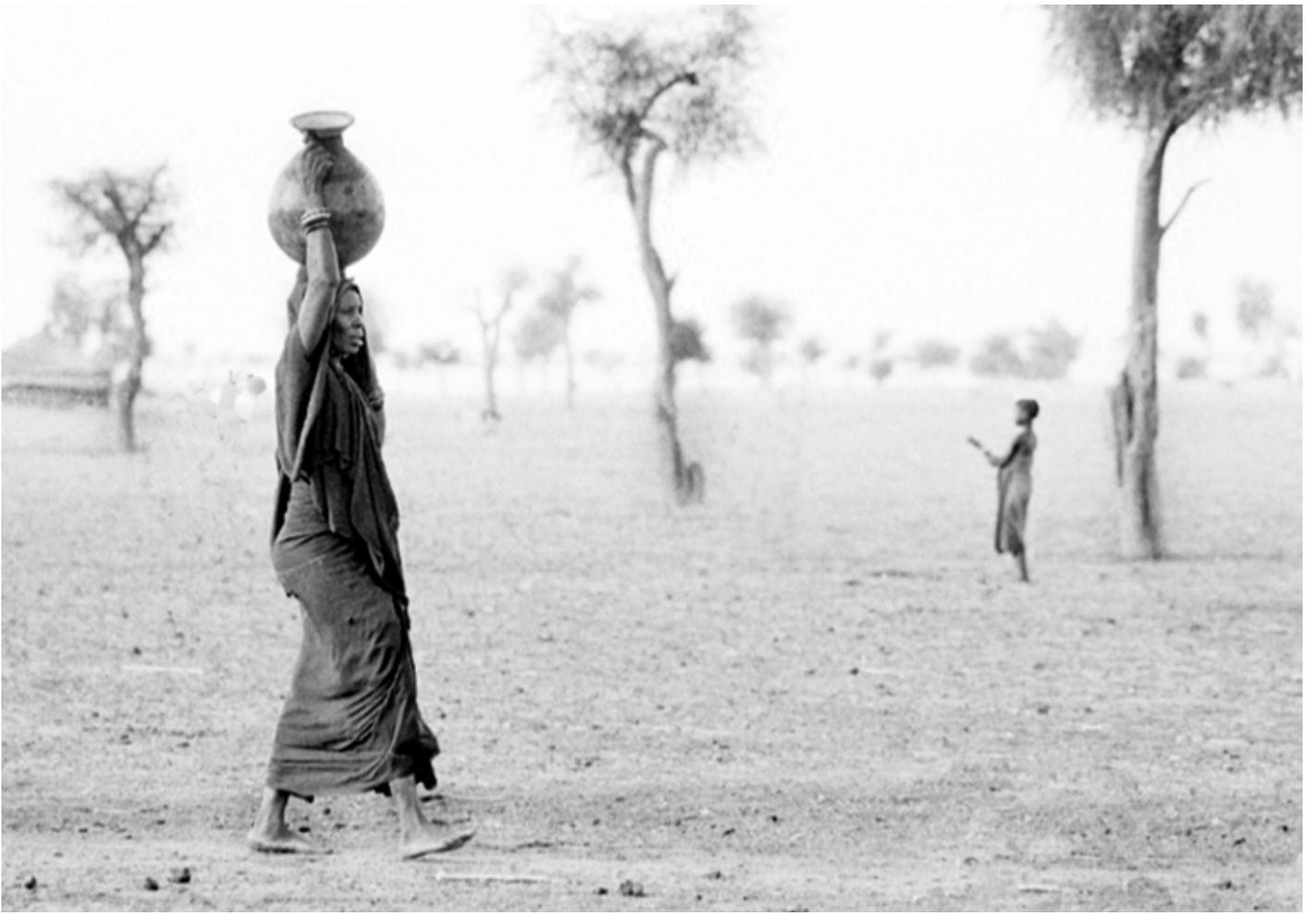
Considérer le village et ses représentants comme un partenaire à part entière

Pour ce faire, il faut multiplier les occasions de discussion lui laissant le choix en dernier ressort. Par exemple, on peut :

- discuter du choix des ouvrages,
- proposer plusieurs modèles de superstructures adaptées aux besoins locaux - lavoir, abreuvoir, au moins pour le petit bétail - aux matériaux locaux, - bois, ciment, banco - et aux ressources du village, ou encore disposer d'une variante pour l'équipement du forage si le débit est plus élevé que le mètre cube/heure réglementaire, par exemple s'il est de 2 ou 3 m³/h.

Il ne faut pas négliger, ce faisant, le soin à apporter à l'équipement d'un forage à gros débit.

Dans le cas du programme Conseil de l'Entente, au Niger, sur 412 forages (dont de nombreux en terrain sédimentaire très productif), 163 donnaient plus de 5 m³/h, dont 72 dépassaient 12 m³/h. Si la variante est possible, il faut en rendre le village conscient, et négocier avec lui les conditions de prise en charge d'un débit plus important.



Tchin Tabaraden - Niger



Puits traditionnel à Kida.

Par voie de conséquence, étudier dès le départ les implications de la motorisation, d'abord dans les zones périurbaines déjà électrifiées, ensuite pour de gros villages.

C'est le cas du Sénégal qui estime que les pompes manuelles ne répondent plus à ses besoins, et du Niger, on l'on commence à s'interroger sur l'intérêt de mettre 13 pompes manuelles dans un gros village disposant de forages capables de débits importants.

Préparer des solutions de remplacement

Envisager, dès les premières visites, au moins dans les zones à risques, avec la population, les solutions à rechercher si les forages sont négatifs. L'animation court toujours le risque de faire croire aux villageois que l'eau est proche. Mais les forages peuvent être secs, et l'on doit donc parler, dès le début, des palliatifs, collecte et stockage des eaux pluviales, petites retenues, lacs collinaires, peut être même barrage souterrain. Au Niger les villageois ont très volontiers travaillé sur les creusements, transports de matériaux, remblayages divers, que représente la mise en place d'un barrage souterrain et d'un système de récupération de l'eau.

En réalisant un programme d'hydraulique villageoise, l'opérateur est souvent pris par le rythme, la cadence à maintenir pour terminer dans les délais, ne pas se laisser prendre par la saison des pluies.

Il est prisonnier des termes de références. Et que constate-t-il ? Que les villages dans lesquels malgré tous les efforts le forage reste sec sont des villages sacrifiés. Car ils ont reçu les visites d'animation, signé des contrats, préparé les matériaux pour la margelle et les antibourbiers. En échange, ils ont fait l'objet de sollicitude, on a dépensé, et il ne reste rien.

Car on oublie une vérité du monde rural : on ne détruit pas une situation établie sans en avoir préparé une solution de remplacement.

Si l'on explique aux villageois que l'eau du marigot est liée à la mortalité infantile, et si ensuite les forages de reconnaissance sont secs, la situation créée relève de la responsabilité du projet.

Un contrat entre deux parties, un projet et un village, implique que le oui, de part et d'autre, ne comporte pas de réticence. Il faut donc laisser au village le temps de mûrir sa réponse. Un oui arraché, dans la hâte, au chef de village, a fort peu de chances de se transformer en succès deux ans après. Cela devient un oui de politesse à l'égard d'une autorité, ressentie comme passagère, et non le résultat d'un consensus. Un tel oui courtois ou amical n'entraîne aucune appropriation du forage.

Préparer la gestion et donner au Comité les moyens nécessaires

Les formations données aux responsables désignés par le village sont souvent sommaires, et il faudrait pouvoir suivre le trésorier, le réparateur, la ou le responsable de l'hygiène, et cela pendant plusieurs mois. Il faudrait surtout les conseiller pour organiser la participation collective des usagers à l'entretien, au nettoyage, à la bonne utilisation de la pompe. Ce travail collectif du Comité est actuellement mal assuré : réparer l'antibourbier, lancer une collecte pour acheter du ciment pour de petites réparations, ne se fait que sur intervention extérieure.

Il reste à trouver les mécanismes rendant le geste spontané. On a pensé provoquer de façon périodique une évaluation, dont les conclusions sont des actes. Pour stimuler la spontanéité, on a utilisé l'émulation entre villages, avec récompenses et citations sur radio nationale des meilleurs. Chaque région diffère de l'autre, c'est pourquoi l'animateur, qui apprend tous les jours son métier, est indispensable.

On ne supprime pas les garagistes en apprenant à tout le monde la mécanique : le Service de l'Hydraulique conserve un rôle irremplaçable de conseil et d'assistance au cours de la vie du forage. Une bonne maintenance n'élimine pas le besoin du spécialiste.



Amélioration de l'exhaure - Treuil et poulie sur un puits traditionnel - Tchad, 1976

L'enfant et le vieil expert :

Avec mon vieil ami André Benamour nous allons déjeuner un dimanche à Boubon. André me montre, à 50 m, un forage tout neuf équipé de deux hydropompes, très fier, car il a participé à leur invention. Un enfant répond volontiers à nos questions, en attendant que la barque arrive :

Le forage marche bien?

Très bien.

Il y a de l'eau?

Beaucoup.

Elle est bonne?

Oui. Très bonne.

Vous êtes contents au village?

Oui. Très contents.

La pirogue arrive, nous allons déguster notre poulet. Nous revenons. Le chauffeur est allé déjeuner. Nous attendons. Le forage est désert. André, saisi d'un doute, soulève le piston de la pompe : il n'y a pas encore de baudruche.

Le constat

En 1990, le nombre de points d'eau, en Afrique sub-saharienne francophone, approche 100 000 et le rythme de réalisation annuel de nouveaux points d'eau est de l'ordre de 5 000. Ce rythme s'est trouvé accru par le lancement de la décennie de l'eau potable, elle-même suscitée dans une notable partie par la sécheresse et la désertification. Un chiffrage rapide permet de comprendre pourquoi la maintenance centralisée ne peut faire face. Si l'on retient la norme de 50 000 FCFA par an et par pompe pour l'entretien courant et les grosses réparations, à l'exclusion du renouvellement du parc, on aboutit à un budget de 5 000 000 000 FCFA par an. Le montant est en lui-même raisonnable, et représente un programme de 1 000 forages. Mais aucune société privée raisonnable ne prendra la mission d'entretenir 100 000 points d'eau sur 10 millions de kilomètres carrés à ce niveau de budget. Pour s'en convaincre, il suffit de rappeler que les entrepreneurs et les commerçants dynamiques ne manquent pas et auraient certainement saisi l'opportunité si elle était rentable.

Du reste, les structures privées ou non qui ont assumé momentanément la charge de la maintenance ont obtenu des résultats très mitigés, et ont presque toujours fini par abandonner.

Cela signifie que le coût réel d'une maintenance centralisée est plus élevé que ce que l'on pense. Pourquoi ? Parce que l'on ne comptabilise pas, dans les fatidiques 50 000 cfa annuels une somme de petites interventions humaines, des services si l'on s'exprime en termes économiques, fournis par l'administration, les bailleurs de fonds, les ONG, les villageois bien sûr. La fonction transport dans une opération couvrant cinq ou dix millions de kilomètres carrés est énorme. Seul le transfert de la gestion au niveau local permet de faire des économies.

Puisque l'État n'était pas à même de faire face aux dépenses de maintenance, la tendance générale a été de reporter progressivement la charge de maintenance sur les villageois, et l'on adopte souvent aujourd'hui la répartition suivante :

- village : pièces d'usure et petites interventions ;
- État : investissement, grosses interventions ;
- et, probablement, renouvellement.

Organisation de la maintenance

Une fois admise la nécessité d'une participation villageoise majeure, il reste à la faire entrer dans les faits. Et les choses ne sont pas réglées pour autant, car les gens ne participent pas par décret. On a d'abord recherché le consensus, puis on s'est aperçu que cela ne suffisait pas. Il a fallu aboutir à un véritable contrat pour commencer à espérer des résultats positifs.

Les contractants sont bien évidemment le village et le maître d'ouvrage, c'est à dire le plus souvent l'administration. Un contrat entre ces deux entités ne peut être conclu en une visite ou deux, nous l'avons dit. Le contact doit être étroit pour aboutir. Pour ce faire, on va se servir du cycle de construction du point d'eau. Si l'on compte bien, les agents de l'administration et les contractants passent une bonne dizaine de fois sur le forage, à l'occasion des phases suivantes :

- Au moment de la préparation, une première mission d'animation se rend sur place pour établir avec le village s'il est demandeur d'un point d'eau moderne, c'est à dire est prêt à en assurer la maintenance une fois réalisé.
- Une seconde visite sur place permet de contrôler l'accord du village, après réflexion.
- L'hydrogéologue se rend sur place pour implanter le forage.
- La sonde vient exécuter le forage.
- Le responsable de l'installation de la pompe, foreur ou pompiste, pose la pompe.
- Une réception provisoire du forage et de la pompe contrôle l'exécution de l'ouvrage.
- Le responsable villageois est formé à la maintenance de la pompe.
- L'animation - ou le Développement Communautaire, selon les pays - fait exécuter les margelles et antitourbiers. Ceci représente plusieurs contacts.
- Le forage complété est remis au village.
- Un an après, la réception définitive réunit de nouveau sur le terrain, au village, l'administration, le foreur, l'ingénieur conseil.

Abdoulaye Diallo, Directeur Général du SNAPE, service national des points d'eau de Guinée

Une stratégie de la maintenance :

Pour lancer notre programme d'alimentation en eau des villages, nous avons d'abord visité les États déjà engagés dans l'hydraulique villageoise : Côte d'Ivoire, Togo, Mali. Nous sommes arrivés à quatre conclusions principales :

1 - Responsabiliser

Avoir un service responsable de l'ensemble de l'hydraulique villageoise. Au lieu de disséminer les responsabilités, nous avons regroupé l'ensemble des compétences dans un service autonome, qui sera transformé en Établissement Public. Pour agir à l'échelle du pays on ne peut pas attendre 115 signatures pour une décision, mais, par contre, le contrôle effectif et régulier du service est indispensable.

2 - Former des cadres

Il faut former des Guinéens capables de travailler comme des bureaux d'études. On ne peut contrôler que ce que l'on est soit même capable de faire. Nous avons un atelier de forage pour former les cadres et les techniciens, en régie, à ne pas surdimensionner, en compétition avec les foreurs privés en qualité et prix. Par exemple sur le projet FED.

3 - Standardiser

Les échecs viennent des erreurs de maintenance. L'animation et l'entretien sont décentralisés. Seule possibilité, standardiser, et limiter les types de pompes. Nous ne pouvons dépendre d'un seul fournisseur : Nous avons donc affecté à la Vergnet et l'India une zone chacune. Plus de surprise. Si un fournisseur est défaillant, nous revoyons sa position dans notre stratégie. Autre avantage : Le distributeur et les artisans sont des gens qui doivent vivre de leur travail, il leur faut donc un chiffre d'affaires suffisant. Ce serait impossible avec plusieurs types de pompes différentes. Le rôle des financements est important : par exemple la Coopération Allemande ne cherche pas à nous imposer la pompe Kardia, qui est excellente, mais n'entre pas dans le circuit de maintenance. De même pour les véhicules. Nous ne pouvons prendre tout ce qui se présente, nous devons avoir un parc homogène.

4 - Programmer

Préparer nos programmes, refuser de se disperser, car ce serait partager un seul morceau de sucre entre 1 000 personnes.

Au fur et à mesure de l'avancement du projet, la structure se met en place. Des Comités de points d'eau sont créés dans les villages pour gérer les ouvrages. L'artisan villageois est formé, équipé.

L'animation intégrée où l'on bénéficie parfois de circonstances favorables, mais inattendues. : par exemple, lorsque l'épouse du chef sondeur du Projet Hydraulique du Plan de Développement Rural Intégré de la Zone du Coton de Centrafrique est sociologue, il faut alors la charger de l'animation.



Pompe Volanta au Niger



Pome Kardia au Niger

Le point d'eau et la santé

Maladies associées à l'eau (en millions dans le monde) : gastro-entérites 600, schistosomiase 300, onchocercose 30, paludisme 260. Mortalité : le paludisme, non lié à l'hydraulique villageoise, vient en tête.

L'eau est le gîte et le véhicule de 80 % des maladies qui sévissent à la surface de la terre, par trois voies : les agents toxiques, les bactéries, les virus et les parasites.

En Afrique, elle véhicule le paludisme - principale cause de mortalité - la bilharziose, l'onchocercose et la dracunculose.

Mais il ne s'agit pas toujours de problèmes directement liés à l'hydraulique villageoise. Le danger le plus sérieux en Afrique tropicale est la contamination de l'eau de boisson par des pollutions fécales animales ou humaines, porteuses d'une grande variété de germes pathogènes intestinaux - bactéries, virus, parasites, générant toute une gamme de maladies, de la gastro-entérite bénigne à la dysenterie, au choléra, à la typhoïde grave ou mortelle.

Selon l'OMS, les seules maladies diarrhéiques provoquent cinq millions de décès par an chez les enfants de moins de cinq ans des pays en développement, Chine exceptée.

La malnutrition, leur compagne habituelle, renforce leur nocivité. Aux diarrhées aiguës sont associées des déshydratations, toujours sévères et très souvent plus mortelles que la diarrhée elle-même. Compte tenu du haut risque de contamination bactérienne en milieu tropical africain, l'eau de boisson devrait être exempte de germes pathogènes, mais cette évidence n'est entrée dans les moeurs qu'en ville, et partiellement.

L'exécution systématique de forages a grandement permis d'améliorer en quantité l'approvisionnement en eau des populations rurales, car, bien exécutés, bien protégés, les forages sont exempts de germes. Mais les contrôles médicaux effectués à différentes initiatives démontrent que l'eau de forage peut arriver au consommateur chargée de germes pathogènes et de bactéries.

Fournir de l'eau potable n'entraîne donc pas toujours la consommation d'eau potable. Si l'on n'y prend garde, l'efficacité des programmes d'hydraulique villageoise risque d'être sensiblement réduite de ce seul fait.

Les besoins en eau

Les êtres humains trouvent l'eau dans la boisson et la nourriture, composante non négligeable, comme le montrent les hôtes des déserts.

L'eau est évacuée en urine et transpiration, et, en moindre proportion, en vapeur et déchets. Composé à 60 % d'eau, l'homme souffre de troubles graves s'il en perd 10 %, et ne survit pas à une perte de 20 %.

En climat tempéré, en activité moyenne, sa dose journalière doit être de l'ordre de 2,5 litres, toutes origines confondues. Au-delà de 30 °C, la même consommation entraîne une déshydratation sévère. À 40 °C, il lui en faut 9 litres par jour. Pour un travail intense au soleil, il faut encore doubler la ration journalière.

Contrairement à certaines croyances, l'eau peut être sans risque absorbée en très grande quantité. Les excès sont éliminés. Trop boire n'est dangereux que s'il ne s'agit pas d'eau potable.

Aux besoins strictement vitaux, finalement faibles, s'ajoutent l'hygiène, le nettoyage et la cuisine. L'OMS évalue à 35 litres les besoins journaliers du secteur rural. La Décennie de l'eau a fixé à 15 l/j par habitant l'objectif 85 et 25 l/j l'objectif 1990. En ville, les chiffres journaliers, incluant l'arrosage et le nettoyage urbain, et, surtout, les pertes dans les réseaux de distributions, sont beaucoup plus élevés et s'élèvent à plusieurs centaines de litres par personne et par jour. En secteur urbain, la première ressource en eau de 1990 est l'économie de gestion.

L'OMS recommande de ne pas descendre en dessous de 35 litres de ration quotidienne. Elle fournit des évaluations, que l'on peut compléter par les fourchettes observées dans de nombreux cas :

Tableau IV-II — Fourchettes de besoin en eau

par jour et par habitant	OMS	Fourchette
Boisson et cuisine	5	5 à 10 l/j
Toilette	18	8 à 20 l/j
Vaisselle	2	2 à 10 l/j
Lessive	10	5 à 10 l/j
Habitation	2	2 à 10 l/j
Total	35	25 à 60 l/j

Ces chiffres sont seulement indicatifs. En zone équatoriale, où la chaleur est plus humide et donc moins supportable, les gens ont davantage tendance à utiliser de l'eau de toilette. Rien ne peut être homogénéisé dans ce domaine.

Mais il existe un fossé entre les objectifs et les réalités. Les enquêtes récemment exécutées par la CIEH en Afrique de l'ouest - Burkina Faso, Niger, Tchad - notamment auprès des femmes à qui incombe la charge d'aller chercher l'eau démontrent que les consommations réelles sont le plus souvent inférieures aux 35 l/p journaliers recommandés par l'OMS. Elles peuvent même, en fonction de la difficulté d'approvisionnement et de portage, descendre à 10 l/j. Lorsqu'elle est rationnée, les femmes font la queue au point d'eau la nuit.

La réalité dont il faut en tenir compte dans tous les programmes, c'est que plus les gens ont d'eau à leur disposition, plus ils l'apprécient et plus en utilisent. Et plus ils en redemandent.

Traduisons ces besoins en point d'eau : un forage équipé d'une pompe manuelle produisant 1 m³/h, soit 10 m³/jour, est prévu pour satisfaire 400 personnes à raison de 25 l/j. On en voit souvent 500 autour d'un tel point d'eau, plus le bétail. Le rationnement est donc la situation la plus courante.

La qualité de l'eau

En dehors des situations d'urgence, l'eau destinée à la consommation humaine doit répondre à un minimum de normes de potabilité physicochimiques, microbiologiques et organoleptiques. Les normes internationales de l'OMS de 1972 précisent même qu'elle doit être aussi agréable à boire que les conditions le permettent... Les anciennes normes et les nouvelles directives de l'OMS diffèrent.

La notion de directive se substitue à celle de norme, pour indiquer que chaque État est responsable des normes de potabilité en vigueur chez lui, et pour ne pas déprécier la notion de norme qui s'impose à tous.

L'objectif principal des directives est la protection de la santé publique, qui passe par l'élimination des germes pathogènes. En matière d'hydraulique villageoise, on est rarement préoccupé par les produits toxiques, sauf peut-être s'il s'agit des cyanures libérés par le manioc.

Les directives insistent beaucoup sur le contrôle et la surveillance, même si elles en reconnaissent les limites, en particulier sur les petits approvisionnements en eau.

Les règles qui seront énoncées dans ce chapitre ne sont pas destinées aux lecteurs, mais aux fiches de suivi de chantier ou d'animation.

Qualité bactériologique de l'eau de boisson

Ce que l'on cherche à éviter n'est pas ce que l'on peut mesurer. Les analyses étant difficiles et coûteuses, les recherches portent sur un ensemble de germes bactériens témoins d'une contamination fécale faciles à mettre en évidence : il s'agit de l'ensemble du groupe des Coliformes. Ils sont révélateurs d'une pollution d'origine humaine ou animale - animaux à sang chaud. C'est la recherche de l'*Escherichia Coli* bien connu, qui présente en outre l'avantage de se prêter facilement à diverses expériences de laboratoire, génétiques ou non.

D'autres organismes sont de bons indicateurs : les non moins connus streptocoques — des coques — fécaux, et les clostridia sulfite réductrices, témoignant que la pollution est ancienne.

Les normes à ne pas dépasser sont de 10 coliformes totaux, et de zéro coliformes fécaux par 100 ml ... Sinon, on doit faire désinfecter l'eau, ou la faire bouillir.

Fred Greiner. GTZ. bulletin du CIEH 56-avril 1984 :

L'eau est un vecteur de bactéries, virus, parasites. En Afrique, les principales maladies hydriques sont dues à des pollutions par les matières fécales, humaines ou animales. Regroupons les maladies par origine.

Qualité virologique de l'eau

Les virus ne réagissent pas à la plupart des antibiotiques. Le moyen pour les éliminer est la chaleur : c'est pourquoi l'organisme fait de la fièvre, pour détruire le virus par la chaleur. Dans l'ensemble, la seule solution est de faire bouillir l'eau.

Les parasites

Trois groupes d'organismes présentent un risque pour la santé :

- les protozoaires, notamment *Entamoeba histolytica* de l'amibiase,
- les helminthes, vers parasites résistants sous forme d'oeuf, dont l'exemple connu est le ver de Guinée,
- les organismes libres tels que champignons, algues, protozoaires libres, cladocères, copépodes, macroinvertébrés, vecteurs de germes pathogènes et producteurs de toxines.

Le remède est toujours le même : faire bouillir l'eau, parfois la filtrer à travers un linge.

Les facteurs chimiques

Bien que, pour l'Afrique, les pollutions organiques soient tellement plus importantes que l'on hésite à mentionner les produits chimiques, il faut en dire quelques mots.

Les produits suivants sont dangereux aux doses suivantes en mg/l :

- arsenic (0,05),
- cadmium (0,005),
- cyanures (0,1),
- fluorures (1,5),
- mercure (0,001),
- nitrates (50),
- nitrites (faible),
- plomb (0,05),
- sélénium (0,01).

Il s'agit de teneurs que le goût est le plus souvent impuissant à détecter.

Mention spéciale doit être faite pour le cyanure présent dans le manioc, qu'il faut tremper et laver pour l'éliminer.

Les taux de fluor observés sont en croissance constante depuis 30 ans. On sait que 3 à 6 mg/l créent des fluoroses osseuses dangereuses, mutilantes à 10 mg/l sur des quantités importantes absorbées. En principe les taches sur les dents apparaissent à partir de 1,5 mg/l. Mais 2 mg/l ne sont pas considérés comme dangereux.

Bien que l'on ne pense pas aux nitrates quand on parle de l'Afrique, ils sont observés à teneurs dangereuses : par exemple 300 mg/l au Niger.

Les maladies hydriques

Il est parfois plus difficile de trouver dans un dispensaire un verre d'eau potable que le dernier antibiotique.

Dr. Loïc Monjour :

La symptomatologie varie : on peut noter des inflammations locales, des infections du trajet, des arthrites suivies ou non d'ankylose. Les plaies ouvertes favorisent l'apparition du tétanos, mais la dracunculose est surtout une maladie invalidante freinant l'activité des agriculteurs en milieu tropical.

Les maladies à transmission fécale-orale

Ce sont :

- les maladies bactériennes, le choléra, les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes, les salmonelloses, les shigelloses, les gastro-entérites,
- les maladies virales, la poliomyélite, et l'hépatite A ainsi que les diarrhées provoqués par divers adénovirus, rotavirus, entérovirus,
- les maladies parasitaires, les protozooses, amibiases, lambiases, et les nématodoses intestinales, telles que l'ascaridiose, l'ankylostomiase, l'anguillulose.

Toutes ces maladies se transmettent par voie fécale - orale. Les agents pathogènes : bactéries, virus, kystes, oeufs, larves de parasites, sont évacués par les selles d'un sujet malade. La contamination peut être directe - mains sales, ou indirecte, par les insectes, les poussières.

La fréquence des diarrhées est soumise aux variations saisonnières des pluies. Les ruissellements de surface contaminent les sources d'eau, font pénétrer dans les forages et dans les puits mal protégés des eaux de surface contaminées. La lutte contre les diarrhées, dysenteries et maladies entériques passe donc par l'amélioration de l'approvisionnement de l'eau en qualité et aussi en quantité, pour permettre un meilleur lavage des objets courants.

Pour prévenir l'hépatite A et la poliomyélite, il faut plus que l'amélioration de l'approvisionnement et l'hygiène du milieu. La vaccination est indispensable.

Parmi les traitements des diarrhées la réhydratation par voie orale doit être signalée. On sait aujourd'hui que la diarrhée tue par déshydratation, et qu'il faut administrer de l'eau sucrée et salée. On peut, si les solutions de l'Unicef ou de l'OMS ne sont pas disponibles utiliser du Coca Cola, non light bien entendu. La solution d'eau glucosée et salée se fait à partir des doses. Cette boisson de santé peut être faite par les villageois. Il faut de l'eau, du sucre, du sel, pour réhydrater le corps.

Les maladies à vecteur aquatique

Ce sont le paludisme, la bilharziose, l'onchocercose, la dracunculose - ou ver de Guinée -. Seule cette dernière se contracte en buvant l'eau polluée et concerne donc, en fait, l'hydraulique villageoise.

La dracunculose

L'homme est le seul réservoir de parasites connus sous le nom de ver de Guinée. Leur taille atteint un mètre, et, quand la femelle, forant la peau, émerge par un orifice, elle émet des embryons au contact de l'eau. Ceux-ci vont se développer sur un petit crustacé, le cyclops. La digestion des cyclops libère les larves qui deviennent adultes en 9 à 12 mois.

La dracunculose est l'une des maladies les plus faciles à prévenir, avec beaucoup de bonne volonté. Il suffit pour cela de filtrer l'eau à travers un tissu pour arrêter le cyclops, sans avoir à faire bouillir l'eau, ou encore, à l'amont, traiter l'eau des mares et des sources avec de l'Abate.

La dracunculose se propage à partir d'une source d'eau polluée, mare ou étang. Lorsque l'on organise l'alimentation en eau d'un village, en y implantant un forage ou un puits, on peut tenir compte des risques de dracunculose à ce moment précis, le plus favorable pour éliminer le risque. Les mesures dépendent de l'organisation des villages :

- les villages en grappes, avec des quartiers près les uns des autres, et près des champs. Dans ce cas, on a intérêt à rechercher une position centrale pour le puits ou le forage, de façon à ce que la population, accédant facilement au point d'eau, abandonne la mare.

Les diarrhées d'origine bactérienne, virale ou parasitaire sont l'une des premières causes de mortalité infantile : le taux actuel 25 % signifie qu'un enfant sur quatre en meurt avant l'âge de cinq ans.

- Les quartiers près de champs, mais dispersés. Dans ce cas, il faut à terme faire en sorte que chaque quartier ait son point d'eau, car un seul ne suffira pas à éloigner toute la population des mares.
- Lorsque les quartiers et les champs du village sont très éparpillés, il faut se résoudre à admettre que la position du point d'eau n'aura pas d'effet sur la dracunculose, car les gens continueront à aller au point d'eau libre, mare, étang, marigot, tant que l'éducation sanitaire ne sera pas faite.

Le goût de l'eau

Très souvent, l'eau de forage n'a pas, pour les gens habitués à l'eau de surface, un goût acceptable. Il faudra donc penser à cet aspect des choses, en parler avec les villageois avant et pendant la mise en service du forage ou du puits. Un programme de forage se conçoit en pensant à recenser les villages qui souffrent de la dracunculose, pour les traiter en premier, dans la mesure du possible, en répartissant judicieusement les points d'eau.

Le paludisme

Le paludisme ne se contracte pas en buvant l'eau, car les moustiques vivent dans l'eau superficielle. L'eau stagnante autour des points d'eau doit être évacuée, donc l'aménagement des abords est prioritaire.

Le paludisme est responsable du quart de la mortalité infantile, et les transfusions faites ces dernières années pour les crises aiguës ont transmis à peu près tous les germes et virus possibles. Depuis l'apparition du SIDA les précautions sont devenues plus sérieuses. Mais les cas d'hépatites, septicémies, et autres étaient nombreux, liés aux transfusions.

La bilharziose et l'onchocercose

Ces maladies ne sont pas liées à l'hydraulique villageoise, mais aux cours d'eau et à l'habitat. Rien n'interdit néanmoins de les avoir présents à l'esprit au moment de la conception des programmes.

Impact sanitaire de l'hydraulique villageoise

L'approvisionnement en eau potable est un facteur essentiel de disparition ou de diminution des maladies d'origine bactérienne, virales ou parasitaires. La démonstration en a été largement obtenue sur le terrain, depuis les expérimentations faites au Burkina Faso de 1980/1981 par le Dr. Monjour et ses collaborateurs.

L'eau potable des forages est elle encore potable parvenue à domicile ?

Si l'on peut constater que l'approvisionnement des populations s'est métamorphosé sur le plan quantitatif, les trop rares contrôles de qualité, tout au long de la chaîne fournissent des résultats inquiétants. Disons tout de suite qu'il faut se référer aux examens entrepris par les seuls médecins et agents du corps sanitaire, en éliminant tout ce qui peut relever de la classique concurrence commerciale entre fabricants ou distributeurs de matériels. On a beaucoup parlé de contamination d'une pompe dans une région où elle représente les 2/3 des pompes en place, à partir d'une seule source d'information non médicale. De même affirmer que telle ou telle pompe provoque la présence de virus relève de la fantaisie.

Que voit-on ?

L'eau puisée au puits cimenté ou traditionnel est presque toujours franchement polluée, et contient dans la plupart des cas 10 à 1 000 coliformes fécaux par 100 ml. Celle prise à la pompe du forage est, une fois sur trois, douteuse, sans toutefois dépasser 10 C.F. par 100 ml.

Les statistiques de Monjour et Requillart, Mathys, Charlet, Guillemein, permettent d'affirmer que les bassines et canaris sont pratiquement toujours pollués avec souvent plus de 1 000 C.F. par 100 ml.

Processus de pollution de l'eau potable

Le processus de la prolifération des coliformes fécaux est décrit par les bandes dessinées largement distribuées :

- à la pompe, on trouve en général moins de 10 C.F,
- mais après prélèvement souvent 100 à 200 dans la bassine ou le canari,
- pendant le transport, on monte vers 500 C.F,
- et le taux dépasse souvent 2 000 après avoir séjourné à la maison.

Cette situation résulte de deux vérités mal utilisées parce que nécessaires, mais pas suffisantes :

- L'eau souterraine, protégée par le sol, est de bonne qualité,
- les forages équipés de pompes fournissent de l'eau potable.

Il faut y ajouter systématiquement les périmètres de protection, et ne pas omettre de procéder à des campagnes d'analyses bactériologiques.

Mais il faut surtout créer un état d'esprit, car la santé s'obtient d'abord par la prévention, à partir d'un processus social, donc éducatif.

L'exemple de la Guinée devrait être suivi : elle intègre une équipe sanitaire dans l'équipe d'hydraulique villageoise, aussi bien techniquement qu'administrativement, de façon à ce que la santé devienne un objectif au lieu d'être considérée comme un accessoire. Un programme d'hydraulique villageoise est un tout, qui ne se décompose pas en spécialités indépendantes.

De même, et c'est probablement plus important, on a généralement omis d'informer les usagers, et d'éduquer les enfants et les parents sur les risques sanitaires liés à l'eau.

Le constat

Pour améliorer, il faut partir des sources de contamination.

Par ordre croissant de vulnérabilité :

Les forages

Les motifs de contamination de l'eau des forages sont nombreux :

- des sources de pollutions : latrines, trous à ordures, anciens puits abandonnés, bétail petit et gros en liberté, voisinage des abreuvoirs ;
- une mauvaise finition du forage, permettant à l'eau de surface de pénétrer dans le forage, et, surtout,
- une mauvaise réalisation des abords, margelle, antibourbier, pente, permettant à l'eau de stagner ;
- des défauts inhérents à la conception ou à la réalisation des pompes, entraînant des défauts d'étanchéité ;
- des erreurs dans les interventions sur les pompes : après avoir retiré une bouduche Vergnet pour intervention, donc l'avoir étendue sur le sol, il faudrait bien évidemment la nettoyer, donc avoir auparavant stocké de l'eau à cet effet, et disposer d'un désinfectant.
- De même, après toute intervention sur une pompe, mettre de l'eau de Javel dans le trou, quand on en a, et il faut en avoir au village, ce n'est jamais un luxe ;
- une absence ou un échec de l'éducation sanitaire : presque personne ne demande au cours des enquêtes dans les villages s'il y a de l'eau de Javel, et si la réponse est oui, demande à la voir.

Les puits

Toutes les sources précédentes de pollution sont valables, et il s'y ajoute les cordes, les seaux, bref tous les moyens de puisage qui sont souvent douteux, l'absence de margelle et d'antibourbier est un facteur aggravant, car la réalisation des puits a précédé celle des forages,

Les canaris

La principale cause de pollution au niveau des canaris est l'absence d'hygiène. Mais il n'est plus exact, en 1989, de dire que les canaris sont systématiquement sales. Nous voyons aujourd'hui de plus en plus souvent, dans les villages, les femmes laver les canaris et les bassines avec de l'eau qu'elles jettent avant de remplir le canari. On pourrait plutôt se demander si les mains sont propres, et si les gobelets ou les louches plongés dans la bassine ou le canari pour extraire l'eau sont nettoyés.

Il faut bien se rendre compte que de l'eau au forage n'a pas la même signification pour la femme qui la puise, que l'eau qu'elle a transportée jusque chez elle : l'eau du forage n'est pas encore portée, et ne représente pas encore une fatigue, on l'épargne donc moins.

Nous venons de réunir dans ce paragraphe deux chaînons irremplaçables d'une action stratégique : l'éducation et les femmes.

Prévenir ou Guérir ?

La technique et l'éducation

Les mesures de prévention se situent à deux niveaux : on se trouvera toujours bien d'encourager les détenteurs de la technique, présumés éduqués, à transformer leur action concrète en acte pédagogique positif sur la santé. Il est donc hautement conseillé de les informer, et, auparavant de les sensibiliser, eux aussi. Et il faut les aider, car le travail ne manque jamais, sur le terrain.

Implanter selon les règles de l'art

Au moment de l'implantation, on remplit des fiches de village. Tout géologue qui se respecte a en mémoire les mésaventures survenues un peu partout aux collègues malheureux qui ont implanté un forage dans un cimetière, ou, plus malchanceux encore, sur une tombe.

Ajoutons donc à toutes les fiches la rubrique : distance de l'implantation proposée aux latrines (anciennes ou actuelles) pente du terrain, etc.

Ce pense-bête de géologue, spécialiste toujours prêt à améliorer ses résultats, deviendrait un résultat attendu et plus un heureux hasard. Les distances de sécurité sont le plus souvent évaluées correctement, le problème est d'être en mesure de les faire accepter par les notables locaux, ou plus simplement par le village. Lorsque les sites de forages sont difficiles, il faut inclure dans les contrats passés avec le village, lorsque c'est possible, le déplacement des sources de pollutions.

Étanchéité de la tête de l'ouvrage.

La cimentation est la phase du forage la plus critique pour la vulnérabilité de l'ouvrage. Il faut un contrôle spécial à l'exécution. Trop de géologues de contrôle de forage considèrent qu'ils n'ont pas à connaître les techniques du forage, et que leur rôle est purement géologique. C'est une erreur.

Désinfection à la réception

Un peu de Javel ne nuit jamais à un forage. Ce que l'on oublie de dire souvent, et c'est encore plus vrai pour les puits que pour les forages, c'est que beaucoup d'animaux, serpents, rats, lézards, et autres adorent la fraîcheur des ouvrages, et que, puisqu'ils y vivent, ils finissent par y mourir. Les forages sont plus faciles à protéger. Il faut donc les protéger. Un serpent n'entre pas dans un forage, car il est fermé.

Montage et entretien de la pompe

Les pompes et les forages doivent être nettoyés après intervention.



Station pastorale au Tchad - Ces stations peuvent voir passer 10 000 têtes de bétail par jour - 1976

Abdoulaye Kanouté - se servir des cultures, 1981

En milieu musulman l'école coranique se fait parfois la nuit au moment où la température est meilleure. En Espagne, on ne travaille guère à 14 heures l'été. De même, un musulman doit se laver les mains à plusieurs reprises dans la journée, et en plusieurs occasions. On devrait se servir davantage des cultures et des coutumes, et de l'éducation des enfants.

Aménagement et entretien des abords

Un forage bien réalisé comporte :

- une fermeture, constituée par l'embase, qui doit être maintenue fermée lorsque la pompe n'est pas en place,
- une margelle,
- un trottoir en ciment,
- une rigole cimentée dont la pente doit aller dans le bon sens,
- une évacuation de l'eau de ruissellement, qui ne doit pas retourner à la nappe,
- un antibourbier, pour empêcher la formation de mares,
- une protection sérieuse contre les animaux divaguants,
- des abreuvoirs installés là où ils ne constituent pas un foyer d'infection,
- un périmètre de protection,
- un suivi bactériologique.

Il existe à cet effet des coffrets très pratiques et peu coûteux (750 000 FCFA), donc amortissables en une campagne telle qu'un projet de 30 adductions d'eau pour des centres secondaires de 5 000 habitants. Malgré les progrès potentiels procurés grâce à ces kits, exiger un contrôle fréquent de la qualité bactériologique de l'eau serait irréaliste. Des sondages de qualité de fréquence annuelle ne seraient pas, toutefois, exagérés.

Les animaux ne divaguent que lorsqu'ils sont tolérés là où ils ne doivent pas être. Et c'est vrai pour les forages comme pour les jeunes pousses de mil. On le dira plus loin, il vaut mieux rémunérer un villageois à faire respecter un défens qu'importer des barbelés.

Guérir faute de mieux ?

La première règle est d'éviter que soit plongé dans l'eau qui sera bue un récipient quelconque, ou une main. Pour cela, l'eau doit toujours couler : de la pompe vers le récipient, du récipient vers le gobelet.

Des récipients munis d'un robinet souple ont été testés : même associés à une campagne de sensibilisation, la réduction de la pollution n'a été que partielle. On a donc testé des désinfections chimiques par chloration, la filtration, la désinfection solaire. On reste sur sa faim, car de telles solutions, en milieu rural, restent marginalisées par manque de bonnes volontés, et surtout par absence de désinfectants. D'ailleurs les résultats des tests effectués sur les diverses méthodes de désinfection de l'eau sont les suivants :

- les filtres à sable construits à partir de deux canaris superposés sont totalement inefficaces,
- les filtres à bougie, populaires en ville, sont lents, coûteux, et difficiles à imaginer dans les villages,
- le permanganate est peu efficace, et coûteux,
- l'iode est impensable,
- faire bouillir l'eau, dans le Sahel, c'est brûler un kilo de bois,
- la chloration est efficace, mais dénature le goût, et nécessite un dosage raisonnable. Elle n'est pensable que si l'on travaille sur des quantités d'eau importantes,
- la désinfection solaire est inadaptée au Burkina Faso.

Cette dernière méthode montre le danger des adaptations hâtives : expérimentée avec quelques résultats à Beyrouth, il lui faut au moins quatre heures d'exposition, sans nuages, sans poussières, avec des récipients adaptés, un seul facteur défavorable faisant échouer l'opération, et, pour conclure, l'eau obtenue en cas de succès devrait être refroidie...

Il reste donc toujours la règle consistant à faire couler l'eau, et laver les récipients. Cela signifie plus d'eau, plus d'investissements, plus d'éducation. Ce chapitre est donc loin d'être clos.

L'ONGEAST (active à Madagascar, Vietnam, Mali, Bénin, Burkina, Togo, Sénégal) - Eau - Agriculture - Santé en milieu Tropical - a commencé, soutenue par la Direction de l'Éducation pour la Santé et l'Assainissement - DESA - de vulgariser la chloration en réservoirs métalliques, plastiques, ou argileux, qui semble la méthode la moins inadaptée. Le travail commence en tout cas par le commencement : le milieu scolaire.

Le fond du problème est que le seul véritable moyen technique d'améliorer la salubrité de la distribution de l'eau est de multiplier les points d'eau et les débits disponibles, en visant le branchement individuel. Et la seule stratégie dans la situation de pénurie est de jouer sur l'éducation.

L'éducation sanitaire

Il est désormais clair que tous les efforts au niveau technique resteront vains tant que l'éducation ne se mêlera pas de l'hygiène.

Commençons par la survie des enfants. La réhydratation des enfants en cas de diarrhées s'apprend aisément, et peut être le premier pas. Montrer ce qu'est la potabilité de l'eau est plus complexe. Si l'on montre, cela a été fait, les germes présents dans l'eau, on ne peut prévoir les conséquences. Mais il faut essayer, et trouver la façon convaincante, pays par pays, région par région, de faire entrer les choses dans les moeurs. Il faut également trouver les voies et moyens de lutter contre le fatalisme, et réfléchir sur les traditions pour s'en faire des alliées.

Pour commencer, il faut admettre qu'il est possible de trouver les façons de s'adresser aux femmes sans agresser les structures familiales, et provoquer des réactions aussi inattendues que prévisibles.

Le manque de moyens est la réalité journalière en milieu éducatif. En équipement, en petit matériel, en véhicules, certes, mais d'abord en personnel.

En Europe, au 17^e siècle la mortalité infantile était de 25 %, la même qu'en Afrique aujourd'hui. La révolution dans l'hygiène s'est faite à la fin du 19^e siècle et au début du vingtième. Elle a commencé par le commencement, peut-être par hasard : la mortalité infantile touche les enfants, ce sont donc les enfants qu'il faut informer, et d'abord leurs mères - cela s'appelle l'éducation - peut-être aussi les grands-parents, vaccinés puisqu'ils ont survécu jusque là, pour qu'ils expliquent les choses aux enfants. Il a fallu environ deux siècles à l'Europe pour acquérir une éducation sanitaire faisant régresser la mortalité.

On ne peut espérer, en dix années de Décennie de l'eau potable obtenir le même résultat. Mais on peut décider de ne pas attendre deux siècles pour commencer.

Après Pasteur, tout le monde a commencé à mettre les aliments dans des garde-manger, à l'abri des mouches. La seule observation, c'est qu'il n'y avait aucun animateur derrière les gens, les choses se sont passées le soir à la chandelle. En Afrique, le soir, dans les villages, s'il n'y a pas d'éclairage photovoltaïque, les gens vont se coucher plus tôt qu'ils n'en ont envie. Et en tous cas, dans beaucoup de grandes villes d'Afrique, il y a des jeunes et des enfants qui lisent le soir sous les réverbères publics, pour étudier. Au début, c'était parce qu'il n'y avait pas de lumière à la maison. De plus en plus, parce que c'est plus tranquille.

Depuis le début du vingtième siècle, les maladies ont régressé en Europe et dans les villes d'Afrique tout bêtement grâce au frigidaire, qui empêche les moisissures et la prolifération des bactéries.

Les frigidaires permettent aussi de stocker les vaccins. L'OMS a lancé un vaste programme de froid photovoltaïque dans les villages pour protéger les vaccins.

En fin de compte, la mortalité régresse partout où l'emploi de l'énergie progresse. Et partout où la connaissance progresse. Il ne faut donc pas dissocier l'hydraulique villageoise de l'énergie et de l'éducation.

La Décennie a permis de se casser le nez sur toute une série de problèmes qui semblent plus innocents les uns que les autres, et sont tout aussi coriaces les uns que les autres. Ce n'est pas parce que c'est difficile que l'on a échoué. Il fallait commencer. Progressivement, on cerne les solutions. Aucune solution n'est composée d'un seul morceau.



Atelier de forage grande profondeur au Niger



Chapitre V

LES ACTEURS ET LES OPÉRATIONS

du besoin à l'appropriation

La difficulté de conduire un projet de sa conception à son appropriation par les bénéficiaires vient du fait qu'au départ seule la fonction d'usage était dévolue aux populations. Devant les difficultés, il a fallu entretenir et gérer. Tous les efforts d'organisation ont visé à obtenir l'efficacité observée lorsque les huit fonctions sont exercées au mieux possible, c'est-à-dire conception, maîtrise d'ouvrage, financement, maîtrise d'œuvre, gestion, entretien, usage, propriété.

Au cours des années 70 et 80 le monolithisme des services publics a fait place à une grande diversification des intervenants du secteur. Cette évolution a été un facteur déterminant le passage de techniques artisanales à une technicité moderne.

En revanche, elle a constitué une source de conflits entre les institutions nationales, peu désireuses d'abandonner leurs domaines de compétence. La cohérence des programmes et l'harmonisation des politiques sectorielles a souffert de la multiplication des types de matériels et de la dispersion des rares cadres nationaux dans des projets autonomes.

L'appui institutionnel au secteur reste une préoccupation forte des bailleurs de fonds, dont la France. Mais il s'est limité en général à des réformes sur les structures publiques de l'eau sans avoir abordé une réflexion globale sur la place, les missions et les interrelations de chacun des acteurs.

Les services publics

Après être passé d'un Ministère à l'autre, comme nous l'avons vu, les services nationaux chargés de l'approvisionnement en eau se sont pour la plupart stabilisés, ou, pour le moins, ont constitué des entités autonomes dont le changement de tutelle n'affecte pas les fonctions.

Ils connaissent une forte évolution de leurs missions sous l'effet de nouvelles priorités : la gestion de la ressource en eau, la maintenance des infrastructures, la récupération des coûts. Les missions se répartissent en quatre types :

— les missions liées à la gestion de l'eau

Amélioration des connaissances hydrogéologiques ou hydrologiques, conservation et exploitation des données, tenue des fichiers hydrauliques, établissement de schémas directeurs en vue de la gestion optimale des ressources, de leur préservation et de leur affectation aux divers usages,

— la maîtrise d'œuvre des programmes d'équipement

Programmation des investissements, identification, études et montages de projets, contrôle des travaux à l'entreprise.

— la fonction de maintenance

Définition des conditions de gestion et de maintenance des points d'eau, organisation des divers acteurs - comités de gestion, artisans réparateurs, fournisseurs - et contrôle de la tenue de leurs engagements respectifs.

— la fonction d'entrepreneur

Les activités de travaux de puits et forages, qui représentaient l'essentiel des tâches des services au début des années 50, passent progressivement au secteur privé. En 1990 seuls les États, Djibouti, Mauritanie, Tchad, où les entreprises privées ont du mal à s'implanter, conservent des structures administratives de travaux..

Peu de services arrivent à préserver un juste équilibre entre ces missions. Les tâches liées à la réalisation des travaux en régie et au lancement des marchés à l'entreprise l'emportent dans leurs priorités sur les missions de service public d'ordre conceptuel. Plusieurs raisons y contribuent : les travaux publics constituent des actions plus valorisantes d'un impact plus visible, et assurent des ressources de fonctionnement qui sont souvent les seules dont disposent les services.

Les structures publiques

Le service chargé de l'hydraulique n'a presque jamais été seul à gérer l'alimentation en eau potable en milieu rural. Très souvent, pour des raisons très variées, des structures publiques ou parapubliques, Offices, Régies, Fonds, Sociétés de Développement, Sociétés d'économie Mixte, sont intervenues pour réaliser, gérer, financer des ouvrages. Dans de nombreux cas l'impulsion est spectaculaire. La raison profonde est que le développement rural n'est pas monosectoriel. Il concerne tout un ensemble de disciplines : faute de s'en souvenir les difficultés arrivent vite.

Il est légitime qu'un organisme de développement rural, de production de riz, de palme ou de café, réalise pour ses cultivateurs les points d'eau nécessaires.

D'autre part la mise en chantier d'un programme d'hydraulique villageoise par l'État aidé par les bailleurs de fonds exige deux à trois ans de préparation. Un office ou un fonds dotés d'un minimum d'autonomie de gestion et de moyens - et il en existe, autonomie n'excluant pas contrôle - peut exécuter très rapidement un programme urgent.

En principe les difficultés ne surviennent pas lorsque la maintenance est assumée dans la foulée de la réalisation, dès l'instant où, par ailleurs, l'organisme assume sa mission principale. Dans le cas contraire la restructuration ou la disparition de l'organisme est la conséquence inéluctable.

La crise de la fin des années 80 a renforcé les sources de conflits, et rendu plus difficiles les solutions de problèmes masqués par la montée en régime des programmes au début de la décennie.

Et pourtant, le secteur privé reste modeste en Afrique, et les organismes parapublics sont aujourd'hui pratiquement les seuls à disposer d'une taille garantissant une capacité de gestion. La définition d'une politique nationale non soumise aux aléas est donc un outil de développement.

Les bailleurs de fonds

Le phénomène de l'irruption des agences de développement dans le secteur est récent. Des améliorations notables sont apparues dans leurs approches. L'exclusive priorité accordée aux investissements a laissé place à des opérations faisant une part plus grande aux actions d'accompagnement sur les institutions, la gestion des ressources et la maintenance. En revanche, peu de progrès ont été accomplis en matière de coordination. Ce problème souligné à maintes reprises notamment à l'occasion des consultations du CAD n'a pas encore trouvé de réponse faute de politique sectorielle directive de la part des pays bénéficiaires, et, ne le cachons pas, d'une certaine communauté des bailleurs de fonds.

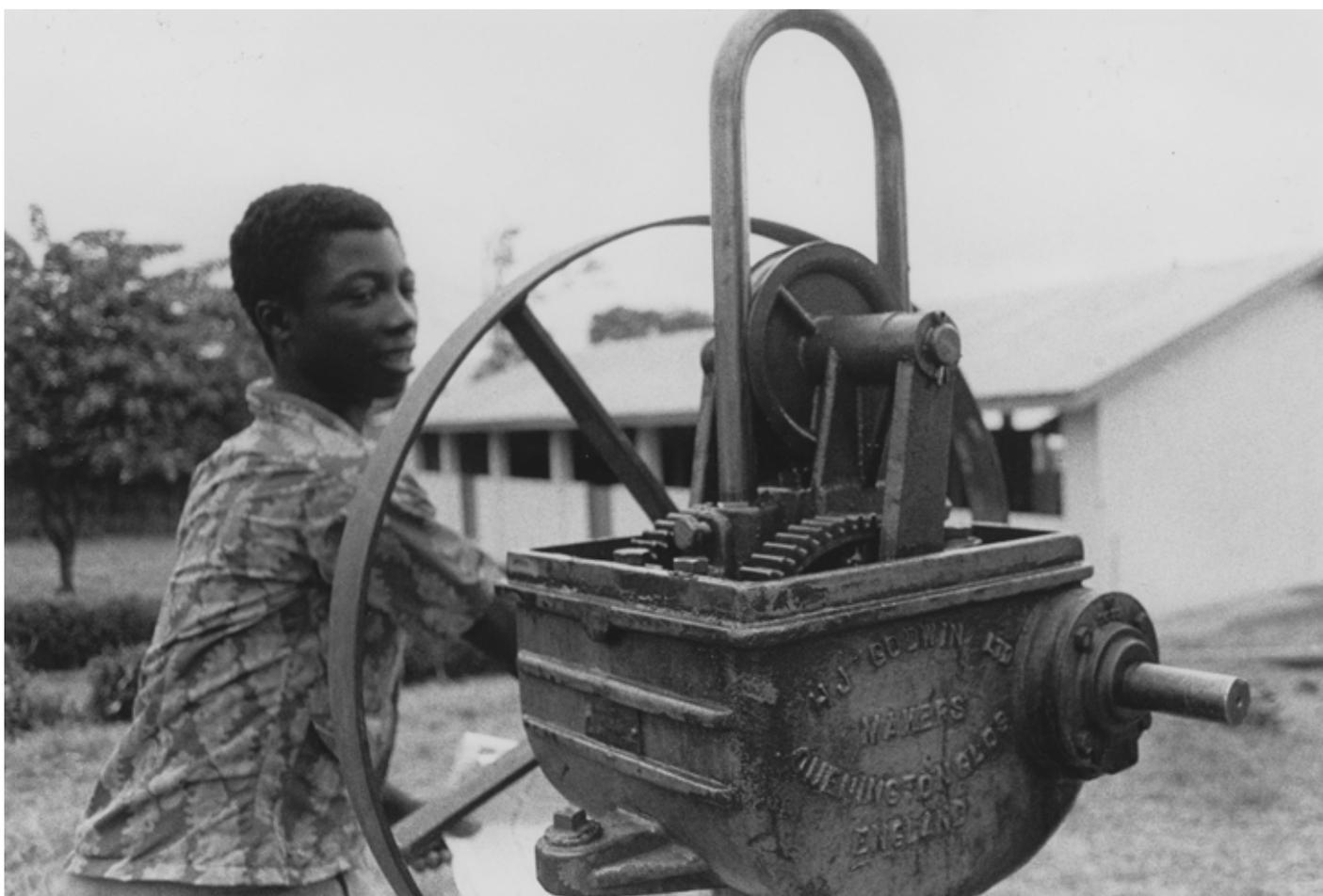
Les tables rondes et réunions sectorielles nationales ne s'appuient pas sur des dossiers suffisamment préparés pour y parvenir et la shopping list reste encore trop la base de planification sectorielle dans la majorité des pays. Les consultations périodiques tenues dans le cadre de la décennie de l'eau offre le cadre adéquat pour dialoguer sur les grandes orientations communes, mais sont insuffisantes pour rendre effective la coordination au niveau de chaque État. Le développement de l'hydraulique villageoise a été financé par trois grandes voies :

- les ressources propres du pays,
- les emprunts,
- les dons.

Le recours à la première voie a été exceptionnel et s'est cantonné au Cameroun et au Gabon, partiellement au Congo. Les bailleurs de fonds sont intervenus sur les deux autres volets, selon des modalités attachées aux objectifs propres de chaque bailleur, ou de chaque groupement de bailleurs. Il est utile de recenser les objectifs et les modes d'action, avant d'aborder la coordination des bailleurs de fonds. Et de replacer le financement des actions d'hydraulique villageoise dans la situation financière globale.



Himediah - Ce manège installé en 1962 a fonctionné moins d'un mois - Tchad, 1976



Pompe Godwin au Ghana - 1973

Le financement du développement

Le financement du développement consiste à organiser les transferts de fonds disponibles vers les opérations jugées prioritaires. Au moment de l'indépendance, la France était le principal partenaire politique et économique des États sahéliens. Lorsque la sécheresse est intervenue, l'urgence a imposé l'élargissement du recours au système financier international. Pendant la décennie 70, caractérisée par l'abondance de capitaux, les liquidités importantes ont permis le lancement de projets nombreux et variés. Le développement de plusieurs pays, la Côte d'Ivoire, le Gabon, le Cameroun, basés sur l'agriculture et le pétrole, par exemple, ont été spectaculaires. Mais la démographie, l'endettement croissant et le resserrement des moyens de paiement ont obligé à revoir les modes de financement. Sur une décennie, l'endettement a crû deux fois plus vite que le produit national. Progressivement se sont mis en place les ajustements structurels, qui ont imposé de réduire les masses financières en circulation, le budget des états, les investissements. Le service de la dette est devenu un outil important du Ministère des Finances. En moyenne, le service de la dette des pays en développement représente 30 % des exportations. Plus des deux tiers des pays africains ont signé des accords avec le FMI. De plus en plus, les prêts concernent les pays, par croissance des prêts d'ajustement structurel, plutôt que les projets. Le service de la dette pour les projets d'hydraulique villageoise reste relativement modeste pour plusieurs États, tels que le Niger ou le Mali, car une partie notable des programmes mis en place fait l'objet d'une aide ou d'un don.

Jacques Pelletier, Ministre de la Coopération 1989

On a pu observer que l'ensemble des mécanismes déflationnistes mis en place ou observés depuis une décennie ont réduit la compétitivité des pays africains. Depuis 1985, plusieurs approches globales ont été tentées pour relancer le développement au sud du Sahara, à la suite du rapport Berg - Banque Mondiale.

Paradoxalement, c'est pendant la première moitié de la décennie 80 que les fonds mis à la disposition de l'hydraulique villageoise ont crû le plus vite. Aujourd'hui, le tarissement général, la crise, et, probablement, le niveau élevé du parc de points d'eau amènent à réfléchir sur les objectifs, les modes d'intervention, le niveau des appuis à mettre en place.

La prise de conscience des bailleurs de fonds est que le relai n'a pas été pris par les états comme cela était escompté, car le développement n'a pas été au rendez-vous au moment venu. L'accent est aujourd'hui mis sur la maintenance, la réhabilitation, l'emploi rationnel des ressources. Mais aussi sur les mesures structurelles à mettre en place pour permettre une relance du développement.

La principale orientation à souligner aujourd'hui est que le FMI a pris conscience du risque de récession généralisée liée aux politiques déflationnistes. Les États les plus avancés s'engagent, les uns après les autres, plus ou moins timidement, vers la remise de tout ou partie des dettes. Et les scénarios de relance aboutissent tous à la nécessité d'un véritable plan Marshall, au moment précis où les institutions financières privées, et quelques aides bilatérales ne s'intéressent plus au développement de l'Afrique.

Faisons l'inventaire des méthodes d'action et des objectifs des différents bailleurs de fonds.

La coopération française

La Coopération Française est née de l'indépendance des États Africains. Elle a beaucoup évolué, en trente ans, et son action est animée, aujourd'hui, par plusieurs idées clés. Tout d'abord, l'aide au développement s'est modifiée constamment depuis vingt ans, au niveau bilatéral comme au niveau multilatéral. En effet, aux besoins de développement proprement dit se sont ajoutés les problèmes d'équilibre budgétaire des pays aidés, puis de remboursement de la dette. Les prêts d'ajustement conjoncturel, devenus un chapitre important de la Coopération, occupent, dans les États, une partie de la force de travail des Ministères des Finances et du Plan.

La Coopération Française intervient par trois moyens essentiels : le Fonds d'Aide et de Coopération, la Caisse Centrale de Coopération Économique, et le Trésor.

La Caisse Centrale de Coopération

La Caisse Centrale de Coopération inscrit son action dans une perspective de développement, de façon à permettre aux États partenaires de générer des richesses. Elle dispose de fonds propres qu'elle utilise comme une banque ouverte vers les pays en Développement, et à ce titre, elle dépend du Ministère des Finances et du Ministère des Affaires Étrangères, mais, simultanément, elle dépend directement du Ministère de la Coopération, et, à ce titre, a vocation à intervenir dans les Programmes d'Aide, en tant qu'outil de Coopération Française.

Le domaine de l'hydraulique rurale et de l'hydraulique villageoise, secteur clé du développement, est depuis toujours un secteur prioritaire de son action. Pour la Caisse Centrale, l'hydraulique rurale ne se limite pas à l'irrigation et aux projets grands et moyens. Elle va jusqu'aux individus.

Il faut compléter les investissements du tableau V-I par les mesures d'accompagnement du FAC, environ 30 millions de francs 1990 par an :

- Trésor ;
- La Banque Mondiale ;
- Le Fonds Européen de Développement ;
- Les Fonds Arabes.

Les autres intervenants au niveau national

L'équipement rural est un des facteurs du développement rural. À ce titre de multiples structures en charge du développement régional conçoivent et lancent des programmes de travaux sans concertation avec les services de l'hydraulique : sociétés de mise en valeur, départements ministériels les plus divers - Santé, Éducation Nationale, Tourisme.

Les Organisations non Gouvernementales - ONG - se sont multipliées à un point tel qu'aucun État n'arrive à les suivre. Enfin certains bailleurs de fonds ont mis en place des projets autonomes indépendamment des structures nationales.

La multiplication des acteurs a certainement été un facteur appréciable d'accélération des programmes d'équipement en points d'eau. À ce titre le rôle des ONG mérite d'être souligné. Travaillant dans des conditions difficiles, elles conduisent avec succès des programmes, certes limités, encore que certaines aient des capacités d'intervention impressionnantes.

L'aide Française pour sa part les associe de plus en plus à son action et a créé Solidarité-Eau visant à mobiliser les collectivités locales françaises vers des programmes d'aide au développement.

Mais rares sont les pays dans lesquels les autorités nationales ont réussi à inscrire toutes les actions dans un cadre directif assurant la coordination des opérateurs et le respect d'options nationales.

Il en est résulté des contraintes nouvelles pour le secteur. Une imbrication et une incohérence des programmes, une absence de normalisation technique des ouvrages et des matériels de pompage, engendrant problèmes d'entretien et d'approvisionnement en pièces, le non-respect du minimum de technicité allant jusqu'au bricolage, une grande variabilité des conditions de participation villageoise mal comprise des usagers. Trop souvent la bénévolance a suppléé le professionnalisme.

Les ONG

Les contributions privées varient largement selon l'origine des pays donateurs. La France, par exemple, a une politique de coopération soutenue et ancienne, et une contribution privée par personne faible, un peu plus de 10 milliards de FCFA au milieu des années 80.

Le FED a mis en place une ligne de crédit pour cofinancer les actions des ONG dépassant 15 milliards de cfa, ce qui représente un peu moins de 50 milliards de cfa d'actions cofinancées ainsi par les ONG. Leur action est donc importante.

Parmi les ONG les projets caritatifs ont pris une part importante dans la réalisation des points d'eau dans le Sahel.

Certaines s'occupent exclusivement d'eau, d'autres sont orientées développement avec une composante eau.

Tableau V-I — Les interventions de la Caisse Centrale de Coopération fin 1990.

Pays	Projet	Date	Montant	Financement	Forages total	Forages positifs
Mali	Mali Aqua Viva	1980	14	FAC	313	250
	CEAO	1983	27,5		370	216
	Mali Aqua Viva	1983	21,5	FAC	361	286
		1986	39	FAC	388	306
	total		102		1432	1058
Côte d'Ivoire	Entente I	1982	22	FAC	412	330
	1er projet national	1980	20	FNH	620	496
	2ème projet national	1983	28		540	450
	Entente II	1985	35,5	FAC	200	160
	total		107,5		1772	1436
Burkina Faso	CEAO	1981	25		481	389
	Entente I	1982	25,5	FAC	459	345
	H.V. GANZOURGOU	1984	32		410	320
	Entente II	1985	35	FAC	400	320
	total		117		1750	1379
Niger	130 forages	1979	5,6	FAC	130	105
	1000 forages	1981	9,5	CPG	p.m.	p.m.
	Entente I	1982	31	FAC	415	353
	FED	1983	5	FAC	400	347
	total		91		645	805
Bénin	Entente I	1982	25,5	FAC	458	349
	ProG. Nat. N. Borgou	1984	25		415	285
	Entente II	1985	36,2	FAC	400	310
	total		86,7		1273	944
Togo	Entente II	1985	36	FAC	400	285
Mauritanie	Guidimakha	1986	42,5	FAC	360	160
	TOTAL		583,2		7930	6607

Les plus connues sont Mali Aqua Viva, Caritas, Helvetas, Care, les Volontaires du Progrès, les Peace Corps, le Conseil Oecuménique des Églises, et de très nombreuses ONG religieuses :

- Mali Aqua Viva, créée par le Père Verspieren en 1974, Mali Aqua Viva, basée à SAN, au Mali, a déjà à son actif près de 2 000 forages et de très nombreuses pompes solaires. Mali Aqua Viva a adopté des méthodes de gestion originales proches d'organismes privés classiques. Le financement, au départ fourni par le père Verspieren et sa famille, s'est trouvé sérieusement renforcé par le Gouvernement du Mali et la Caisse Centrale de Coopération. La CEE est venue appuyer l'action, en cofinancement avec l'ONG SOS Sahel. On peut dire, pour résumer l'action de M.A.V. qu'elle a déjà touché près de 300 000 personnes. Les réalisations ont été de 282 forages sur le premier programme 1980-1983, 286 sur le second 84-86, et 308 positifs sur le programme 87-89. L'équipement est fait en hydropompes. Ce programme a été l'un des tout premiers à transférer la maintenance aux utilisateurs. Un Malien sur 10 est alimenté en eau grâce à son action.
- Helvetas a été créée en 1977 par la Coopération Suisse, sur un premier accord portant sur 6 ans, reconduit ensuite Intégré à la DNH du Mali, le projet est structuré en programme opérationnel : sept départements, administration, garage, forage, animation, géophysique, hydrogéologie, Maintenance et formation. La stratégie comporte une participation active de la population, pour le creusement des fosses à boue, des antibourbiers, des margelles. La maintenance est assurée par les réparateurs régionaux, qui sont formés et reçoivent des villageois 2 500 FCFA par déplacement, et 10 : sur la valeur des pièces échangées. Le stock central, à Bougouni, a une valeur de 12 millions de FCFA. L'animation se fait avec des moyens et des techniques modernes, diapositives, et les fiches de contrat sont signées par le comité de village. La parole circule largement parmi les villageois au cours des séances d'animation. L'accent est mis sur la technique. Le forage fait l'objet d'un soin tout particulier, ainsi que la gestion et la maintenance. En particulier, le stock de pièces détachées est relayé par le stock, d'environ 300 000 FCFA, des réparateurs régionaux. Le responsable de la maintenance dispose aussi d'un stock de pièces, qui lui permet de réapprovisionner les réparateurs au cours des tournées.

Les organismes inter-état

Plusieurs organismes interétats ont été créés pour accompagner et renforcer le développement de l'hydraulique rurale :

Le CIEH, 1960-1995

Créé en 1960, au lendemain des Indépendances des anciennes colonies françaises, il regroupait 14 États Africains, le Cameroun, la République Centrafricaine, le Congo, la Côte d'Ivoire, le Bénin, le Gabon, le Burkina Faso, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Sénégal, le Tchad, le Togo, décidés à mettre en commun leurs moyens et à conjuguer leurs efforts en matière d'études générales et de recherche dans les domaines de l'hydrologie, de l'hydrogéologie, et de l'hydraulique, sous tous les aspects : hydraulique urbaine, villageoise, pastorale ou agricole.

Le CIEH était chargé d'assurer les échanges d'informations et le support documentaire, de définir et promouvoir les études scientifiques et techniques d'intérêt commun, d'apporter aux états les conseils et le soutien technique. L'effectif du CIEH a atteint 60 personnes dont 15 ingénieurs.

Le Conseil d'Administration du CIEH était composé des Ministres chargés de l'Eau des états membres. Le Secrétariat Général a été installé en 1969 à Ouagadougou. Tous les deux ans se tient le Conseil des Ministres et, les autres années, les Journées Techniques réunissent les techniciens et les responsables.

Privé de soutien après la Conférence des Bailleurs de fonds de Sophia Antipolis en 1992, le CIEH a été fermé en 1995. Fort heureusement son fonds documentaire a été transféré à l'EIER - École Interétats des Ingénieurs de l'Équipement Rural, EIER, renforçant sa tâche de formation.

Le CILSS

En 1973, le Tchad, le Niger, le Mali, le Burkina Faso, le Sénégal, et la Mauritanie créent conjointement le Comité Permanent Inter État de Lutte contre la Sécheresse au Sahel, et sont rapidement rejoints par la Gambie et les Iles du Cap Vert auxquels s'ajouteront un peu plus tard le Bénin, la Côte d'Ivoire, la Guinée, la Guinée Bissau et le Togo. Basé à Ouagadougou, le CILSS va devenir le Centre de référence de la lutte contre la sécheresse.

En particulier, le projet Agrhymet, basé à Niamey, directement centré sur les pays du CILSS, a pour objet de diffuser régulièrement les informations hydrométéorologiques nécessaires aux agriculteurs.

Pour coordonner les soutiens apportés par les pays membres de l'OCDE ou de l'OPEP, qui avaient manifesté leur disponibilité immédiate, les Ministres et Chefs d'État réunis à Nouakchott en 1975, en décembre, tout de suite après le Conseil des Ministres du CIEH de Ouagadougou, créent un club des amis du Sahel.

Le CEFIGRE, un organisme de formation dédié

Le projet de créer un organisme de formation au service de la Communauté Internationale de l'Eau, destiné à aider les nations en développement, a été annoncé lors de la 18e Conférence de l'UNESCO en 1974 ; ce projet a été présenté à Nairobi, en avril 1975. Enfin, le Centre de Formation Internationale à la Gestion des Ressources en Eau (le CEFIGRE) s'est définitivement concrétisé à l'occasion de la conférence de Mar del Plata en 1977.

Le CEFIGRE, dans sa conception est destiné aux cadres et dirigeants du secteur de l'eau des pays en voie de développement. Les sessions internationales de formation proposées abordent tant les aspects techniques qu'institutionnels, sociaux, financiers, économiques ou de gestion des ressources humaines. Enfin, elles sont conçues de manière à inciter les participants à un échange d'expériences. Depuis sa conception, qui le vouait à la formation et aux échanges, le CEFIGRE a évolué dans de nouvelles directions, affinant un peu plus sa vocation d'élément moteur de l'innovation méthodologique et technique. Il s'est adapté de ce fait aux besoins qui se sont faits jour dans des régions en transformation constante.

Le Centre propose chaque année un programme de formation, qui touche aux différents métiers de l'eau et s'adresse de façon prioritaire aux dirigeants et aux personnels d'encadrement (cadres supérieurs et moyens), mais aussi à des formateurs de personnel de maîtrise et d'exécution. Environ la moitié des sessions inscrites au programme 1990 ont été conduites en anglais, l'autre moitié en français ; deux tiers des sessions sont organisées dans des pays en développement d'Afrique, d'Asie et de la Méditerranée.

Progressivement les activités de conseil du Cefigre, devenu l'Office International de l'Eau OIEAU, se sont développés notamment en gestion des bassins, en protection de l'environnement, en études institutionnelles ou encore en ingénierie de formation. Créé au départ dans une vision africaine du développement, son champ d'action s'est élargi à l'ensemble de la planète.

Les organismes africains

À la suite de la réunion du Club du Sahel et du CILSS d'octobre 1983, les deux organismes ont envisagé de lancer conjointement une analyse des méthodes de sensibilisation et de formation devant amener les collectivités à s'impliquer plus profondément dans la gestion des équipements. Au cours de la maturation du projet, il est apparu souhaitable d'élargir l'analyse à la recherche des moyens à appliquer, dans le cadre des projets, pour adapter plus étroitement les réalisations aux besoins réels, et mieux les intégrer à la vie des collectivités. Ces réflexions sont venues nourrir la masse d'actions engagées au Sahel pour ne pas admettre la fatalité des puits et forages inutilisés faute de pièces de rechange ou de réparateurs.

Caritas Internationalis est née en 1951 de la confédération des organismes caritatifs et d'action sociale ayant souvent le statut épiscopal, pour assurer la coordination et l'animation des initiatives de l'Église dans le domaine de la promotion humaine. Elle fédère 120 Caritas nationales dont Caritas Sénégal. Elle a le statut d'ONG, est consultative auprès des Nations Unies. C'est une organisation décentralisée financée par des organismes caritatifs, CEBEMO, Misereor, Cathwell, AFVP notamment, mais aussi des organismes internationaux, tels que le FED ou l'UNESCO. Elle a commencé par aider à creuser des puits villageois, et, comme toutes les organisations, à l'heure actuelle, met l'accent sur la maintenance. Au total, elle a creusé près de 2 000 puits au Sénégal depuis 1973. Elle a également réalisé des forages à Kaolack. La région de Kaolack a le privilège d'abriter le projet des caisses populaires d'épargne et de crédit, visant à investir dans des actions de développement. La population participe aux frais d'entretien des forages, entre 40 et 80 FCFA par mois et par personne. Caritas intervient également dans les points d'eau motorisés qui nécessitent souvent des sommes importantes, 100 000 CFA par mois. Elle joue enfin un rôle important dans l'alphabétisation des populations rurales. Elle intervient aussi dans des projets tels que les moulins à mil, pour alléger la tâche des femmes. Au total, de 1974 à 1979, Caritas a permis de réaliser 233 forages, et 106 puits mécanisés. 58 forages ont été abandonnés à cause du sel. Il convient de noter la rentabilisation du temps épargné par les femmes sur les tâches de puisage de l'eau et du mil : il y a autofinancement partiel des actions.



Linoghin - Le général Sangoulé Lamizana, président de la république, manipule une pompe ABI expérimentale - Haute-Volta, 1976

Les populations

Les populations ne réagissent pas toutes de la même façon aux difficultés naturelles : leurs habitat, leurs moyens de subsistance, leurs usages, leur religion, leur langue et leurs langages usuels diffèrent. Un touareg, un Haoussa, un Peul, un Bambara, un Bamiléké, un Fang ne réagiront pas de la même façon. La participation aux projets sera directement fonction des coutumes et des structures. C'est pourquoi l'animation, pilier de l'hydraulique villageoise, ne devrait pas être stéréotypée d'un pays à l'autre, d'une région de l'Afrique à une autre.

Tout le monde est d'accord aujourd'hui pour reconnaître qu'une majorité de difficultés découle de l'oubli des populations. Difficultés car le succès n'est jamais facile, et le travail réalisé considérable.

Spectateurs de leur propre destin, les villageois sont donc appelés à en devenir les acteurs.

Une politique de développement

La première condition de succès est l'établissement d'une politique hydraulique intégrant les investissements dans une perspective globale de développement rural. De façon générale, la nécessité d'une perspective à long terme est masquée par les tâches de tous les jours, provoquées par la mise en place d'un parc d'investissements trop rapide et trop lourd à assumer par le monde rural.

Pour changer la problématique, et permettre au monde rural de prendre en charge les équipements qui lui ont été donnés, parfois sans son avis, il faut suivre une démarche participative, celle des programmes du Conseil de l'Entente. Les clés en sont l'animation, l'information et l'éducation des populations rurales, la participation préalable et l'établissement d'un véritable contrat.

Il s'agit aujourd'hui d'une vérité reconnue par tous. On peut dire qu'au commencement de l'hydraulique villageoise, vers 1975, l'urgent était technique, et l'on dépensait 90 % en matériel et équipement, et 10 % en matière grise, sociologie, animation. L'efficacité de cette politique a été partielle. On pense aujourd'hui dépenser davantage en matière grise, 25, 30 %, de façon à ancrer les investissements dans le monde rural.

La promotion d'une politique nationale de l'eau

Trop de pays ont limité l'expression de leur politique nationale dans le secteur de l'eau à l'établissement de liste de projets d'investissement dont la priorité et l'intégration n'apparaissait pas. Cette démarche a été acceptée par les bailleurs de fonds en raison du retard en matière d'approvisionnement en eau des populations rurales et de la nécessité d'entreprendre des actions effectives dans les meilleurs délais. Cette course à l'investissement imposée par les pays bénéficiaires n'est plus satisfaisante pour faire face aux problèmes nouveaux dont la revue a été présentée précédemment.

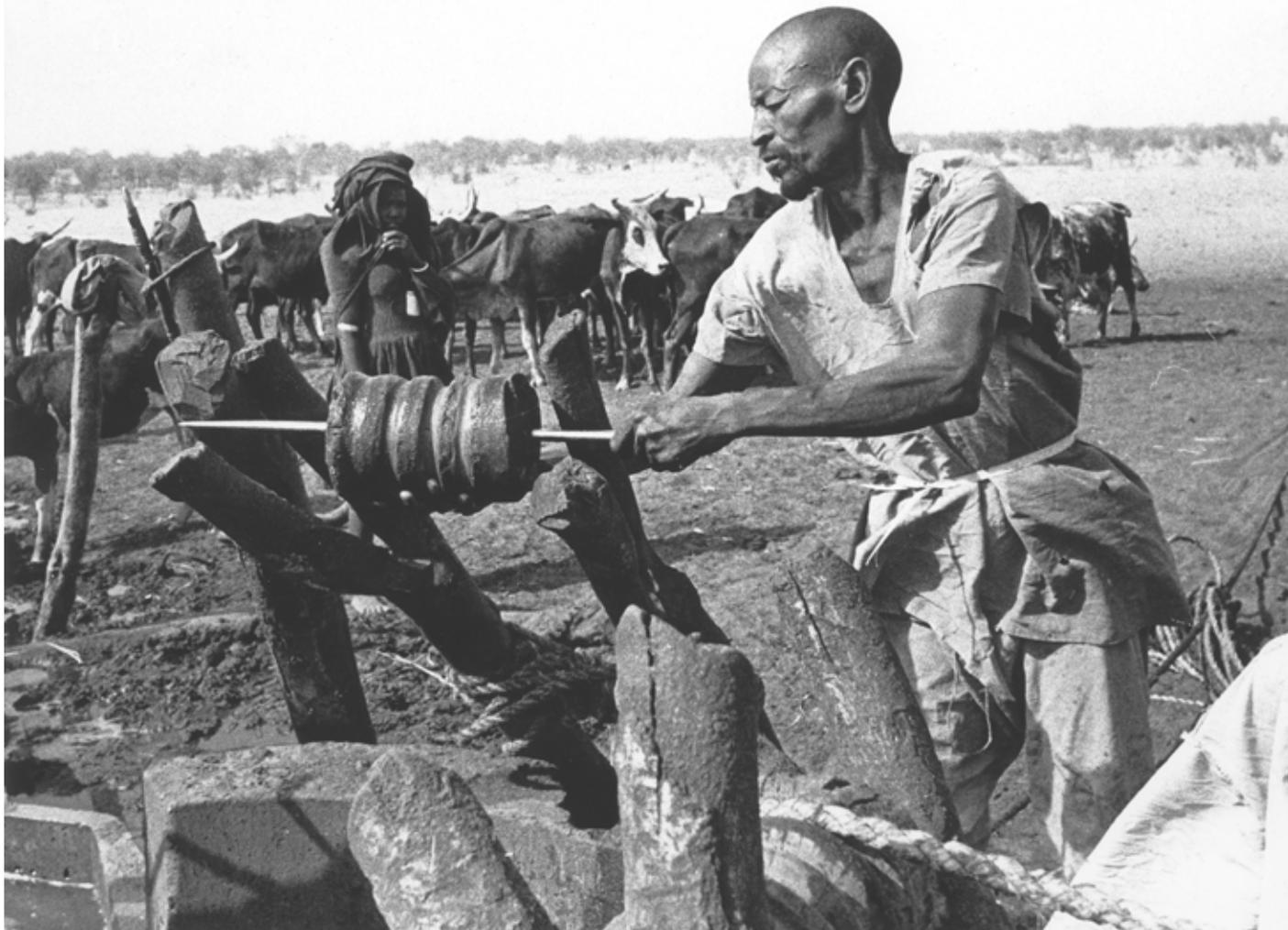
La fin de la décennie est caractérisée par un contexte où l'eau devient une ressource rare, où la concurrence apparaît entre les diverses catégories d'usagers et où les problèmes de la qualité, longtemps marginalisés, deviennent primordiaux : salinisation des nappes par surexploitation, pollution biologique et chimique des nappes et des cours d'eau.

Plus que par le passé, il convient d'inviter les États à avoir une approche plus globale du secteur et à l'exprimer par une politique sectorielle permettant :

- d'organiser le suivi des ressources et d'en optimiser la gestion qualitative et quantitative ;
- de rationaliser les programmes d'investissements et le choix des ouvrages.

L'aide française continuera à privilégier :

- les concours conduisant à la mise en place des instruments de pilotage du secteur et d'aide à la décision, et, en accord avec ses partenaires, en a fait une mission essentielle de son assistance technique. Elle renforcera ce type d'appui au cours de la prochaine décennie et souhaiterait le faire en concertation avec les autres décideurs travaillant dans la même direction pour éviter que la juxtaposition de méthodes différentes allant à l'encontre des objectifs recherchés. On commence par exemple à observer dans certains États la redondance de fichiers et de méthodes de programmation. Parmi ces instruments on mentionnera les méthodes originales de programmation dans la lignée de Prosper mis au point par Burgeap, pour rationaliser le choix des points d'eau en évitant le chevauchement de programmes et en respectant des critères de priorité : une application informatique permet de rapprocher les fichiers relatifs à la disponibilité de la ressource à la situation de l'approvisionnement et aux besoins en eau dont les priorités ont été établies en pleine souveraineté par les services nationaux.



El Kelani - Puisage et traction animale sur un puits de 60 m de profondeur - Tchad, 1976



Amélioration de l'exhaure traditionnelle - Poulies et rouleaux métalliques - Tchad, 1976

- Le renforcement des institutions du secteur pour les recentrer sur les missions des services publics et les désengager des activités de travaux.

Cela signifie accroître les capacités de propositions des services en matière de politique hydraulique, renforcer la maîtrise d'œuvre des projets, optimiser la gestion des ressources, renforcer les capacités de coordonner les intervenants ; parallèlement, il s'agit de promouvoir de nouveaux acteurs : structures communautaires et entreprises privées pour la réalisation et la maintenance des équipements.

L'eau facteur de développement

L'orientation originale et nouvelle de l'aide française s'appuie sur une certitude : devant les échecs enregistrés dans une partie des programmes, on a compris que l'eau ne peut être apportée sans précaution au villageois. Lui donner à boire, c'est bien, abreuver son bétail, c'est encore bien, mais encore faut-il qu'il puisse vivre là où l'eau existe. À la lumière des expériences, on s'est progressivement aperçu de la nécessité de concevoir le développement non pas de façon sectorielle, mais de façon intégrée : l'énergie, l'habitat, l'agriculture, l'élevage de petit et de gros bétail, le bois de feu, la forêt, notamment, font partie de l'aménagement du territoire à l'échelle du village, qui devient la cellule de base des programmes de développement.

L'action de la Coopération Française s'inscrit dans cette logique.

Le point d'eau doit constituer l'assise d'un développement villageois où la communauté valorisera les potentialités de son espace avec le souci de le préserver.

C'est pourquoi l'aide française souhaite insérer les programmes d'hydraulique dans une approche élargie de gestion du terroir et de protection de son environnement.

L'eau, facteur de structuration du milieu rural

La nécessité d'assurer la maintenance des aménagements hydrauliques fait depuis plusieurs années l'unanimité des donateurs. La plupart l'ont inscrit en priorité dans leurs interventions ou en font de fortes conditionnalités de leurs investissements.

Leur stratégie révèle cependant d'approches très diverses de leur part :

- soit la prise en charge totale et gratuite des opérations d'entretien et de renouvellement des pompes par les structures de projets mises en place par les agences de financement ;
- soit le renforcement des services administratifs pour leur confier la maintenance des forages ;
- soit la formation d'artisans réparateurs.

En ce qui la concerne, l'aide française développe une approche participative faisant de la communauté locale le partenaire essentiel dans la conception la mise en œuvre et la maintenance des équipements.

La gestion du point d'eau est souvent le premier projet susceptible de rassembler les villageois sur un objectif commun. Dans cette méthode mise au point et testée par l'aide française et le FED, la maintenance repose sur la responsabilisation de trois acteurs :

- le comité de village bénéficiant d'une campagne d'animation ;
- les artisans réparateurs desservant une vingtaine de villages après formation pratique ;
- les circuits commerciaux pour le service des pièces détachées.

Les services nationaux ont, dans ce schéma, la seule mission, de veiller au respect des engagements contractuels liant ces trois parties.

La participation financière des usagers est une condition du bon fonctionnement du système.

La formation reçoit de la part de la coopération française un traitement prioritaire car le développement du secteur repose, in fine, sur la qualité des hommes chargés de le conduire.

Chacun de ses projets contient une composante spécifique pour des formations spécialisées ; la France poursuivra l'appui aux formations longues de techniciens et d'ingénieurs dans les Écoles Inter-États de Ouagadougou, rassemblées avec le CIEH dans un pôle africain de l'eau.

L'ouverture internationale du CEFIGRE est en cours ; en devenant un centre de formation commun aux bailleurs de fonds qui s'y associeront, le Cefigre occupera une place majeure dans les dispositifs de formation des prochaines années.

Enfin, pour les formations de longue durée, la France se propose d'accueillir à Montpellier le second Centre International de Formation au Management de l'Irrigation en voie de constitution sous l'égide de la Banque Mondiale.

Benjamin Franklin

C'est quand le puits se tarit que l'on prend conscience de la valeur de l'eau.

« Il y a de l'eau partout »

Théodore Bagua Yambo était un des meilleurs agronomes Centrafricains. Secrétaire d'État au Tourisme au moment d'une visite de Valéry Giscard d'Estaing, il est jeté en prison quand le glorieux visiteur part avec ses diamants chasser au Zaïre, de l'autre côté du Fleuve. Il y reste jusqu'à la chute du tyran et un poste lui est affecté à l'ADECAF, l'agence du café, mais pas de salaire. Le matin il allait donc travailler et à 13 heures il allait au village cultiver son champ pour assurer sa subsistance. Personne ne lui parlait à moins de deux mètres. Nous sommes devenus amis à ce moment, car Hubert Machard de Gramont, un des nôtres, s'était lié d'amitié avec lui. Lorsqu'il est devenu ministre, Théodore a trouvé cette formule : les amis, c'est ceux qu'on avait avant.

Donc, à l'époque où Théodore rentrait à 13 heures, nous allions avec Michel déjeuner de temps en temps. Avec parfois des termites, des vers de palme et même du vin de palme. Ce jour là j'arrive un peu en avance et Théodore me dit « je voudrais faire un forage pour mon jardin. Après avoir regardé le paysage, question : « *Tu peux tirer une canalisation ?* ». Bien sûr répond-il.

« *Alors à 300 m, dans cette direction, il y a de l'eau* »

Bien sûr, en contrebas il y a la rivière.

Arrive Michel. Même question : où faire un forage ? Michel demande à Théodore :

« *Tu le veux où ton forage ?* »

« *Je ne sais pas, ça dépend où il y a de l'eau* »

« *Tu le veux où, ici, dans le jardin à côté, là-bas, sous la table, sous ton lit ? Tu le fais où tu veux. Parce qu'il y a de l'eau partout* »

Oui, nous sommes dans les grès !



Chapitre VI

LE MOYEN ET LE LONG TERME

Ce qui est trop simple est faux. Ce qui est trop compliqué est inapplicable.

Paul Valéry - par J.T. Moutomé

Les besoins

En 1980, pratiquement 75 % des populations rurales étaient dépourvues d'eau potable à distance raisonnable. Raisonnable signifiait en 1980 que les femmes passaient le plus clair de leur temps laissé libre par la maison et le champ à chercher et puiser l'eau.

À la fin de la Décennie de l'eau potable, 60 % des ruraux sont desservis par les points d'eau modernes issus de la sécheresse et de l'élan de solidarité internationale. Or la population rurale croît de 2 à 2,5 % par an.

À ce rythme, en vingt ans, de 1990 à 2010, elle croît de 60 % .

Aujourd'hui, le rythme de 5 000 points d'eau supplémentaires par an est ambitieux. Il permet d'espérer 100 000 points d'eau supplémentaires en vingt ans, qui ne satisfont que 60 % de la population actuelle. La durée de vie normale et la dégradation inévitable des investissements par manque d'entretien permettent d'acquiescer la certitude que le mieux que l'on puisse obtenir aujourd'hui est le statu quo, si l'effort n'est pas renforcé.

Mais rien ne dit que la population rurale à satisfaire dans vingt ans sera 60 % plus nombreuse que celle d'aujourd'hui. Tout laisse à penser le contraire, ce qui permet d'escompter une amélioration progressive de la situation si l'effort reste soutenu. Malgré les difficultés, l'Afrique de 1990 a progressé en vingt ans, et les ombres qui planent sur le milieu urbain ne sont pas inconnues dans les pays les plus avancés.

On peut donc se proposer d'abord de perfectionner ce que l'on fait, c'est à dire :

- Rechercher les outils adaptés.
- Les employer dans des stratégies de développement.
- Savoir faire évoluer les stratégies avec les faits.

La recherche d'ouvrages adaptés

Les critères à considérer pour le choix des ouvrages sont nombreux.

Facteurs socio-économiques

Pour garantir la meilleure utilisation du point d'eau, son implantation locale doit tenir compte notamment de la facilité d'accès et des facteurs socioculturels.

- *Facilité d'accès* : L'ouvrage doit être situé à l'intérieur ou, du moins, le plus près possible du village, à moins qu'il ne s'agisse d'un ouvrage à vocation pastorale. En tout état de cause, le nouveau point d'eau ne devra pas être beaucoup plus éloigné que le ou les points d'eau traditionnels utilisés jusqu'alors.
- *Facteurs socioculturels* : l'ouvrage ne devra pas être creusé dans un terrain considéré comme sacré ou à proximité immédiate d'un cimetière. Lorsqu'il s'agit d'un habitat dispersé, il doit être implanté au centre géographique des différents hameaux, ou, mieux encore, au lieu le plus approprié en fonction des liaisons sociales traditionnelles entre les villageois.

Ces critères ayant une influence décisive sur l'utilisation du point d'eau, l'ensemble de la population villageoise devrait être consultée quant à la meilleure implantation, après avoir, bien entendu, effectué une étude hydrogéologique préalable.

Paramètres hydrogéologiques

En pratique, il arrive que l'implantation du point d'eau, décidée en fonction des paramètres socio-économiques, s'avère ne pas être réalisable en raison des contraintes hydrogéologiques.

Les facteurs hydrogéologiques principaux sont la profondeur du niveau de l'eau, les caractéristiques mécaniques du terrain, la perméabilité ainsi que la continuité ou la discontinuité des aquifères.

- La profondeur du niveau de l'eau par rapport au sol conditionne directement : la profondeur de l'ouvrage, donc son coût, l'exhaure, parfois le type d'ouvrage, puits ou forage.
- Les caractéristiques mécaniques du terrain varient entre deux extrêmes : les roches de grande dureté qui exigent des moyens puissants de fonçage ou de forage, mais qui donnent des ouvrages d'une tenue parfaite et d'une grande longévité, et les terrains bouillants sables, argiles sableuses, qui entraînent à la fois des difficultés d'avancement et de tenue de l'ouvrage, avec, en plus, un risque de colmatage ultérieur de l'ouvrage.
- La perméabilité du terrain joue un rôle relativement secondaire eu égard aux faibles débits nécessaires en hydraulique villageoise ; toutefois, une faible perméabilité entraîne la nécessité de donner à l'ouvrage une hauteur de captage importante et provoque un fort rabattement du niveau en exploitation. Les terrains de faible perméabilité subissent d'importantes fluctuations piézométriques saisonnières et interannuelles.
- Les grandes nappes sédimentaires sont, sauf particularités locales, beaucoup moins tributaires des variations d'alimentation et les fluctuations piézométriques y sont habituellement faibles.
- La continuité ou la discontinuité des aquifères est aussi relativement secondaire par rapport aux critères précédents, sauf en ce qui concerne les études préliminaires.

Les contraintes techniques

L'adéquation des moyens de captage aux besoins et aux possibilités financières doit être réaliste dans chaque cas :

- En zone de socle, le forage au marteau fond-de-trou en petit diamètre, de 50 mètres de profondeur moyenne et équipé d'une pompe manuelle sera systématiquement proposé en raison de sa rapidité d'exécution.
- Dans le sédimentaire, l'alternative puits ou forage est envisageable. C'est donc la contrainte de l'entretien qui devient déterminante, la fiabilité du puits étant beaucoup plus grande que celle de la pompe. L'entretien des pompes doit être pris en compte dès l'élaboration d'un programme d'équipement.

Les contraintes sociales

Puisqu'il est clair que les populations rurales doivent entretenir leur point d'eau, il faut obtenir leur acceptation et sa prise en compte par les utilisateurs, pour éviter le rejet de la greffe à plus ou moins long terme.

En hydraulique villageoise : tout a été dit. L'appropriation, la mise au rang d'acteur du villageois est la clé.

En hydraulique pastorale : l'équipement de la zone pastorale doit d'abord être conçu pour éviter les conflits éleveurs - agriculteurs. Après la sécheresse, nombreux sont les pays qui ont sagement affirmé que le bétail ne devait pas être reconstitué au-delà du nécessaire. Le bétail n'est plus un indicateur de richesse, mais un besoin d'eau et de nourriture. Dans les secteurs pastoraux où s'est effectuée une certaine sédentarisation, il y a lieu de distinguer les ouvrages pastoraux des ouvrages villageois. Des puits ou des forages-puits réalisés selon un maillage de 15 à 20 km permettent une bonne rotation des pâturages et sont un investissement et un coût de fonctionnement moindres que les stations de pompage.

Critères de choix des moyens d'exhaure

Le premier objectif est de construire un nombre suffisant de points d'eau. On ne peut aborder réellement le problème de la qualité de l'eau que dans la mesure où celui de la quantité est au moins partiellement résolu.

Or, la satisfaction des besoins en eau ne pourra être atteinte que par la multiplication des points d'eau modernes. Nous avons vu que, la plupart du temps, le forage est l'ouvrage qui répond le mieux à tous les impératifs techniques et économiques. On est alors confronté au problème de l'exhaure.

Les points d'eau peuvent être classés en 3 groupes, en fonction du débit qui leur est demandé :

- 5 à 20 m³/j : ce sont les puits ou forages villageois destinés à alimenter des communautés de 250 à 1 000 habitants,
- 50 à 100 m³/j : ce sont essentiellement les puits pastoraux où viennent s'abreuver 1 000 à 2 000 têtes de bétail par jour,
- 200 à 400 m³/j : ce sont les stations de pompage pastorales qui peuvent alimenter jusqu'à 10 000 têtes de bétail par jour.

Les équipements mécanisés (moteur thermique et pompe immergée) sont les seuls à pouvoir couvrir cette dernière catégorie de besoins. Il existe une large gamme de matériels qui peuvent répondre à tous les impératifs techniques d'exploitation.

- Pour ce qui est des forages villageois (5 à 20 m³/j), les pompes à main constituent le mode d'exploitation le mieux adapté. Il faut bien entendu choisir le type de la pompe en fonction des caractéristiques du forage (débit, niveau statique, niveau dynamique).
- Sur les points d'eau plus importants (50 à 100 m³/j), la substitution de moyens mécaniques à l'exhaure traditionnelle semble plus délicate. Peu de solutions en effet permettent d'extraire de tels débits (effectivement fournis par le délou à traction animale).
- Pour le cas particulier des stations de pompage, il faut bien dire qu'elles sont très controversées comme moyen d'exploitation et de gestion des pâturages. On leur reproche principalement leur coût élevé de fonctionnement et d'entretien, et la dégradation des pâturages dans leur zone d'influence.

Ceci explique que la solution station de pompage ne soit retenue que lorsque toutes les autres solutions techniques ont été écartées. C'est le cas notamment lorsque la profondeur des nappes est supérieure à 100 mètres (puits impossibles) et que le niveau statique est très profond, éliminant la possibilité d'une exploitation par contre-puits.

En résumé, on peut citer quelques recommandations d'un document de l'OCDE et du CILSS (mai 1983) quant au choix des moyens d'exhaure : « *il n'y aura d'équipement hydraulique viable, qu'intégré à la vie des communautés, adapté aux ressources du monde rural et à ses possibilités de développement* ».

« *Le choix des pompes sera déterminant dans cette adaptation* ». Toutefois, « *on ne peut en aucun cas réduire ce choix à une simple minoration des coûts d'investissement* ».

Il faut, au contraire, prendre en compte des critères multiples tels que :

- la robustesse : résistance au mauvais usage, longévité, résistance à la corrosion, étanchéité, faible fréquence des pannes ;
- la facilité d'utilisation et d'entretien courant : simplicité des mécanismes de commande, accès facile aux pièces d'usure ;
- l'acceptabilité par les usagers ;
- la facilité de transport et d'installation, etc.

Dans une perspective de fabrication locale, il faudra aussi tenir compte du niveau technologique de fabrication dans la mesure où « un outil technologique est adapté lorsqu'il est assimilable ».

Il faut noter également que les améliorations techniques apportées ces dernières années sur les différents modèles de pompes ont été sensibles : le coût d'entretien a ainsi baissé considérablement.

Enfin, dans le cas où la motorisation s'avère nécessaire, les pompes solaires photovoltaïques ont progressivement fait la preuve de leur fiabilité et de leur compétitivité. L'expérience massive engagée par le FED aura très certainement pour premier résultat une réduction du coût des équipements, clé de ce secteur de l'équipement rural.

Les ouvrages non forés

La conclusion qui ressort à l'évidence est que le puits ne peut être abandonné, et que la priorité donnée pendant deux décennies au forage était dictée par l'urgence.

Il en est de même pour les mares, les sources - lorsqu'elles existent - à aménager, les prises d'eau en rivière pérenne. L'ouvrage adapté n'est pas nécessairement l'ouvrage foré équipé de la pompe sélectionnée par les experts. C'est l'ouvrage qui alimentera le village, et réduira la charge de travail pour ses habitants.

C'est dans une proportion appelée à grandir l'ouvrage de remplacement des programmes d'hydraulique villageoise destiné à satisfaire le village qui a signé le contrat d'entretien de son point d'eau avec l'État.

Projet clé en main - contrôle administratif

La réalisation d'ouvrages en grande série oblige à faire appel à la concurrence pour réaliser les travaux, les regrouper en lots de taille suffisante autour des centres servant de base d'opération (Togo - BOAD - Burgeap - 1979) pour réduire les coûts. Mais les projets trop grands sont difficiles à piloter. Soit l'animation ne peut suivre la cadence de forage, soit encore les différents volets du programme ne peuvent être exécutés selon un calendrier logique. C'est pourquoi les projets sont limités aujourd'hui à des unités de 200 à 500 forages, qui s'inscrivent dans un cadre plus important.

L'Administration africaine sera de plus en plus surchargée, et n'augmentera pas ses effectifs à tâche constante. Des créations de postes sont possibles pour de nouvelles actions, non assumées jusque là, mais il est certain que les budgets ne se renforceront pas. Le mouvement de décrue est déjà largement amorcé.

C'est du reste logique. Le contrôle technique des projets par l'administration cède progressivement le pas aux mesures d'accompagnement destinées à enraciner le point d'eau dans la population.

De plus en plus, les projets confiés à un ensemblier avec obligation de résultat se généraliseront. Les ingénieurs et techniciens de l'Administration vérifieront, au cours d'une réception provisoire, que l'ouvrage donne le débit requis, est équipé, que les abords, margelle, antibourbier, sont bien traités. La pompe a été vérifiée à la livraison. Un an après la réception définitive permet de s'assurer que l'ouvrage a bien été exécuté. De tels programmes existent déjà, au Mali, en Centrafrique, et ils constituent une première partie de la solution.

Par contre, l'Administration aura de plus en plus à préparer les programmes, à les insérer dans la programmation nationale, s'assurer de leur utilité, assurer le suivi, réhabiliter ou réformer s'il y a lieu, préparer les remplacements, budgéter. C'est indiscutablement sa mission.

De plus, l'hydraulique villageoise est un processus. Ceux qui supervisent en technicien l'exécution d'un projet, contrôlent les quantités, vérifient les moyens, informent les villageois, concluent avec eux les contrats, animent les différentes phases de réalisation, forment les artisans, acquièrent de ce fait l'expérience pour programmer, organiser le travail des autres.

L'approche terroir - Gérer en même temps qu'investir

Les programmes ont souvent été conçus en fonction des idées des bailleurs de fonds ou des ONG, et plus rarement à partir des besoins exprimés par les usagers ou leurs représentants. Depuis quelques années se développe la tendance à la programmation des équipements en fonction des besoins et à l'inscription des programmes financés par les bailleurs de fonds dans ce cadre.

L'approche terroir est d'abord née du projet de lutte contre la désertification du Niger. Elle est partie d'un constat : le désert n'avance pas comme une armée en marche, mais dégrade progressivement le paysage, le mite, presque toujours avec l'appui involontaire, mais efficace de l'homme. Reconstruire le territoire détruit par le désert ne se fera donc pas en entreprenant, comme cela a été fait, de construire un barrage vert, mais en assemblant une multitudes d'actions concertées, chacune microscopiques, mais globalement considérables. Le terme d'ancrage vert a servi à dénommer l'entreprise, l'approche terroir étant la méthode.

En quelques mots, comment décrire l'approche terroir ?

C'est une approche progressive, massive, d'aménagement intégré au niveau du village. Puisque le désert dégrade progressivement le terroir, on va progressivement réoccuper le territoire, mais avec l'aide de ses habitants. Puisque rien ne se fera sans les villageois, elle centre tout le travail à son niveau. Les centres de résistance à la désertification sont appelés îlots d'ancrages verts. Pour les réaliser, on n'entreprend ni un projet hydraulique, ni un projet forestier, ni un projet d'élevage, ni un projet énergétique, ni de la DRS, ni de la CES, ni de l'artisanat ni de l'agriculture. Mais tout cela à la fois, de façon coordonnée comme le fait un village qui n'est pas en danger de disparaître. On va donc agir de façon intégrée sur l'agriculture en sec et en contre saison, par la maîtrise de l'eau, l'élevage de gros et de petit bétail, sur les jachères et les défens, sur les forêts, sur la plantation, sur l'habitat, sur l'artisanat. On va faire en sorte que le village devienne un relais pour les transhumances, mais en même temps on fera le maximum pour sédentariser les pasteurs et leurs troupeaux afin de limiter leur charge sur les maigres pâturages.

Très rapidement, on a constaté que la problématique issue des années 80 pour le développement en zone sahélienne était décrite par les mêmes idées, et l'approche terroir est devenue une méthode de développement.

La démarche est progressive, et se développe par étapes. Aujourd'hui on ne sait pas créer de toutes pièces un ancrage vert qui vivra. Le processus sera donc un apprentissage de la construction des îlots, et une évaluation permanente et parallèle permettant les recadrages éventuellement nécessaires.

Rien de ce tout cela n'est en soi original, et les premiers promoteurs des idées sont déjà oubliés, comme ils le souhaitaient au démarrage.

Ce qui est nouveau, c'est de partir du village, et d'assembler un grand nombre de microréalisations pour créer, en les coordonnant, un grand projet d'importance nationale.

Ce sont aussi les contraintes que l'on s'impose :

- Pour l'élaboration et la mise en œuvre
 - travailler avec les villageois en construisant avec eux chaque action de sorte qu'elle réponde à leurs véritables préoccupations,
 - s'appuyer très largement sur les cadres nationaux, surtout sur les cadres locaux des structures décentralisées opérationnelles
 - agir de façon massive et refuser le saupoudrage,
 - ne pas créer de structure centrale, refuser de créer des structures fonctionnelles lourdes prématurément.
- Pour l'emploi des moyens de financement
 - focaliser les moyens disponibles sur un nombre déterminé de villages au lieu de saupoudrer,
 - s'assurer que la moitié au moins des fonds débloqués parviendra aux villageois, soit en termes financiers, soit en fournitures, travaux ou intrants ;
 - privilégier le travail des villageois par rapport aux achats de produits importés.
- Pour la nature des interventions
 - limiter au strict minimum les études pour privilégier les actions concrètes ; cela est possible en valorisant l'expérience des cadres nationaux ;
 - éviter toute action ponctuelle pour n'intervenir que sur des programmes multisectoriels intégrés ;
 - ne jamais abandonner une entreprise sans prévoir comment elle sera protégée et entretenue.
- Pour l'organisation
 - faire précéder tout engagement sur le terrain par des séminaires opérationnels de lancement réalisés dans chaque région avec les cadres locaux et les villageois, pour faire en sorte que les décisions soient prises par les intéressés dans la concertation ;
 - ne pas admettre les projets sectoriels, mais garder présents à l'esprit les différents outils indispensables au développement.

Tout au long de l'élaboration du rapport dédié à l'approche terroir, le groupe de travail qui a lancé les premiers pilotes au Niger s'est imposé deux préoccupations : la crédibilité et l'obligation de réussir.

Les objectifs, du court au moyen terme, sont donc :

- assurer l'autosuffisance alimentaire des populations concernées grâce à des choix et des techniques appropriées,
- recréer des conditions de vie acceptables pour ces populations, de façon à leur permettre de se maintenir ou de se réimplanter sur leur terroir, voire sur des terroirs nouveaux,
- assurer l'avenir de ces populations -objectif à long terme - grâce au réaménagement de l'espace agropastoral, en préparant la régénération des ressources naturelles,
- donc leur donner des perspectives normales de croissance économique et sociale.

Faisant reposer l'action sur le village, la préparation des projets commence par mesurer la détermination des villages, et leurs chances d'aboutir. Il était frappant pendant l'identification des pilotes, sur moins de 50 kilomètres de distance, des villages démobilisés, sans ressources, prêts à disparaître, et d'autres prêts à travailler et combattre pour se développer. On repense à une phrase qui a beaucoup fait discuter, au milieu des années 80, sauver ce qui est sauvable

Des actions ponctuelles concentrées

Les projets d'ancrage vert se caractérisent d'abord par une forte injection de financement par habitant, de l'ordre de 100 000 à 200 000 FCFA par habitant, sur plusieurs années, excluant donc le saupoudrage. Chaque ancrage vert est un micro-projet, mais la mise en œuvre systématique de ces micro-réalisations représente un gros programme.

Des fonds utilisés au village

Ensuite, les fonds doivent être utilisés en majeure partie directement au niveau du village, et parvenir d'abord aux paysans, de deux façons :

- sous forme d'investissement direct, en fournissant les outils, les intrants, le bétail d'élevage ou les animaux de trait, ou encore en actions en nature, telles que du génie rural, CES, DRS
- ensuite, sous forme de salaire, chaque fois que l'on peut remplacer un achat par du travail sur place, lorsque c'est raisonnable, pour accroître la motivation des villageois à entreprendre des actions à long terme ; par exemple la protection de forêts ou de défens par des gardiens sera privilégiée sur les barbelés, car accroissant les revenus immédiats des populations.

Des études peu coûteuses

Pour rester cohérent, on limitera au strict minimum les frais de structure, la création d'infrastructures lourdes pour des missions temporaires, l'intervention d'experts expatriés comme source de travail et non comme source de connaissances à diffuser. De toute évidence les fonctionnaires locaux savent énormément sur leurs territoire et connaissent la plupart de leurs villages. Il est plus simple de faire appel à eux pour travailler que leur faire répéter ce qu'ils savent.

Une évaluation permanente des résultats

Comme tout projet nouveau, le dérapage est rapide, et la pratique des réunions de coordination est salutaire. Elle consiste à réunir mensuellement - quelques heures seulement - les partenaires, constater ce qui a été fait, voir ce qui ne va pas, proposer les remèdes, exposer le programme du mois suivant, voir les besoins, contrôler les prévisions du mois passé par les réalisations, tirer les conséquences.

La recherche de mécanismes répétitifs

Pour limiter les dépenses d'études préliminaires, et valoriser l'acquis des animateurs du programme, il faut chercher à rendre les projets répétitifs, de façon à ce que l'extension du programme de quelques projets à une action concertée nationale exige le moins possible d'investissements en formation, qui est forcément longue et coûteuse. En rendant automatique la préparation d'un pilote, grâce à l'élaboration d'une méthodologie répétitive, on se rend capable de réaliser un nombre plus élevé d'ancrages verts par an avec le même effectif.

Cette recherche engendre la méthode de travail en trois volets :

- définitions d'une méthode terroir,
- apprentissage de la réalisation de pilotes,
- schéma directeur.

La nécessité de réussir est essentielle à deux niveaux au moins :

- Au niveau des bailleurs de fonds,
- Au niveau des populations.

« On leur répète inlassablement qu'il faut lutter, mais cette lutte doit être marquée par des résultats visibles, convaincants, porteurs de sécurité et d'avenir. Des demi-réussites, des productions d'appoint - ne sont pas suffisamment porteuses d'espairs, et, obtenues au prix de lourds efforts, risquent de décourager les populations et compromettre les programmes futurs ». Michel Bonfils - Groupe de travail Ancrage Vert - Niamey 1986. Les conditions de réussite existent en de nombreux points : c'est là qu'il faut commencer. Le réalisme oblige à penser que l'on ne pourra pas tout faire à moyen terme : il faut donc commencer par ce qui est faisable.



Bagbili - Pompe Bodin «Majestic» en expérimentation - Haute-Volta, 1973

Nécessité de faire évoluer les bases d'exploitation du passé

L'approche terroir est un projet intégré de développement rural, qui se démarque sensiblement des projets de développement rural entrepris auparavant, par des dimensions nouvelles par rapport aux projets classiques :

- le caractère massif de l'investissement par personne,
- l'intensification de l'usage de l'eau et du sol, pour préserver le patrimoine,
- l'aménagement de l'espace agro-pastoral passant au premier plan des préoccupations. Les systèmes d'exploitation traditionnelle des terroirs, responsables en partie de la désertification car antérieurs à l'explosion démographique doivent, sinon être abandonnés, du moins évoluer,
- la mise au premier plan du villageois comme opérateur, et non plus comme spectateur ou administré.
- la prise en considération simultanée de toutes les disciplines nécessaires au développement.

Le groupe de travail Ancrage Vert créé par le Niger réunissait en effet, sous l'autorité de la Primature, un représentant de chaque Ministère concerné, Hydraulique et Environnement, Énergie, Agriculture, Élevage, Plan, avec des experts. La méthode de travail était : une tâche un homme.

Changer les méthodes impose de choisir les sites où les conditions de réussite soient parfaitement réunies. Ce qui variera d'un projet à l'autre et que l'on retrouvera dans l'établissement du schéma directeur, ce sont :

- les dimensions plus ou moins grandes des terroirs villageois (superficie par habitant) à usage traditionnel : culture traditionnelle, élevage, jachère,
- les disponibilités en eau donnant des possibilités fondamentalement différentes soit en cultures en sec, soit surtout en cultures contre-aléatoires : d'hivernage, de décrue, de contre-saison.

Revenons sur les principaux axes

La réduction des surfaces cultivées

L'ampleur des surfaces cultivées s'explique simplement. La croissance démographique a nécessité de plus en plus de production d'aliments ; les sols fatigués ne pouvant se régénérer, il a donc fallu accroître la superficie cultivée, donc la superficie des sols appauvris systématiquement.

En zone sahélienne, dès l'arrivée de la pluie il ne semble plus rester un mètre carré libre. Ce phénomène s'amplifie de lui-même, car, les sols s'appauvrissant, les paysans ont besoin d'exploiter de plus en plus de superficie pour subsister. C'est la cause première de la désertification.

Le meilleur usage des surfaces cultivées est donc un axe essentiel de la lutte contre la désertification, mais il ne peut se décréter et ne pas compromettre pour autant l'autosuffisance du village.

Il y a donc lieu de trouver des solutions qui permettent à la fois de lutter contre la désertification et de maintenir, voire d'améliorer les conditions de l'autosuffisance alimentaire.

Ces solutions existent :

- Des cultures d'hivernage protégées des aléas climatiques grâce à des appoints en eau pendant les creux de pluviométrie. Pour donner des résultats significatifs, ces cultures sécurisées doivent être intensives. Réalisées sur des surfaces réduites, elles peuvent devenir un nouveau pilier d'autosuffisance alimentaire.
- Des cultures de contre-saison pendant la saison sèche permettent d'apporter un appoint conséquent de nourriture, correspondant à l'effort considérable demandé aux paysans pour l'arrosage. Ces cultures devront donc être elles aussi intensives, dans la mesure de la capacité des sols.
- Des cultures d'hivernage traditionnelles, non sécurisées, demeurant des cultures à risque, mais réalisées sur des surfaces réduites, et intensifiées grâce à l'amélioration des méthodes culturales.
- Un élevage amélioré, plus productif. La stabulation existe en de nombreux points du Sahel, et elle est même pratiquée en ville, dans l'enclos des habitations. Le bétail a été décimé, et rien n'impose de le reconstituer au-delà des besoins et des capacités du sol à le nourrir.
- La réduction des surfaces cultivées protégera d'importantes portions des terroirs de la dégradation (régénération passive), mais permettra aussi d'entreprendre des opérations de régénération active, par mise en défens, des plantations massives, d'acacias notamment. Ces plantations devront être encouragées, voire rémunérées.

Réaménagement des terroirs

Si la plupart des actions repose sur des techniques plus ou moins acceptables par les populations, deux orientations essentielles de la lutte contre la désertification sont conditionnées par de difficiles changements sur le plan humain. Il convient de les aborder prudemment. La pauvreté des sols a progressivement obligé les paysans à utiliser tout le territoire disponible pour assurer la production dont ils ont besoin, ne laissant donc aucun repos à une terre de plus en plus sollicitée et d'autre part à peu près complètement déboisée et donc extrêmement vulnérable à l'érosion.

Pour inverser le processus désertifiant, on va donc d'abord chercher à laisser la terre se reposer, donc tenter par différents moyens de réduire les surfaces cultivées, et intensifier la culture pour ne pas compromettre l'équilibre alimentaire, sur des terrains susceptibles d'être arrosés ou irrigués. L'aménagement de ces zones pourra poser des problèmes dans les secteurs situés à la périphérie des terroirs, et bouleverser quelque peu les habitudes des villageois pendant une certaine période, en attendant que les effets des actions soient confirmés : croissance des plantations, reconstitution du couvert végétal dans les défens.

L'organisation de l'espace du terroir pourra dans certains cas impliquer que les familles renoncent pour un temps à exploiter certains de leurs champs situés en périphérie.

Ces bouleversements, qui n'apparaîtront légers qu'après coup, mais, sur le moment, risquent de provoquer des objections. Car, bien que n'impliquant en aucune façon des remembrements définitifs, et encore moins une réforme agraire, ils y font inmanquablement penser. Cela implique l'adhésion des villageois, donc leur certitude que la spécialisation des zones est provisoire et technique, méthode pratique pour faciliter, et, en fait rendre possible, l'organisation rationnelle des actions de lutte contre la désertification.

L'objectif à moyen terme de 5 ou 6 ans demeure l'exploitation intensive de tout le terroir villageois, puisqu'il est bien évident que la croissance démographique exigera cette exploitation totale et ne pourra supporter que certaines zones de terroir soient inexploitées, ou éternellement « protégées ». De ce fait, les familles qui devront renoncer pendant un certain temps à cultiver certains de leurs champs, récupéreront à terme ces champs, partiellement ou totalement réhabilités.

Repenser l'élevage

De même que les cultures doivent être repensées, il faut que l'élevage fasse un meilleur usage de l'espace et du travail humain. La réussite d'actions de lutte contre la désertification dépend pour une large part de cette transformation de l'élevage, qui entraîné notamment l'arrêt de la divagation des animaux. Elle repose donc sur la stabulation, arrêt de la divagation, utilisation du fumier, donc sur la construction d'étables simples, et l'apport régulier de nourriture qu'il faut prévoir et organiser : coupe de foin, récupération des fanes et sous-produits divers, et stockage.

Repenser la transhumance

La population sédentaire se plaint des dégâts occasionnés par les animaux de passage. Les actions de développement seraient vraiment compromises si ce type de problème n'était pas abordé, et si les villageois n'avaient pas la maîtrise complète de leur terroir et se trouvaient découragées par des incursions non contrôlables.

Penser maintenance

Créer tous ces investissements ne suffit pas, il faut les protéger et les maintenir.

L'approche terroir, c'est donc la résultante de nombreuses micro réalisations d'un programme multisectoriel intégré d'aménagement du territoire au niveau du village.

Mais aujourd'hui on ne sait pas créer un terroir aménagé. Le premier travail est donc de réaliser des pilotes, et de mettre en route le mouvement de formation et d'autoformation du monde rural indispensable pour aboutir.

Un tel mouvement ne se conçoit pas sur un, deux ou cinq ans. Mais les résultats doivent être visibles à l'intérieur de telles échéances.

Le rôle des femmes

L'approche terroir ne doit pas entraîner les mêmes résultats que bien des projets de développement : privées de leurs terres traditionnelles par le jeu de remembrement, où les femmes sont exclues, celles-ci se voient contraintes de développer toutes sortes de stratégies pour maintenir leur production. On a vu des femmes de certains villages, exploiter des terres « libres », situées à plusieurs kilomètres du village et d'une fertilité douteuse, puisque délaissées par les projets ; détourner des canaux d'irrigation, utiliser des fuites sur les périmètres irrigués. Pour maintenir aux femmes leur droit au travail, il faut inclure les femmes dans les programmes de formation. Dans un projet où bailleurs de fonds, planificateurs, décideurs restent souvent des hommes, il ne faudrait pas omettre le rôle invisible occulte, minuscule parfois des femmes, mais, pourtant fondamental pour le bien-être de toute la société.

La femme joue un rôle déterminant dans la vie du village. Personne ne conteste leur importance primordiale dans l'agriculture, mais, jusqu'à une période récente, aucune politique agricole ne prenait en compte leurs besoins et leurs apports spécifiques. Les nécessaires remaniements provoqués par l'approche terroir ne peuvent supprimer l'accès des femmes aux terres qu'elles cultivent depuis toujours, ni se faire sans leur avis.

Depuis des générations, ce sont elles qui travaillent les parcelles vivrières et qui maîtrisent donc le mieux la connaissance des sols, de leur toxicité, de leur salinité, de l'utilisation de l'eau. Ce sont elles qui ont mis au point des techniques, modes culturels, jachères spécifiques.

L'apport de la femme dans l'alimentation de la famille est essentiel. Peut-être semblent-elles ne cultiver qu'un jardin, mais leur travail agricole contribue de façon décisive, à la survie de la famille et des enfants. Les revenus qu'elles en tirent participent, dans bien des cas, à près de la moitié de la nourriture familiale.

L'énergie et l'environnement

Au début de ce chapitre nous avons dit que la population rurale croîtra probablement moins vite que la population africaine. Car le déplacement vers les villes est une tendance lourde. Le besoin de confort, de formation, l'aspiration à une promotion sociale pousse le monde rural vers les villes où le seul avenir certain est la paupérisation.

La solution aux difficiles problèmes de l'hydraulique rurale ne se trouve donc assurément pas dans le transfert vers le périurbain, le péril urbain selon le mot très juste d'un haut responsable africain.

Si rien n'est fait, on aura triplement des populations urbaines d'ici les premières années du vingt et unième siècle. Il faut donc d'une part prendre en main le périurbain, apprendre à le gérer, d'autre part créer des centres secondaires pour éviter le dépeuplement complet des campagnes et la prolétarisation des villes.

Pour ce faire, la création d'une contre attraction urbaine reste la seule option valable, pour retenir ceux que la ville ne pourra accueillir. Le confort, ou la société espérés en ville, il faut créer les moyens de leur émergence à la campagne. Cela veut inévitablement dire effort dans le domaine de l'éducation, mécanisation nécessaire du fait de la multiplication des points d'eau villageois, donc nécessaire arrivée du solaire, et, surtout, la nécessité de faire évoluer les formes de revenu des populations rurales.

La seule évolution possible, c'est la croissance et la multiplication de centres dits aujourd'hui secondaires, de 2 000, 5 000, 10 000 habitants, et leur aménagement.

Après la décennie de l'eau potable la décennie de l'environnement et de la protection du patrimoine . Ce sera encore compliqué.

Comment un bureau d'études peut-il être trois fois moins cher que les collègues ?

Très simple, il suffit d'un principe que toutes les coopérations devraient respecter : « *ne jamais effectuer un travail qu'un cadre ou un ouvrier local peut exécuter* ».

Le premier devis envoyé au Cameroun pour le Mbam a déclenché un coup de téléphone : « *il manque un zéro dans votre devis* ». Vérification faite, le devis était juste. La commande est revenue presque en retour. Avant de la signer, le secrétaire d'État aux finances était à Dakar pour un conseil d'administration des ICS à Dakar. Les enseignements recueillis sur place ont été bons.

Au Cameroun, nous avons formé des ingénieurs du Génie Rural pour la supervision des forages. Ils sont tous devenus des responsables importants. Mais l'administration a joué le jeu. Lorsqu'ils ont demandé s'ils devaient obéir à Geolab ou au Génie Rural, Henri Mbepi, directeur du GR leur a répondu qu'ils obéissaient à Geolab mais que rien ne les empêchait de rendre compte au GR.

CONCLUSION

De l'Hydraulique Villageoise à l'Hydraulique Financière

Le paragraphe « *Les Afriques* » a montré combien l'Afrique est diverse. Dans cette terre de contrastes, les langues et les religions multiplient la diversité des contextes. Chaque expérience a été différente au début de l'hydraulique villageoise moderne, le terrain était foncièrement différent selon les programmes. Du Nord au Sud, en Afrique subsaharienne, parfois dans le même pays couloir, on passe de la savane et de la semi-aridité à la forêt primaire. Au climat se superposent les contextes géologiques, du sédimentaire au socle fracturé, altéré ou sain.

Pourtant, les opérateurs techniques et les bailleurs de fonds ne sont finalement pas tellement nombreux et, au fil du temps, ont développé des liens au point que l'on peut parler de consanguinité. Aujourd'hui le secteur est uniformisé avec des tendances lourdes, dictées essentiellement par la Banque Mondiale suivie par la plupart des bailleurs de fonds.

Avant les indépendances, l'État était le maître d'ouvrage de l'alimentation en eau des zones rurales. Les fonds étaient issus du budget, alimenté par la France dans ses anciennes colonies. Les directeurs de projet étaient les fonctionnaires de l'Administration pilotant les opérateurs techniques.

Lorsque la sécheresse est arrivée, les techniques de réalisation des points d'eau, de financement et de direction des opérations se sont progressivement regroupées. Dès 1972 le forage par marteau de fond de trou est apparu comme le moyen de réaliser de grandes campagnes de points d'eau en zone d'aquifères peu profonds, notamment en milieu de socle altéré. Les puits ont perdu leur rôle traditionnel dominant pour des raisons techniques, développées au Conseil des Ministres du CIEH de 1971. La VPRH, machine de forage rapide, n'a pas survécu à l'épreuve du terrain.

Pour les états disposant de ressources pétrolières ou minières, les besoins d'urgence ont été lancés avec leurs moyens propres et surtout leurs cadres. Le matériel était entretenu par le budget. Les services nationaux assuraient un entretien peu coûteux.

Les projets nationaux ont été pour l'essentiel conçus, financés et dirigés par l'Administration et les Agences publiques des États les plus aisés grâce aux revenus du pétrole, des mines, de l'agriculture et de la forêt. Les ressources financières n'étant pas à rechercher, les projets se décidaient rapidement, en fonction de l'urgence, comme ce fut le cas au Cameroun et au Gabon. En concentrant les décisions sur un opérateur national unique, les gaspillages aux interfaces entre les domaines d'activité ou entre financement et technique ont été le plus souvent évités. L'entretien des ouvrages, puits, forages, retenues, digues, étaient assurés par les services nationaux, peu coûteux. Au Gabon, le projet d'hydraulique villageoise de 600 forages a été ainsi partagé par le Ministère entre deux bureaux d'études mis en concurrence sur leurs résultats. Au bout de cinq ans la facture de remplacement des pièces détachées mises en place par les services nationaux n'a pas atteint cinq mille dollars.

Les pays les moins bien pourvus ont dépendu des dons et des prêts des agences de coopération bilatérale ou multilatérale. Les méthodes se sont standardisées rapidement pour la direction des projets. Le cadre national directeur du projet était assisté par un cadre bis représentant l'agence de financement et contrôlant les finances, comme par exemple le projet du Cercle de Kita de la Banque Mondiale au Mali.

Pour les états les moins autonomes, la solidarité déclenchée par la première sécheresse de 1968 a déclenché des projets financés souvent par des dons ou des prêts. Les bailleurs de fonds et les agences de coopération ont pris le contrôle des opérations techniques en plus du financement, mettant en œuvre leur vision du développement. Les États passaient au second plan. Par exemple, pour le projet de création d'un atelier de forage en Centrafrique, financé par la BDEAC, un seul bureau d'études s'est déplacé à Bangui. Le maître mot était l'animation et le paiement de la maintenance par les villageois. Les services nationaux chargés de l'entretien ont été fermés. En contrepartie des projets de réhabilitation des parcs de matériel, représentant des milliards de CFA, ont fleuri un peu partout.

La grosse difficulté de cette approche est que l'entretien des matériels techniques importés, à commencer par les véhicules, a cessé à la fin de chaque projet, imposant de les reconstituer avec du matériel neuf. Les cimetières des éléphants se sont multipliés.

Progressivement, les dons ont disparu au profit de prêts, quitte à négocier des moratoires dans le cas des fonds de coopération, reportant les coûts sur le budget de l'état donateur. Le Service de la Dette est devenu un élément-clé du financement des projets.

En fin de compte, l'approvisionnement en eau des zones rurales est devenu une activité financière importante des agences de financement, permettant de peser sur l'autonomie des États. Devenus responsables de l'organisation des projets d'approvisionnement en eau des zones rurales, les bailleurs de fonds ont intégré d'autres projets de développement, complexifiant la gestion et produisant des gaspillages de toute sorte, notamment aux interfaces des centres de décision. Un exemple remarquable est le Projet Banque Mondiale du Deuxième FSAR pour le Cameroun où tous les aspects du développement agricole et rural sont intégrés.

Avec le temps, l'hydraulique villageoise, activité technique à vocation humanitaire, destinée à fournir de l'eau aux populations rurales est devenue une hydraulique financière au service d'intérêts supérieurs...

Les partenaires d'aujourd'hui et de demain : du continent oublié au continent convoité

La Chinafrique

900 sociétés chinoises étaient présentes sur le continent africain en 2007. La Chine a trouvé une solution durable au problème de sa dépendance en hydrocarbures, bois, métaux. En 2009, 92 % des importations chinoises en provenance d'Afrique concernent les matières premières.



Portique métallique utilisé par les cordes - Niger



ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

Rapports de synthèse

- ARCHAMBAULT J. (1960) — Les eaux souterraines de l'Afrique Occidentale. Berger-Levrault, Nancy, 137 p.
- MERLIN P., I. CHERET — Gouvernement général de l'A.O.F. (1958) – Direction générale des Travaux Publics – Service de l'Hydraulique – *La politique de l'eau*.
- GEOLAB — CEAO -Approvisionnement en eau en milieu rural dans les sept États Membres. Bilan et projections. 1991. Analyse et synthèse à l'échelle des sept états membres de la Communauté économique de l'Afrique de l'Ouest (CEAO) (1991) — Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal. Étude de la politique en hydraulique villageoise et pastorale et informatisation de la gestion des points d'eau.

Ressources en eau souterraine

- AFFATON P., SOUGY J., TROMPETTE R. (1980) — The tectonostratigraphic relationships between the upper Precambrian and lower Paleozoic Volta basin and the Pan-African Dahomeyide orogenic belt (West-Africa). *Am. Journ. Sc.*, Vol. **280**, p. 224-248.
- AKITI T.T. (1980) — Étude géochimique et isotopique de quelques aquifères du Ghana — Gneiss de la plaine d'Accra, Calcaires de la plaine au Sud-Est de la Volta, Granites de la Haute Région. *Thèse Dr. Ing., Univ. Paris-Sud*, 232 p.
- ANANI S. (1981) — L'eau souterraine et la télédétection. Essai d'implantation de forages dans le Liptako nigérien. *Publ. CRTO*, Ouagadougou.
- ARMAND C. (1982) — Recherches hydrogéologiques en vue de l'approvisionnement en eau potable de douze chefs-lieux de Régions de l'intérieur. Mission de forages, Étude hydrogéologique des sources de Foula-Mori, Rép. Pop. Rév. de Guinée. *Publ. BRGM 82 AGE 002*, Orléans.
- ASSOUMA D. (1988) — Étude par modèle mathématique de la structure et du fonctionnement d'un aquifère de socle exploité, en région tropicale (Alimentation en eau potable de la ville de Dapaong-Togo). *Thèse 3e cycle Univ. Orléans*, 183 p.
- ASSOUMA D., (1982) — Analyse statistique des facteurs influençant la productivité des forages hydrauliques en région de socle au Togo. *Mém. DEA, Univ. Orléans*.
- BELIARD C., LELONG F., PELISSIER (1973) — Premiers résultats de l'étude des nappes phréatiques contenues dans les formations d'altération. *Série doc. N° 8-1973, Univ. Abidjan*.
- BELLION J.C., HEBRARD L., ROBINEAU B. (1984) — Sismicité historique de l'Afrique de l'Ouest. Essai d'inventaire. Remarques et commentaires. *Bull. Assoc. sénég. Et. Quat. ouest afr.*, n° 72-73, p.
- BENAMOUR A. (1972) — Hydrogéologie de la région du Liptako-Gourma. *Publ. CIEH*, Ouagadougou, 73 p. et une carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/1 000 000e.
- BERGER J., CAMERLO J., FAHY J.C., HAUBERT M. (1980-81) — Étude des ressources en eaux souterraines dans une région de socle cristallin — «la Boucle du Cacao» (Côte d'Ivoire). *Bull. BRGM*, Section III, 2° série, **4**, p. 273-291.
- BESSOLES B. (1977) — Géologie de l'Afrique, le craton ouest-africain. *Mém. BRGM*, N° 88, 404 p.
- BESSOLES B., TROMPETTE R. (1980) — Géologie de l'Afrique, Vol. 2. La chaîne panafricaine zone mobile d'Afrique Centrale et zone mobile soudanaise. *Mém. BRGM*, **92**, 396 p.
- BERNARDI A., CHENJOU H.-J., DAI PRA E., DELUCCHI L., DETAY M., DOUNLA J., ELOBO P., EMSELLEM Y., GAUJOUS D., GOURLEMOND G., JOHNSON J., KAMGA F., NGWESSITCHEU V., MACHARD DE GRAMMONT H., MAIMO H., MASSOK P., MBEPI H., MOUTOME J., NLATE T., NGOUMENI M., NSOGA NSOGA F., PELLEGGRI G., RITOUANDI F., SI ANGOULA J.-J., SOFO S., SUZANNE P., TCHINDA E., VINTER J.-P. (1989) — Interet de la prospection géophysique, exemple du Programme d'Urgence d'Hydraulique Villageoise, Nord Cameroun, *Bull. International du CIEH* **74-75**, 47 p.

- BISCALDI M., CASTANY G., MARGAT J., UNGEMACH P. (1976) — Planification de l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne. Afrique de l'Ouest au Sud du Sahara. *Conf. ONU Eau, Mar del Plata* (Argentine) 14-15 mars 1977, Réf. E/ CONF.70/TP 176.
- BISON P.L., NORMAND M., PIOVESANA F., ZUPPI G.M. (1989) — Contribution des isotopes de l'environnement à l'étude de la recharge naturelle des aquifères fissurés du bouclier soudanien au Burkina-Faso. *Hydrogéologie*, **3**, p. 201-214.
- BLOT A. (1980) — L'altération climatique des massifs de granite du Sénégal. Trav. et Doc., *ORSTOM*, n° 114, 434 p.
- BOUKARI M. (1982) — Contribution à l'étude hydrogéologique des régions de socle de l'Afrique intertropicale — L'hydrogéologie de la région de Dassa-Zoumé (Bénin). *Thèse Spécialité*, Univ. Dakar, 147 p.
- CARLIER P., LEBLANC P., MILVILLE F., NORMAND M., POINTET T., RICOLVI M., THIERY D. (1986) — La recharge naturelle des aquifères de socle sous climats sahélien et soudanien. Étude expérimentale du Burkina Faso. *Rapport BRGM n° 86 BFA 177 EAU*.
- CASTAING C., DUTARTRE P., GOUYET J.-F., LOISEAU P., MARTIN P., POINTET T. (1989) — Étude pluridisciplinaire d'un réseau de discontinuités-image SPOT en milieu granitique couvert. Implications en hydrogéologie des milieux fissurés. *Hydrogéologie*, **1**, p. 19-25.
- CHOURET A., FONTES J.Ch., MATHIEU P. (1977) — La nappe phréatique à la périphérie du lac Tchad. *ORSTOM/FAC N° 1 I/M/77/M*.
- COMPAORE J.L. (1980) — Contribution à l'étude hydrogéologique des régions de socle de l'Afrique occidentale — Essai de synthèse des connaissances relatives au territoire voltaïque. Rapp. Dép. Géol. **5**, Nouv. sér., *Mém. DEA*, Univ. Dakar, 77 p.
- CORNACCHIA M., DETAY M. GIORGI L.(1990) — Nouvelles données sur l'hydrogéologie Centrafricaine, *Hydrogéologie*, **3**, 165-181.
- DEGALLIER R. (1975) — Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes souterraines. Application aux données provenant du bassin versant de Korhogo (Côte d'Ivoire). *Publ. BRGM, Documents*, n° **11**, 1986, 427p.
- DETAY M., *et al.* (2000) — Hydrogéologie, dans *Atlas de la province Extrême Nord Cameroun*. Ouvrage collectif piloté par Seignobos et Iyebi-Mandjek. Paris : IRD et Cameroun, Ministère de la recherche scientifique et technique, Institut national de cartographie, 171 p.
- DETAY M. (1997)— *Water Wells, Implementation, Maintenance and Restoration*. John Wiley & Sons, Series in Water Resource Engineering, 400 p.
- DETAY M., COLLIN J.-C. (1995) — Introduction à la gestion active des aquifères : concept et philosophie (Éditorial du numéro spécial consacré au colloque AIH 1995), *Hydrogéologie* **1**, 3-11.
- DETAY M., POYET P. (1991) — La place de l'informatique dans les géosciences, évolution et perspectives, *Géologues*, **91**, 37-49.
- DETAY M., POYET P., BRISSON E. (1991) — Hydrolab® *Le système expert d'aide à l'implantation de forages*. SEG-CIEH Ed. 125 p.
- DETAY M., POYET P., CASTANY G., BERNARDI A., CASANOVA R., EMSELLEM Y., BRISSON E., AUBRAC G. (1991) — Hydrogéologie de la limite Sud-Ouest du bassin du Lac Tchad au Nord Cameroun - Mise en évidence d'un aquifère semi-captif de socle dans les zones de piémont et de « biseau sec » - *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, t. **312**, Série II, p. 1049-1056.
- DETAY M (1991) — Techniques modernes d'action sur les eaux souterraines, bilan et perspectives. *Rapport Général de la Question II des XXIèmes Journées de l'Hydraulique*. Société Hydrotechnique de France, G.G.II. pp. 1-13.
- DETAY M., POYET P., (1990) — Introduction aux méthodes modernes de maîtrise de l'eau, *Hydrogéologie*, **1**, 3-25.
- DETAY M., POYET P. (1990) — Hydrolab®, an expert system for groundwater exploration and exploitation, *International Journal of Water Resources Development*, **6**, (3), 187-200.
- DETAY M., POYET P. (1990) — Design and implementation of a field expert system for village water supply programs, in *Bull. Int. of Engineering Geology*, **41**, 63-75.
- DETAY M., POYET P. (1990) — Influence of the development of the saprolite reservoir and of its state of saturation on the hydrodynamic characteristics of drillings in the cristalline basement. *Selected Papers on Hydrogeology from the 28th International Geological Congress*, **1**, pp. 417-430, Verlag Heinz Heise Ed.

- DETAY M., CORNACCHIA M., GIORGI L. (1989) — New data on central african hydrogeology. International Geological Congress in Washington DC, July 9-19, Abstracts Vol. 3, p. 3-464.
- DETAY M., POYET P., EMSELLEM Y., BERNARDI A., AUBRAC, G. (1989) — Influence du développement du réservoir capacitif d'altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages en zone de socle cristallin. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, t. **309**, Série II, pp. 429-436.
- DETAY M., POYET P. (1989) — Development and evaluation of a field prototype expert system for village water supply programs, *International Symposium on Groundwater Management : Quality and Quantity*. Benidorm, Spain.
- DETAY M. (1989) — Hydrogéologie, dans « Atlas de la province Extrême Nord Cameroun ». Ouvrage collectif piloté par Seignobos et Iyebi-Mandjek. Paris : IRD et Cameroun, Ministère de la recherche scientifique et technique, Institut national de cartographie, 171 p. (publié en 2000).
- DETAY M., POYET P. EMSELLEM Y., BERNARDI A., AUBRAC G. (1989) — Influence du développement du réservoir capacitif d'altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages en zone de socle cristallin. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris,, t. **309**, p. 429-436.
- DETAY M., POYET P. (1989) — Influence of the development of the saprolite reservoir and of its state of saturation on the hydrodynamic characteristics of drillings in crystalline basement. *International Geological Congress in Washington DC*, July 9-19, Abstracts Vol. 3, p. 3-464.
- DETAY M., POYET P. (1989) — HYDROLAB® : le système expert de l'hydraulique villageoise, *Bull. International du CIEH* **76**, 25-41.
- DETAY M., EMSELLEM Y., VERGNET M. (1988) — Hydraulique villageoise et maintenance en Afrique de l'Ouest, *Actes des Communications Scientifiques du Salon Hydroplan 1988*, 283-288 (Français) ; 264-269 (Anglais).
- DETAY M. (1987) — Identification analytique et probabiliste des paramètres numériques et nonnumériques et modélisation de la connaissance en hydrogéologie sub-sahélienne. *Thèse d'Etat Sciences, Univ. Nice*, 456 p.
- DETAY M. (1985) — Analyse statistique des paramètres hydrogéologiques de la première campagne de forages dans le Sud-Ouest Gabonais. *Bull. du CIEH* **60**, pp. 2-22.
- DEYNOUX M., SOUGY J., TROMPETTE R. (1974) — *Le Paléozoïque inférieur en Afrique de l'Ouest et dans la moitié occidentale de l'Afrique Centrale*. In Lower Paleozoic rocks of the World, H. Holland édit.
- DIA O., LECORCHE J.P., LE PAGE A. (1979) — Trois événements orogéniques dans les Mauritanides d'Afrique de l'Ouest. *Rev. Géol. dynam. et Géogr. phys.*, **21**, fasc. 5, p. 403-409.
- DIJON R. (1980) — Gestion des eaux souterraines — une vue d'ensemble. *Bull. Qual. Eau*, vol. V, N° 4, *Env. Canada-OMS*.
- DILUCA C. (1979a) — État des connaissances hydrogéologiques en Haute-Volta. *Publ. CIEH*, Ouagadougou.
- DILUCA C. (1979b) — Principe et exemple d'application de techniques isotopiques en Hydrogéologie. *Bull. CIEH*, **35-36**, p. 28-42.
- FAILLAT J.P. (1986) — Aquifères fissurés en zone tropicale humide - Structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest). *Thèse Sciences, Montpellier*, 535 p..
- FAILLAT J.P., LEBLOND P. (1982) — Premiers résultats des essais menés sur une station de pompage expérimental en Côte d'Ivoire. *Jubilé CASTANY Milieux discontinus en hydrogéologie*, Orléans, p. 301-314.
- FAILLAT J.P., RAMBAUD A. (1988). La teneur en nitrates des nappes de fissures de la zone tropicale humide en relation avec les problèmes de déforestation. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, t. **306**, Série II, p. 1115-1120.
- FILIPPI C., MILVILLE F., THIERY D. (1990) — Évaluation de la recharge naturelle des aquifères en climat Soudano-Sahélien par modélisation hydrologique globale — Application à dix sites du Burkina-faso. *Journ. Sci-ences Hydrol.*, **34**, 6, p. 29-48.
- FONTES J. Ch., GARNIER J.M. (1979) — Détermination of the initial ¹⁴C activity of the total dissolved carbon. A review of the existing models and a new approach. *Water Resources Res.*, vol. **15**, 2, p. 399-413.

- FONTES J.Ch., MAGLIONE G., ROCHE M.A. (1969) — Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac Tchad avec les nappes de la bordure Nord-Est. *Cah. ORSTOM*, série Hydro. V.I., p. 17-34.
- FONTES J.Ch., OLIVRY J.C. (1977) — Composition isotopique des précipitations de la région du mont Cameroun. *Rapport ORSTOM*.
- FONTES J.Ch., OUSMANE B. (1982) — Preliminary environmental isotopes survey of semiconfined aquifers in crystalline rocks from the Niger Sahelian zone. *Proc. French-Sweedish Seminar on hydrology of arid zones*, Lund Sweden, 7-8/06/1982.
- FOURNIGUET J., MOTTI E., POINTET T. (1984) — Application de la télédétection à la prospection hydrogéologique en zones arides. Challenges in African Hydrology and Water Resources, *Proc. Harare Symp.*, July 1984, IAHS Publ. n° 144, p. 129-137.
- FRITZ P., CHERRY J.A., MEYER K.U., SKLASH M. (1976) — Store run off analysis using environmental isotopes and hydrochemical data in ground-water hydrology. *Proceed. Adv. Group Meeting*, Vienna. 27-31 Jan. 1975, IAEA.
- GAT Y., TZUR Y. (1967) — Modification of the isotopic composition of rain water by processes which occur before ground-water recharge in isotopes, *hydrology*. IAEA, Vienna, p. 49-60.
- GAYE C.B. (1980) — Étude Hydrogéologique, Hydrochimique et Isotopique de la nappe aquifère infra-basaltique de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Thèse Spécialité, Univ. Dakar*.
- GRISSEMANC.etLUDWIGR.(1987) — Recherche sur la fracturation profonde en zone de socle cristallin à partir de forages à gros débit et de linéaments Landsat à l'aide de méthodes géophysiques avancées. *Publ. CIEH/BGR, BGR 99020*.
- GUIRAUD R. (1975) — Éléments pour une orientation nouvelle de la recherche des eaux souterraines dans les régions à substratum métamorphique ou éruptif de l'Afrique Occidentale. Réun. Porto-Alegre, *Mém. AIH*, Vol. XI, p. 15-19.
- GUIRAUD R. (1976) — Sur la présence des nappes aquifères de fissure dans le socle précambrien de l'Afrique Inter-tropicale. *4e Réunion. Ann. Sc. Terre*, Paris, Soc. Géol. France, p. 217.
- GUIRAUD R. (1979) — Eaux souterraines et développement en Afrique intertropicale. *Comm. 2e Symp. « Léo FROBENIUS »*, Dakar, mars 1979.
- GUIRAUD R. (1988) — L'hydrogéologie de l'Afrique. *Journ. Afr. Earth Sci.*, Vol. 7, N°3, p. 519-543.
- GUIRAUD R., ALIDOU S. (1 981) — La faille de Kandi (Bénin), témoin du rejeu fini-crétacé d'un accident majeur à l'échelle de la plaque africaine. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 293, p. 779-782.
- GUIRAUD R., BELLION Y., BENKHELIL J., MOREAU C. (1 987) — Post-Hercynian tectonics in Northern and Western Africa. *Geol. Journal.*, Vol. 22, Them. Issue, p. 433-466.
- GUIRAUD R., ISSAWI B., BELLION Y. (1985) — Les linéaments guinéo-nubiens — un trait structural majeur à l'échelle de la plaque africaine. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 300, p. 1720.
- GUIRAUD R., LENCK P.P. (1975) — Sur l'intérêt hydrogéologique majeur des zones de failles dans le socle métamorphique et éruptif de l'Afrique Occidentale. *6e Réunion. Cons. CIEH*, Journées techniques, Ouagadougou, F. III, p. 1-7.
- JOSEPH C. (1969) — Interprétation des mesures disponibles des variations naturelles du niveau des nappes en Côte d'Ivoire. *Public. CIEH*, mai 1969, 58 p.
- JOSEPH G. (1980) — L'hydrogéologie du Ouaddaï (Tchad oriental) dans le contexte géologique et hydroclimatique de la République du Tchad. *Thèse 3e cycle, Univ. Nice*, 197 p.
- JUSSERAND Cl. (1976) — Preliminary Isotope 180/160 data of some water in the Republic of Mali. *Journ. Hydrol.*, 28, p. 87-89.
- KABORE F. (1975) — Contribution à l'étude hydrogéologique et à la mise en exploitation des ressources hydrauliques de la région du Centre-Est de la Haute-Volta. *Thèse 3e cycle, USTL Montpellier*, 64 p.
- KIKIETTAA. (1978) — Contribution à l'étude hydrogéologique des massifs granitiques et cristallins basiques en Afrique Intertropicale — l'hydrogéologie du bassin versant de la Bougouriba (Haute-Volta). *Thèse 3e cycle, INPL Nancy*, 147 p.
- LELONG F. (1964) — Nouvelles données sur les nappes d'arènes. *CIEH-BCEOM*, octobre 1964, 51 p.

- LELONG F. (1966) — Régime des nappes phréatiques contenues dans les formations d'altération tropicale. *Sc de la Terre*, tome XI, 1966, N° 2, p. 201-244.
- LELONG F., LEMOINE J. (1968) — Les nappes phréatiques des arènes et des altérations argileuses. Leur importance en zone intertropicale. Les difficultés de leur exploitation. *Bull. BRGM*, section III, 2e série, N° 2, 1968, p. 41-52.
- LEMOINE J. (1978) — L'équipement des villages en puits et forages en fonction des conditions hydrogéologiques dans les Etats ACP d'Afrique. *BURGEAP*.
- LENCK P.P. (1977) — Données nouvelles sur l'hydrogéologie des régions à substratum métamorphique ou éruptif. Enseignements tirés de la réalisation de 900 forages en Côte d'Ivoire. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, , t. **285**, p. 497-500.
- MANEVY I. (1990) — Identification de l'aide en ligne nécessaire à la création d'un outil d'EAO dans le domaine de la recherche hydrogéologique en Afrique. *Rapport de Maîtrise Géosciences et Géotechniques* - Université de Nice, 261 p.
- MARGAT J. (1979) — Principes et modalités d'une cartographie des ressources en eau des régions arides et semi-arides. *BRGM*, Note SGN/JM/N° 101(), août 1979.
- MARGAT J. (1980) — Évaluation et exploitation des ressources en eau souterraines en zone aride et semi-aride. *Rapp. BRGM*, XI SGN 797 EAU.
- MARGAT J. (1992) — Les milieux discontinus en hydrogéologie. Thème 3 — Les applications. Rapport général provisoire. *Jubilé Castany*, Orléans 19X2.
- MONCHALIN G., DILUCA C. (1991) — Contribution du CIEH à la connaissance des ressources en eau souterraine en Afrique de l'Ouest et Centrale. *XXIèmes Journées de l'Hydraulique*. Société Hydrotechnique de France, question III, rapport n° 14.
- NORMAND M. (1989) — La recharge naturelle des aquifères exploités dans le socle cristallin (phase 11). Evaluations piezométriques et pluviométriques sur les sites de Barogo et Katchari 19X5-19X8. *BRGM*, Rapport 89/06 EEE.
- ONUGBA A., (1990) — Contribution à la connaissance des systèmes aquifères de la Haute Bénoué (Nigéria) - Étude hydrochimique et isotopique de zones témoins du Socle et du Sédimentaire. Vulnérabilité des forages à la pollution. *Thèse Sciences, Univ. Avignon*, 203 p.
- OUEDRAOGO B. (1988) — Productivité des forages sur socle cristallin et cristallophyllien en région sub-sahélienne. Exemple du bassin versant de la Bomboré (Burkina Faso). *Thèse, Le Mans*, 252 p.
- OUSMANE B. (1978) — Contribution à l'étude hydrogéologique des régions de socle du Sahel — l'hydrogéologie du Damagaram Occidental (Environs de Zinder, Niger). *Thèse 3e cycle, USTL Montpellier*, 66 p.
- OUSMANE B. (1988) — Étude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahélienne du Niger (Liptako, Sud-Maradi et Zinder-Est). Thèse Sciences, *Univ. Niamey*,
- OUSMANE B., FONTES J.Ch., ARANYOSSY F., JOSEPH A. (1983) — Étude géochimique et isotopique des aquifères discontinus de la bande sahélienne du Niger (Liptako, AIR). *Agence de l'Énergie Atomique*, Vienne Colloque A.I.E.A. (sept. 1983).
- OUSMANEB., LACHAUD J.C., THERMEP.(1989) — Reconnaissance géophysique en milieu fissuré. Exemple au Liptako (Rép. Niger). *Proc. The Sahel Forum*, Ouagadougou Feb. 1989, G.E. Stout et M. Demissie edit., p. 468-479.
- PLOTE H. (1968) — La recherche d'eau souterraine dans les régions arides à substratum cristallin et métamorphique de l'Afrique Occidentale. *Bull. BRGM*, Série 2, Sect. III, N° 3, p. 97-111.
- POINTET T. (1989) — Exploration of fractured zones by Radon determination in the soil. Intem. workshop on appropriate methodologies for development and management of groundwater resources in developing countries, *Hyderabad, India*, March 1989, p. 37-46.
- POINTET T., NORMAND M., et al. (1986) — La recharge naturelle des aquifères de socle sous climat sahélien et soudanien. Étude expérimentale au Burkina Faso. *BRGM et Aquater*, Rapport 86 BFA 177 EAU.
- POYET P., DETAY M. (1992) — *Artificial Intelligence tools and techniques for water resources assessment in Africa*, in *Use of Microcomputer in Geology*. H. Kuerzl and D.F. Merriam Editors. Plenum Publishing Ed., 119-159.
- POYET P., DETAY M. (1989) — Hydrolab® an exemple of a new generation of compact expert system, *Computers & Geosciences*, **15**, (3) 255-267.

- POYET P., DETAY M. (1989) — Hydrolab® un système expert de poche en hydraulique villageoise, *Techniques et Sciences Informatiques*, **8**, (2), 157-167.
- POYET P., DETAY M. (1989) — Hydroexpert® : l'avènement d'une génération de systèmes experts de terrain, *Proceedings of the Sahel forum on the-state-of-the-art of Hydrology and Hydrogeology, the arid and semi-arid areas of Africa* 567-577.
- POYET P., DETAY M. (1988) — Hydroexpert® - Un système d'aide à l'implantation d'ouvrages, *Actes des 8e journées Internationales : Les Systèmes Experts et leurs applications*, Avignon, 397-410
- SAVADOGO A.N. (1979) — La géophysique appliquée à la recherche d'eau dans les formations cristallines de Haute-Volta. *Bull. CIEH*, **35-36**, Ouagadougou, p. 43-48.
- SAVADOGO A.N. (1984) — Géologie du socle cristallin de Haute-Volta. Étude régionale du bassin versant de la Sissili. *Thèse Sciences, Univ. Grenoble*, 351 p.
- SAWADOGO J.S. (1981) — Application de la télédétection à une étude hydrogéologique de base, Polimpikou (Département du Centre-Ouest, Haute-Volta). *Publ. CRTO*, Ouagadougou.
- SAWADOGO S. (1982) — Contribution de la télédétection à l'étude de la fracturation. Application à l'hydrogéologie du socle en milieu intertropical (Haute-Volta). *Thèse 3e cycle, Univ. Orléans*, 238 p.
- SOLAGES S. (1979) — Résultats de la première campagne de forages exécutés au marteau fond de trou au Sénégal. *Bull. CIEH*, **37-38**, p. 35-45.
- TRAVI Y. (1988) — Hydrogéochimie et Hydrologie isotopique des aquifères fluorurés du bassin du Sénégal. Origine et conditions de transport du fluor dans les eaux souterraines. *Thèse Sciences, Paris Sud*, 229 p.
- TRAVI Y., GUIRAUD R. (1982) — Présence d'un aquifère généralisé dans les formations gréseuses précambriennes de la région de San (Mali). Rôle de la fracturation majeure dans les écoulements souterrains. *Bull. CIEH*, sept. 1982, **5**, p. 3-8.
- TRAVI Y., JUSSERAND C. (1980) — Données géochimiques et isotopiques sur les eaux souterraines de la région de San (Mali). *Ann. Fac. Sc. Dakar*, t. 32, p. 103-112.
- TROMPETTE R. (1979) — Les Dahomeyides au Bénin, Togo et Ghana — une chaîne de collision d'âge pan-africain. *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.*, Vol. **21**, fasc. 5, p. 403-409.
- UNESCO (1972) — Synthèse hydrologique du Bassin du Lac Tchad (1966-1970). *Rapport technique Commission du Bassin du Lac Tchad*. TR/UNESCO/UNDP/REG 71.
- UNESCO (1979) — Water in crystalline rocks. *Roy. Inst. Techn. Stockholm*, 344 p.

Ressources en eau superficielle

- AIEA (1982) — Application des techniques nucléaires aux problèmes d'hydrologie au Mali. Rapport au Gouvernement malien. *C.T. Rapport*, N° 1914.
- LEROUX M. (1970) — La dynamique des précipitations en Afrique occidentale. *Publ. Dir. Exploitation Météo.*, **23**, ASECNA, Dakar, 282 p.
- LEROUX M. (1978) — Climatologie dynamique de l'Afrique occidentale. In *Atlas Intern. de l'Ouest Africain*, IFAN, Dakar.
- LEROUX M. (1983) — Le climat de l'Afrique tropicale. Edit. Champion/Slatkine, Paris-Genève, t.1 - 636 p., 349 fig., t. 2 - notice, 250 cartes.
- MILVILLE F. (1990) — Contribution à l'étude des mécanismes de la recharge naturelle des aquifères par les pluies en climat semi-aride. Application au site expérimental de Barogo au Burkina-Faso. *Thèse Univ. Paris VI*, 216 p.
- MILVILLE F., NORMAND M., POINTET T., MERLO C., URANI F. (1989) — Natural recharge of basements aquifers in a Sahel and Sudan climate — Experimental study in Burkina faso. Intern. workshop on appropriate methodologies for development and management of groundwater resources in developing countries. *Hyderabad, India*, March 1989, p. 47-61.
- PERON G., GUIRAUD R. (1976) — Relations entre les orientations du réseau hydrographique et les éléments structuraux dans le socle précambrien du Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. *4e Réunion. Ann. Sc. de la Terre, Paris*, résumé, p. 324.
- ROCHE P.A., THIERY D., (1984) — Simulation globale de bassins hydrologiques. Introduction à la modélisation et description du modèle GARDENIA. *Doc. BRGM 84 SGN 337 EAU*, Orléans.

- THIERY D. (1984) — Un modèle hydrologique global à réservoirs - «GARDENIA». *Rapport BRGM*.
- THIERY D. (1988) — Calculation of natural aquifer recharge from rainfall with an unsaturated zone model solving Richards equation. *Symp. intem. AIRH « Interaction entre eaux souterraines et eaux de surface »*, 30 mai -3 juin 1988, Ystad, Suède, P. Dahlblom et G. Lindh édit., p. 45-57.

Méthodes d'implantation

- AIEA (1982) — Interprétation des résultats d'analyses isotopiques et chimiques des campagnes d'échantillonnage de 1980. *Rapport au Gouvernement malien*. C.T. Rapport, N° 1934.
- ASTIER J.L. (1971) — *Géophysique appliquée à l'hydrogéologie*. Masson édit., Paris, 277 p.
- AUSSEUR J.Y., BONNET M., SAUTY J.P., VANDENBEUSCH M. (1979) — Recharge des nappes à travers la zone non saturée. Mesures et modélisation. *Doc. BRGM 79 SGN 787 HYD* Orléans.
- BALMER F., MULLER I. (1988) — Étude hydrogéologique et géophysique électromagnétique de la nappe alluviale du Kori Teloua-Agadez Niger. *Inst. Univ. Etudes Dév., Agadez*.
- BENKHELIL J. (1974) — Relations entre la structure et le réseau hydrographique sur substratum granitique et schisteux (Région de Dimbokro, Côte d'Ivoire). *4e Réunion. Ann. Sc. Terre, Paris*, p. 46.
- BERARD P. (1982) — Interprétation des images satellites en complément à la photo-interprétation traditionnelle pour la définition des structures hydrogéologiques au Niger et en Haute Volta. *Doc. BRGM ; Colloque sur les mi-lieux discontinus en hydrogéologie, Orléans la Source, Nov. 1982*, p. 67-82.
- BERNARDI A., DIDERO M., MOUTON J., (1987) — Metodologia per la ricerca di acque sotterranee in zone aride dello zoccolo cristallino africano. *XX Congresso A.I.H., Roma*.
- BERNARDI A. MOUTON J. (1975) — Recherche d'eau dans les formations cristallines et métamorphiques du socle africain, *International Congress of Hydrogeology, Porto Alègre Brazil*, 38 p.
- BERNARDI A., MOUTON J. (1980) — Les recherches d'eau dans le socle africain - Apport de la géophysique, *Bull. BRGM, Section III n° 4*, pp. 293-309, 16 fig.
- BERNARDI A., DETAY M., GAUJOUS D. (1987) — Primi risultati di studi e perforazioni eseguita nel Camerun settentrionale, *XX° International Congress A.I.H., Roma*, 14 p.
- BERNARDI, A., DETAY, M., GAUJOUS, D. (1985) — Carte de planification des ressources en eau de Nord Cameroun à 1/500 000 (102 000 km²) - *Ministère de l'Agriculture du Cameroun, FONADER*.
- BERNARDI A., DETAY, M., MACHARD DE GRAMONT H. (1988) — Corrélations entre les paramètres géoélectriques et les caractéristiques hydrodynamiques des forages en zone de socle, *Hydrogéologie, 4*, pp. 245-253, 7 fig.
- BOLOGNINI M., MOUTON J. (1967) — Méthodologie de la recherche d'eau en terrain cristallin. *Colloque A.I.H., Istambul*.
- BOURGUET, L., CAMERLO, J., FAHY, J-C. VAILLEUX, Y. (1980) — Méthodologie de la recherche hydrogéologique en zone de socle cristallin, *Bull. du BRGM, Section III, n° 4*, pp. 273-288.
- BISCALDI R. (1967) — Étude statistique des forages et carte hydrogéologique des régions à substratum éruptif et métamorphique en Afrique Occidentale. *BRGM-CIEH, 2 vol., Ouagadougou*.
- BRION M., LACHAUD J.C. (1979) — Expérimentations de méthodes géophysiques à la recherche d'eau dans les roches cristallines au Mali. *Bull. CIEH, 37-38*, juin-sept. 1 979, p. 14-23.
- BRION M., LACHAUD J.C. (1980) — Méthodes de prospection électrique en milieu cristallin fracturé. Apport du dispositif carré. *Commun. Journ. tech., 10° réun. Cons. CIEH, Bamako, 19-27 fév. 1980*.
- BRION M., LACHAUD J.C. (1982 a) — Exemple d'application de la prospection électrique à la recherche d'eau. Intérêt des méthodes d'investigation pluridirectionnelles. *Gén. Rur., avril 1982*.
- BRION M., LACHAUD J.C. (1982 b) — Rôle de la géophysique par méthode électrique à la prospection des eaux souterraines en milieu fissuré. *Colloque sur les milieux discontinus en hydrogéologie, Orléans, nov. 82*, p. 173-182.
- BRISSON E., DETAY M., POYET P. (1991) — Enseignement assisté par système expert - Application à la gestion des ressources en eau - *Géologues, 93*, pp. 35-40.

- BRO M. (1989) — Utilisation de la méthode sismique réfraction en recherche hydrogéologique sur le socle. *Bull. CIEH*, **74-75**, janvier 1989, p. 3-22.
- BRO M., HUBERT C. (1979) — Synthèse sur l'emploi des techniques géophysiques appliquées aux recherches d'eau dans les fractures au Mali. *Bull. CIEH*, **37-38**, juin-sept. 1979, p. 24-34.
- BURGEAP (1984 a) — Contribution à l'implantation des forages d'eau dans le socle cristallin par la méthode VLF. *Hydrogéologie-Géologie de l'ingénieur*, **4**, p. 377-381.
- BURGEAP, COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE ET MEDITERRANEENNE GEOELECTRIQUE (1984) — Utilisation des méthodes géophysiques pour la recherche d'eau dans les aquifères discontinus. *Publ. CIEH*, R 543/E 1219.
- CASTANY G. (1970) — *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*, Dunod Ed., Paris.
- CASTANY G., 1968. *Traité pratique des eaux souterraines*, 2ème Ed. Masson Ed., Paris.
- CASTANY G. (1968) — *Prospection et exploitation des eaux souterraines*, Dunod Ed., Paris.
- CEFIGRE (1990) — *Synthèse des connaissances sur l'hydrogéologie du socle cristallin et cristallophyllien et du sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest*. Second Ed., Agridoc International, 147 p.
- CIEH (1978, 1979) — *Méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'ouest*. 3 tomes.
- CORNACCHIA M., DETAY M., GIORGI L. (1990) — Nouvelles données sur l'hydrogéologie Centrafricaine. *Hydrogéologie*, **3**, 1990, pp. 165-181, 13 fig.
- DARBOUX-AFOUDA R., LOUIS P. (1989) — Contribution des mesures de l'anisotropie électrique à la recherche des aquifères de fracture en milieu cristallin au Bénin. *Geophysical Prospecting*, **37**, p. 91-105.
- DETAY M., POYET P., BRISSON E. (1991) — Hydrolab® *Le système expert d'aide à l'implantation de forages*. SEG-CIEH Ed. 125 p.,
- DETAY M (1990) — La prise de conscience de la gestion des ressources en eau : l'investissement formation. L'eau souterraine un patrimoine à gérer en commun. *Doc. BRGM n° 195*, Vol. 1, pp. 271-281.
- DETAY M (1990) — La formation permanente des ingénieurs hydrauliciens dans les pays en voie de développement : bilan et perspectives. *La Houille Blanche*, **34**, pp. 235-241.
- DETAY M., POYET P. (1990) — Hydrolab®, an expert system for groundwater exploration and exploitation. *International Journal of Water Resources Development*, **6**, n° 3, pp. 187-200.
- DETAY M. POYET P. (1990) — Introduction aux méthodes modernes de maîtrise de l'eau. *Hydrogéologie*, **1**, 1990, pp. 3-25, 9 fig., 3 tabl.
- DETAY M., POYET P. (1990) — Design and implementation of a field expert system for village water supply programs. *Bull. Int. of Engineering Geology*, n° 41, pp. 63-75.
- DETAY M., POYET P. (1990) — Application of remote sensing in the field of hydroengineering geology: the artificial intelligence approach. *Proceedings of the International Symposium Remote Sensing and Water Resources*. pp. 849-858.
- DETAY M., POYET P. (1989) — Hydrolab® : le système expert de l'hydraulique villageoise. *Bull. du CIEH*, **76**, pp. 25-41.
- DETAY M., POYET P. (1989) — Hydroform® : Le système expert hydrogéologue du CEFIGRE. *L'Eau l'Industrie, les Nuisances*, **130**, septembre 1989, pp. 56-58.
- DETAY M., POYET P. (1988) — Environnement et géologie. Application de l'intelligence artificielle en hydrogéologie. *Géologues*, **85-86**, p. 41-47.
- DETAY M., POYET P. (1988) — Hydroexpert® - Un système expert en hydrogéologie de terrain. *Actes des Communications Scientifiques du Salon Hydroplan*, pp. 191-195 (Français) ; pp. 182-186 (Anglais).
- DETAY M., POYET P. (1988) — Environnement et géologie - Application de l'intelligence artificielle en hydrogéologie. *Géologues*, Sciences de la Terre et Techniques Modernes, Revue Officielle de l'Union Française des Géologues, **85-86**, 1988, pp 41-47.
- DETAY M., GOULNIK Y. (1986) — Hydrolab®, un système expert de recherche des eaux souterraines en Afrique Occidentale. *Actes du 13ème Conseil des Ministres du CIEH*. Brazzaville.

- DETAY M., GOULNIK Y., CASANOVA R., BALLESTRACCI R., EMSELLEM Y. (1986) — Hydrolab®, an expert system for groundwater exploration in Africa. *Proceedings of the International Conference on Water Resources Needs and Planning in Drought Prone Areas. Khartoum (Soudan)*, pp. 1231-1236.
- DETAY M., GOULNIK Y., CASANOVA R., BALLESTRACCI R. (1986) — Hydrolab® : un système expert pour la recherche des eaux souterraines en Afrique. *Actes du 2ème Colloque International Eau Gestion des Données et Aide à la Décision, Montpellier*, pp. 94-99.
- EMSELLEM Y. (1967) — Les transferts de pression entre nappes et la drainance dans les ensembles aquifères hétérogènes, *Chronique hydrogéologique* **11**, 131-152.
- EMSELLEM Y., DETAY M. (1989) — L'autoépuration des nitrates dans le sol, synthèse méthodologique, *Rapport de Recherche du Service de la Recherche des Etudes et du Traitement de l'Information sur l'Environnement (SRETIE)*. Ministère de l'Environnement.
- EMSELLEM Y., DETAY M., ALLA P., SUZANNE P. (1989) — A model for self-purification of nitrates in ground water - Example of the Ansereuilles aquifer (France), *Proc. 28th International Geological Congress*, **3**, 3-467.
- ENGALENC M. (1978, 1979 et 1981) — Méthode d'étude et de recherche de l'eau souterraine des roches cristallines. *Publ. CIEH, Ouagadougou*, Vol. 1, 2 et 3, 652 p.
- FEUGA B., VAUBOURG P., BERTRAND L., FERRANDES R. (1980) — Principales méthodes de reconnaissance des milieux fissurés. État des connaissances. *BRGM*, 80 SGN 855 EAU.
- FLEURIÉ C., DETAY M., DEMASSIEUX L. (1992) — Influence de la position géomorphologique sur le comportement hydrodynamique des forages dans le socle plutonique du Burkina Faso. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, t. **315**, Série II, 867-873.
- IGA-SONDEL (1988) — Logiciel d'interprétation de sondages électriques Schlumberger. Société IGA Tours (France) édit.
- MARSILY G. de (1981) — *Hydrogéologie quantitative*. Masson, Paris, 215 p.
- MATHIEU R., PUYOO S., RICOLVI M. (1988) — Prospection des fractures aquifères du socle cristallin par dosage du gaz radon contenu dans le sol. *Proc. The Sahel Forum on the State-of-the-Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi-Arid areas of Africa*, Ouagadougou Nov. 1988, p. 315-326.
- MATHIEZ J.P., HUOT G. (1966) — Prospection géophysique et recherches d'eaux souterraines. Exemple d'application en Afrique Occidentale. *Publ. CIEH, Ouagadougou*, 154 p.
- POYET P., DETAY M. (1989) — Hydrolab® — an example of a new generation of compact expert systems. *Computers and Geosciences*, **15**, N° 3, p. 255-267.
- POYET P., DETAY M. (1989) — Hydrolab® un système expert de poche en hydraulique villageoise, *Techniques et Sciences Informatiques*, **8**, n° 2, pp. 157-167.
- POYET P., DETAY M. (1988) — Aide à l'implantation d'ouvrages d'hydraulique villageoise, *Proceedings of the Eighth International Workshop Expert System and Their Applications - Avignon, France, May 30 - June 3. General Conference*, Vol. **2**, pp. 397-410.
- POYET P., DETAY M. (1989) — Hydrolab a New Generation of Compact Expert Systems for Village Water Supply. *Proc. 28th International Geological Congress, Washington DC, July 9-19, Abstracts*, Vol. **3**, pp. 497-498.
- POYET P., DETAY M. (1989) — Enjeux Sociaux et Industriels de l'Intelligence Artificielle en Hydraulique Villageoise. Convention I.A. 1989, *Proc. Première Conférence et Exposition Européenne sur les Techniques et les Applications de l'Intelligence Artificielle en milieu Industriel*, Editions Scientifiques et Techniques Her-mes, Vol. **2**, pp. 621-652.
- POYET P., DETAY M. (1988) — L'Avènement d'une Génération de Systèmes Experts de Terrain. *Proceedings of the Sahel Forum on the State-of-the-Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi Arid Areas of Africa*, 7 au 12 Novembre, Ouagadougou, Burkina Faso. Water Resources Association Ed., Illinois, p. 567-577.
- POYET P., DETAY M. (1988) — Hydroexpert® - Un système expert d'aide à l'implantation de forages en hydraulique villageoise - Manuel d'introduction et de référence, *Rapport de Recherche INRIA* **936**, 38 p.

- SCANVIC J.Y. (1982) — Perspectives d'application géologique de la télédétection thermique spatiale. Les enseignements de l'expérimentation H.C.M.M. sur la France. *Géochronique*, **3**, 1982.
- WALTON W. (1970) — *Groundwater resource evaluation*. McGraw-Hill, 664 p.

Pompage d'essai

- CASSAN M. (1986) — Aide mémoire d'hydraulique souterraine. *Presses des Ponts et Chaussées*. 190 p.
- BURGEAP (1982) — Essais de débit simplifiés sur puits. *Publ. CIEH*, Ouagadougou, Sér. Hydrogéologie.
- BURGEAP (1988) — Essais de débit simplifiés sur forages d'hydraulique villageoise. *Pub. CIEH*, Ouagadougou, Sér. Hydraulique villageoise.
- CIEH, BURGEAP (1983) — *Forage d'eau, Matériel et techniques mis en oeuvre en Afrique Centrale et de l'Ouest*. Min. Rel. Ext., Paris, 273 p.
- DETAY M. (1993) — *Le forage d'eau, réalisation, entretien, réhabilitation*. Masson Ed., 400 p.
- EMSELLEM Y. (1964) — L'interprétation des essais de débit dans les aquifères hétérogènes, *Annales des Mines*.
- EMSELLEM Y. — Les transferts de pression entre nappes et la drainance dans les ensembles aquifères hétérogènes, *Chronique hydrogéologique* 11, 131-152 (1967).
- EMSELLEM Y. (1965) — L'interprétation des essais de débit des nappes souterraines par la méthode d'identification, *Annales des Mines*, **6**, 375-380.
- EMSELLEM Y., JAIN C., LAGARDE A., CHAUMET P. (1967) — Interprétation des essais de pompage dans les aquifères multistrates, *Chronique d'hydrogéologie*, **12**, 19-29.
- FORKASIEWICZ J. (1969) — Interprétation des données des pompages d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères - Aide mémoire, *Doc. BRGM 69 SGL 293 HYD*.
- FORKASIEWICZ J. (1967) — Principales méthodes d'interprétation des données de pompages d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères (milieu poreux), *Doc. CEFIGRE*, 44 p.
- FORKASIEWICZ J., MARGAT J. (1966) — La drainance et les communications entre couches aquifères - notions générales, *Doc. BRGM DS.66.A110*, 26 p.
- FORKASIEWICZ J., MARGAT J. — Estimation du débit spécifique relatif par essais de puits de courte durée, *Doc. BRGM DS.66.A120*, 10 p. (1966).
- GRINGARTEN A.C., BERTRAND L. (1978) — Détermination des caractéristiques hydrauliques des aquifères fissurés par pompage d'essai en régime transitoire. Application aux nappes de la craie. *Rap. BRGM*, 78 SGN 669 GEG.
- GRINGARTEN A.C., WITHERSPOON P.A. (1972) — A method of analyzing pump test data from fractured aquifers. Proceed. of the symp. on the percolation through fissured rocks. *International Society for Rock Mechanics*, Stuttgart 1972.
- LEBLANC Ph. (1987) — Utilisation des données de pompages d'essai pour la connaissance de la structure et des propriétés hydrodynamiques des milieux fracturés. Élaboration d'un logiciel d'interprétation. *Thèse Bordeaux 3*.
- THIERY D., VANDENBEUSCH M., VAUBOURG P. (1982) — Interprétation des pompages d'essai en milieu fissuré aquifère. *Rapp. BRGM*, 82 SGN 920 EAU.

Eau et santé

- BREMOND R., PERRODON C. (1979) — Paramètres de la qualité des eaux. *Ministère de l'Environnement*, 259 p.,
- DILUCA C. (1980) — La qualité des eaux dans les États Membres du CIEH. *Bull. CIEH*, **39-40**.
- GAUJOUS D. (1993) — *La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire*. Tech & Doc Lavoisier, 212 p.

- GROEN J., SCHUCHMANN J.P., GEIRNAERT W. (1988) — The relation between the presence of nitrate in Ground water and the housing density of villages in North Western Burkina Faso. *Journ. Afr. Earth Sci.*
- DE JONG S.J., KIKIETTA A. (1980) — Une particularité bien localisée, heureusement — présence d'arsenic en concentration toxique dans un village près de Mogtedo (Haute-Volta). *Bull. CIEH*, **42-43**.
- Journal Officiel (1991) — Hygiène alimentaire. Eaux destinées à la consommation humaine. Brochure n° 1629, 194 p.
- LENOIR F. (1978) — Relation entre la dynamique et la composition chimique d'une nappe d'arène en Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, Vol. X, **2**, p. 209-236.
- LEUSINK.A., TYANO B., (1985) — Observation du niveau de la nappe des eaux souterraines et de sa composition chimique et isotopique en zone de socle cristallin au Burkina-Faso. *Publ. CIEH*, **62**, p. 2-17.
- LOEHNERT E.P. (1981) — Groundwater Quality Aspects of Dug Wells in Southern Nigeria. *Int. Symposium « Quality of Groundwater » Noordwijkerhout, Amsterdam, March.*
- MONJOUR L. (1980) — Eau et problèmes de santé au Sahel. TAP, 12 p.
- MONJOUR L. (1985) — Les maladies d'origine hydrique en zone sahéenne. Impact des forages d'eau potable sur l'état sanitaire de populations rurales au Burkina Faso. *Congrès UADE/AIDE Libreville* 18 p.
- MONJOUR L. (1986) — Les maladies liées à l'eau. *Cours CEFIGRE* 16 p.
- MONJOUR L., HENRY P., GUILLEMEIN F. (1986) — Hydraulique villageoise en Afrique soudano-sahéenne. Problèmes d'actualité et d'avenir. *TSM* **81**, pp. 225-229.

Ouvrages de captages

- BONNET M., ETIENNE H., VAUBOURG P. (1988) — Amélioration de la productivité des ouvrages d'hydraulique villageoise par fracturation hydraulique. Expérimentation. *Proc. the Sahel Forum on the State-of-the-Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi-Arid areas of Africa*, Ouagadougou Nov. 1988, p. 406-416.
- BONNET M., HASSANE A., MILCENT A., PEIROLO J., VAUBOURG P., WALTZ J., ZUNINO C. (1989) — Expérimentation de la fracturation hydraulique sur forages d'eau au Burkina-Faso. *Hydrogéologie*, **4**, p. 271-278.
- BURGEAP (1980) — La construction des puits en Afrique tropicale et «l'investissement humain». *Ministère de la Coopération, Paris*, 191 p.
- BURGEAP (1984 b) — Optimisation économique de la profondeur des forages d'eau dans le socle cristallin. *Hydrogéologie-Géologie de l'ingénieur*, **4**, p. 383-392.
- DETAY M. (1993) — *Le forage d'eau, réalisation, entretien, réhabilitation*. Masson Ed., 400 p.
- DEGALLIER R. (1985) — *Colmatage des puits et forages*, Manuel pratique. BRGM.
- DRISCOLL F.G. (1986) — *Groundwater and wells*. Johnson Division, 1108 p.
- MABILLOT A. (1971) — *Les forages d'eau - guide pratique*. 2e édition. Technique et Documentation, Paris, 237 p.,
- LAUGA R. (1990) — *Pratique du forage d'eau*. Seesam Ed.,

Moyen d'exhaure

- BANQUE MONDIALE (1983) — Projet de pompes à motricité humaine pour l'alimentation en eau rurale. Washington, *PNUD/BM* 90 p.
- BENAMOUR A. (1981) — Hydraulique villageoise et moyen d'exhaure. *Publ. CIEH*, Ouagadougou, 90 p.
- BERNER G. (1981) — Hydraulique villageoise dans le Liptako (Niger). Exécution de 136 forages et mise en place de 110 pompes à motricité humaine. *BRGM*, Réf. 8 AGE 001.
- BRETTE G. (1983) — Les pompes à énergie humaine. *Rapport BRGM* 83 SGN 436 EAU, 135 p.

Entretien et maintenance

- BENAMOUR A. (1985) — Entretien des pompes d'exhaure en hydraulique villageoise, expérience en Afrique au Sud du Sahara. *Congrès UADE/AIDE*, Libreville, 10 p.
- CIEH (1982) — Proposition pour l'entretien des moyens d'exhaure villageois au Niger, 95 p.
- DETAY M. (1993) — *Le forage d'eau, réalisation, entretien, réhabilitation*. Masson Ed., 400 p.
- DILUCA C. (1981) — Situation actuelle et perspectives d'équipement des ouvrages d'hydraulique rurale en Mauritanie. *Publ. CIEH*, Ouagadougou.
- DETAY M., EMSELLEM Y., VERGNET M. (1988) — Hydraulique villageoise et maintenance en Afrique de l'Ouest. *Actes des Communications Scientifiques du Salon Hydroplan 1988*, pp. 283-288 (Français) ; pp. 264-269 (Anglais).

Adduction et distribution d'eau

- DEGREMONT (1989) — *Mémento technique de l'eau*. Tomes 1 et 2. Lavoisier, 1459 p.
- LYONNAISE DES EAUX (1994) — *Le mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement* - Tec et Doc. Ed., 1 262 p.

Études de cas

- BOUKARI M. (1980) — Contribution à l'étude hydrogéologique des régions de socle de l'Afrique occidentale — Mise au point des connaissances relatives à la République Populaire du Bénin. *Mém. D.E.A., Univ. Dakar*, N° 4, Nouv. Sér., 84 p.
- BOUKARI M., GUIRAUD R. (1985) — L'hydrologie des régions de socle de l'Afrique intertropicale — l'exemple de Dassa-Zoumé (Bénin méridional). *Jo. African Earth Sci.*, **3**, N° 4, p. 491-503.
- BOURGEOIS M. (1976 et 1979) — Carte de planification des ressources en eau des pays membres du CIEH, Vol. I, II et III, *BRGM, Publ. CIEH*, Ouagadougou.
- BOURGEOIS M. (1980-81) — Cartes de planification des ressources en eau de Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo, du Bénin et du Cameroun. *Bull. BRGM*, deuxième série, 4, 1 980-81, section III.
- BRGM (1967) — Étude géochimique des eaux souterraines de l'Afrique de l'Ouest (HauteVolta). *BRGM-CIEH*, DAK 67 AI 2.
- BRGM (1967) — Étude géochimique des eaux souterraines de l'Afrique de l'Ouest. Régions à faciès éruptifs et métamorphiques de la Haute-Volta et de la Côte d'Ivoire. *BRGM-CIEH*, DAK 67 A12.
- BRGM (1980-81) — Hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest. *Bull. BRGM*, **4**, 2e série, section III, Orléans.
- BRGM-Aquater (1986) — La recharge naturelle des aquifères de socle sous climats Sahélien et Soudanien. Etude expérimentale au Burkina-Faso. *Rapport BRGM 86.BFA 177 EAU*.
- BRGM-CIEH (1972) — Étude du ruissellement et de l'infiltration sur un bassin versant de zone de savane (Korhogo-Côte d'Ivoire). *Publ. CIEH*, série Hydrogéologie.
- BRGM-CIEH (1976) — Notice explicative de la carte de planification des ressources en eau souterraine de l'Afrique soudano-sahélienne.
- BURGEAP (1966) — Synthèse hydrogéologique et aménagement hydraulique du Sud-Est mauritanien. Tomes I et 11.
- BURGEAP (1976) — Étude comparative des avantages respectifs des puits et forages dans les régions à substratum cristallin d'Afrique de l'Ouest. *Publ. CIEH*, Ouagadougou.
- BURGEAP (1979) — Projet de développement des régions cotonnières de Côte d'Ivoire. Études d'implantation et surveillance des travaux de 570 points d'eau. DCH, Abidjan.
- BURGEAP (1980) — La campagne d'hydraulique villageoise du « *Projet Coton* ». Méthodologie et résultats. *Jour. tech. CIEH*, Bamako, 1980.
- CEAO (1982) — Réalisation d'un programme d'hydraulique villageoise et pastorale au Sénégal. Vol. 1, 82 AGE 035.
- CIEH — Étude des moyens de production de pluie provoquée. Expérimentation en Haute-Volta ; années 1974-75-76. Ouagadougou, CIEH. 82 p. + annexes.

- DETAY M., DOUTAMBAYE C. (1989) — Hydrogéologie statistique du socle précambrien de la République Centrafricaine : Principaux résultats du Programme d'Hydraulique Villageoise en Zone Cotonnière. *Bull. du CIEH*, **76**, pp. 13-24.
- FAHY J.C. (1979) — Hydraulique villageoise en Côte d'Ivoire. *Bull. CIEH*, **37-38**, juin-septembre 1979, p. 1-13.
- GEOHYDRAULIQUE (1980) — Évaluation du programme hydraulique villageoise 2e FED. Enquête hydrologique. *Rapp. d'étude. Arch. D.H. Cotonou*.
- GEOLAB — Analyse et synthèse à l'échelle des sept états membres de la Communauté Economique de l'Afrique de l'Ouest (CEAO) : Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal. Étude de la politique en hydraulique villageoise et pastorale et informatisation de la gestion des points d'eau.
- GEOLAB — Programme d'hydraulique villageoise en République Centrafricaine. Études et réalisation de 40 forages pour le compte du Ministère du Développement Rural et de l'Agence de Développement de la zone Cafetière.
- GEOLAB — Programme d'hydraulique villageoise pour la Mission d'Étude et d'Aménagement de la Vallée Supérieure de la Bénoué : 50 forages et supervision des travaux. 1985 - 1986.
- GEOLAB — Alimentation en eau de 50 centres secondaires au Cameroun. Ministère du Plan - Financé par Fonds de Coopération Hollandais.
- GEOLAB — Étude de faisabilité du Canal de Cayor en groupement avec le BCEOM (chef de file), Electroconsult, la Société des Eaux de Marseille.
- GEOLAB — Étude de la nappe pliocène pour l'alimentation en eau de la réserve de Waza (Cameroun). Réalisation de forages profonds.
- GEOLAB — Programme d'urgence d'hydraulique villageoise dans les Provinces du Nord, de l'Extrême Nord et de l'Adamaoua (Cameroun). Programme de 1 000 forages. Rapport final.
- GEOLAB — Chef de mission auprès de la Mission d'Étude et d'Aménagement de la Vallée Supérieure de la Bénoué (MEAVSB Cameroun) : 100 forages. Rapport final. Financement FED.
- GEOMINES (1975) — Recherches hydrogéologiques dans les cercles de San et Tominian. Rapp. de fin d'étude et travaux, DHE, Mali.
- GILL H.E. (1969) — A ground water reconnaissance of the Republic of Ghana with a description of geohydrologic provinces. U.S. Geological Survey, Water-supply paper 1757-K.
- GUIRAUD R. (1980) — Projet de gestion de ressources en eau dans la région du Brakna Oriental et de l'Aftout (Rép. Islamique de Mauritanie). UNESCO - Paris, Rapp. int.
- HASSANE A. (1982) — Planification des eaux dans les pays membres du CIEH. Publ. CIEH, Ouagadougou.
- HYDROGEO (1971) — Recherches hydrogéologiques dans le Nord de la Haute-Volta. Rapport D.H.E.
- IBISCUS, HUMBAIRE B., PETER D., PRUDHOMME P. (1989) — Hydraulique villageoise et ressources en eau souterraine. Afrique occidentale et centrale. Analyses bibliographiques. *Min. Coop. et Dév. édit.*, Paris, 331 p.
- IDC (1979) — 3000 Well Drilling programme in southern and central Ghana, phase 1. GWSC, Accra.
- IWACO. B.V. (1979-80) — *Études hydrogéologiques*. Vol. I, II, III et IV. AVV, Ouagadougou, Arch. CIEH.
- LEGOUPIL J.C., LELANDAIS F., SABATIER J.L. (1987) — Une opportunité de développement rural à partir de la petite hydraulique agricole en zone de socle. *Agritrop*, **1**, vol. II, p. 87-94.
- LEMOINE J., VAILLEUX Y. (1975) — Données sur la valorisation des eaux souterraines sur le territoire voltaïque. BURGEAP, 122 p.
- MARTIN J., THIERY D. (1987) — Analyse d'une longue série piézométrique au Burkina Faso. Étude de la variabilité climatique. *Hydrogéologie*, **2**, BRGM Orléans, p. 137-145.
- MULLER I., BIELER G., BURRI M. (1988) — Rapport de mission de prospection hydrogéologique intégrée dans la plaine du Gondo (République du Mali). *Publ. Univ. Neuchâtel* (Suisse).
- NATIONS UNIES (1987) — *Les eaux souterraines de l'Afrique septentrionale et occidentale*. Ressources naturelles/Série Eau, n° 18, New York, 415 p.

- OLIVRY J.C. (1989) — Hydrologie de l'archipel du Cap-Vert. Étude de l'île de Sao Nicolau. Etudes et Thèses, Ed. ORSTOM, 311 p.
- PNUD (1989) — Schéma directeur de mise en valeur des ressources en eau du Mali. Rapport Projet ML1/84/005, Minist. Industrie-Hydraul.-Energie/PNUD, Déc. 1989.
- SOURISSEAU B. (1981) — Hydraulique villageoise dans le département du Sahel (Haute-Volta). Rapport final. Rép. de Haute-Volta - BRGM, août 1981.
- TAHO A. (1976) — Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin de la Volta Blanche - étude du grand bassin versant de la Nouako (Haute-Volta). Thèse 3e cycle, USTL Montpellier, 85 p.
- THIERY D. (1981) — Analyse statistique des conditions de succès des forages réalisés en région de socle fissuré. Application au Togo. Rapport BRGM, 81 SGN 674 EAU, 80 p. et Annexes.
- UNICEF (1981) — Projet d'hydraulique villageoise UNICEF/BIRD/BENIN. Rapp. 1980-81 DH., Cotonou.
- WARDROP W.L., ASS. (1980) — Ghana Upper Region (CIDA) Water Supply. Project. Final Hydrogeological Report for drilling Program. 1974-1979. GWSC-CIDA, Accra.
- ZAMBELONGO M. (1982) — Hydraulique villageoise, région de la Volta Noire. Interprétation de l'imagerie Landsat et des photographies aériennes. Publ. CRTO, Ouagadougou.

Comment faire 80% de forages positifs ?

Seulement Forafrique, Arlab, Geolab et Foraco ont réalisé des forages en garantie totale. Pour cela, il n'y a pas cinquante solutions : il faut l'expérience et le travail de terrain. Les outils sont la photo aérienne pour localiser les fractures du socle, la profondeur des puits et la géophysique. Là où le réseau de fracture est dense les chances d'avoir de l'eau sont accrues. Il faut aussi de l'épaisseur d'altération pour alimenter le réseau de fractures. Et, pour compléter, la géophysique permet de préciser la profondeur des forages à réaliser. Avant d'aller sur le terrain, on travaille sur les photos aériennes. De préférence à deux.

Lorsque l'on a une liste de villages à approvisionner, chaque site est étudié, d'abord dans le village puis, si le village n'est pas favorable, on élargit aux alentours.

Ensuite on classe les sites par ordre de préférence. Les premiers sont à probabilité élevée c'est-à-dire très favorables, puis favorables, moyens, médiocre et mauvais. Les sites sont classés selon ces probabilités.

Et la campagne de forage commence par le paquet des plus gros village ayant un site très favorables puis, quand un matelas de forages positif est constitué, on se tourne vers les plus gros villages non favorables, ce qui baisse le résultat et si l'on descend en dessous de 80% on reprend des sites très favorables. C'est ainsi que pendant cinq ans sur des milliers de forages le taux de réussite de 80 % était devenu un outil de gestion et pas un simple espoir.

Une fois terminée la troisième campagne, Michel conclut : « *quand tu nous as dit que nous nous étions engagé à faire 80 % de forages positifs on a cru que tu étais fou, et puis on l'a fait* »

© 2015 Schematics Limited Hong Kong

© Yves Emsellem, Michel Detay, Didier Gaujous.
Photographies © André Benamour

All rights reserved.

ISBN 978-988-13087-0-2