

824 MR94

Ministère de l'Énergie

Direction de l'Hydroélectricité



Colloque international

Eau, Environnement, Développement.



Nouakchott 20 — 22 mars 1994

824-MR-13544

Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie
Direction de l'Hydraulique



Colloque international

Eau, Environnement, Développement.

BARCODE 13544
824 MR94

Nouakchott 20 - 22 mars 1994



AVANT-PROPOS

Ce colloque a été organisé par la Direction de l'Hydraulique et l'Institut des Relations Inter universitaires avec la Mauritanie (IRIM) de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, plus précisément

- pour l'IRIM,	Monsieur le Professeur Raoul Caruba	Directeur
- pour la Direction de l'Hydraulique,	Messieurs,	
	Ely Ould El Hadj	Directeur
	El Houssein Ould Jiddou	Directeur Adjoint
	Amadou Bocoum	Conseiller Technique
	Jean Le Priol	Conseiller Technique

Ont contribué financièrement :

- la Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle
- le PNUD
- la SONELEC
- la SOMOGAZ
- le PRS (Projet Régional Solaire)
- la FCM (Fédération des Consultants Mauritaniens)
- le Projet Éohen "Alizés"
- le Parc National du Banc d'Arguin
- World Vision Mauritanie

Les publications insérées dans ces actes sont sous la seule responsabilité de leurs auteurs

*Présentation du colloque par Monsieur Ely Ould El Hadj
Directeur de l'Hydraulique*

A l'occasion de la journée mondiale de l'eau le 22 Mars 1994, le Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie envisage d'organiser un colloque sur les problèmes et les perspectives de développement du secteur de l'eau en Mauritanie en collaboration avec le CILSS et d'autres partenaires dans le domaine.

Au début de la décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement un séminaire national a été organisé en 1983 avec le concours et la participation effective et appréciable de l'OMS et du PNUD.

Les recommandations de ce séminaire avaient permis la définition d'une stratégie de développement du secteur et l'élaboration d'un programme d'action décennal.

Dix ans après ce forum le département de l'Hydraulique se propose de dresser un bilan, d'évaluer les acquis, de définir les contraintes du secteur de suggérer des solutions et enfin d'établir un plan directeur national d'aménagement et d'utilisation des eaux afin de mieux réglementer l'exploitation des ressources en eaux et de rationaliser les investissements.

Le colloque proposé aura donc pour objectifs, d'analyser la situation du secteur et de formuler des recommandations applicables à courts termes pour l'amélioration du contexte actuel.

Participeront à cette réunion de concertation, les services techniques nationaux concernés, les usagers, l'administration territoriale et les partenaires extérieures au développement (FAC, CFD, PNUD, OMS, Uncef, FAO, CEE, ONG, etc.)

Le colloque sera axé essentiellement sur les thèmes suivants :

- 1 - Eaux météoriques et eaux de surface
- 2 - Eaux souterraines
- 3 - Systèmes de gestion de l'eau
- 4 - Exploitation et maintenance des réseaux d'AEP en milieu rural
- 5 - Intervention de l'Etat et des collectivités dans le financement du secteur
- 6 - Ressources en eau, environnement et développement en milieu rural
- 7 - L'eau et la santé.

**EAU, DEVELOPPEMENT, ENVIRONNEMENT ;
trois concepts fondamentaux pour la Mauritanie.**

En effet, de toutes parts, dans l'immensité de ce Pays, les Hommes traquent le précieux liquide : dans les profondeurs de l'écorce terrestre, dans les sources parcimonieuses, sur les pentes rarement ruisselantes, dans le fleuve, dans l'océan.

La qualité de ces eaux ne répond pas toujours aux exigences des utilisateurs : les eaux saumâtres jouxtent les eaux douces, les eaux turbides se mêlent aux eaux limpides et la pollution menace à tout instant leur pureté. Ici, tout devient donc combat pour la sauvegarde hydrique du pays.

Les Hommes de Mauritanie en général, et les décideurs de ce pays en particulier, transforment l'eau, très souvent rarissime, en un vecteur de développement humain au service de l'individu et de son environnement.

Conscients de l'enjeu fondamental que représente l'eau dans cette partie du monde, à l'aube du troisième millénaire, tant pour l'émergence des économies que pour le développement des Hommes, le Ministère Mauritanien de l'Hydraulique, la Direction de l'Hydraulique et l'Institut des Relations Interuniversitaires avec la Mauritanie (IRIM) de l'Université de Nice, ont décidé de rassembler en un colloque international, les spécialistes de l'eau et plus particulièrement ceux qui connaissent les spécificités mauritaniennes dans ce domaine.

Un tel colloque aspire à :

- faire le point des dernières connaissances ;
- confronter et conforter les diverses approches scientifiques ;
- tirer un ensemble de concepts scientifiques et économiques forts, qui permettront aux décideurs de confirmer et orienter la politique de l'Eau.

Les recommandations émanant des conclusions de ce colloque semblent fondamentales pour la maîtrise de l'eau en Mauritanie. Dans cette perspective, toutes les volontés, nationales et internationales, pourront s'unir pour la réussite de cet ambitieux mais réaliste et nécessaire programme.

Que ce colloque, rassembleur et focalisateur de toutes les connaissances et de toutes les volontés, puisse n'être qu'une impulsion supplémentaire vers la maîtrise de l'Eau, du Développement qu'elle engendre et de l'Environnement qu'elle protège, en Mauritanie

Professeur R. Caruba

Discours d'ouverture de Monsieur Mohamed Lemine Ould Ahmed
Ministre de l'Hydraulique et de l'Energie
du 20 mars 1994.

- Messieurs les Ministres
- Monsieur le Commissaire à la Sécurité Alimentaire
- Messieurs les Ambassadeurs et Chefs de Missions Diplomatiques
- Messieurs les Représentants des Organisations Internationales
- Mesdames, Messieurs

C'est pour moi un insigne honneur de présider à l'ouverture du colloque sur l'Eau, l'Environnement et le Développement dont l'organisation entre dans le cadre des festivités commémoratives de la Journée Mondiale de l'Eau instituée par la communauté internationale lors du Sommet Planète Terre qui s'est tenu à Rio de Janeiro en juin 92. Comme vous le savez, la tenue de ce Sommet a constitué un jalon important dans la prise de conscience à l'échelle planétaire des défis majeurs de notre temps que représentent les graves menaces qui pèsent sur les équilibres vitaux de l'écosystème et qui sont principalement le résultat de modèles de développement qui intègrent rarement la dimension environnementale des problèmes.

Devant ces menaces qui pèsent sur le devenir de l'humanité et qui hypothèquent dangereusement l'avenir des générations futures, la communauté internationale se doit de faire preuve de lucidité et d'esprit de solidarité afin de jeter les bases d'un équilibre durable entre l'environnement et le développement.

Parmi les nombreux problèmes posés dans ce domaine, l'Eau occupe une place centrale non seulement parce qu'elle conditionne toute vie sur cette terre mais aussi en raison de ses multiples interactions avec les autres problèmes de l'environnement.

Les réserves mondiales en eau donc sont en constante diminution au regard de la forte croissance démographique et des études prospectives alarmistes annoncent déjà des pénuries d'eau pour le tiers de la populations mondiale à l'horizon 2025 ; cette distorsion entre des besoins de plus en plus grands et des ressources de plus en plus limitées risque d'engendrer des conflits dont les prémisses sont déjà perceptibles ; et il ne fait aucun doute que l'eau représentera l'un des principaux enjeux du 21^e siècle.

Mais dans la problématique de l'Eau, il y a également les aspects qualitatifs, qui là aussi sont en constante dégradation sous l'effet des pollutions dont les sources sont de plus en plus dangereuses et variées avec le rythme effréné de l'urbanisation et de l'industrialisation

Il y a enfin les problèmes d'accessibilité de l'Eau dont le coût élevé constitue souvent un obstacle majeur pour les catégories sociales les plus démunies notamment dans les pays en développement.

Dans ce cadre, il importe de signaler que notre pays est particulièrement pénalisé en raison de la sécheresse consécutive au déficit pluviométrique chronique depuis plus de deux décennies et de l'avancée spectaculaire du désert dont la conjugaison a conduit à l'assèchement de la plupart des puits traditionnels et des mares accentuant ainsi considérablement les problèmes d'approvisionnement en eau des populations et de leur cheptel.

C'est dire combien la commémoration de la Journée Mondiale de l'Eau revêt pour notre pays une signification particulière et c'est pourquoi nous avons voulu la célébrer cette année en vous réunissant, Messieurs les experts, afin que vous puissiez réfléchir ensemble et échanger vos expériences sur des problèmes aussi vitaux pour nous que l'Eau, l'Environnement et le Développement

Vous aurez à aborder la problématique de l'Eau dans ses différentes dimensions : dimensions technique et technologique, dimensions économique et sociale, dimension écologique. Vous aurez ainsi à traiter des problèmes de la connaissance des ressources en eau, de leur exploitation et de leur gestion, de la place qu'elles occupent dans le développement.

La présence parmi vous d'experts nationaux et internationaux de haut niveau provenant des horizons les plus divers (universitaires, bureaux-études, entreprises, services techniques nationaux, ONG, etc) couvrant les différentes disciplines et spécialités en rapport avec le thème du colloque augure de la richesse et de la qualité de vos travaux.

Mesdames, Messieurs, permettez moi avant de terminer de remercier les représentants des organismes publics et parapublics et des bureaux d'études qui ont fait le déplacement pour enrichir ce colloque et à qui je souhaite la bienvenue dans notre pays.

Mes remerciements vont en particulier à l'Université de Nice et à l'Institut des Relations Inter-universitaires avec la Mauritanie ainsi qu'à la Coopération Française et au programme des Nations-Unies pour le développement pour l'appui et la collaboration appréciables qu'ils ont apportés à l'organisation de ce colloque.

Sur ce, je déclare ouvert le colloque international sur l'Eau, l'Environnement et Développement et je souhaite plein succès à vos travaux.

Je vous remercie

**Discours de clôture de Monsieur Mohamed Lemine Ould Ahmed
Ministre de l'Hydraulique et de l'Energie du 22 mars 1994.**

- Messieurs les Ministres
- Messieurs les Ambassadeurs et Chefs de Missions Diplomatiques
- Messieurs les Représentants des Organisations Internationales
- Mesdames, Messieurs.

Nous célébrons aujourd'hui à l'instar des autres pays du monde la Journée Mondiale de l'Eau qui a été instituée par le Sommet de la Terre tenu en juin 1992 à Rio de Janeiro. Cette décision est venue couronner les efforts et la mobilisation continue de nombreux acteurs politiques et sociaux à travers le monde autour des problèmes de l'eau, de l'environnement et du développement ; c'est ainsi que des dizaines de réunions et de conférences ont été organisées aux niveaux international, régional et local, de la Conférence de Mar Del Plata en 1977 au Sommet de Rio de Janeiro en 1992 en passant par la Conférence de New Delhi ; et c'est dans ce cadre que l'Assemblée Générale des Nations Unies a retenu la décennie des années 80 comme "Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DIEPA)" qui s'est fixée l'objectif généreux et ambitieux de mettre l'eau potable et un système d'assainissement à la portée de tous avant la fin du siècle

Cette mobilisation est le résultat de la prise de conscience grandissante de la communauté internationale de la situation catastrophique dans laquelle se débattent des centaines de millions d'hommes qui n'arrivent toujours pas à satisfaire leurs besoins les plus élémentaires en eau potable et ce malgré plusieurs décennies consécutives d'efforts pour le développement et les milliers de programmes et projets qui ont été consacrés à cette fin. Cette période a vu l'émergence d'une nouvelle approche du développement fondée sur les concepts nouveaux de développement durable, développement intégré, développement à la base. Tous ces concepts traduisent une réalité toute simple, à savoir que la réussite des programmes de développement dépend dans une large mesure du degré d'implication des populations bénéficiaires et de l'adéquation de ces programmes avec les aspirations de ces populations, leurs besoins spécifiques, leur contexte socio-économique et leurs valeurs culturelles. Cette période a été marquée également par le développement des ONG dont l'approche dans la conception des projets et leur exécution est souvent originale et qui s'appuie davantage sur le travail de terrain et le contact direct avec les collectivités bénéficiaires et qui ont grandement contribué à la vulgarisation de ces concepts et à leur approfondissement.

Et s'il apparaît évident aujourd'hui que les objectifs assignés à la DIEPA sont loin d'être atteints, il n'en demeure pas moins qu'elle a permis une mobilisation sans précédent de tous les acteurs autour du problème de l'eau, l'environnement et le développement ; mobilisation qui a conduit à l'élaboration de politiques et de stratégies plus cohérentes avec des objectifs plus réalistes et dans une large mesure à mobiliser les ressources financières nécessaires à l'exécution de ces politiques ; elle a également poussé à la recherche de technologies plus simples et peu coûteuses et de techniques plus performantes pour diminuer les coûts d'approvisionnement en eau ; elle a enfin permis de mettre l'accent dans les programmes de développement sur les problèmes de sensibilisation et de formation. En ce qui concerne notre pays, cette période a coïncidé avec la dégradation des conditions climatiques avec le déficit pluviométrique chronique et l'amplification des problèmes de désertification qui ont engendré un exode rural massif et une urbanisation accélérée et anarchique. Notre pays a pu faire face à cette situation dramatique grâce à l'aide de la communauté internationale et a pu pendant cette courte période franchir des étapes importantes dans l'élaboration de la politique nationale en matière d'alimentation en eau potable de nos populations ; et le Département de l'Hydraulique continue à travailler d'arrache-pied en vue d'atteindre les objectifs fondamentaux de cette politique qui vise à court terme à doter toutes les capitales des Moughataas d'un réseau moderne d'adduction d'eau et à moyen terme à équiper toutes les localités de plus de 150 habitants d'un point d'eau moderne

Et bien que nous ayons remporté des succès importants dans ce domaine avec la réalisation de centaines d'ouvrages, nous continuons à souffrir de nombreuses insuffisances et lacunes qui constituent un handicap pour notre action dont je citerai entre autres les problèmes de connaissance des ressources en eau, de gestion et de maintenance des équipements, de financement de programmes du secteur souvent réalisés sous le sceau de l'urgence. C'est par conscience de l'importance de ces problèmes que nous avons choisi l'occasion de la commémoration de la Journée Mondiale de l'Eau pour les soumettre à la discussion d'un aussi grand nombre de compétences nationales et internationales ; et vous avez ainsi pu aborder l'ensemble de ces problèmes sous leurs différents aspects et nous sommes convaincus que vos avis et vos recommandations nous seront d'une grande utilité.

Je tiens avant de terminer à renouveler mes remerciements aux organismes publics et parapublics, aux bureaux d'études et entreprises et aux ONG pour leur contribution à la réussite de ce colloque ; mes remerciements vont en particulier à l'Université de Nice, à l'Institut des Relations Interuniversitaires avec la Mauritanie, à la Coopération Française et au Programme des Nations Unies pour le Développement

Tout en souhaitant un bon retour à nos honorables hôtes, je déclare clos le colloque sur l'Eau, l'Environnement et le Développement.

Je vous remercie.

LISTE DES PARTICIPANTS

Personnalités officielles ayant participé à l'ouverture du Colloque

Monsieur Mohamed Lemine Ould Ahmed	Ministre de l'Hydraulique et de l'Energie
Monsieur Mohamed Ould Amar	Ministre de la Santé et des Affaires Sociales
Monsieur Sghair M'Bareck	Ministre du développement Rural
Monsieur Boidiel Ould Houmeid	Commissaire à la Sécurité Alimentaire
Monsieur Hadrami Ould Ahmed	Secrétaire Général du Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie
Monsieur M. Raimbaud	S.E. Ambassadeur de France
Monsieur H. Flimm	S.E. Ambassadeur d'Allemagne
Monsieur N Kahala	Représentant Résident Adjoint du PNUD
Monsieur C. Cattin	Directeur de la Caisse Française de Développement
Monsieur J.-P. Destouesse	Chef de la Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle

Participants au Colloque

Abdallahi Ould Nem	Directeur du Centre National d'Hygiène
Abdi Djobo	Direction de l'Hydraulique, Service Maintenance
Aglietta Bernard	G.R.E.T.
Ahmed Ould Brahim	DEAR/MDR
Ahmed Ould Haimoud	SONELEC
Ahmed Ould Mahfoudh	Institut Supérieur Scientifique
Ahmed Ould Mohamed Abdallah	Base Hydraulique Aleg
Ahmed Ould Weddady	Direction Hydraulique
Ahmed Salem Ould Abdallahi	Direction de l'Hydraulique/SEP
Ahmed Yedaly	Société DEYLOUL/RIM
Aïcha Vall Verges	Ministère du Plan
Ainina Ould Eyih	SONELEC
Arnaud Luc	GRET
Bâ Farba	SONELEC
Bâ Samba	GEO-CONSULT
Ba Vall Ould Mahfoudh	SONELEC
Bérard Pierre-Marie	BDPA - SCET - Agri
Blankwaardt Bob	IWACO
Bocar Sada Sy	CILSS/PRS
Bocoum Amadou	Direction de l'Hydraulique
Borgato	Union Européenne
Bourvier Antoine	Compagnie Générale Géophysique/Paris
Bouyagui Ould Abidine	PRS/Mauritanie
Brahim Ould Hmeyada	Sénateur
Camara Fodié	CN/OMVS/MHE
Caruba Raoul	Directeur de l'IRIM Université de Nice
Casteignau Guy	Professeur Université de Limoges
Cazottes François	CT/DEAR/MDRE
Chesneau Alain	A.F.V.P./RIM
Clément Gérard	Compagnie Générale Géophysique Paris
Cova René	Conseil Général DDAF Var/France
Dahid Ould El Ghassem	IMRS
Delfaud Jean	Professeur Université de Pau
Diagana Bassirou	CIEH Ouagadougou
Diallo Mamadou	GEO-CONSULT/RIM
Dibor Kital François	AFVP Sénégal
Diop Tidiane	Direction de l'Hydraulique/SEP
Djibril Sarr	CS/DEAR/MDRE
El Houssein Ould Jiddou	Directeur Adjoint de l'Hydraulique
El Kom Ould Abdalla	SONELEC
Ely Ould El Hadj	Directeur de l'Hydraulique
Emsellem Yves	GEOLAB/ Sophia Antipolis/ France
Fafdal Ould Dadda	D.H./SHU

Fall Houssinou
 Fall Moussa Ahmed
 Fall Yohbe Taleb
 Francillon Philippe
 Frans A. M. Van Putte
 Giannerini Gérard
 Guidot Gilles
 Guisset Alassane Chérif
 Haïmoud Ould Ahmed
 Hamedî Ould Mohamed Lemine
 Hasbani Nabil
 Hoang-Gia Luc
 Icard Pierre
 Ishagh Ould Rajel
 Isselmou Ould Ahmed Nahi
 Jan G. Janssens
 Jenny Jacques
 Koïta Tocka
 Lam Mamadou
 Le Priol Jean
 Leroux Bernard
 Limam Ahmed
 Mairey Gilbert
 Matar Fall
 Md Lemine Ould Aboye O Cheikh Hadrami
 Meilhac André
 Moctar Ould El Hacem
 Mohamed Abdallah Bazeid
 Mohamed Ahmed Ould Baba Ahmed
 Mohamed Aly Cheïka
 Mohamed El Moctar Ould Mohamed
 Mohamed Fadil Bâ
 Mohamed Lemine Limam
 Mohamed Lemine Ould Benahi
 Mohamed Lemine Ould Yahya
 Mohamed Ould Jiddou
 Mohamed Ould Sid'Ahmed Ould Kankou
 Mohamed Ould Tourad
 Mohamed Ould Woyssate
 Mohamed Yeslem Ould El Joud
 Mohamed Yeslem Ould El Vih
 Moulaye Ould Sidati
 Muron Xavier
 N'Dongo Mamoudou
 Oksengorn Simou
 Paolini Olivier
 Piro Jean
 Prat Jean
 Puech Christian
 Rouch Franck
 Saadou Ebih Ould Mohamed El Hacem
 Safaoui Magid
 Salamata Bal
 Samba Thieh
 Sasmayoux J - Pierre
 Séméga Bakari
 Sidi Amed Ould Ahmed
 Sidi Mohamed Ould Taleb Amar
 Sidi Ould Aloueimine
 Sirwardana G.
 Sow Mamadou
 Taleb Khyar Ould Mohamed Bouya
 Vaillant Alain
 Vincent Pierre
 Vuachet Jacques
 Zakaria Mamadou

MDRE
 Direction C E T I.
 Direction de l'Energie
 PRS/Mauritanie
 IWACO
 Institut Supérieur Scientifique
 Mission de Coopération et d'Action Culturelle
 DET/SOMAREM
 Direction de l'Hydraulique/BH Rosso
 Direction de l'Hydraulique/Chef Service SHU
 SAFEGE/France
 ALFA
 Ministère Coopération Française
 OMRG/DG
 PRS
 Banque Mondiale
 Géologie Géophysique/Genève/Suisse
 SONADER
 SONELEC
 Direction de l'Hydraulique/CT
 Direction de l'Hydraulique/SH/CT.
 Ministère du Plan
 Coopération Française Niger
 Banque Mondiale
 Tecnofor SEM
 ANTEA groupe BRGM
 Ministère de l'Intérieur/DAF
 Radio Rurale
 GRET-ALIZES Trarza
 IMRS
 Direction de l'Hydraulique/Chef Service SIH
 B T I /RIM
 C G E M.
 MMI
 PHY/RIM
 Institut Supérieur Scientifique
 Institut Supérieur Scientifique
 Direction de l'Hydraulique/SIH
 Chef de Service Géologie
 Diplômé de 3^e cycle
 GIE Actif
 Directeur de l'Institut Mauritanien de la Recherche Scientif
 CFD
 Institut Supérieur Scientifique
 SNIM Zouérate
 Faculté de Médecine de Nice
 Institut Supérieur Scientifique
 Burgeap
 CEMAGREF/ENGREF/Montpellier France
 SPOT IMAGE Toulouse France
 Direction de l'Hydraulique/SEP
 TROUVAY et CAUVIN
 Banque Mondiale
 Direction de l'Hydraulique/SEP
 Direction de l'Hydraulique/SEP/CT
 Institut Supérieur Scientifique
 CEO II DH
 Direction de l'Hydraulique/Chef Service SMH
 Ministère de la Santé A S
 CNH/Conseiller Technique
 Direction de l'Hydraulique/Bureau Puits
 DSA/Ministère du Plan
 Institut Supérieur Scientifique
 Direction de l'Hydraulique/SEP/Bureau Géophysique
 TROUVAY et CAUVIN
 Direction de l'Hydraulique

LISTE DES ORGANISMES PARTICIPANTS

A.F.V.P./RIM
A.F.V.P./Sénégal
ALFA
ANTEA groupe BRGM
B.T.I.
Banque Mondiale
Base Hydraulique Aleg
BDPA - SCET-Agri
C.C.E
C.G.E.M (Confédération Générale des Employeurs de Mauritanie)
CEMAGREF/ENGREF Montpellier France
CFD (Caisse Française de Développement)
CIEH Ouagadougou
CILSS
CN/OMVS/MHE
Compagnie Générale Géophysique Paris
Conseil Général DDAF Var/France
Coopération Française
DET/SOMAREM
Direction C.E.T.I.
Direction de l'Hydraulique
Direction de l'Energie
DSA/Ministère du Plan
Faculté de Médecine de Nice
FAO
FCM (Fédération des Consultants Mauritaniens)
FNEM (Fédération Nationale des Eleveurs de Mauritanie)
G.R.E.T.
GEO-CONSULT/RIM
GEOLAB Sophia Antipolis/France
Géologie Géophysique/Genève/Suisse
GIE Actif
GRET-ALIZES Trarza
Haut Commissariat à la Sécurité Alimentaire
IDM (Investissement-Développement en Mauritanie)
Institut des Relations Interuniversitaires avec la Mauritanie/Université de Nice (IRIM)
Institut Mauritanien de la Recherche Scientifique (IMRS)
Institut Supérieur Scientifique de Nouakchott (ISS)
IWACO
Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie
Ministère de l'Intérieur/DAF
Ministère de la Santé et des Affaires Sociales
Ministère du Développement Rural
Ministère du Plan
OMRG
PHY/RIM
PRS/Mauritanie
Radio Rurale
SAFEGE/France
SNIM Zouérate
Société DEYLOUL/RIM
SONADER
SONELEC
SPOT IMAGE/Toulouse/France
Tecnofor SEM/RIM
TROUVAY et CAUVIN S A /Le Havre/France
Union Européenne
Université de Limoges
Université de Nice-Sophia Antipolis
Université de Pau
World Vision Mauritanie

THEMES DU COLLOQUE

THEME I : LES RESSOURCES EN EAU : CONNAISSANCE ET GESTION

THEME II : LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES : CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION

THEME III : L'EAU ET LA SANTE

Chacun de ces thèmes comprend un volet formation.

ORGANIGRAMME DU COLLOQUE

Dimanche 20 mars 1994

09 h à 10 h

Ouverture : Discours de M. le Ministre de l'Hydraulique et de l'Energie
Discours de M. le Représentant Résident Adjoint du PNUD
Discours de M. le Représentant du CILSS
Discours de M. le Chef de la Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle
Discours de M. le Directeur de l'Hydraulique
Discours de M. le Directeur de l'IRIM

10h 15 à 11 h

Mise en place du Bureau

11 h à 12 h 30

Communications sur le Thème I :

LES RESSOURCES EN EAU : CONNAISSANCE ET GESTION

Les ressources en eau de la Mauritanie. *El Houssein Ould Jiddou.*

Connaissance et gestion des ressources en eau *Diagana Bassirou.*

Rôle des réservoirs sédimentaires dans l'accumulation des ressources en eau et leur pollution éventuelle. *Delfaud, J.*

Variation des niveaux piézométriques des nappes du sud-est mauritanien : éléments quantitatifs et recherche des causes. *Jenny, J.*

Réflexion sur l'eau et l'environnement au Brakna. *Mohamed Lemne Ould Yahya.*

Débats

15 h à 19 h 00

Communications sur le Thème I (suite)

Les images SPOT; un outil d'aide à la gestion de l'eau. *Rouch, F.*

Plans d'eau sahéliens et imagerie SPOT : inventaire et évaluation des capacités d'exploitation *Puech, P.*

Contribution de la sismique réflexion haute résolution à l'investigation d'acquifères discontinus semi-profonds - cas du bassin de Taza. *Bouvier, A. Chaabi, A. et Guillemot, D.*

Etude comparative de méthodes géophysiques. *Diallo Mamadou.*

Implantation d'ouvrages sur anomalies géophysiques en milieux discontinus : "(A.E.P. de Oualata et de sites pastoraux dans le Tijirit)". *Vincent, P.*

Débats

Lundi 21 mars 1994

09 h à 12 h 30

Communications sur le Thème I (suite)

Collecte, traitement et diffusion des données hydroclimatologiques.

Sarr Djibril .

Systèmes d'Information Géographique, bases de données et gestion des ressources en eau . Application à la Mauritanie.

Emsellem, Y.

Mise en place d'un système informatique de programmation et de suivi de l'hydraulique villageoise.

A. Meilhac, A., S. El Magnouni et Comte, J-P.

Gestion et planification des ressources en eau au Burkina Faso

Schot, P.P. et Blankwaardt, B.

Politique de l'eau.

Ely Ould El Hadj.

Débats

15 h à 19 h 00

Communications sur le Thème II :

**LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES :
CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION**

AEP minimale au Niger.

Mairey, G.

Spécificités et modes de gestion des infrastructures hydrauliques en Mauritanie.

*Hamedi Ould Med Lemine, Med .
El Moctar Ould Mohamed, Sidi
Mohamed Ould Taleb Amar.*

Conception d'infrastructures hydrauliques en milieu rural à partir d'un projet réalisé dans le Guidimakha.

*Med . El Moctar Ould
Mohamed, Mohamed Ould
Tourad, Leroux, B.*

Projet Guidimakha : aspect sensibilisation et gestion.

Prat, J.

Infrastructures hydrauliques de surface.

Guissé, A C.

Réhabilitation et renforcement de l'alimentation en eau de Nouadhibou.

*Brahim Ould Cheikh Abdallahi,
Hasbani, N.*

Alimentation en eau potable de Nouakchott pour le moyen et le long terme.

Hasbani, N.

Approche hydrochimique et hydrogéologique de la Nappe du Trarza : étude du champ captant d'Idini.

*Piro, J., Caruba, R., Brahim Ould
Cheikh Abdallahi.*

Mardi 22 mars 1994

09 h 30 à 13 h 00 Communications sur le Thème II (suite) et sur le Thème III :

**LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES :
CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION****L'EAU ET LA SANTE**

Une opération pilote d'alimentation en eau à faible coût dans un centre secondaire du Bénin.	<i>Chesnau, A et Collignon, B.</i>
L'éolienne de pompage : une solution pour l'hydraulique villageoise	<i>Arnaud, L.</i>
Gestion, productivité des services eau et privatisation.	<i>Casteignau, G.</i>
Foncier et irrigation dans le delta mauritanien	<i>Bérard, M.</i>
Planification et gestion des ressources en eau au Burkina Faso.	<i>Blankwaardt, B.</i>
Qualité de l'eau dans trois villes de Mauritanie : Chinguetti, Nouakchott et Kaédi : conséquences médicales.	<i>Paolini, O.</i>
L'eau à usage domestique à Nouakchott.	<i>Siriwardana, G. et Abdallah Ould Nem</i>
L'eau et la santé.	<i>Md Lemine Ould Aboye Ould Cheikh Hadami</i>

Débats

15 h 00	Suite des débats - Elaboration des rapports de séances
16 h	Séance plénière
	Communiqué final
18 h 30	Discours de clôture

RAPPORT DE LA 1^{ère} SEANCE SUR LE THEME I : RESSOURCES EN EAU : CONNAISSANCE ET GESTION
--

Dimanche 20 mars 1994Composition du Bureau :

Président : **El Houssein Ould/ Jiddou (DHA)**
 Vice Président : **Mohamed Lemine (PHY)**
 Rapporteurs : **Saadou Ebih Ould Md El Hacem (SEP/DH) et Diagana Bassirou (CIEH)**

Dans la matinée du 20 mars 1994, cinq communications abordant ce thème ont été présentées

1. La première communication relative aux ressources en eau en Mauritanie a fait la synthèse des différentes formations hydrogéologiques regroupées en 7 entités hydrogéologiques réparties en deux types d'aquifères qui sont :
 - les aquifères généralisés comprenant le bassin côtier (nappes du Trarza, Bénichab, Boulanouar, le bassin de Taoudeni (nappes de l'Aouker, la nappe du Dhar de Néma, les grés d'Aïoun dans une certaine mesure) et les nappes d'alluvions ;
 - les aquifères discontinus liés à la fracturation comprenant les Mauritanides, la dorsale Reguebatt, les pélices du Hodh, les plateaux du Tagant et de l'Assaba, les formations sédimentaires de l'Adrar, etc.

Cette communication a abordé les caractéristiques de ces aquifères (débits de forages, salinité) et a proposé un certain nombre d'actions à entreprendre en vue d'améliorer les connaissances des ressources en eau souterraine.

2. La deuxième communication porte sur les ressources en eau souterraine et le développement durable en Mauritanie.

Déficits et perspectives

Après avoir présenté les différentes ressources en eau de la Mauritanie et les conditions de pérennité des unes et des autres, il a été abordé la notion de développement durable qui consiste à développer l'ensemble des secteurs socio-économiques à partir des eaux souterraines, sans compromettre la capacité de celles-ci de répondre aux besoins des générations futures.

A cet effet, un accent particulier a été mis sur la nécessité d'établir une adéquation entre les ressources en eau disponible et les besoins exprimés .

3. La troisième communication : "Influence de la nature des réservoirs sédimentaires sur les aquifères" a abordé la problématique des réservoirs aquifères pour 4 types de formation :

- formations sableuses ou à galets ;
- réservoirs carbonatés ;
- grès siliceux ou ferrugineux ;
- sols argilo-sableux ;

tout en faisant apparaître les caractéristiques hydrauliques ainsi engendrées. Les aspects liés à la géochimie et à la pollution ont été développés pour les sols sablo-argileux.

4. La quatrième communication s'intitule : "Variations des niveaux piézométriques des nappes du sud-est Mauritanien".

Il a été fait mention que les fluctuations piézométriques de la nappe sont surtout attribuées à deux phénomènes essentiels :

- déficit pluviométrique ;
- surexploitation

5. La cinquième communication "Réflexion sur l'eau et l'environnement du Brakna" a abordé le cas spécifique d'un développement intégré de la région du Brakna, en présentant :

- les différents types d'aquifères et le biseau sec ;
- concept barrage / puits en milieu fissuré ;
- les barrages et digues flottantes ;
- le pastoralisme dans l'Agan et l'Aouker ;
- la gestion des ressources en eau sur la base des données satellitaires ;
- définition du processus hydrologique ;
- les moyens d'investigation.

A l'issue de la présentation de ces communications, un débat très riche et fructueux a suivi. Les recommandations suivantes ont été retenues

- 1) Poursuivre des études complémentaires visant à améliorer la connaissance des ressources par l'acquisition de couvertures photographiques aériennes récentes, l'inventaire et la collecte des données sur les eaux souterraines et la mise en place d'un système d'information géographique.
- 2) Assurer une gestion optimale des ressources basée d'une part sur l'exploitation durable de la composante renouvelable des réserves en eau et d'autre part sur le suivi piézométrique des nappes.
- 3) Considérer les aspects pétrographiques pour la caractérisation des réservoirs sédimentaires
- 4) Faciliter la circulation de l'information sur l'eau entre les différents intervenants dans le domaine.
- 5) Situer l'exécution des programmes d'hydraulique villageoise et pastorale dans le cadre général d'une meilleure connaissance des ressources en eau souterraine.

RAPPORT DE LA 2^{ème} SEANCE
SUR LE THEME I (suite) :
RESSOURCES EN EAU · CONNAISSANCE ET GESTION

Dimanche 20 mars 1994

Composition du Bureau :

Président : **Ely Ould El Hadj (DH)**
Vice Président : **Mohamed Lemine Ould Limame (FORIM)**
Rapporteurs : **Md El Moctar Ould Md (SIH/DH) et Raoul Caruba (IRIM)**

La seconde séance plénière du 20 mars 1994 a débuté à 16 H 30 sous la présidence du Directeur de l'Hydraulique assisté d'un vice président et de deux rapporteurs.

Les communications présentées par les intervenants ont abordé les sujets relatifs aux deux thèmes suivants :

- l'imagerie satellite comme outil de gestion de l'eau ,
- l'implantation d'ouvrages par les méthodes géophysiques

Les communications relatives au premier sujet ont été présentées par :

- F. Rouch (Spot Image) sur le thème "Image satellite, outil de gestion de l'eau"

L'intervenant a illustré par des exemples l'apport de l'imagerie satellite dans le domaine des eaux souterraines particulièrement dans l'étude de perméabilité des sols, des dépôts sédimentaires, de l'alimentation et de la réalimentation des nappes et dans la localisation des fracturations.

- G. Puech (CEMAGREF/ENGREF, Montpellier) sur le thème "Plan d'eau sahélien en imagerie satellite"

L'intervenant montre les utilisations de l'outil SPOT dans la résolution des problèmes hydrauliques et le rôle qu'elle peut avoir dans les domaines de :

- la recherche des eaux souterraines ;
- la gestion des périmètre irrigués ;
- l'implantation des barrages.

Dans le domaine agricole, elle permet de renseigner sur :

- le prélèvement sauvage ;
- la mauvaise répartition de l'eau ;
- la connaissance des surfaces irriguées.

Les débats ont montré la nécessité pour notre pays de disposer de photos satellitaires pour la recherche et la gestion de l'eau. Notons que l'Université de Nice a fait part de l'élaboration d'un projet pour l'acquisition de couverture satellitaire et l'installation d'une banque de données et d'un matériel de traitement des images satellites.

Les communications relatives au second sujet ont été présentées par :

- Bouvier Antoine (C.G.G.) sur le thème "Contribution de la sismique réflexion haute résolution"

L'intervenant a montré par des exemples d'études au Maroc que la méthode sismique haute résolution a permis de détecter des anomalies à moyenne et grande profondeur ; jamais appliquée en Mauritanie pour la recherche d'aquifères profonds.

- Diallo (Géoconsult) sur le thème "Etude comparative des méthodes géophysiques"

L'intervenant a essayé de comparer la méthode électromagnétique (EM³⁴) à la méthode électrique, tout en montrant l'avantage de cette méthode.

- Vincent Pierre (Direction de l'Hydraulique) sur le thème "Implantations d'ouvrages sur anomalies géophysiques"

L'intervenant a montré que l'efficacité des études géophysiques dépend de la démarche poursuivie et a illustré cette réflexion par des exemples d'études à Oualata et dans le Tijirt.

Il ressort de ces communications la nécessité d'utiliser la géophysique pour les premières investigations associées à des méthodes complémentaires telles que : des méthodes électromagnétiques et magnétiques. Pour la détection des anomalies conductrices qui déterminent l'implantation d'ouvrages en Mauritanie, on doit passer par l'exécution des méthodes électriques qui ont toujours donné des résultats satisfaisants.

Ces riches communications ont montré à l'assistance très nombreuse l'efficacité et la diversité des méthodes géophysiques dont dispose l'hydrogéologue.

RAPPORT DE LA 3^{ème} SEANCE
SUR LE THEME I (suite) :
RESSOURCES EN EAU CONNAISSANCE ET GESTION

Lundi 21 mars 1994

Composition du Bureau :

Président : **Fall Houssein (MDRE)**

Vice Président : **Y. Emsellem (GEOLAB)**

Rapporteurs : **J. Le Priol (DH) et J.-P. Sasmayoux (DH)**

Quatre communications ont été présentées le 21 mars 1994 dans la matinée :

- "Mise en place, organisation des réseaux de collecte, traitement et diffusion des données sur les ressources en eau de surface" ;
- "Système informatisé de traitement des données pour la gestion des ressources en eau et la programmation hydraulique" ;
- "Système informatique de programmation et de suivi de l'hydraulique villageoise et pastorale"
- "Politique de l'eau".

1. Communication de Monsieur Djibril SARR (DEAR/MDRE)

"Mise en place, organisation des réseaux de collecte, traitement et diffusion des données sur les ressources en eau de surface"

L'intervenant a abordé les différents points suivants :

a) collecte des données :

- données climatologiques :

Le nombre de stations climatologiques est de 108 dont environ 80% sont réparties sur le 1/3 sud du pays.

- données hydrologiques :

Elles présentent d'importantes lacunes sur la connaissance du ruissellement, notamment pour les affluents du fleuve Sénégal. D'une manière générale, les données sont insuffisantes et mal contrôlées, donc peu fiables.

b) traitement manuel et informatique des données :

L'intervenant fait ressortir l'erreur d'une informatisation non contrôlée qui a vu la mise en place de logiciels successifs, non compatibles et mal adaptés obligeant à reprendre à chaque nouvelle expérience la totalité de la saisie.

Il souligne aussi le problème important posé par le manque de liaison entre les 2 logiciels de l'ORSTOM, Hydrom et Pluvium, gérant les données.

Depuis 1988, le processus de gestion des données est interrompu. En conclusion, il constate que l'activité hydrologique, bien que nécessaire à la gestion des ressources en eau, considérée comme non rentable, est délaissée au profit de la recherche et de la mise en valeur des eaux souterraines.

2. Communication de Monsieur Yves EMSELLEM (Géolab)

"Système informatisé de traitement des données pour la gestion des ressources en eau et la programmation hydraulique"

L'intervenant insiste sur la stratégie à mettre en oeuvre pour la maîtrise des données de base et la gestion des ressources en eau de surface et souterraines :

a) gestion des données de base :

Seuls les systèmes informatisés non fermés et pouvant communiquer avec l'extérieur sont à promouvoir ; des ponts avec toutes les sources d'informations disponibles doivent être mis en place.

Les systèmes d'information doivent être chrono-géographiques (historiques des données).

Tous les modules internes au système de gestion doivent être communicants les uns avec les autres.

b) gestion de la ressource en eau

Les modèles de simulation utilisés doivent permettre de gérer l'ensemble des ressources

Les programmes doivent être évolutifs et non protégés vis à vis de l'utilisateur qui doit disposer des programmes sources

L'aspect formation est fondamental pour pérenniser le système mis en place.

3. Communication de Monsieur A. MEILHAC (BRGM)

"Système informatique de programmation et de suivi de l'hydraulique villageoise et pastorale"

L'intervenant présente le système informatique de suivi de l'hydraulique villageoise et pastorale (Progrès) mis au point

avec BURGEAP en insistant tout d'abord sur la démarche adoptée pour la conception du système puis en présentant le produit.

Le système d'information géographique présenté doit être un moyen de dialogue entre les différents acteurs de la programmation :

- responsables politiques (décideurs) ;
- techniciens (Direction de l'Hydraulique) ;
- bailleurs de fond ;

et doit permettre d'arriver à une connaissance claire des besoins et ressources permettant de hiérarchiser les actions à réaliser et d'assurer le suivi des travaux

4. Communication de Monsieur ELY OULD EL HADI (Directeur de l'Hydraulique) *"Politique de l'eau"*

Le Directeur résume le contenu de son exposé qui traitera :

- des normes appliquées ;
- de la stratégie retenue ;
- de la politique de standardisation des équipements ;
- de la politique de gestion et de maintenance.

L'intervenant justifie le découpage du territoire en 7 Unités Programmes qui intègrent essentiellement les éléments hydrogéologiques, socio-économiques et les types d'équipements, et qui ont été pris en compte dans l'établissement du Programme d'Investissement Quinquennal (1992-1996).

Il a ensuite fait le bilan des programmes d'hydraulique villageoise et pastorale réalisés (1 500 points d'eau dont 800 forages équipés), des prévisions d'exécution (400) dans le cadre du Programme d'Action (1992-1994) dont le nombre pourrait être doublé à la faveur de l'exécution de nombreux projets.

Il a ensuite insisté sur le problème important de la maintenance des moyens d'exhaure et de la standardisation des matériels.

En ce qui concerne la gestion des systèmes motorisés et des mini AEP, on s'oriente vers une privatisation progressive devant prendre le relais de l'Administration dans un cadre juridique déjà existant (Décret de Novembre 1993 portant "Définition des conditions d'exploitation et de gestion des équipements d'approvisionnement en eau potable").

Le problème est plus délicat pour la maintenance des systèmes à motricité humaine de faible rendement pour lesquels sont déterminants :

- la participation des bénéficiaires (caisse villageoise) ;
- la création d'un savoir-faire local (artisans réparateurs) ;
- la mise en place d'un service après-vente (pièces détachées) ;

Pour ce qui est de la standardisation des matériels, elle est rendue très difficile du fait de la dépendance vis à vis des bailleurs de fonds qui souvent imposent leur type d'équipements ; tendance contre laquelle il faut s'efforcer de lutter.

Les communications ont fait l'objet d'un débat et ont abouti aux recommandations suivantes :

1) gestion des ressources en eau

- Poursuivre la reconnaissance des aquifères :
 - études et modélisation
- Assurer un suivi de la ressource :
 - reprendre le suivi piézométrique des nappes et l'optimiser
 - réorganiser la collecte et le traitement des données hydro-climatiques (analyse des échecs et réhabilitation des réseaux)
- Mettre en place les outils informatisés d'aide à la décision et à la planification :
 - ne retenir que les systèmes évolutifs ouverts, ayant des capacités totales de communication internes et avec l'extérieur
 - disposer des programmes sources non protégés afin de permettre des adaptations mineures par les utilisateurs
 - prévoir un important volet formation permettant la maîtrise à long terme de l'outil
- Mettre en place les outils juridiques de gestion (Code de l'Eau)
- Gérer les ressources de façon prudente et globale afin de sécuriser l'approvisionnement en eau
- Mettre en place les dispositifs de sauvegarde ou de reconstitution des eaux souterraines (dispositifs de réalimentation artificielle des nappes)

2) gestion des infrastructures

- Bien définir les rôles et les responsabilités de l'Etat et des usagers en matière de gestion des ressources en eau et des équipements.
- Dans un souci de meilleure cohérence et d'équilibre de la gestion, bien définir les rôles de la Direction de l'Hydraulique (responsable des études hydrogéologiques) et de la SONELEC (chargée de l'exploitation des infrastructures en milieu urbain) afin de mieux coordonner leur action
- En ce qui concerne la gestion et la maintenance des stations motorisées et des mini AEP, les opérateurs privés prendront progressivement le relais de l'Administration sous son contrôle
- Pour ce qui est des systèmes d'exhaure à motricité humaine, la maintenance sera assurée grâce à la mise en place de fonds villageois, de l'intervention d'artisans-réparateurs et de la mise en place d'un service après-vente de pièces détachées.

RAPPORT DE LA 4^{ème} SEANCE
THEME II :

LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES :
CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION

Lundi 21 mars 1994

Composition du Bureau :

Président : **Bâ Farba (SONELEC)**
 Vice Président : **Guy Casteignau (Université de Limoges)**
 Rapporteurs : **Hamedy Ould Mohamed Lemine (SHU/DH)**
Guissé Allassane (SONADER)

21 mars 1994
(Contenu non transmis)

RAPPORT DE LA 5^{ème} SEANCE
THEME II (suite) :

LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES :
CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION

Mardi 22 mars 1994

Composition du Bureau :

Président : **Ahmedou Ould Mohamed Mahmoud (CT/MHE)/Bâ Farba (/SONELEC)**
 Vice Président : **Hamedy Ould Mohamed Lemine (SHU/DH)**
 Rapporteurs : **Sid Med Ould Taleb Amar (SMH/DH)**

Au début de cette séance du 22 mars 1994 du matin, les participants ont insisté sur la nécessité de faire organiser par le Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie un large débat à l'issue de l'étude qui sera menée sur la politique d'approvisionnement en eau potable de Nouakchott.

La première communication sous le titre "*Opération pilote d'AEP à faible coût dans un centre secondaire du Bénin*" a été présentée par Monsieur Alain Cheneau de l'Association Française des Volontaires du Progrès, ONG française. Cette expérience s'est déroulée à Guéné localité rurale de 3 500 habitants.

La particularité de cette expérience réside dans l'absence de château d'eau à la faveur d'une réserve par borne fontaine et dans le choix du mode de recouvrement du coût de l'eau suivant une cotisation annuelle des bénéficiaires. Le type d'équipement préconisé est le moteur diesel.

La deuxième communication sous le titre "*L'Eolienne de pompage une solution pour l'hydraulique villageoise*" a été présentée par Mr Arnaud du GRET.

Le communicateur a insisté sur l'implantation active des populations au niveau même de la programmation.

La maintenance de ces équipements est assurée intégralement par la société nationale DEYLOUL contre le versement de 36 000 UM/an par les villageois. Ce projet qui fournit une eau à faible coût à l'avantage d'être bien adapté aux conditions locales et d'avoir fait l'objet d'un transfert réel de technologie.

C'est sur ce point que le Directeur de l'Hydraulique a insisté au cours de sa brève intervention.

Pour le titre "*Gestion, Productivité des services eau et privatisation*", Mr Guy Casteignau de l'Université de Limoges a abordé le sujet en faisant une distinction comparative entre le concept de l'hydraulique rurale caractérisée par la gestion familiale et la subvention des coûts et le concept de l'hydraulique urbaine qui sous entend la rentabilité du service.

Entre les deux il a fait ressortir l'existence des mini-AEP qui, selon lui, ne peuvent pas relever du domaine de l'hydraulique rurale.

L'intervenant a fait une distinction entre la conception des projet et leur exploitation faisant appel à la polyvalence des intervenants. Par la suite, il a introduit les notions de "Aménagement public", de productivité et "de démarche qualité totale".

Il a enfin insisté sur la nécessité d'accorder une attention particulière à la maintenance.

La quatrième communications sous le thème "foncier, irrigation dans le Delta Mauritanien" présenté par Mr. P. M. BERARD, a permis de résumer une étude relative à l'Aménagement rural du Delta Mauritanien.

L'intervenant qui a fait ressortir l'importance de cette intervention du Secteur privé a souligné les risques de détérioration de l'environnement liée à cela et les difficultés engendrées par la réalisation de la digue, a recommandé la prise en compte à long terme du drainage et des aspects fonciers.

Enfin, Mr. Blankwaardt d'IWACO a présenté une communication sous le titre "*Planification et Gestion des ressources en eau au Burkina-Faso*"

Cette communication s'est rapporté essentiellement aux outils de gestion et de programmation mise en place au Burkina grâce à la Coopération Hollandaise, qui consistent en la mise en œuvre de réseaux piézométrique, hydrométrique, d'une banque de données, etc.

Dans le cas précis, la MO, le suivi et l'exploitation des ouvrages sont assurée par l'Administration.

RAPPORT DE LA 6^{ème} SEANCE
SUR THEME III :

L'EAU ET LA SANTE

Mardi 22 mars 1994

Composition du Bureau :

Président : **Y. Emsellem** (GEOLAB)

Vice Président : **J. Piro** (ISS)

Rapporteurs : **Dr O. Paolini** (Centre Hospitalo-Universitaire de Nice) et **Sidi Ould Aloueimine** (CNH)

Sur ce thème trois communications ont été écoutées le 22 mars 1994 Elles s'intitulent respectivement "Qualité de l'eau dans trois villes de Mauritanie" par O. Paolini, "L'eau à usage domestique à Nouakchott" par G. Siriwardana et "L'eau et la Santé" par Med. Lemine Ould Aboye.

D'autre part, un document relatif à la qualité de l'eau potable (en général) en Mauritanie a été publié.

Ces communications ont mis en exergue - entre autres - la situation sanitaire de l'eau en Mauritanie et l'importance du contrôle de qualité.

Au niveau médical, la régression des maladies transmises par l'eau passera nécessairement par :

- l'assainissement des lieux publics de prélèvement ;
- le renforcement et l'extension du contrôle sanitaire ;
- la sensibilisation et l'éducation des populations ;
- l'accroissement des moyens et des structures médicaux.

Ainsi, pour le contrôle de la qualité de l'eau potable, un accent particulier a été mis sur le souhait exprimé par le Centre National d'Hygiène - unique organe assurant le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau - d'une collaboration étroite avec tous les intéressés par ce problème afin de mener à bien la tâche qui lui est dévolue.

COMMUNIQUE FINAL DU COLLOQUE

A l'occasion de la Journée Mondiale de l'Eau, célébrée par l'ensemble de la communauté internationale, le Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie, en collaboration avec l'Université de Nice et avec l'assistance du PNUD et de la Mission Française de Coopération, a organisé du 20 au 22 Mars 1994 un colloque international sur le thème "Eau, Environnement et Développement"

Ont participé à cet important forum :

- Banque Mondiale, CILSS, FAO, CFD, Union Européenne ;
- Bureaux d'études, Entreprises, Universités étrangères et Institutions sous-régionales ;
- Services techniques nationaux, publics et parapublics, concernés par le problème de l'eau, ONG et privé mauritanien intéressés par le secteur de l'eau.

Présidant les cérémonies d'ouverture du colloque en présence de Ses Excellences :

- Saghair Ould M'Bareck, Ministre du Développement Rural et de l'Environnement ;
- Mohamed Ould Amar, Ministre de la Santé et des Affaires Sociales ;
- M Raimbaud, Ambassadeur de France ;

ainsi que du Représentant Résident du PNUD et de Monsieur le Chef de la Mission Française de Coopération.

Son Excellence Mohamed Lemine Ould Ahmed, Ministre de l'Hydraulique et de l'Energie, a fait ressortir l'importance de l'eau pour la Mauritanie, pays sahélien et aride, et la priorité accordée par le gouvernement au développement de ce secteur.

Dans ce cadre, il a demandé aux participants de réfléchir sur les graves menaces qui pèsent sur les équilibres de l'écosystème par la définition de meilleures règles de gestion des ressources en eau et d'évaluer les contraintes liées à l'accès à l'eau potable

Trois jours durant, les participants ont entendu des communications sur les thèmes suivants :

- Ressources en eau : connaissance et gestion ;
- Infrastructures hydrauliques : conception, gestion et exploitation ;
- L'eau et la santé.

A l'issue des travaux du colloque qui ont été l'objet d'échanges fructueux, les participants ont recommandé :

1. Poursuivre les études visant à améliorer la connaissance des ressources en eau en utilisant les techniques et technologies nouvelles d'investigation, notamment la télédétection et les méthodes géophysiques.
2. Intégrer les eaux de surface dans la gestion des ressources en eau.
3. Assurer une gestion rationnelle des ressources en eau compte tenu du fait que la quasi-totalité des besoins sont satisfaits à partir des eaux souterraines et pour ce faire : mettre en place des dispositifs permettant le suivi quantitatif et qualitatif des ressources en eau et mettre en place les outils informatisés d'aide à la décision.
4. S'orienter vers la mise en place de dispositifs de sauvegarde ou de reconstitution des eaux souterraines.
5. Mettre en application le Code de l'Eau par l'adoption des différents textes réglementaires.
6. Bien définir les rôles et les responsabilités de l'Etat et des usagers en matière de gestion et d'exploitation des équipements hydrauliques.
7. Rechercher une meilleure coordination pour la cohérence des actions des institutions dans le domaine de l'eau.
8. Assurer une adéquation des infrastructures hydrauliques avec les besoins réels.
9. Poursuivre la politique de désengagement de l'Etat en matière de maintenance et de gestion des équipements hydrauliques.
10. Promouvoir la mise en place d'infrastructures à faible coût utilisant des énergies renouvelables et développer les expériences confirmées dans le domaine.
11. Rechercher des mécanismes appropriés pour le financement des investissements du secteur d'hydraulique rurale.
12. Accorder une priorité pour l'alimentation en eau potable des zones endémiques.
13. Accroître les moyens des structures médicales chargées du contrôle de l'eau potable.
14. Intégrer un volet d'assainissement au programme d'approvisionnement en eau des collectivités.
15. Développer et vulgariser des programmes d'éducation sanitaire.
16. Etudier la problématique de l'ampleur de la déforestation provoquée par les aménagements agricoles pour la préservation de l'équilibre de l'environnement.
17. Assurer une meilleure circulation de l'information entre les différents intervenants du secteur de l'eau.
18. Mettre en place des règles de gestion et d'exploitation de la nappe du Trarza, considérée comme non renouvelable et menacée par la pollution marine, en vue de sa préservation et de sa conservation. Trouver par conséquent d'autres solutions alternatives, notamment la mise en valeur des ressources de l'Aftout Es Saheli et du fleuve Sénégal, qui permettront de sauvegarder cette nappe et son environnement pour les générations futures.

Fait à Nouakchott, le 22 mars 1994
Les participants

LISTE DES COMMUNICATIONS

TITRE I :

LES RESSOURCES EN EAU, CONNAISSANCE ET GESTION

Les ressources en eau de la Mauritanie.	<i>El Houssein Ould Jiddou.</i>	24
Ressources en eau souterraines et développement durable en Mauritanie. Défi et Perspectives.	<i>Diagana Bassirou.</i>	28
Influence de la nature des réservoirs sédimentaires sur les aquifères.	<i>Delfaud, J.</i>	34
Variation des niveaux piézométriques des nappes du sud-est de la Mauritanie : éléments quantitatifs et recherche des causes.	<i>Jenny, J.</i>	38
Approche hydrochimique et hydrogéologique de la nappe du Trarza (Mauritanie) : Etude du champ captant d'Idini.	<i>Séméga, B. M., Vaillant, A., Piro, J., Giannérini, G., Ould Cheikh Abdallah et Caruba, R.</i>	46
Qualité des eaux des puits du projet "Alizés" dans le sud du Trarza (Mauritanie).	<i>Piro, J., Séméga, B. M., et Mohamed Ould Sid'Ahmed Ould Kankou et Arnaud, L.</i>	57
Réflexion sur l'eau et l'environnement au Brakna.	<i>Mohamed Lemine Ould Yahya.</i>	61
Les images SPOT; un outil d'aide à la gestion de l'eau.	<i>Rouch, F.</i>	67
Plans d'eau sahéliens et imagerie SPOT : inventaire et évaluation des capacités d'exploitation.	<i>Puech, C.</i>	68
Contribution de la sismique réflexion haute résolution à l'investigation d'aquifères discontinus semi-profonds - cas du bassin de Taza, Maroc.	<i>Bouvier, Guillemot, D. et Chaabi, A.</i>	84
Utilisation du EM 34 (appareil électromagnétique) dans la prospection géophysique appliquée à l'hydrogéologie. (exemple en Mauritanie).	<i>Mamadou Diallo.</i>	95
Identification des ressources en eau souterraine en Mauritanie. Implantation d'ouvrages sur anomalies géophysiques en milieux discontinus.	<i>Vincent, P.</i>	105
Prospection des fractures aquifères du socle cristallin par dosage du gaz radon contenu dans le sol.	<i>Mathieu, R., Puyoo, S. et Ricolvi, M.</i>	114
Mise en place, organisation des réseaux de collecte, traitement et diffusion des données sur les ressources en eau : eaux de surfaces.	<i>Sarr Djibril.</i>	121
Informatisation de la gestion des ressources en eau : éléments de réflexion.	<i>Icard, P.</i>	124
Gestion des ressources en eau.	<i>Jan. G. Janssens et Matar Fall.</i>	126
Systèmes d'Information Géographique, bases de données et gestion des ressources en eau. Application à la Mauritanie.	<i>Emsellem, Y.</i>	128
Situation et perspectives de la collecte et du traitement des informations en vue de la gestion des ressources en eau et des infrastructures hydrauliques en milieu rural mauritanien.	<i>Saadou Ebih Ould Med Hacem et Sasmayoux, J.-P.</i>	137
Eléments de réflexion sur la gestion des ressources en eau et la planification.	<i>Le Priol, J.</i>	143
Mise en place d'un système informatique de programmation et de suivi de l'hydraulique villageoise.	<i>A. Meilhac, A., S. El Magnouni et Comte, J.-P.</i>	152

Gestion et planification des ressources en eau au Burkina Faso.	<i>Schot, P. P. et Blankwaardt, B.</i>	156
Nouvelles approches de financement pour le secteur de l'Hydraulique.	<i>DP/MP DH/MHE.</i>	164

TITRE II :

LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES : CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION

LISTE DES COMMUNICATIONS

Réalisation de retenues collinaires et de barrages d'inféroflux : comparaison des différentes techniques utilisées pour s'adapter au régime hydraulique méditerranéen ; intérêt pour l'Afrique Sahélienne.	<i>Cova, R.</i>	168
Les barrages en terre en Mauritanie. Facteur stratégique du développement rural et difficultés réelles de maîtrise de la conception.	<i>Cazottes, F.</i>	177
Foncier et irrigation dans le delta mauritanien.	<i>Bérard, P-M.</i>	182
Conception et gestion des infrastructures hydrauliques. Spécificités et modes de gestion des infrastructures hydrauliques en Mauritanie.	<i>Hamedi Ould Md Lemine, Mohamed Moctar Ould Md, Sidi Md Ould Taleb Amar et Jemal Ould Yaha.</i>	192
Gestion et exploitation des infrastructures hydrauliques en milieu rural.	<i>Sidi Md Ould Taleb Amar.</i>	195
Conception d'infrastructures hydrauliques en milieu rural à partir d'un projet réalisé dans le Guidimakha.	<i>Mohamed El Moctar Ould Md, Mohamed Ould Tourad et Leroux, B.</i>	197
Conception d'infrastructures hydrauliques en milieu rural ; exemple : Projet Elevage II.	<i>Mohamed El Moctar Ould Mohamed.</i>	200
Alimentation en eau potable des petits centres ruraux au Niger. Propositions pour la conception d'adductions d'eau "minimales".	<i>Mairey, G.</i>	201
Programme régional solaire CILSS-CEE : mise en œuvre, état d'avancement et perspectives.	<i>CILSS.</i>	206
Une opération pilote d'alimentation en eau à faible coût dans un centre secondaire du Bénin.	<i>Collignon, B.</i>	213
L'éolienne de pompage : une solution pour l'hydraulique villageoise.	<i>Arnaud, L.</i>	220
Dessalement des eaux en Mauritanie.	<i>Ndongo, M. , Ould Mayif, M., Gabla, K. et Piro, J.</i>	225
Utilisation des énergies renouvelables pour l'exhaure de l'eau en Mauritanie. Comparative d'un système photovoltaïque et d'un système éolien.	<i>Adell, A., Barbet A et Md Lemine Ould Fagel.</i>	228
Réhabilitation et renforcement de l'alimentation en eau de Nouadhibou.	<i>Brahim Ould Cheikh Abdallahi et Hasbani, N.</i>	239
Alimentation en eau potable de Nouakchott pour le moyen et long terme.	<i>Hasbani, N. et Lafforgue, M.</i>	242
La productivité dans les compagnies des eaux et l'intéressement des personnels. Productivité - Intéressement.	<i>Casteignau, G.</i>	250

La gestion municipale des services d'eau. Entre politique et objectif d'entreprise.	<i>Casteignau, G.</i>	267
La "démarche qualité totale" dans les services d'eau.	<i>Casteignau, G.</i>	268

TITRE III :

L'EAU ET LA SANTE

Qualité de l'eau dans trois villes de Mauritanie : Chinguetti, Nouakchott et Kaédi : conséquences médicales.	<i>Paolini, O.</i>	270
L'eau à usage domestique à Nouakchott.	<i>Siriwardana, G. et Abdallah Ould Nem.</i>	278
L'eau et la santé.	<i>Md Lemine Ould Aboye Ould Cheikh El Hadramy.</i>	283
Le Projet "Mobilisation sociale pour la santé".	<i>Nour, F., Legeault, P. et Le Priol, J.</i>	289
Activités du Centre National d'Hygiène dans le domaine de l'eau.	<i>Sidi Ould Aloueimine.</i>	290

TITRE IV :

RESSOURCES EN EAU, ENVIRONNEMENT ET DEVELOPPEMENT

Ressources en eau, environnement et développement.	<i>Bocoum, A.</i>	293
L'eau comme facteur de répartition des populations et des activités en Mauritanie.	<i>Moctar Ould El Hacem.</i>	294
L'eau, facteur de structuration et de développement socio-économique en milieux rural et urbain.	<i>Camara, F.</i>	298
Une politique de développement pour la Wilaya de Brakna.	<i>Haimouda. Ould Ahmed</i>	301
L'ingénieur et l'eau.	<i>ANIM.</i>	303
Le technicien de l'eau en Mauritanie : sa formation.	<i>Nicolau, J.- P.</i>	305

LES RESSOURCES EN EAU CONNAISSANCE ET GESTION

LES RESSOURCES EN EAU DE LA MAURITANIE

El Houssein Ould Jiddou

Directeur Adjoint de l'Hydraulique

PREAMBULE

La commémoration de la Journée Mondiale de l'eau et la tenue de ce Colloque International viennent renforcer la prise de connaissance de plus en plus croissante, chez les responsables concernés, vis à vis de l'importance de l'eau pour la survie, le bien être et le développement de notre pays.

Après deux décennies consécutives de sécheresse, les nouvelles ressources sont de plus en plus rares, coûteuses à mobiliser et nécessitent plus d'expertises et de savoir faire technologique en matière de planification, de conception et de gestion. De part, ses conditions géologiques variés et l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre, la Mauritanie reste dépendante à 100% de l'eau souterraine pour satisfaire ses besoins urbains villageois et pastoraux.

Ces besoins sont en nette croissance dans les grandes villes et centres secondaires du fait d'un exode rural massif aggravé par une urbanisation accélérée. Cette situation signifie que les professionnels de l'eau seront soumis dans les prochaines décennies à une pression croissante pour la satisfaction des besoins, alors que le niveau des connaissances actuelles reste insuffisant. L'eau sera donc un enjeu très critique pour la survie des populations, si les décideurs n'accordent dès maintenant plus de moyens pour sa mobilisation.

Situation géographique

Séparant, le Maghreb de l'Afrique noire, la Mauritanie a une superficie de 1 032 000 km² et une population d'environ 2 millions d'habitants. La Mauritanie est un pays de vastes étendues tabulaires : plaine de Regueibat au nord, pleine côtière Atlantique à l'ouest et le bassin de Taoudeni à l'est. L'altitude moyenne varie de 200 à 400 m avec un point culminant à 915 m au sommet de la Kédia d'Idjil au nord du territoire. Le territoire est formé par un désert au nord, une zone sahélienne au sud. Au centre trois massifs apparaissent : l'Adrar au nord, le Tagant au Centre, l'Assaba et l'Affolé au sud. Le littoral Mauritanien s'étend sur 900 km le long d'une côte sablonneuse.

Pluviométrie

Les 4/5 du pays sont situés au nord du 17° parallèle nord, qui correspond schématiquement à l'isohyète 200 mm, et sont donc soumis à un climat de type saharien aux pluies faibles, et irrégulières avec des écarts inter-annuels importants, certaines années étant pratiquement sans pluie. La pluviométrie moyenne inter-annuelle varie de 35 mm au nord à 600 mm dans l'extrême sud (période de 1933 à 1988). Sur la période de 1970-1988, correspond à une situation de déficit pluviométrique au Sahel, cette pluviométrie moyenne inter-annuelle varie de 20 mm au nord à 400 mm au sud. Mise à part une infime partie du pays, située à l'extrême sud (pointe du Guidimaka), on peut considérer que l'ensemble de la Mauritanie est maintenant soumise au climat désertique et subdésertique.

Hydrologie

Le réseau Hydrographique est peu développé.

Mise à part le fleuve Sénégal et le Gorgol, il n'y a pas d'écoulements pérennes en Mauritanie.

Le fleuve Sénégal forme sur un peu plus de 820 km, la frontière entre la Mauritanie et le Sénégal, la superficie du bassin Mauritanien est de 75 500 km².

Les affluents du fleuve de la rive droite sont : le KARAKORO (bassin de 4 880 km²), le NIOR DE (bassin de 2560 km²), l'ouest CHORFA (bassin de 6 365 km²), le GORGOL (bassin de 20 800 km²), l'Oued GUELOUARD (bassin de 6 400 km²).

On peut distinguer quatre ensembles hydrologiques principaux :

- le Sénégal inférieur (bassin de la vallée 75 500 km²) les affluents du Sénégal (bassin de 41 000 km²);
- L'arc des Mauritanides (10 000 km²);
- les massifs de l'Affolé et des deux Hodhs;
- les massifs de l'Adrar.

Dans le cadre de l'organisation de mise en valeur du Fleuve Sénégal (OMVS), qui regroupe la Mauritanie, le Mali et le Sénégal, des réalisations importantes sont déjà terminées :

- un barrage régulateur à Manantali (Mali) qui permet la retenue de 11 Milliards de m³, la régularisation d'un débit de 300 m³/s, et la production de 800 Millions de KWH;
- un barrage anti-sel à Diama, à cheval entre le Sénégal et la Mauritanie.

L'exploitation combinée des deux barrages de Diama et Manantali permettra l'irrigation de 375 000 ha dans les trois pays (dont 126 000 ha en Mauritanie) et la régularisation du fleuve pour la navigation et la production d'électricité.

Contexte géologique

En référence à la synthèse des connaissances sur la géologie réalisée par le BRGM en 1975, la géologie de la Mauritanie comprend quatre grands ensembles :

- 1°) un socle cristallin représenté par la Dorsale Reguibat, couvrant tout le nord et se prolongeant sous des bassins anciens stables et peu profonds (bassin de Tindouf). Cette dorsale présente des séries très anciennes du précambrien, érodées et granitisées. Les séries de la Kedia d'Idjil et de Mhaoudat (découverte récente) présentées ici comme des anomalies, à cheval entre les formations du bassin de Taoudeni et celles de la dorsale Reguibat, sont moins métamorphosées et contiennent des quartzites riches en hématite ;
- 2°) la chaîne hercynienne des Mauritanides, formée de matériel cristallin et métamorphique et affectée par des mouvements techniques latéraux importants ;
- 3°) le bassin paléozoïque et secondaire de Taoudeni à l'est, dont la partie occidentale présente des formations inclinées vers l'est. Généralement les formations de ce bassin sont masquées par les recouvrements dunaires, qui empêchent une meilleure connaissance de leurs compositions et leurs structures ;
- 4°) le bassin côtier secondaire tertiaire Sénégal-Mauritanien orienté vers l'Atlantique s'épaissit vers l'ouest. On y distingue les formations du Maestrichien (secondaire) de l'Eocène et du continental terminal (tertiaire) du Tafariéen et Nouakchottien (quaternaire).

Contexte hydrogéologique

Pour faciliter le classement des ressources, trois niveaux d'analyse ont été utilisés. Du plus général au plus simple, on a défini :

- 1°) les "provinces hydrogéologiques", au nombre de 7 pour l'ensemble du pays, ce sont le Bassin Côtier, les Mauritanides, le sud-est Mauritanien, le Bassin Secondaire de Taoudeni, l'Adrar, le Tagant et l'Assaba et le Tiris-Zemmour ;
- 2°) les "unités hydrogéologiques" définies sur la base de critères essentiellement géologiques (conditions de dépôts pour les bassins sédimentaires, critères structuraux pour les zones métamorphiques et cristallines) ;
- 3°) les "aquifères" eux-mêmes. Dans le cas d'unités multicouches, ceux-ci peuvent être regroupés en "systèmes aquifères" lorsque la relation hydraulique peut être légitimement admise.

Les aquifères dits "continus" sont situés dans les faciès poreux du bassin sédimentaire côtier, dans la couverture dunaire récente de l'Aouker et de l'Assaba, dans les alluvions quaternaires, dans les Grès d'Aioun ainsi que dans le Continental Intercalaire du Bassin de Taoudeni. Les aquifères produisent des débits soutenus, et les eaux sont souvent de bonne qualité.

Les aquifères dits "discontinus" se rencontrent dans les autres régions de la Mauritanie. Ce sont des terrains de socle granitique ou métamorphique, des formations gréseuses, calcaires et pélitiques essentiellement fracturées. Les débits obtenus sont généralement faibles, et les eaux sont souvent de plus mauvaise qualité.

1. Le Bassin côtier

Dans ce bassin, les aquifères sont continus du nord au sud, variables latéralement, déterminant ainsi, au niveau actuel de la connaissance, trois ensembles indépendants : celui de Boulanouar au nord, celui de Bennichab au centre et de celui du Trarza. Une étude est actuellement en cours pour déterminer les relations entre ces trois ensembles.

Au niveau de Boulanouar, dans les formations argilo-gréseuses du continental terminal d'âge Mio-Pliocène, deux nappes sont connues, une phréatique avec des débits d'exploitation de l'ordre de 50 m³/h et une salinité d'environ 600 mg/l et une nappe subphréatique à des débits plus importants et une salinité qui avoisine 1 000 mg/l.

Dans la partie reconnue de la nappe de Bennichab, l'eau est contenue dans des grès argileux hétérogènes et peu perméables du continental terminal. Elle est exceptionnellement douce (200 mg/l). Elle est d'ailleurs mise en bouteille par une société nationale.

L'extension de cette nappe est très limitée d'ouest en est du fait de son contact avec une nappe d'eau saumâtre à l'ouest et du fait de la remontée du socle à l'est.

Les aquifères de la nappe généralisée de l'ouest dite "Nappe du Trarza" couvrent les territoires administratifs de la Wilaya du Trarza et l'ouest de celle du Brakna. Ces aquifères constituent un ensemble multicouches dont les divers horizons, probablement en continuité hydraulique, présentent néanmoins des caractéristiques hydrodynamiques et chimiques différentes.

Les aquifères du Continental Terminal sont exploités dans le Trarza et ceux de l'Eocène dans le Brakna.

Le Maestrichien (crétacé), mieux connu au Sénégal, n'est pas exploité au Trarza du fait de la profondeur (278 m à Rkiz) et de sa salinité (4 g/l), mais il est capté dans le Gorgol et le Brakna avec des débits variant de 7 à 70 m³/h et une salinité d'environ 800 mg/l.

La profondeur du niveau piézométrique, tous systèmes aquifères tertiaires confondus, augmente vers le nord du bassin côtier pour atteindre 70 m au forage de Messoud.

La cartographie des altitudes piézométriques du Continental Terminal montre un sens général des écoulements dirigé du sud au nord, entre le front salé à l'ouest et le biseau sec à l'est, longeant les Mauritanides.

A la faveur du fleuve Sénégal, la nappe superficielle, au dessus de la nappe du Trarza, est largement exploitée pour les besoins villageois et agricole. Les fluctuations des niveaux statiques dans les puits et forages entre la saison sèche et les crues du fleuve montrent que cette nappe est alimentaire par le fleuve.

Des nappes d'excellente qualité (120 à 400 mg/l) sont exploitées dans les séries calcaires et gréseuses du Paléocène-Eocène dans le triangle Boghé -Kaédi - Aleg avec des débits variant de 18 à 45 m³/h.

2. Les Mauritanides

L'ensemble métamorphique et cristallin de la chaîne des Mauritanides comporte deux secteurs plus ou moins connus :

- le secteur nord-est de l'Inchiri où on peut rencontrer des débits localement importants ($30 \text{ m}^3/\text{h}$) dans un ensemble fissuré de roches vertes, au droit des oueds grâce à l'infiltration des eaux de crues aléatoires. La salinité peut atteindre $1\,200 \text{ mg/l}$. Ailleurs, l'eau est très rare et sa découverte nécessite beaucoup de reconnaissance géophysiques ;
- le secteur sud, dit de l'Aftout (de Magta-Lahjar à Sélibaby) a fait l'objet de 2 grandes études entre 1989 et 1991 avec la réalisation de plus de 500 forages de reconnaissance. Le taux d'échec, précédemment estimé à 60% a été ramené à 45%. Ceci représente un grand succès dans cette zone qui est traversée par un biseau sec, et où la fracturation, qui le lieu privilégié des implantations de forages est difficilement réparable. Les débits sont très variables de $1,0$ à $20 \text{ m}^3/\text{h}$.

3. L'Adrar

Les aquifères de cette région sont essentiellement liés au réseau de fractures de l'Infracambrien, qui repose en discordance sur l'ensemble granité de l'Amsaga. Les résultats des campagnes de reconnaissance réalisées ces dernières années ont été positifs dans les grès d'Agueni, les calcaires d'Atar et de Toueiderguilt. Ces succès sont liés, soit à de grands accidents tectoniques, soit à des zones karstifiées en relation avec la réalimentation de lits d'oueds.

Des investigations récentes par forages ont mis en évidence des débits importants à Azougui (20 à $60 \text{ m}^3/\text{h}$) dans les grès d'Agueini à 250 m de profondeur et à Chinguetti ($12 \text{ m}^3/\text{h}$) dans les formations cambro-ordoviciennes.

La salinité des eaux dans l'Adrar est généralement élevée supérieure à $1\,000 \text{ mg/l}$ dans l'Infracambrien et plus douce dans les formations de la falaise.

Les nappes dans les alluvions perméables des oueds, qui sont largement exploitées pour l'alimentation des palmeraies sont en continuité hydraulique avec les systèmes fracturés sous-jacents. Leurs réserves sont faibles et tributaires de l'infiltration sporadique des crues

4. Le Tagant et l'Assaba

Les plateaux du Tagant et de l'Assaba sont formés par un ensemble monoclinal à très faible pendage, parcourus par des fractures d'orientations diverses

Dans cette région, trois unités hydrogéologiques ont été définies :

- la première concerne la nappe alluviale continue de la dépression de la Tamouret - En Aaje, qui draine un bassin de plus de $6\,000 \text{ km}^2$. Les formations sableuses de la plaine de N'Beika contiennent à faible profondeur, une nappe très productive (20 à $50 \text{ m}^3/\text{h}$) et peu minéralisée (400 à 500 mg/l).
- la seconde unité est formée par les dolomies du cambro-ordovicien, au pied de la falaise du plateau du Tagant. Une nappe très productive a été mise en évidence dans le secteur Guérrou - Djouck avec des débits de (16 à $50 \text{ m}^3/\text{h}$). Sur le plateau du Tagant, les débits sont faibles ($1,0$ à $14 \text{ m}^3/\text{h}$) et sont très liés à la fracturation.
- la troisième unité, celle de la série de Kiffa, les débits ne sont pas négligeables à la faveur des fractures importantes, sinon, ailleurs, dans les schistes et les grès, ils sont faibles ($1,0$ à $8 \text{ m}^3/\text{h}$).

5. Le sud-est Mauritanien

Deux grandes unités hydrogéologiques sont connues dans cette région.

Les grès d'Aioun, d'âge infracambrien, sont des grès tendres, clairs ou rosés, et caractérisés par de grandes stratifications entrecroisées. Ils s'étendent à l'ouest jusqu'à la falaise de l'Assaba, au sud jusqu'à Kayes (Mali), l'est jusqu'à Aoueinat Zbil. Ils sont recouverts au nord et à l'ouest par les tillites du Précambrien Terminal, et à l'est par, les petites et jaspes du Hodh.

Au pied des falaises du Hodh occidental, de nombreuses sources jaillissent de ces grès avec une eau d'excellente qualité (salinité $< 400 \text{ mg/l}$).

La perméabilité augmente dans les zones fissurées, mais, en dehors des zones fracturées, les débits restent cependant très faibles (1 à $2 \text{ m}^3/\text{h}$).

D'une manière générale, la nappe des grès d'Aioun peut être considérée comme une nappe continue, pouvant satisfaire l'ensemble des besoins urbains, villageois et pastoraux.

6. Les Pélites du Hodh

Les pelites du Hodh sont des roches argileuses et siliceuses, parfois gréseuses, à grain fins, compactes, datant du cambrien. Elles s'étendent le long de la frontière des deux Hodhs avec le Mali sur une largeur d'environ 50 km à l'intérieur du territoire Mauritanien et couvrent l'ensemble du bassin de Néma jusqu'au Dhar de Oualata.

La perméabilité des pelites est généralement faible. Elle peut être renforcée le long des zones fracturées. Les débits varient de 2 à $8 \text{ m}^3/\text{h}$ et les taux de succès entre 15 et 40% .

La salinité des eaux des pelites du Hodh varie de 360 à 187 mg/l . Des valeurs très élevées ont été mesurées dans les zones d'Aiounat Zbil (21 g/l) et de Néma ($62,0 \text{ g/l}$). L'implantation de forages de reconnaissance nécessite au préalable une bonne localisation des fractures sur les photos aériennes et des études géophysiques très poussées (voir travaux Direction Hydraulique à Oualata)

6. Le Bassin Secondaire de Taoudeni

Des forages réalisés en 1991 et 1992 par la Direction de l'Hydraulique pour l'alimentation en eau potable des populations de la ville de Bassikounou et des réfugiés Maliens à Fassala et Aghor ont rencontré une nappe à moins de 90 m avec des débits allant jusqu'à 40 m³/h des salinités inférieures à 500 mg/l. Cette nappe appartient à l'unité Hydrogéologique du Dhar de Néma constituée par les formations du continental Intercalaire. Cette nappe est limitée à l'ouest par un biseau sec dont les limites sont imprécises et à l'est, elle s'enfonce dans le territoire Malien.

7. Le Tiris-Zemmour

Les nappes des roches précambriennes cristallines du Tiris-Zemmour, ont fait l'objet de nombreuses recherches effectuées par la SNIM pour ses besoins industriels et sociaux. Dans les roches fissurées ou altérées au pied de la Kedia d'Idjil, il a été trouvé des débits d'exploitation variant de 3 à 10 m³/h. Plus au nord, tous les sondages exécutés dans les roches cristallines ont trouvé de l'eau à des profondeurs variables (6 à 40 m) et toujours saumâtre.

La ville de Bir-Moghren s'approvisionne par camion citerne à partir d'un forage situé à 110 km à l'est (Bir Loughar) réalisé et équipé par la Direction de l'Hydraulique dans le cadre d'un projet financé par la Banque Islamique.

Les aquifères les plus productifs ont été localisés dans les quartzites ferrugineux de la Kedia d'Idjil, dans les zones les plus riches en hématite et liées à la fracturation (Tafadit et F'Dérik). Ces aquifères sont constitués de différents compartiments qui sont généralement indépendants les uns des autres. L'eau captée est d'excellente qualité (300 mg/l) et la profondeur des forages peut atteindre 600 m (Tazadit) avec des débits, allant jusqu'à 30 m³/h.

Cependant, la durée de vie d'un forage reste fonction du débit d'exploitation et de l'étendue du compartiment.

D'autres aquifères localisés ont été trouvés dans la Brèche d'Idjil avec débits de 3 à 9 m³/h. Ce n'est pas négligeable dans cette région, mais l'éloignement des forages des centres d'intérêt rend leur exploitation peu rentable.

A cette région administrative, on peut assimiler également les nappes connues dans la bordure du nord du bassin sédimentaire de Taoudeni. Il s'agit de bas en haut de :

- la série détritique de base (P1) composée de grès quartzitique, affleurant sur une grande surface dans la partie sud-est de la Kedia (Oued El Gah) ;
- la série dolomitique (P2) composée de dolomies et de calcaires, affleurant sur une bande NE-SW ;
- la série détritique supérieure (P3) composée de grès quartzitique

Depuis un 1967, la SNIM étudie les possibilités aquifères de ces formations. Au total 69 forages ont été réalisés, leur profondeur dépassent 200 m et parfois atteint 500 m.

Tous les forages dans les affleurements du P1 fournissent une eau de qualité acceptable (résidu sec environ 800 mg/l). C'est dans la zone de Oued El Gah, qui produit actuellement (environ 750 000 m³/an).

Cependant, il a été observé une certaine augmentation de la salinité à plus 1g/l dans la majorité des forages en exploitation. La zone de Tarf Srey (P2) renferme une eau chargée (résidu sec 2 à 10 g/l) qui est exploitée par un forage débitant 50 m³/h destiné aux besoins industriels de la mine de Guelb et El Rheim et à son usine de dessalement.

Une étude des ressources en eau de la bordure nord du bassin de Taoudeni est actuellement en cours. Elle est menée par les bureaux d'étude BRGM/PHY pour le compte de la Direction de l'Hydraulique. Ces résultats sont très attendus par la SNIM surtout pour décider de la solution définitive du traitement du minerai magnétique à faible teneur.

CONCLUSION

Le niveau des connaissances actuelles a permis l'identification de 7 provinces hydrogéologiques indépendantes les unes des autres. Les données sur les paramètres hydrodynamiques restent éparses et très insuffisantes pour permettre une corrélation précise entre les différents aquifères.

Le souci de satisfaire un besoin ponctuel a souvent prédominé, dans l'exécution des programmes, sur les études proprement scientifiques. Ceci a eu pour conséquence, malgré la base de données disponibles, le retard dans l'établissement de la carte hydrogéologique du pays ou même de cartes sectorielles.

Il importe alors de donner la priorité à :

- l'acquisition de photos aériennes récentes ;
- l'inventaire de l'ensemble des points d'eau existants ;
- la collecte et la centralisation de toutes les données sur les eaux souterraines et de surface ;
- la mise en place de système informatisé de traitement des données ;
- la réalisation de la synthèse des données pour servir de support à l'établissement de la carte hydrogéologique de la Mauritanie.

RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE ET DEVELOPPEMENT DURABLE EN MAURITANIE - DEFI ET PERSPECTIVE

Bassirou Diagana

Hydrogéologue Chef du Service des Ressources en Eau et l'Environnement au CIEH

Plus que partout ailleurs, en Mauritanie l'eau est à la fois source de vie et facteur limitant et militant de tout développement socio-économique.

I. DELIMITATION HYDROMETRIQUE

Les caractéristiques pluviométriques de quelques climats ;

1. Saharien < 100 mm
2. Saharo-Sahélien 10 à 200 mm
3. Sahélien 200 à 400 mm
4. Soudano-Sahélien 400 à 600 mm
5. Soudanienne 600 à 800 mm
6. Soudano-Guinéen 800 à 1 200 mm
7. Guinéenne > 1 200 mm

Climat Saison	1	2	3	4	5	6*	7*
Sèche	12		9	8	6	5	4
Pluvieuse	0		3	4	6	7	8

* avec deux saisons de pluie, une petite et une grande.

Par cette délimitation, la Mauritanie est entièrement en zone saharienne et sahélienne et pour une petite partie en zone soudano-sahélienne

II. LES RESSOURCES EN EAU

Contrairement à une idée très largement répandue, les ressources en eau en Mauritanie sont suffisantes pour assurer un développement harmonieux des différentes composantes de sa population. toutefois, quelques exigences et contraintes de planifications doivent être imposées. Il s'agit notamment d'une gestion rationnelle de ces ressources là où il faut, quant il faut et pour une destination la plus opportune.

2.1. Les ressources en eau de surface

Le fleuve Sénégal et le Gorgol constituent les seuls cours d'eau permanents.

Il existe par ailleurs des affluents comme :

- le Karakoro ;
- le Niorde ;
- l'Oued Ghorfa ;
- l'Oued Guélouar ;

qui en temps de pluviométrie normale constituent un apport important dans l'équilibre de l'écosystème et pour la réalimentation de certaines nappes.

Il faut noter l'apport des ouvrages de l'OMVS, Manantali au Mali et Diama près de l'embouchure.

Manantali

- garantir un débit régulier de 300 m³/s à Bakel ;
- produire une énergie électrique de 800 Gwh/an ;
- ramener le débit de pointe de la crue centennale au niveau de celui de la crue décennale ;
- permettre la mise en culture de 225 000 ha irrigués (2 cultures par an).

Diama

- arrêter la remontée de la langue salée ;
- créer une réserve d'eau pour permettre l'irrigation de 42 000 ha/an ;
- permettre la recharge des nappes alluviales.

Fig 1. Isohyètes Interannuelles (1933-1988)

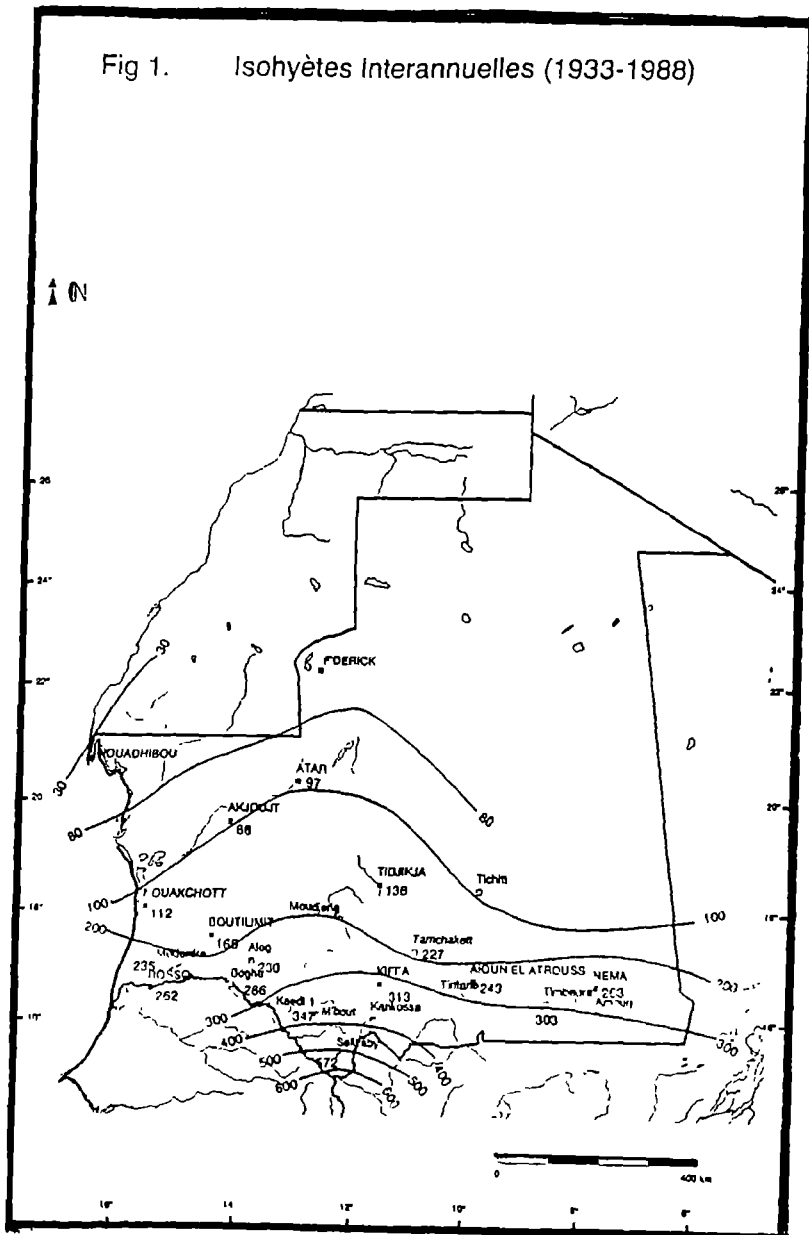
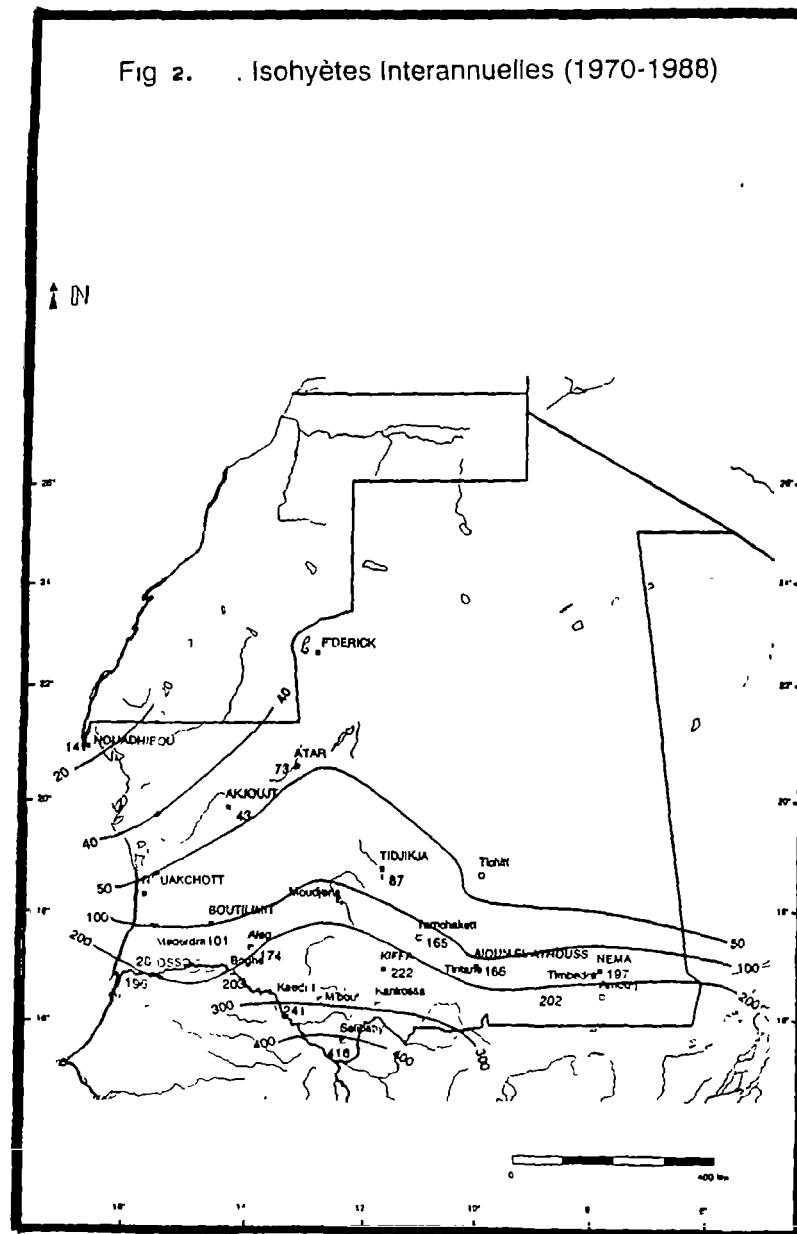


Fig 2. Isohyètes Interannuelles (1970-1988)



2.2. Les eaux souterraines

2.2.1. Les différents types d'aquifère

Par leur constitution

- généralisé
- discontinu

Par leur position

- renouvelable :
 - . généralisé
 - . discontinu
- fossile (non renouvelable) :
 - . généralisé
 - . discontinu

2.2.2. Identification des aquifères

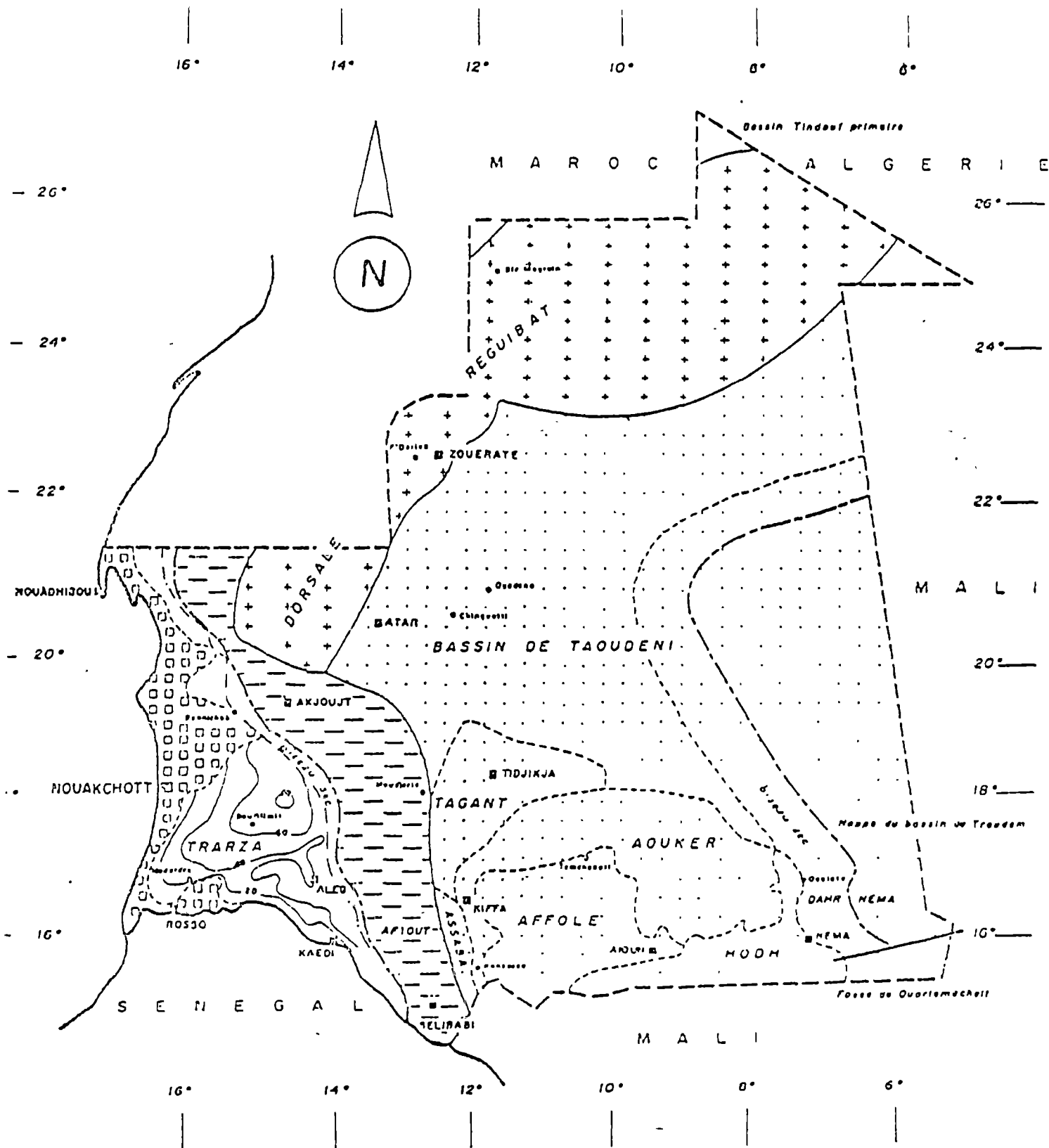
Les principaux aquifères sont :

- à l'ouest le bassin côtier du sud-ouest mauritanien (superposition de plusieurs aquifères) ;
- au centre orientée nord-sud, la zone schisteuse des Mauritanides ;
- au centre, à l'est et au sud-est, l'immense bassin sédimentaire de Taoudéni ;
- au nord-ouest et au nord, un socle cristallin.

2.2.3. Réserves des systèmes aquifères

AQUIFERES	Bassin	Réserves en 10 ⁶ m ⁹
Sables Aouker et Assaba Grès d'Ayoun Pélites des Hodhs Continental Intercalaire	Taoudeni	210 190 595 ?
Nappes des Mauritanides Nappes de l'Eocène et du Maestrichtien	côtier	395 190
Nappe de la vallée du Fleuve Sénégal	du	165
Nappes du Trarza	sud-ouest	1895
Nappes de Bénichab Nappes de Boulanouar		860 2400
Continental Intercalaire Adrar et Tagant	B. Taoudéni	? 1320
Tiris Zemour	Tindouf	260
TOTAL		8480

31
CARTE HYDROGEOLOGIQUE SIMPLIFIEE DE LA MAURITANIE



L E G E N D E

- | | | | |
|--------------|--------------------------------|--------------|--|
| — | Limite d'unité géologique | - · - · | Limite d'affleurement du socle |
| - - - | Limite de sous-unité de bassin | □ (dotted) | Socle cristallin PK du Nord |
| — | Faïlle | □ (dash-dot) | Arc de mauritanides PK et primaire |
| ○ (with dot) | Centre et profondeur de l'eau | □ (dotted) | Bassin sédimentaire PK, primaire et secondaire |
| - · - · | Limite du front spélé | □ (dotted) | Bassin coller |
| - · - · | Limite du biseau sec | | |

III. POLITIQUE DE L'EAU

La politique de l'eau en Mauritanie est établie comme suit :

- satisfaire totalement les besoins en eau de l'ensemble de la population et du cheptel ;
- permettre à tous les ruraux l'accès facile à l'eau potable ;
- assurer un niveau de service élevé pour l'approvisionnement en eau des grandes agglomérations ;
- préserver la qualité de l'eau ;
- mettre en valeur tous les pâturages naturels en rationalisant l'utilisation des points d'eau ;
- faire prendre en charge totalement le prix de l'eau par les bénéficiaires ;
- améliorer constamment la connaissance des ressources en eau souterraine ;
- assurer la maîtrise de l'eau en vue d'une valorisation des potentialités économiques du pays ;
- utiliser rationnellement les ressources en eau ;
- promouvoir l'intervention du secteur privé dans le sous-secteur de l'hydraulique rurale.

IV. LE DEVELOPEMENT DURABLE

4.1. Définition

Par la mention développement durable il faut entendre par là le développement socio-économique ayant pour support une ressource permanente, renouvelable, sans la compromettre pour les générations futures

En d'autres termes, le Développement durable, répondrait aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs (C.M.E.D., 1987).

4.2. Eléments Ressources

- Les ressources en eau de surface (le fleuve Sénégal)
- Les ressources en eau souterraine renouvelable.

Les grands bassins sédimentaires en Mauritanie :

- le bassin côtier (superposition de plusieurs aquifères)
- le bassin de Toudéni (Infracambrien à Paléozoïque)
- le bassin de Tindouf sans grande importance pour le développement de la Mauritanie.

4.3. Approche d'un développement durable

Excepté une partie du bassin côtier et les alluvions des grands cours d'eau, les autres entités hydrologiques de la Mauritanie, par la notion de développement durable ne peuvent être exploitées sans grands risques de compromettre les générations futures.

La plupart des aquifères sont identiques aux gisements de minéraux qui ne font que diminuer leur réserve d'année en année tout le long de leur vie d'exploitation jusqu'à leur abandon.

Autour de grands centres miniers, des cités se sont construites et développées. Au fil des ans des activités économiques, sociales et culturelles se sont parallèlement développées parfois, même après la fermeture de ces unités minières les cités continuent de prospérer à partir des activités secondairement acquises

Par contre aucune cité ne peut continuer à se développer sans ressources en eau. Un aquifère même renouvelable, si les sorties sont supérieures aux réalimentations est considéré identique à un gisement minier donc épuisable. De telles ressources ne peuvent être utilisées que pour un développement durable.

C'est pourquoi l'essor de la Mauritanie doit tenir compte des facteurs essentiels de développement sectoriel orientés vers une spécialisation thématique des potentialités respectives de chaque région.

Il n'est pas rare d'entendre des conversations de type : le Sahara recèle d'immenses ressources en eau souterraines qu'il faut mettre en valeur ; mais à quel prix ?

En effet, les réserves en eau du Sahara, dont une grande partie est du domaine mauritanien, sont immenses mais non inépuisables.

Avant toute exploitation à grande échelle, certaines questions doivent être posées

- Quelle est la configuration de cette région ?
- Quelle potentialité humaine et animale dispose-t-elle ?
- Quel investissement faut-il entreprendre ?
- Quelle rentabilité peut-on en tirer ?

Il ressort que le développement même à partir des ressources en eau doit acquiescer la réflexion d'une équipe pluridisciplinaire.

4.4. Répartition équitable de l'exploitation des ressources en eau

Le développement durable ne peut être pris en considération que lorsqu'une répartition équitable de l'exploitation soit faite des ressources en eau.

Cette notion englobe deux idées essentielles :

- . une répartition équitable et judicieuses des points d'eau ;
- . une utilisation rationnelle des points d'eau.

En égard à l'un et l'autre cas, sans critère apparent le taux de répartition des points d'eau en Mauritanie est inégale et non proportionnel par rapport aux besoins. Ceci a pour conséquence, soit :

- une surexploitation des nappes,
- une surcharge des pâturages,
- une pérennité de la source,
- ou un investissement non rentable.

Or, sur le plan économique et social et en matière d'environnement, l'ordre de priorité devrait tenir compte des ressources en eau existantes et assurer leur pérennité, en veillant en tout premier lieu à un approvisionnement suffisant des ménages à un coût abordable et à la satisfaction des besoins essentiels des populations les plus pauvres

V. PERSPECTIVES

Les ressources en eau disponibles en Mauritanie sont suffisantes pour assurer à ses différentes composantes un développement durable si et seulement si elles sont utilisées rationnellement. Cette utilisation rationnelle doit englober impérativement les 3 conditions circonscrites.

- Où est-il opportun de les utiliser?
- Comment faut-il les utiliser (à quelle fin)?
- Quand faut-il les exploiter?

Le déficit de années futures est d'assurer une production agricole suffisante à la population Or, l'agriculture est la plus grande consommatrice d'eau.

Heureusement la Mauritanie dispose assez de ressource en eau de surface pour asseoir cette politique d'autosuffisance alimentaire là où il faut et quant il faut sans "introduire" un grand bouleversement des écosystèmes.

Compte tenu de sa situation économique et financière il serait utopique d'entreprendre une agriculture à grande échelle à partir des eaux souterraines, même si celles-ci sont immenses dans le Sahara.

Si l'eau est un élément essentiel pour un développement agricole durable, ceci n'est pas vérifiée. Ce développement durable ne peut être effectif que pour l'exploitation de ressources en eau inépuisables par renouvellement.

Les ressources en eau non renouvelables, les réserves en eau disponibles sont toujours considérées comme finies, de sorte qu'il demeure des conditions limites au développement. Au delà de ces limites, pour continuer d'assurer le développement, des stratégies doivent être élaborées avec les plus grands soins.

C'est là le déficit pour des perspectives meilleures auxquels la Mauritanie doit faire face.

INFLUENCE DE LA NATURE DES RÉSERVOIRS SÉDIMENTAIRES SUR LES AQUIFÈRES

Delfaud, J.

Laboratoire de Géodynamique des Bassins et Quantification, Université de PAU-France

1. PROBLEMATIQUE - LES PROPRIETES RESERVOIRS

Les réservoirs sédimentaires constituent l'essentiel des aquifères. Ils se situent à deux niveaux : les sédiments superficiels (non lithifiés) et les roches profondes (indurées à la suite d'une diagenèse). Dans les deux cas, leur connaissance est fondamentale pour une gestion rationnelle

Avant d'aborder les propriétés réservoirs il est nécessaire de connaître, à toutes les échelles, la pétrographie et l'agencement structural et textural du réservoir (Tableau 1) Pour les niveaux superficiels, ces études relèvent de la pédologie, de la géomorphologie et de la dynamique récente Pour les réservoirs profonds, on fera appel aux modèles sédimentaires et micrographiques établis par les sédimentologues depuis plus de 30 ans et en particulier par les ingénieurs pétroliers. La référence est faite aux agents mécaniques et aux milieux de dépôt, concept intégrateur. De plus, la démarche de l'analyse stadiale est utilisée pour suivre le couple poronécrose/porogenèse.

On abordera alors les propriétés hydromécaniques proprement dites autour des concepts de porosité/perméabilité en insistant sur le rôle des tensions superficielles très important dans le cas de microporosité. Parallèlement on examinera le rôle chimique du réservoir qui n'est jamais neutre et qui dans certains cas influence particulièrement la composition chimique des eaux.

Dans cet exposé, nous allons examiner quatre types de lithologie ayant trait soit à des assises superficielles (sables et limons), soit à des couches profondes (calcaires et grès).

Tableau 1	
CARACTERISTIQUES D'UN RESERVOIR	
1	Volume global
2	Lithologie
	- des grains
	- de la matrice
3	Structure
	- Texture
4	Porosité
5	Perméabilité
	→ Vitesse d'écoulement
	→ Propriétés chimiques des eaux

2. ALLUVIONS SABLEUSES OU A GALETS

Ce sont les formations superficielles les plus courantes, mises en place par l'eau ou par le vent.

* Caractéristiques :

- Roches détritiques meubles, non compactées.
- Sédiments présentant une certaine porosité primaire intergranulaire.
- Propriétés texturales qui varient selon le mécanisme de dépôt (et selon l'environnement sédimentaire).

* Granulométrie, porosité-perméabilité

Les courbes granulométriques qui incluent la fraction fine des silts, permettent une caractérisation texturale. On sait que les paramètres texturaux sont liés aux agents de transport (voir diagramme de Passega).

Les valeurs de la médiane sont très dispersées dans les sédiments torrentiels. Elles se resserrent dans les dépôts fluviaux puis à nouveau s'étalent dans les faciès estuariens ou tidaux.

La porosité primaire est fonction du classement et de l'absence de limon interstitiel. La perméabilité est influencée par les phénomènes de rétention spécifique qui croissent dans les sédiments très fins. Pratiquement, à partir de la classe des limons, le sédiment a un fort pouvoir de rétention, donc il s'oppose à la circulation des fluides.

* **Les sables éoliens** constituent de bons réservoirs en milieu désertique. Le classement est bon, mais la médiane est faible et les phénomènes de tension capillaires sont importants. Ils freinent les circulations mais contribuent à retenir les particules fines de l'eau qu'ils "filtrent".

Très souvent ces dépôts sont associés à des nappes d'eau salée. Les zones de limons, donc d'argiles à fort potentiel de rétention, les localisent à des niveaux bien définis.

En plus grand, l'agencement des réservoirs est guidé par la mésoséquence de dépôt. Selon les modèles classiques elle est strato et granodécroissante, avec de nombreux litages obliques. A la base existe un niveau à galets fluviaux repris par un reg. Au sommet se développent des silts et limons souvent sursalés de type playa.

Ces caractéristiques déterminent les propriétés réservoir et doivent guider la mise en exploitation.

Bilan

Sédiments meubles à sables et galets

- Bonne porosité.
- Perméabilité variable.
- Possibilité de filtrage chimique.

3. RESERVOIRS PROFONDS

Ils sont constitués par des roches lithifiées.

3.1. Les calcaires

L'organisation texturale des calcaires marins est bien connue à partir des modèles établis sur les plates-formes de type Bahamas. Du continent vers le large on connaît :

- la zone tidale, chenalisée peu profonde ;
- le lagon boueux (basse énergie interne) ;
- la zone à haute énergie à grains jointifs ;
- la vasière à basse énergie externe.

La porosité primaire est développée dans les cordons granuleux à haute énergie et dans la zone tidale. La porosité secondaire de dissolution apparaît surtout au contact eaux douces/eaux salées en zone tidale ou dans le lagon. La dolomitisation l'améliore ainsi que la karstification. La perméabilité varie beaucoup selon l'état de la diagenèse. Mais les meilleurs réservoirs sont situés sur les zones karstifiées et/ou fracturées par des réseaux de diaclase.

Soulignons l'importance, en milieu subdésertique, de deux assises carbonatées continentales :

- les grès de plage ou beach rock à porosité importante
- les caliches, très variables.

Ces assises peuvent constituer des réservoirs locaux, d'extension toujours réduite et aux caractéristiques complexes et variables.

3.2. Les grès

Dans les grès la porosité primaire est associée aux zones à haute énergie (plages sableuses, chenaux ou séquences turbiditiques). Elle est plus ou moins occluse par la cimentation (ciment argilo-ferrugineux, carbonaté ou siliceux). L'agencement est régi par les modèles séquentiels, généralement strato et granodécroissants. La meilleure perméabilité est située alors en bas de séquences dans les assises à feuilles obliques ou chenalisées.

Soulignons l'importance, en Mauritanie, de trois assises continentales sahariennes, bien connues à la suite de travaux pétroliers (fig. 2). Le continental inférieur est souvent quarstifié. Le continental intermédiaire est peu cimenté. Le continental supérieur est à ciment argileux ou carbonaté. Le meilleur réservoir est le continental intercalaire à porosité primaire bien conservée.

Bilan

- Porosité primaire très variable
- Porosité secondaire dans les carbonates.
- Perméabilité améliorée par la fracturation.
- Dans les calcaires, pas de filtrage et risque de pollution dans les systèmes karstiques.

4. LIMONS SUPERFICIELS

Ce sont des sols argilo-limoneux parfois salins qui renferment les nappes phréatiques superficielles. Leurs caractéristiques sont soumises à la pédogénèse, guidée par l'ambiance climatique.

* Il existe deux types d'eaux dans les sols :

- les eaux libres constituant la nappe phréatique ;
- les eaux de rétention, retenues dans les limons superficiels.

Seules les premières sont exploitables.

* La perméabilité varie selon la texture des sols mais aussi selon la nature des minéraux argileux (fig 3) :

- la kaolinite a un pouvoir de rétention faible ;
- la montmorillonite et les smectites ont un fort pouvoir de rétention. Elle peut fixer des gros ions, provenant de pollutions. En pays subdésertique ces minéraux sont très fréquents

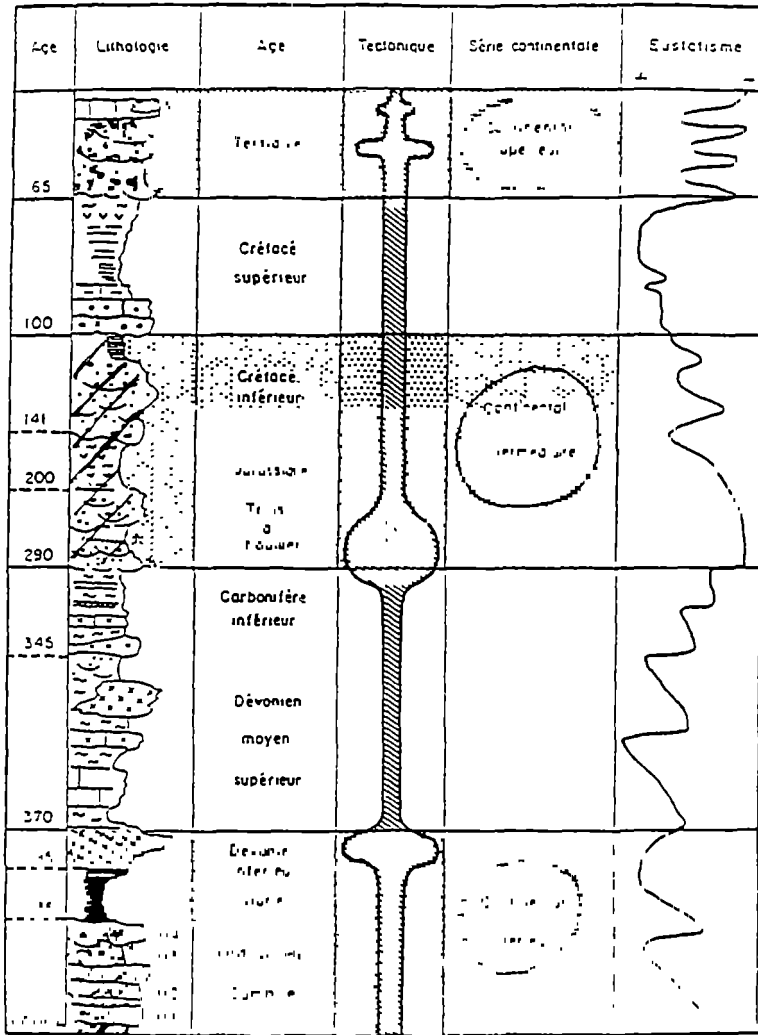


Fig 2 - Les trois continentaux du Sahara (J DELFAUD *994)

Mineral and Chemical Composition

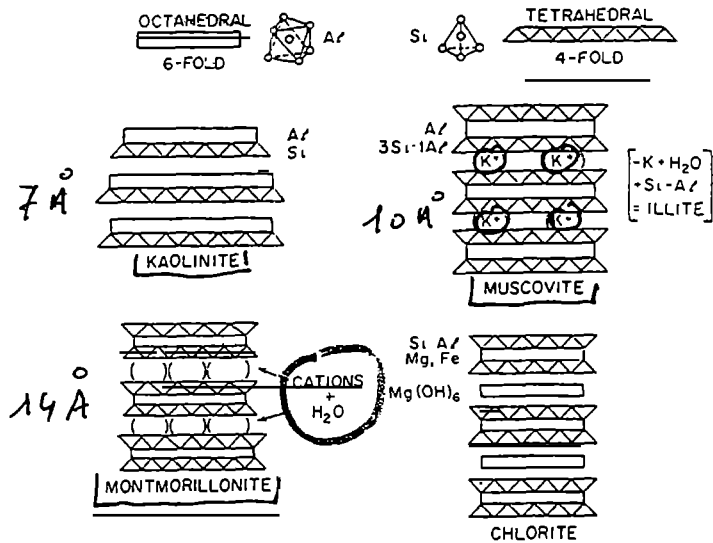


Figure3

* Les sols salins sont un cas particulier de pollution avec une dynamique d'avancée de l'eau salée souvent irréversible. On doit distinguer les différents types de sols suivant la profondeur de la nappe saline (solontchak dans les sebkhas, solonetz sur les littoraux, soloth lessivés).

Là aussi, la nature des minéraux argileux peut favoriser les phénomènes de rétention des ions Na^+ .

Bilan

- Bon stockage de l'eau.
- Transit lent, perméabilité faible.
- Possibilité de surcharge minérale et de pollution.

5. CARACTERISTIQUES GENERALES

Le tableau 4 résume les caractéristiques des principaux réservoirs énumérés.

Types de Réservoir	Exemples	Porosité Perméabilité	Vitesse d'écoulement	Nature chimique
1. Sables et Galets	Sables dunaires	Bonne porosité	Moyenne	Filtrage
2. Calcaires	Beach-Rock Caliche	Grande perméabilité	Rapide	Pas de Filtrage
3. Grès cimentés	Grès à ciment silico-ferrugineux (= les continentaux)	Faible perméabilité	Moyenne	Variable selon la nature du ciment
4. Sols	Sols salins	Bon stockage	Lente	Risques de pollution

5.1. Au plan hydrodynamique

La porosité varie en fonction de la texture, de la présence de matrice ou de ciment.

La perméabilité est également très variable, souvent freinée par les tensions superficielles. Dans les roches indurées, elle est toujours améliorée par la fracturation.

5.2. Chimie

La chimie des eaux est influencée par la nature du réservoir :

- soit directe par apport direct d'éléments provenant de l'encaissant (roches carbonatées ou salines) ;
- soit indirecte en fonction de la nature des minéraux argileux qui fixent de gros cations.

Soulignons les différences de vitesse des fluides et surtout les grandes variations du pouvoir filtrant de ces réservoirs.

BIBLIOGRAPHIE

- DELFAUD J. et ZELLOUF Kh. (1994).- Existence, durant le Jurassique et le Crétacé inférieur, d'un Paléoniger coulant du sud vers le nord au Sahara occidental. *118° Congr. nat. Soc. hist. et Scient.*, Pau, 25-29 octobre 1993, vol. résumé et Ed. du C.T.H.S., Paris.
- ELF-Aquitaine (1977).- Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés. 2 tomes, Elf-Aquitaine Edit., Boussens-Pau-France.
- PETTITJOHN, POTTER, SIEVER (1972).- Sand and sandstone. Springer Verlag Edit., 618 p., Berlin, Heidelberg.
- SERRA O. (1979).- Diagraphies différées. Bases de l'interprétation. Edit. Bull. Centre Rech. Pau-SNEA, France.

VARIATIONS DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE DES NAPPES DU SUD-EST DE LA MAURITANIE : ÉLÉMENTS QUANTITATIFS ET RECHERCHE DES CAUSES

JENNY, J.

Bureau Géologie-Géophysique, Genève (Suisse)

et

PERRITAZ, L.

Institut de Géographie, Université de Fribourg (Suisse)

Résumé

A partir de la mesure du niveau d'eau de 600 puits et forages de la nappe de Pélites du Hodh et des Grès d'Ayoun, des cartes piézométriques ont été tracées. En comparant les niveaux mesurés avec les relevés d'anciennes campagnes, il a été possible de localiser les secteurs où la nappe a baissé de manière catastrophique. Ces zones coïncident bien avec les régions en voie d'urbanisation dans la partie méridionale du Hodh.

Abstract

Water level has been measured in more than 600 water wells and bore holes of south eastern Mauritania. Piezometric surface and water level change maps have been drawn. By comparison between water level of years 60th and 70th with our measurements, we could mark the boundary of important water drawdown areas. The regions in process of urbanisation have been specially affected by this drawdown, in southern part of Hodh territory by example.

1 INTRODUCTION

1.1 Généralités et intervenants

A la fin des années 80, le niveau d'eau de nombreux puits du sud-est de la Mauritanie avait montré des baisses importantes et localement inquiétantes. Le but de cette étude était de déterminer sur un maximum d'ouvrages les variations du niveau piézométrique et d'expliquer la raison d'éventuelles baisses. Une vaste campagne de mesures sur le terrain a donc été entreprise par le Bureau Géologie-Géophysique de Genève associé au Bureau d'études et gestion de projets de Nouakchott sous mandat de la Direction de l'Hydraulique. Des techniciens de cet organisme ont participé aux campagnes de mesures.

1.2 Zones étudiées

La nappe des Pélites du Hodh présente une superficie de 47 230 km². Elle s'étend entre 15° 30' et 18° de latitude nord, 6° 30' et 11° de longitude ouest. La limite méridionale est constituée par la frontière malienne, la limite orientale par la falaise du Dahr de Oualata-Néma. Au nord, ce sont plusieurs dizaines de mètres de sables qui cachent les pélites dans l'Aouker. A l'ouest, la nappe se termine contre le Massif de l'Afollé. Le secteur étudié correspond à une vaste zone déprimée sans relief marquant, limitée à l'est et au nord-est par le Dahr de Oualata, Néma et Tichit.

La nappe des Grès d'Ayoun s'étend sur près de 21 000 km² entre 15° 30' et 17° de latitude nord et 9° 30' et 11° 30' de longitude ouest (figure 1). Au sud, la nappe touche la frontière malienne, à la limite orientale elle jouxte la nappe des Pélites du Hodh. Morphologiquement, le massif des Grès d'Ayoun est très tourmenté : les plaines qui entourent le massif gréseux sont parsemées de reliefs résiduels (inselberg) : les Guelbs. Les points les plus élevés dépassent 450 mètres et la plaine s'abaisse à moins de 100 mètres d'altitude dans la plaine de Kankossa.

1.3 Données disponibles

Pour le Hodh, on dispose des données de deux campagnes de visites de points d'eau dont l'une date des années 1960 (1958 à 1962 suivant les régions) et l'autre de 1974. Il était donc important de comparer les niveaux d'eau actuels avec les anciennes informations. Ceci n'a évidemment été possible que pour les puits répertoriés depuis 1960 et que nous avons pu retrouver. Seuls peuvent faire l'objet de comparaisons valables les niveaux piézométriques des puits visités à la même époque de l'année.

1.4 Données récoltées

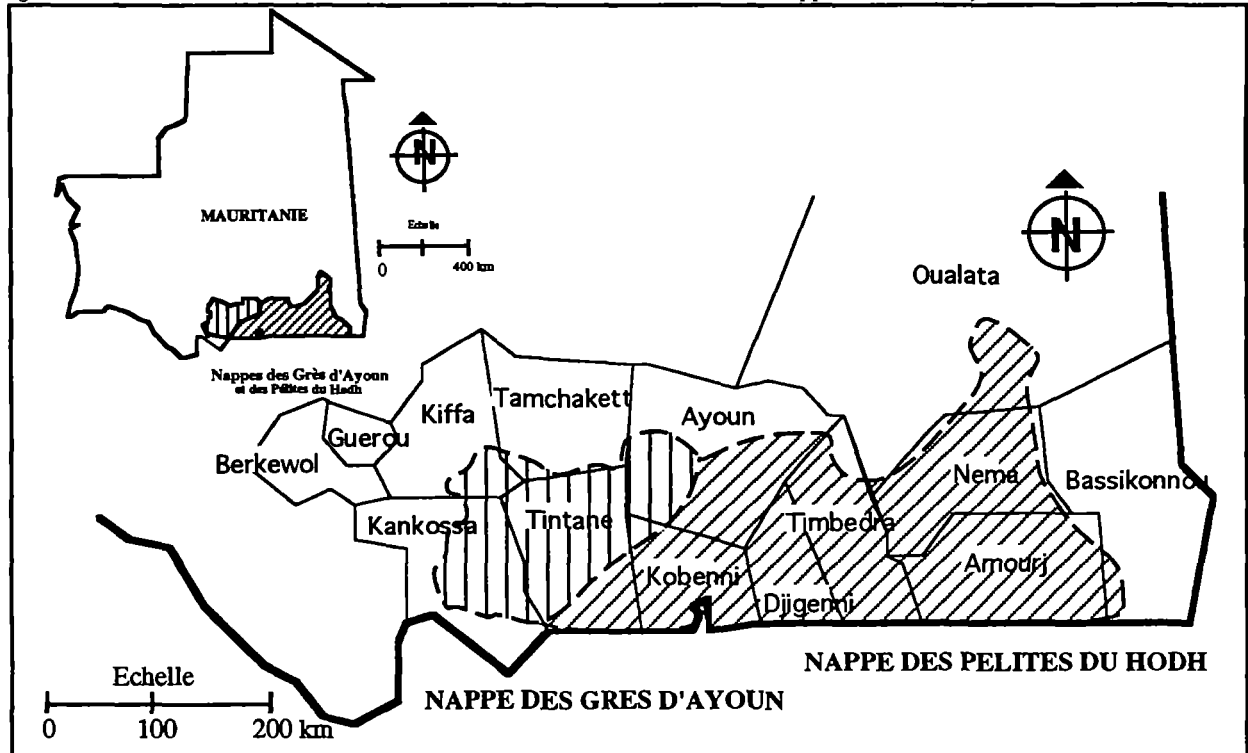
Le travail de base a consisté à visiter la majorité des points d'eau, puits cimentés ou traditionnels, sources et forages, de les positionner sur les cartes, si nécessaire au moyen d'un GPS, d'en déterminer l'altitude, de mesurer la profondeur de l'eau et sa conductivité. La fréquentation du puits a été estimée par une enquête sur place auprès des utilisateurs et de l'administration locale. Au cours des missions ont été visités :

- 555 points d'eau dans le Pélites du Hodh, de Mai à Juillet 1986 (saison sèche) ;
- 217 puits et forages dans les Pélites du Hodh, en Octobre et Novembre 1986 (fin de la saison des pluies) ;
- 82 points d'eau (44 puits cimentés, 21 sources, 16 puits traditionnels et 1 forage) dans le Nappe des Grès d'Ayoun, en Juin 1987 ;
- 59 points d'eau dans la nappe des Grès d'Ayoun, deuxième visite en hautes eaux, d'Octobre à Novembre 1987.

Nous avons jugé important d'étudier plus précisément les aspects socio-économiques dont l'impact sur les variations de la surface piézométrique devait être contrôlé. Pour ce faire, nous avons procédé à des enquêtes approfondies dans des localités sélectionnées afin de quantifier la population et le cheptel actuel, tant nomade que sédentaire. En interrogeant les notables, il nous a souvent été possible de connaître l'évolution du problème de l'alimentation en eau du village et

de déterminer la consommation locale moyenne (eau de boisson pour les hommes et les animaux, eau d'irrigation pour les palmeraies et les cultures). Nous avons observé durant 24 heures le puisage au puits de Gounguel afin de connaître précisément les besoins en eau des habitants et des animaux. A cette occasion, le niveau piézométrique a été mesuré toutes les 15 minutes, ainsi que le volume d'eau prélevé. Un fichier informatique, basé sur les fiches standards de la Direction de l'Hydraulique, regroupe toutes les données collectées lors de ces campagnes.

Fig. 1 : Divisions administratives du sud-est Mauritanien et localisation de la nappe des Grès d'AYOUN et des Pélites du Hodh.



1.5 Télédétection

Les images satellites LANDSAT 5 TM ont servi à caler les observations géologiques. Ces images permettent de distinguer les grands traits morphologiques du Hodh : falaises, oueds, grandes routes, cordons dunaires, zones d'affleurement, grandes tamourts, etc., et nous ont servi à dessiner les contours des zones d'affleurement ainsi que les grands traits morphologiques du fond géologique des cartes. Une étude plus fine de ces documents révèle la présence des grands dykes et de certaines intrusions doléritiques. Les placages de grès ou d'argiles du "Continental intercalaire" de la région d'Amourj apparaissent bien. De nombreuses fractures sont visibles, en particulier dans la région de Néma et de Oualata.

1.6 Données climatiques

Entre Tichit, en bordure septentrionale de l'Aouker, et Sélibabi, à proximité du fleuve Sénégal, la pluviosité annuelle moyenne croît de 80 mm à 635 mm. La région considérée est traversée par les isohyètes 400 mm, sur la frontière malienne au sud, à 100 mm au nord de Oualata. L'unique saison des pluies, dite "hivernage" s'étend de juillet à septembre. Les pluies sont plus précoces au sud. Des relevés météorologiques réguliers proviennent de Néma et Timbedra depuis 1925-30. Des informations concernant Ayoun-el-Atrous existent depuis 1951 et il existe d'anciens relevés concernant Oualata (1936-1949). D'anciens rapports mentionnent les pluviosités antérieures de ces stations, dès 1925 par exemple pour Néma. Ces données nous ont permis de tracer des diagrammes de pluviosité. On y constate que depuis le début des relevés et jusqu'à l'année 1950, les pluviosités observées étaient proches de la moyenne demi-séculaire. De 1950 à 1967/68, les pluies sont le plus souvent excédentaires, particulièrement au début de cette période. Depuis, les pluies se sont raréfiées et le déficit en pluie est très important (Figure 2).

Les travaux de synthèse du BURGEAP en 1975 coïncidaient avec la fin d'une importante période "humide", alors que cette présente étude intervient après une longue sécheresse.

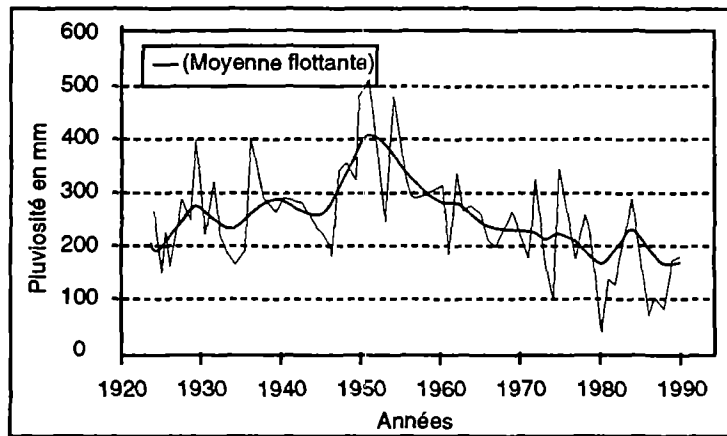


Figure 2 : Pluviométrie à Néma entre 1924 et 1993

2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

2.1 Contexte géologique général

Les terrains précambriens cristallins birrimiens affleurent au sud du Massif de l'Afollé dans la région de Kayes. Le Massif de l'Afollé présente une forme triangulaire de 30'000 km² de superficie et se termine à l'est d'Ayouun-el-Atrous. Les grès constituent l'essentiel de la lithologie qui repose en discordance majeure sur le socle birrimien. Les Grès d'Ayouun à grandes stratifications obliques terminent cette série. Il s'agit des grès à faciès "ruiniforme", tendres et friables, épais de 200 m. Une barre de grès massifs dénommés "grès cervelle" par BOURGUET (1966) coiffe les grès d'Ayouun. L'âge de ces grès est précambrien supérieur.

Les grès du "Groupe d'Ayouun" sont surmontés par des dépôts glaciaires, la "Tillite inférieure" qui les érode localement. La tillite débute par des argiles feuilletées qui contiendraient déjà des blocs de granite. Des grès à stratifications obliques reposent sur ces argiles : Ce sont les "Grès d'El Aguer" que recouvrent des pélites à blocs de granite ("Tillite supérieure"). La Tillite inférieure mesure jusqu'à 40 m de puissance (BOURGUET, 1966), les Grès d'El Aguer 150 m et la Tillite supérieure 15 m. Des jaspes surmontant localement des calcaires ou dolomies à barytine (= "Dolomies inférieures" de BOURGUET) coiffent ces formations. Au-dessus apparaissent les silexites puis les pélites du Hodh. Dans le Hodh, quatre formations succèdent aux dépôts glaciaires et aux silexites ; ce sont de haut en bas :

1. la Formation de Ganeb
2. la Formation d'Oujaf
3. la Formation de Dakhlet Barda
4. la Formation des Pélites du Hodh

La Formation des Pélites du Hodh comprend des roches argileuses indurées de couleur verte, noire ou violacée atteignant 150 à 200 m de puissance près de Néma selon DEYNOUX (1980). Ces roches devraient être dénommées plus précisément argilites selon cet auteur. Faute de fossiles, l'âge de cette unité est mal connu, il se situe à la limite Précambrien-Cambrien.

Il s'agit de roches dures, à texture très fine montrant un débit schisteux. Les plans de stratification ne présentent pas de structures sédimentaires, ni de traces organiques. Le pendage des strates est le plus souvent horizontal dans le Hodh et les bons affleurements des pélites sont situés principalement en bordure du Dahr de Néma, en particulier dans le lit de l'Oued Néma. Les failles qui traversent cette roche très compétente fracturent les pélites en polyèdres centimétriques sur une épaisseur pouvant atteindre plusieurs mètres. Ce phénomène s'observe parfois bien près des puits alignés sur une faille le long de laquelle l'eau peut circuler plus facilement à la faveur de ces microfractures.

La Formation de Dakhlet Barda affleure à l'est de Tichit. Elle comprend des siltstones feldspathiques de couleur violacée avec des niveaux gréseux carbonatés fins et des lits de calcaires dolomitiques dans lesquels apparaissent des stromatolites. Cette unité passe progressivement à la formation sous-jacente des Pélites du Hodh.

La Formation d'Oujaf a été définie dans la falaise du Dahr de Oualata à la limite de la région étudiée ici. Ce sont des grès à stratifications obliques de couleur beige et verdâtre. La base de couleur mauve est progressive avec l'unité inférieure plus argileuse. La Formation d'Oujaf, épaisse de 100 à 170 m, serait d'âge ordovicien.

La Formation de Ganeb apparaît localement sous la discordance des faciès du Complexe glaciaire de l'Ordovicien terminal. Il s'agit de grès massifs quartzitiques et feldspathiques blancs à stratifications obliques.

Le Complexe glaciaire ou "Groupe de Tichit" daté de l'Ordovicien supérieur surmonte ces formations grésopélitiques. Il s'agit de grès argileux microconglomératiques, argiles microconglomératiques avec blocs. Au nord de la zone étudiée, entre Oujaf et Tichit, la série stratigraphique est plus complète, avec des argilites siluriennes à graptolites et des grès dévoniens (Groupe d'Aratane).

Roches magmatiques

Dans tout le Hodh et surtout dans la région d'Amourj et Néma des roches intrusives de nature doléritique sont fréquentes sous forme de dykes, sills et laccolites. Les dykes sont très nombreux et mesurent entre 0.50 m et 20 m de puissance. Selon l'encaissant, ils constituent des zones tendres (avec les grès d'Ayouun) ou des reliefs. De longs dykes avec des pélites indurées en bordure émergent des sables au nord de Oualata où ils sont parfois empruntés par les pistes automobiles. Les datations radiométriques disponibles indiquent un âge de 190 MA environ (DOSSO, 1975) qui correspond à la limite Trias-Lias. Les dolérites du Hodh sont donc à rattacher au vaste magmatisme basique lié à la distension précédant l'ouverture de l'Atlantique et qui a recouvert l'Afrique du nord de vastes coulées de basalte.

Continental intercalaire

Les roches paléozoïques et les dolérites sont surmontées, avec une grande lacune stratigraphique mais sans discordance angulaire visible, par des grès et argiles dits du "Continental intercalaire". Ceux-ci constituent le sommet de la falaise du Dahr. MARCHAND (1954,1955) puis BOURGUET (1966) ont distingué de bas en haut : la Série argileuse et Grès de Brazer, composée à sa base par des argiles de teinte grise qui montrent 20 m de puissance à Néma. Dans d'autres secteurs (à l'est de Niout et Amourj) les argiles de base remanient les dolérites sous-jacentes et prennent alors une couleur rose ou mauve. Une cuirasse latéritique les surmonte souvent. Les Grès farineux de Brazer, argileux, roses, fins et en plaquettes surmontent les argiles de base. Les Grès continentaux du Dahr sont grossiers, argileux et multicolores (rouges, violets ou jaunes). Ils constituent une petite falaise très continue de 5 m à Néma et Oualata qui correspond au sommet de la falaise du Dahr. Le Continental intercalaire est rapporté avec réserves au Jurassique.

2.2 Nappe de Pélites du Hodh

Les Pélites du Hodh sont des sédiments argileux, extrêmement peu perméables, elles ne sont susceptibles de contenir de l'eau que dans des fractures ou dans la zone d'altération superficielle. La fracturation est liée essentiellement aux accidents tectoniques et localement aux intrusions de dolérites. La "Nappe aquifère des Pélites du Hodh" n'est donc pas une nappe phréatique libre généralisée, mais l'eau est liée essentiellement aux fractures comme le montre d'une part le parfait alignement de plusieurs puits productifs sur des failles et d'autre part le nombre de puits profonds et secs. L'importance de la fracturation diminue avec la profondeur, rendant le surcreusement des puits de plus en plus difficile et augmentant peu le débit de l'ouvrage. De plus la présence de nombreux dykes doléritiques complique encore la géométrie de cette nappe en créant soit des drains si cette roche est altérée, soit des barrages si, au contraire, la roche est saine.

La quantité d'eau exploitable est donc limitée au volume des fissures, elle est de ce fait généralement faible. Les déterminations de perméabilités disponibles indiquent des valeurs d'environ 10^{-5} m/s, qualifiées de moyennes selon TODD (1980). La présence de petits aquifères superficiels liés à des alluvions ou des zones d'altération est probable, preuves en sont les niveaux piézométriques très différents relevés parfois entre les oglats et le puits cimenté voisin. Les roches intrusives doléritiques doivent également être prises en compte comme aquifères. Tout comme les pélites, ce sont là des roches originellement imperméables à l'état sain, mais une porosité intéressante peut être due à leur altération ou provenir des effets mécaniques liés à leur mise en place, tant dans les roches intrusives elles-mêmes que dans les pélites encaissantes. On relève localement des alignements de puits parallèles à l'axe d'un dyke. Dans les massifs doléritiques d'une certaine ampleur, les fractures qui drainent les arènes superficielles peuvent se révéler d'intéressants aquifères (région de Niout et Amourj).

2.3 Nappe des Grès d'Ayouun

Contrairement aux Pélites du Hodh et aux autres formations gréseuses de l'Assaba, les Grès d'Ayouun peuvent présenter une porosité notable par dissolution du ciment calcaire. Les calculs de perméabilité figurant dans les travaux hydrogéologiques consultés indiquent des coefficients de perméabilité de l'ordre de 10^{-5} m/s.

Les données des essais de pompages effectués à la base de l'Hydraulique d'Ayouun corroborent ces valeurs. Avec une transmissivité (T) de $6 \cdot 10^{-4}$ m²/s et 30 m de hauteur d'eau, la perméabilité (K) est de $2 \cdot 10^{-5}$ m/s. Le forage FM²⁴B alimentant la ville d'Ayouun, a fait l'objet en 1986 d'un essai de pompage avec observation d'un piézomètre qui a permis de calculer une transmissivité de l'ordre de $4 \cdot 10^{-3}$ m²/s, une perméabilité de $7 \cdot 10^{-5}$ m/s avec 56 m de hauteur d'eau.

Les massifs de grès constituent des zones d'infiltration intéressantes du fait des fissures qui les strient et des dépressions qui regroupent l'eau de ruissellement. Les grandes fractures ou dykes drainent cette eau et la plupart des grandes sources sont nettement situées sur leur tracé. Comme dans les pélites, les dykes doléritiques peuvent piéger de l'eau, on relève souvent des alignements d'arbres ("attaba" en dialecte hassania) à l'aplomb des dykes. Les populations locales, très logiquement, y creusent volontiers des puits. Les roches éruptives assez tendres n'affleurent que rarement, mais une tranchée rectiligne caractéristique, les épontes gréseuses indurées résistant mieux à l'érosion.

L'existence d'une nappe aquifère généralisée dans les Grès d'Ayouun a été discutée par divers auteurs. Pour notre part, nous avons observé des puits creusés dans des grès massifs visibles en surface, sans aucune tectonique cassante. L'eau contenue par ces puits ne peut provenir que de la porosité interstitielle et/ou s'écouler le long des joints de stratification. Ce type d'écoulement s'observe du reste parfaitement aux sources où l'eau sort des interstrates des grès.

Les sources sont le plus souvent situées à la base des parois gréseuses ou en amont dans le lit de certains oueds. Elles doivent correspondre à l'émergence localisée de la nappe "générale" des Grès d'Ayouun car leurs cotes s'intègrent parfaitement sur les cartes piézométriques que nous présentons.

Les forages ou puits suffisamment profonds qui n'ont pas rencontré d'eau dans les grès sont exceptionnels sinon inexistants. Ceci ne veut pas dire que l'on pourra planter un puits au hasard, car si aucune fracturation n'améliore la perméabilité des grès, le débit de l'ouvrage restera très faible.

3 CARTES PIÉZOMÉTRIQUES

3.1 Pélites du Hodh (figure 3)

La surface piézométrique de la nappe des pélites du Hodh suit assez régulièrement la morphologie de la surface topographique à une profondeur moyenne de 13 mètres. Elle est inclinée vers le nord et se redresse à l'est contre les falaises du Dahr de Néma et Oualata. Les lignes isopièzes sont resserrées à l'aplomb des pentes topographiques, signe de la médiocre perméabilité des terrains.

L'aquifère est compris dans la partie supérieure, fissurée et/ou altérée des pélites sous un recouvrement restreint de dépôts récents non consolidés et généralement secs. On constate localement l'existence de petits aquifères superficiels dans ces dépôts. La comparaison entre les cartes piézométriques "basses eaux" et "hautes eaux" montre que la

réalimentation de la nappe se fait surtout après les pluies par alimentation indirecte à travers les alluvions d'oueds et tayarets ainsi que par infiltration autour des reliefs. La hausse moyenne après les pluies est de 2.2 m. En 1986, la partie occidentale (Départements de Touil et Tintane) n'a reçu que la moitié de la hauteur d'eau moyenne. Les observations de terrain ont montré que le niveau d'eau n'est que peu remonté dans cette région.

Les basses valeurs de conductivité des eaux de la nappe des Pélites du Hodh renseignent sur les zones d'alimentation privilégiées de la nappe. Ceci est souvent le cas pour les eaux des puits implantés dans les oueds et tayarets. Les zones à haute conductivité indiqueraient les régions sujettes à une plus forte évaporation et celles dont l'écoulement est très limité. La réalimentation est fortement conditionnée par le réseau hydrographique et la topographie, elle reste donc très locale et il paraît difficile d'imaginer un écoulement généralisé s'effectuant sur des distances importantes.

3.2 Grès d'AYOUN (figure 3)

Sur la carte piézométrique "basses eaux", la coïncidence entre la surface topographique et la morphologie du toit de la nappe aquifère est le trait le plus évident de ce document. Le massif gréseux d'AYOUN et celui de l'AFOLLÉ constituent des dômes majeurs sur la carte piézométrique. Une ligne de partage des eaux souterraines traverse l'AFOLLÉ selon un axe nord/sud : vers l'est les eaux s'écoulent dans le bassin de la tayaret El M'silé et vers l'ouest en direction de l'oued KARAKORO. La cote piézométrique la plus élevée (272 m) a été mesurée dans l'AFOLLÉ, et la cote la plus basse (68 m), dans la plaine de KANKOSSA. Un grand axe de drainage NE/SW correspond à la tayaret El M'silé, il sépare approximativement la nappe des Grès d'AYOUN de celle des Pélites du Hodh. Quelques dépressions affectent la surface piézométrique : de part et d'autre du banc FRÉDI, au NW de Tintane, les isopièzes dessinent des creux allongés correspondant à des dépressions topographiques encadrées de reliefs. Celles-ci sont de plus le siège d'une importante évapotranspiration démontrée par la salinité exceptionnelle de l'eau de certains puits de ces zones. Vu l'équidistance des courbes piézométriques et la densité des mesures, les anomalies locales sont souvent peu marquées, pourtant on constate bien que les lits de rivières correspondent à des creux dans la surface piézométrique, donc à des axes de drainage.

La carte piézométrique montre bien que l'eau s'écoule des massifs gréseux, qui doivent constituer un lieu privilégié d'infiltration des eaux météoriques, vers les plaines contiguës. Elle alimente les puits et les sources de piémont. Dans la plaine, l'alimentation se fait localement, à la faveur de zones d'infiltration plus favorables (tamourts, lits d'oueds etc.).

Une carte piézométrique a été réalisée en novembre 1987, après la saison des pluies. Le niveau d'eau est remonté dans 36 des 54 puits mesurés : 2 puits accusent plus de 3 m de hausses et 5 plus de 5 mètres. Dans 17 puits, l'eau a baissé, mais de moins d'un mètre, ce qui n'est pas significatif en raison de problèmes d'abaissements dynamiques liés au puisage. Seul le niveau d'eau de 3 puits était sensiblement plus bas après les pluies. Trois remontées de niveau importantes produisent des dômes accentués, en particulier celui de BLEMHADER où le niveau d'eau du puits près du barrage est remonté de plus de 15 m, la nappe alluviale étant à nouveau alimentée, alors que le puits du village baissait d'un mètre. A DEVAR, village situé au bord de la route de l'Espoir, le niveau est également monté de plus de 10 mètres.

C'est le niveau statique des puits de la région d'AYOUN et de la plaine au SW d'AYOUN qui n'est pas remonté ou même qui a baissé après les pluies. Il faut relever que la baisse de 2.85 m observée à HASSI CEKENNI s'explique par le fait que ce puits à eau très salée n'était pas employé en Juin alors qu'après les pluies, les pasteurs y amènent leurs troupeaux en "cure de sel".

4 CARTES DE VARIATIONS DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE

4.1 Traitement des données

Afin de faire ressortir les variations significatives du niveau piézométrique, nous avons dessiné des cartes montrant l'une la différence de niveau entre 1961 et 1986, l'autre entre 1974 et 1986. Quelques données plus anciennes encore, datant de 1956 à 1959, ont servi à dresser ces documents, mais elles ne concernent pratiquement que la région du nord de OUALATA pour laquelle il n'existait pas d'autres données. Les variations de niveau d'eau dans ces puits sont d'ailleurs insignifiantes depuis près de 30 ans. Les deux cartes sont très semblables et les zones à nappe déprimée coïncident bien, avec des hauteurs d'abaissements évidemment plus importants pour la carte des variations depuis 1961. C'est ce document qui est présenté dans cet article (figure 4).

Nous ne nous sommes pas préoccupés des variations de niveau inférieures à 2 mètres pour mieux faire ressortir les abaissements ou les remontées significatives. Ce faisant on élimine une bonne partie des incertitudes liées à l'abaissement dynamique du niveau hydrostatique par puisage. Dans certaines régions, on constate une baisse généralisée cohérente de la nappe dans tous les puits, excluant toute erreur de mesure locale.

4.2 Variation de la nappe des Pélites du Hodh

Pour 103 points d'eau, on a pu calculer la variation de la nappe des Pélites du Hodh entre les années 61 et 74. Malgré une pluviosité supérieure à la moyenne demi-séculaire, le niveau moyen de la surface piézométrique avait déjà baissé de près de 3 m. Calculée pour 126 points, la baisse de la nappe est de plus de 5 m entre les années 60 et la visite "basses eaux" de 1986. Depuis les années 70, la nappe s'est abaissée d'environ 2 m en moyenne sur 195 points par rapport au niveau de la visite "basses eaux" de 1986. La partie nord, pourtant saharienne, n'a que peu varié. Les quelques puits dont le niveau d'eau est resté stable, ou est même remonté, sont situés dans des zones favorables à la réalimentation (tayarets, oueds). C'est là également qu'on observe des hausses sensibles du niveau d'eau après les pluies.

En plusieurs localités, l'abaissement dépasse 15 mètres, la région de DJIGUENI par exemple apparaît comme la plus vaste zone déprimée de toute la nappe des Pélites du Hodh, avec une baisse maximale de 20 m à MOUSFWAYÉ au SE de DJIGUENI. Dans la région de KÉHOULA, en bordure de l'Aouker et celle d'OUMM-EL-ADAM, l'abaissement de l'eau dans les puits atteint presque 20 m. Deux vastes zones à nappe aquifère déprimée caractérisent la région de NÉMA : l'une s'étend le long de la route entre TIMBEDRA et NÉMA avec des rabattements atteignant 10 mètres (El Wasa), l'autre s'étend entre KOUMBI SALEH et MEBDOUNA avec une valeur extrême de -20 m à TCHERA OULAD EL FAGHI. D'autres secteurs plus limités géographiquement ont subi une baisse de la nappe comme la région d'AMOURJ (-9 m) ou d'HASSI ATILA.

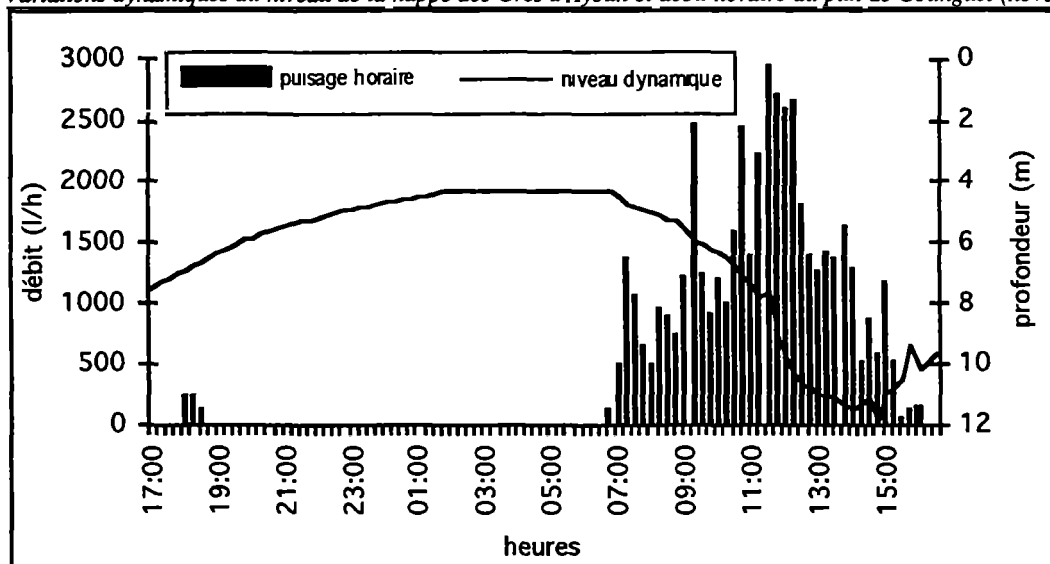
4.3 Variation de la nappe des Grès d'Ayoun

Par rapport aux mesures piézométriques des années soixante et soixante dix, le niveau actuel de l'eau de la nappe des Grès d'Ayoun présente des variations très inégales : on constate quelques rares remontées de niveau, de nombreuses mesures de 1987 se rapprochent des cotes des décennies passées et localement des baisses du niveau de 2 à 6 mètres ont été relevées. Les baisses sont moins importantes pour la nappe des Grès d'Ayoun que celles des Pélites du Hodh. Ceci s'explique vraisemblablement par les meilleurs qualités aquifères des grès qui possèdent une perméabilité primaire contrairement aux pélites.

4.4 Utilisation des cartes

Les cartes de synthèses doivent permettre de choisir de nouvelles implantations de points d'eau, en recherchant des fractures dans des régions à nappe stable, avec un gradient hydraulique favorable et des eaux à salinité acceptable. Par contre dans les zones à nappe fortement déprimée du sud-ouest, le creusement de nouveaux puits traditionnels ne devrait guère combler le déficit en eau.

Figure 5 : Variations dynamiques du niveau de la nappe des Grès d'Ayoun et débit horaire du puit de Gounguel (novembre 1987)



Néanmoins, dans cette région, on pourrait envisager de tester par forage les caractéristiques hydrauliques des grès sous-jacents aux pélites. En effet, le sommet des grès devrait localement être situé à quelques dizaines de mètres de profondeur (certains puits au sud de Touil atteignent les jaspes qui séparent les grès des pélites et silixites). Les vastes affleurements de grès au nord de Touil pourraient constituer une bonne zone de réalimentation d'une nappe éventuelle. Malgré une faible perméabilité, les grès sont susceptibles de contenir de l'eau, localement artésienne, qui devrait être captée au niveau des zones fracturées.

L'implantation de nouveaux puits doit tenir compte du fait que ces ouvrages sont très sollicités, surtout en saison sèche. A titre d'exemple, l'activité autour du puits de Gounguel a été observée durant 24 heures au mois de novembre, 12 210 litres ont été puisés, dont 9 750 pour le bétail. Le niveau dynamique s'est abaissé de 7,65 m alors que le débit horaire maximum dépassait 2,5 m³/h (figure 5). L'implantation de tels ouvrages doit s'accompagner d'études sérieuses, hydrogéologiques, géophysiques et évidemment socio-économiques.

5 CONCLUSIONS : RECHERCHE D'EXPLICATIONS

Depuis 1970, le Sahel et le Hodh en particulier souffrent d'un net déficit en pluie par rapport à la moyenne demi-séculaire. Il ne pleut guère plus de 200 mm au niveau de la route de l'Espoir alors qu'à Kiffa la moyenne depuis 1923 est de 340 mm. La hauteur d'eau dans les puits de la nappe des Grès d'Ayoun est de moins d'un mètre en saison sèche pour la moitié des ouvrages visités. Ceci est nettement insuffisant et un approfondissement serait nécessaire avec l'aide des brigades hydrauliques concernées, car ce travail est souvent matériellement hors de portée des habitants des villages. Après les pluies, le niveau de l'eau remonte dans la plupart des ouvrages, preuve d'une réalimentation malgré la faible pluviosité. Les points d'eau dont le niveau est resté relativement stable sont des puits peu utilisés pour des causes diverses (le plus souvent en raison de leur salinité élevée), ou des ouvrages isolés dans des secteurs à fourrage réduit où ils sont moins sollicités par une population nomade en régression. Dans les Grès d'Ayoun, comme pour les puits des Pélites du Hodh, les points d'eau de la frange saharienne n'ont que peu souffert de la sécheresse de ces vingt dernières années. Sur l'ensemble de la superficie des Grès d'Ayoun comme de celle des Pélites du Hodh, seule une baisse de 1 à 2 mètres semble pouvoir être attribuée au déficit pluviométrique. Preuve en sont les puits de la limite méridionale de l'Aouker (Oujaf, Freikike, Hassi Founi, Tiguiguil) zone aride par excellence, où la baisse ne dépasse pas 1 mètre.

Les baisses importantes de niveau d'eau dans les puits concernent principalement des lieux habités par des sédentaires ou des nomades sédentarisés, le long de la route de l'Espoir ou dans la partie méridionale de la zone étudiée, à proximité de la frontière malienne. Ce n'est pas la baisse de la pluviométrie qui peut expliquer les baisses les plus importantes, mais

la surexploitation locale de l'aquifère par les populations.

Les villages et les centres administratifs ont considérablement augmenté leur population par accroissement naturel et surtout par la sédentarisation importante des nomades, dont la proportion a baissé de 51 % en 1977 à 15 % actuellement. Plusieurs bourgades ont vu leur population augmenter considérablement en dix ans (figure 6) : Ayoun 170 %, Tintane 390 %, Ain Farba 260 %. Chaque famille possédant en outre quelques bêtes, les besoins en eau ont plus que doublé en dix ans, alors que la pluviométrie chutait. Lors de la saison sèche, la concentration du cheptel autour des points d'eau est proportionnelle aux ressources en eau et plus un puits est productif, plus il attire de bétail (figure 7).

Ce phénomène n'est pas sans conséquences sur l'équilibre naturel de cet écosystème sahélien : surpâturage et piétinement sont des facteurs de désertification qui conduisent à une imperméabilisation progressive du sol, ce qui favorise le ruissellement et diminue l'infiltration et ainsi la recharge de la nappe. Il en est de même pour le déboisement qui est opéré à proximité de la route goudronnée.

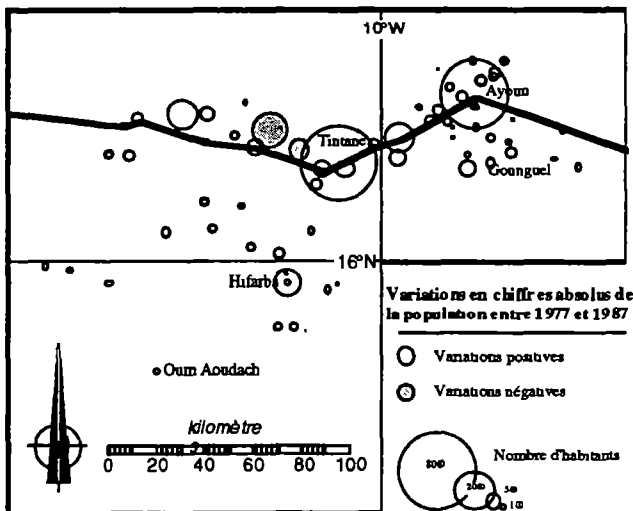


Figure 6 : Variations en chiffres absolus de la population de certaines localités entre 1977 et 1987

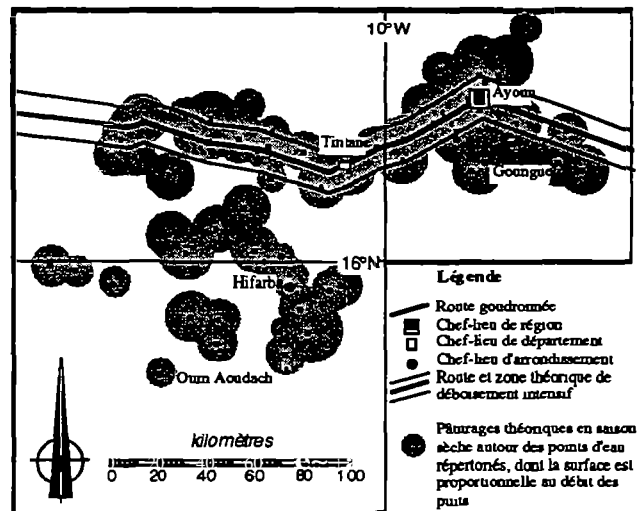


Figure 7 : Carte synthétique des zones de concentration humaine et animale entraînant des risques de désertification

Il faudra donc surveiller très sérieusement l'évolution des nappes du Hodh et dans certains cas envisager une alimentation en eau potable des bourgades au moyen de forages parfaitement implantés sur des failles, hors des localités s'il le faut. Des forages profonds touchant les grès sous les pélites seraient à tenter. Enfin, la création pour les pasteurs de nouveaux points d'eau bien répartis géographiquement devraient encourager ces derniers à rester loin des centres en saison sèche et à diminuer ainsi leur impact ponctuel sur les ressources en eau.

BIBLIOGRAPHIE

- ARCHAMBAULT, J. (1960) : Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale. 137 p.
- BENSE, C. (1964) : Les formations sédimentaires de la Mauritanie méridionale et du Mali nord-occidental (Afrique de l'ouest).-Mém. BRGM 26, 270 p.
- BOURGUET, L. (1966) : Synthèse hydrogéologique et aménagement du sud-est mauritanien. -Rapp. inédit BURGEAP No 415.
- BURRI, J.-P. et BOCUM, A. (1991) : Recherche de pièges dans le biseau sec du flanc occidental du bassin de Taoudeni, désert de Sarakollé, confins sud est de la Mauritanie.-Geoexploration 27, 35-42.
- DEYNOUX, M. (1980) : Les formations glaciaires du Précambrien terminal et de la fin de l'Ordovicien en Afrique de l'ouest.-Trav. Labo. Sci. Terre No 17, sér. B, Marseille.
- DOSSO, L. (1975) : La méthode potassium-argon. Datation de quelques dolérites de Mauritanie.-Dip. Ing. Géophys. Inst. Phys. Globe Strasbourg, 48 p.
- DRISCOLL, F.G. (1986) : Groundwater and wells.-Johnson Division, St Paul, Minnesota.
- FURON, R. (1928) : Observation géologique dans le Hodh (Cercle de Néma, Soudan français).-C.R.Acad. Sci., Paris, t. 187, p. 354-355.
- MARCHAND, J. (1955) : Rapport de fin de campagne 1954-1955 en Mauritanie.-Rapp. inédit, Dir. féd. Min. Géol., A.O.F Dakar.
- MONOD, T. (1958) : Majabat al-koubra. Contribution à l'étude de l' "Empty Quarter" ouest-saharien.-Mém. Inst. fr. Afr. noire, Dakar, t. 24.
- PERRITAZ, L. (1989) : Interprétation des variations piézométriques de la nappe des Grès d'Ayoun (Mauritanie).-Diplôme inédit, Institut de Géographie, Univ. Fribourg, 262 p.
- TODD, D. K. (1980) : Groundwater hydrology.-John Wiley and Sons, New York.

Figure 3 Carte piézométrique du Sud Est de la Mauritanie en 1987

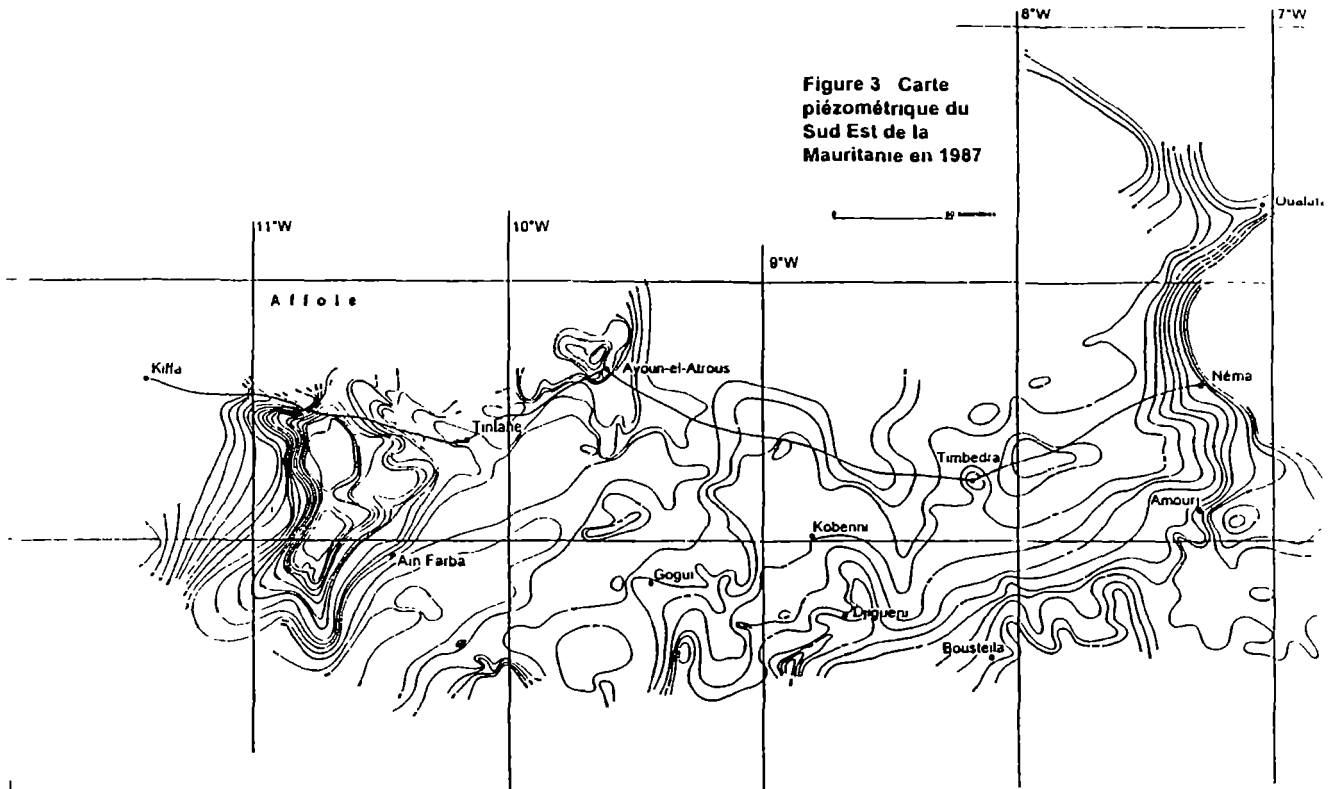
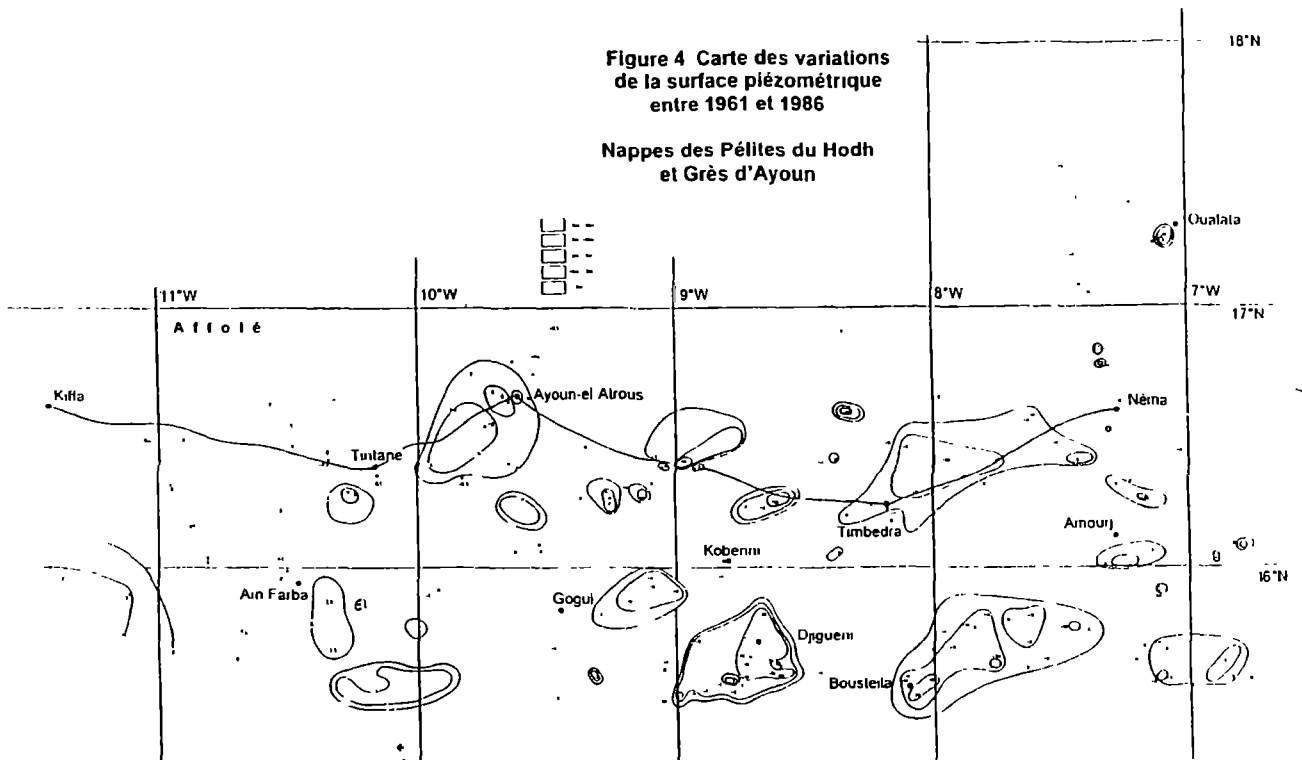


Figure 4 Carte des variations de la surface piézométrique entre 1961 et 1986

Nappes des Pétilles du Hodh et Grès d'Ayoun



APPROCHE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DE LA NAPPE DU TRARZA (MAURITANIE) : ETUDE DU CHAMP CAPTANT D'IDINI

Séméga, B. M., Vaillant, A., Piro, J.,
Institut Supérieur Scientifique. B.P. 5026 - Nouakchott - Mauritanie

Giannérini, G.,
Institut Supérieur Scientifique. B.P. 5026 - Nouakchott - Mauritanie et Institut des Relations Interuniversitaires avec la Mauritanie (IRIM). Université de Nice-Sophia Antipolis. Parc Valrose - F 06108 Nice - Cedex 02.

Ould Cheikh Abdallahi, B.,
Sonelec - Nouakchott - Mauritanie

et

Caruba, R.,
Institut des Relations Interuniversitaires avec la Mauritanie (IRIM). Université de Nice-Sophia Antipolis. Parc Valrose - F 06108 Nice - Cedex 02.

I - INTRODUCTION

Dans les régions côtières arides, les eaux utilisables sont caractérisées par leur rareté, leur minéralisation et les besoins engendrés par une concentration importante des sites urbains auxquels elles doivent répondre.

Les réserves en eau douce de la région côtière du Trarza, principales sources d'approvisionnement de la capitale Nouakchott située à sa façade océanique au sud-ouest de la Mauritanie, sont réduites aux seules eaux souterraines qui semblent se dégrader progressivement à cause de la pollution saline induite par l'Océan. C'est donc par la connaissance de ces réserves et par la compréhension du phénomène d'intrusion marine que passent la gestion et l'exploitation judicieuses des potentiels aquifères.

Cependant, l'impact déterminant de l'action de ce phénomène sur la qualité des eaux côtières et leur exploitation (G. Lacroix et al., 1988), la complexité, la spécificité et le caractère difficilement prévisible de l'évolution des systèmes aquifères (G. Castany, 1982 ; J. Forkasiewicz et J. Margat, 1982), et l'importance des enjeux économiques liés à la maîtrise de l'eau sont autant de raisons pour que chaque cas d'intrusion soit étudié suivant ses différents profils.

La contamination saline a été abordée sous différents aspects, notamment par des travaux d'approche générale (R. J. M. Wiest, 1965 ; G. Bossy, 1970 ; A. Dreyfus et Y. Vailloux, 1970), des modèles mathématiques et physiques (B. Jeanson et J. Dufort, 1970 ; C. H. Lee et R. T. S. Cheng, 1974 ; A. D. Gupta et P. N. Yapa, 1982 ; R. W. Andrews, 1982 ; Y. Kishi et al., 1982 ; D. N. Contractor, 1983), des études de phénomènes d'échanges (J. Mania et V. Meens, 1981) et des études spécifiques (J. Debuissou et H. Moussu, 1965 ; Y. Vuillaume, 1970 ; A. Nadler et al., 1980 ; J. Mania et V. Meens, 1984 ; J. Mania et al., 1985 ; R. K. Stoessel et al., 1989 ; R. M. Price et J. S. Herman, 1991).

Cette étude présente une synthèse de données disponibles sur les eaux souterraines du Trarza et les résultats des minéralisations que nous avons obtenus lors d'une campagne de mesures en 1992-1993, avec pour but de suivre les évolutions de la qualité des eaux au voisinage du front salé.

Manifestement, dans la zone du champ captant d'Idini (fig. 1), qui jouxte la bordure sud-est de la sebkha de N'Dramcha, la nappe douce du Trarza est en contact avec les eaux saumâtres d'origine atlantique. Les caractéristiques hydrogéologiques des terrains (perméabilité moyenne de $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$) et hydrodynamiques de la nappe (nappe "en creux" de B. Dieng et E. Ledoux, 1987 ; J. Archambault, 1987), font que les eaux saumâtres pénètrent les eaux douces, ce qui augmente leur taux de minéralisation.

Dans la zone d'Idini, champ captant de l'alimentation en eau potable de l'agglomération de Nouakchott, une amplification du phénomène est possible conséquemment à la baisse du niveau piézométrique provoqué par le pompage (J. Debuissou et H. Moussu, 1965 ; B. Jeanson et J. Dufort, 1970).

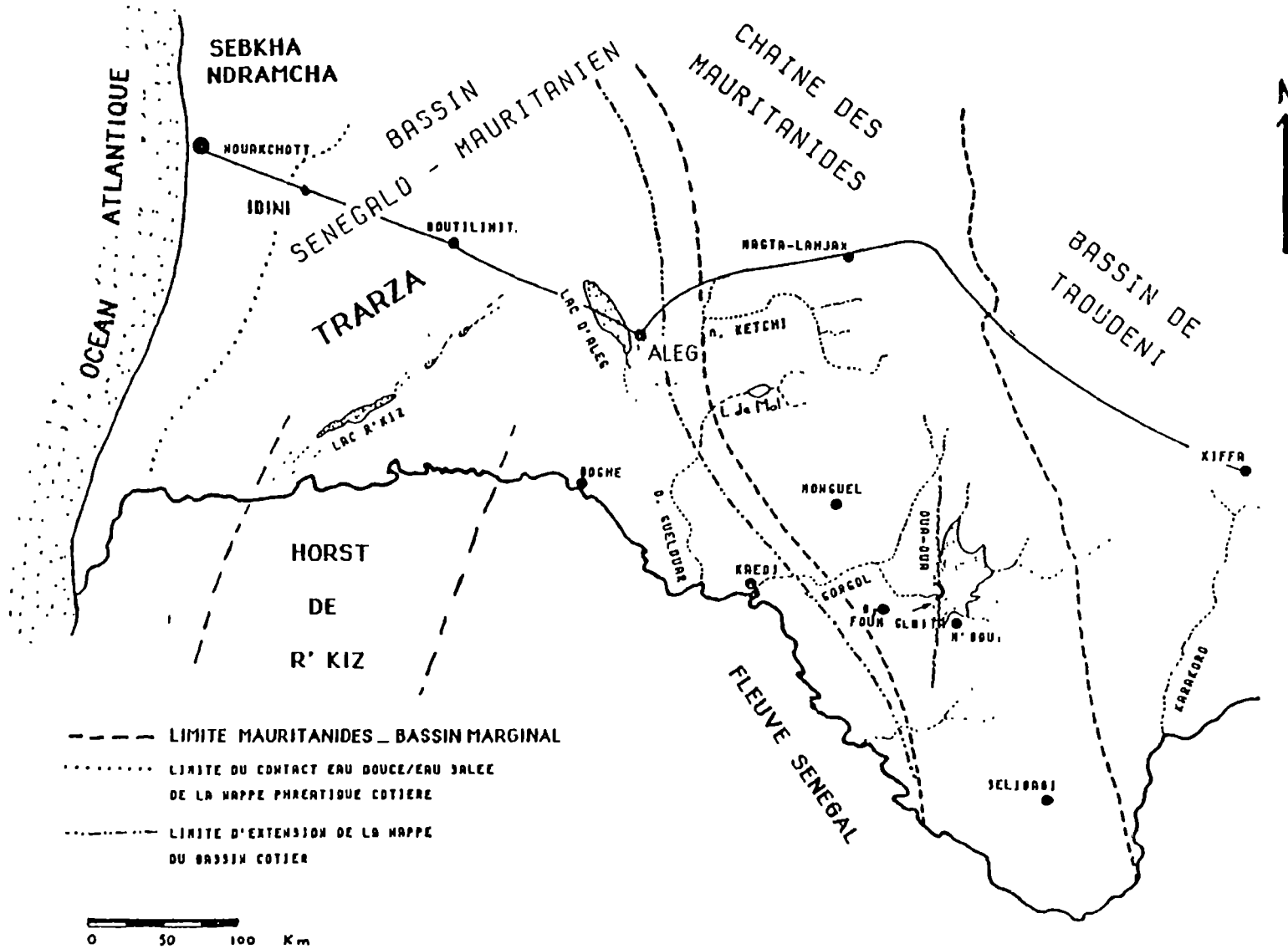
II - CARACTÈRES GÉOLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES DES AQUIFÈRES DU CONTINENTAL

La région du Trarza, vaste ensemble plat recouvert de champs de dunes, est située dans le bassin marginal sénégalomauritanien. Cet ensemble sédimentaire côtier s'étend entre la chaîne érodée des Mauritanides à l'est et l'Océan Atlantique à l'ouest (fig. 1).

Le climat de cette région est chaud et sec, saharien au nord du parallèle de Nouakchott, et sahélien au sud de cette latitude.

Les caractéristiques climatiques (fig. 2) de la région montrent des températures relativement élevées (moyenne de 30°C), une évaporation importante et une assez faible pluviométrie qui se traduisent par un bilan hydrique défavorable.

fig.1 : CADRE HYDROGEOLOGIQUE GENERAL



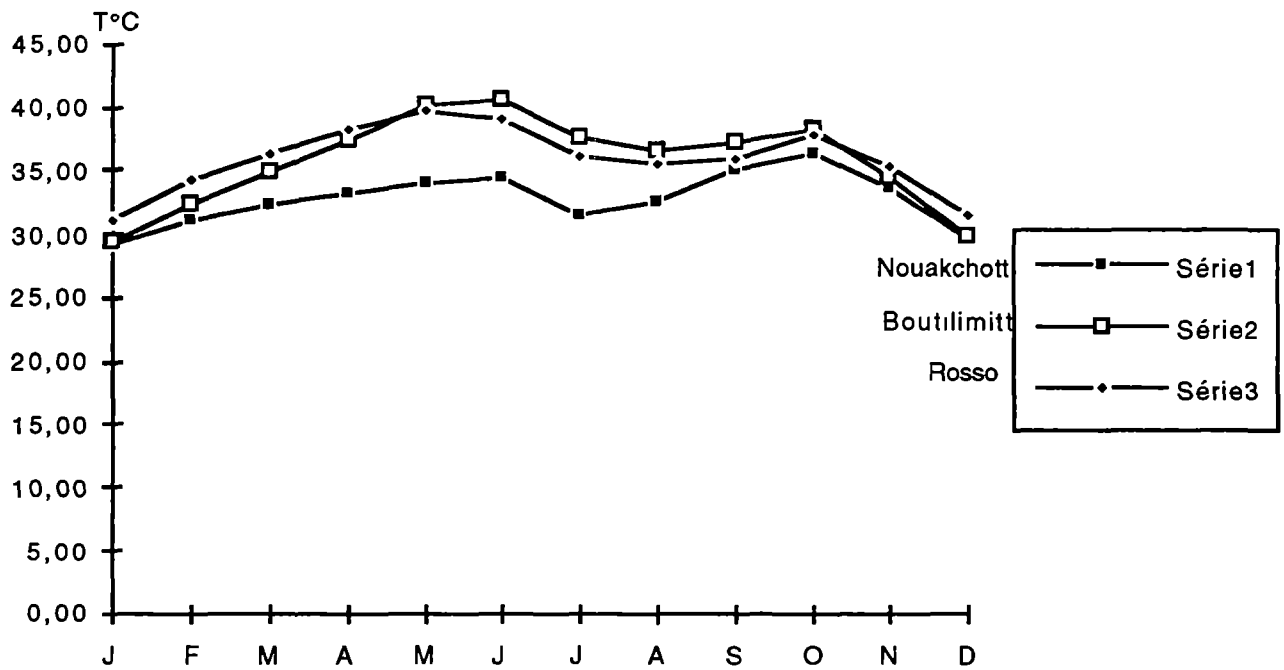


Figure 2 a - Températures des villes dans le Trarza

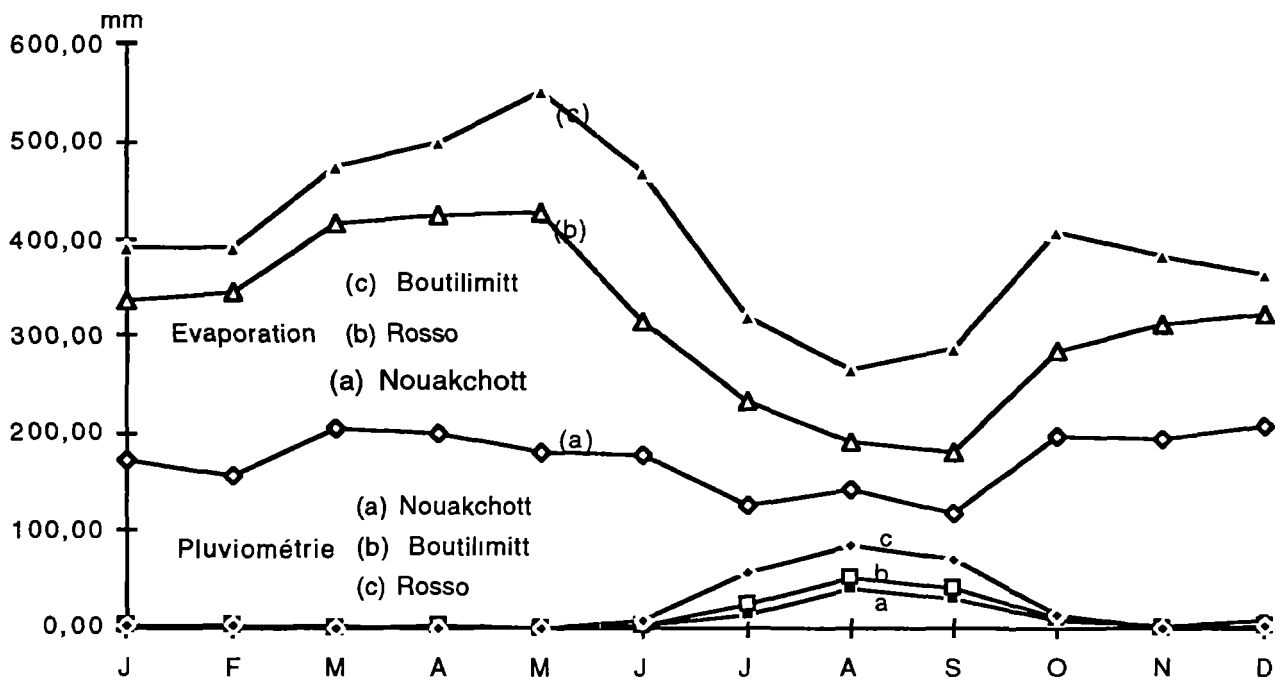


Figure 2b : Pluviométrie et évaporation des villes dans le Trarza.

La structure du bassin sédimentaire marginal dans le Trarza est entièrement commandée par un ensemble de failles normales de direction sub-méridienne qui effondrent progressivement vers l'ouest le socle et sa couverture détritique, dans un dispositif caractéristique de marge continentale passive. L'enfoncement "en marche d'escalier" du substratum fragmenté et le plongement des assises sédimentaires se font vers le domaine océanique avec un épaissement corrélatif des prismes sédimentaires. Cette structuration simple se complique dans la partie médiane du bassin côtier, près de la frontière sénégal-mauritanienne, par le jeu d'un horst de socle enterré : la dorsale de R'Kiz (fig. 1)

A l'est de ce môle, les formations essentiellement détritiques sont peu développées (200 mètres maximum), alors qu'à l'ouest, les séries, plus argileuses, s'épaississent corrélativement à l'effondrement rapide de la plate-forme africaine faillée. Dans l'ensemble du bassin marginal subsident, la série litho stratigraphique s'échelonne du Crétacé au Quaternaire représentés par :

- le Mastrichtien, formé de sables fins et argileux (10 à 60 m) à l'est et au nord, et de grès (80 à 170 m) à l'ouest de la dorsale de R'Kiz ;
- le Paléocène et l'Eocène constitués d'une série marine de calcaires marneux et d'argiles surmontés par des marnes gréseuses et sableuses ;
- le Continental Terminal est représenté par un faciès détritique d'alternances d'argiles, de sables grossiers, grès et grès argileux versicolores, lenticulaires ou stratiformes ;
- le quaternaire, formé de dépôts marins et lacustres (grès glauconieux, grès ferrugineux, sables et faluns) et des formations éoliennes actuelles de faible épaisseur. Les transgressions marines anciennes (Tafaricien) et récentes (Nouakchottien) sont bien développées dans les vastes sebkhas côtières.

Au point de vue hydrogéologique, les contrastes lithologiques et de perméabilité du Continental Terminal déterminent des niveaux aquifères superposés.

Ainsi, à Idini, séparés par des niveaux de grès argileux et d'argiles lenticulaires on distingue trois horizons aquifères :

- la nappe phréatique (10 à 40 m de profondeur, 1 g.l^{-1} de sel dissous) ;
- la nappe subphréatique (60 à 90 m de profondeur, 0,15 à 0,4 g.l^{-1} de salinité) ;
- le niveau aquifère profond situé entre 150 et 170 m de profondeur et 4 g.l^{-1} de minéralisation.

Les deux horizons supérieurs sont sableux et continus sur une centaine de kilomètres carrés.

Dans le sud du Trarza (zone Tiguent-Mederdra-R'Kiz), l'épaisseur des sédiments est relativement faible (40 à 80 m) et renferme pratiquement un seul niveau aquifère qui constitue la nappe phréatique. A l'ouest, à quelques dizaines de kilomètres de la côte atlantique, les infiltrations d'eau salée marine "limitent" les eaux douces du Continental Terminal. Cette pénétration se marque par une bande côtière d'eau salée (teneur = 1 g.l^{-1}) qui vient en contact avec l'eau douce et constitue le front salé. A la latitude de Nouakchott ce front se localise à environ 60 km de la mer, entre Hassi El Bagra et Idini, et à 5 km à l'ouest environ du champ captant. L'influence de la sebkha de N'Dramcha lui impose une flexion nord-est à environ 5 km, au nord de ce champ. Vers le sud, l'isogramme 1 g.l^{-1} se rencontre en bordure de l'Aftout Es Sahéli à environ 20 km de la mer. Depuis Tiguent, il suit sensiblement le tracé de la route Nouakchott-Rosso puis effectue une remontée nord-est vers le lac de R'Kiz. Il se retrouve à environ 10 km au nord de R'Kiz et redescend à l'est vers le fleuve Sénégal.

III - CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DES NAPPES

Dans la zone d'Idini, la nappe phréatique est libre tandis que la nappe subphréatique est captive. A l'ouest d'Idini, le substratum des deux aquifères, s'enfoncé vers la côte alors qu'à l'est il remonte, entraînant au niveau de la dorsale la disparition de l'horizon supérieur. L'aquifère subphréatique, devient, alors, le premier niveau aquifère rencontré, légèrement captif à l'est de Tenadi, il se présente libre au delà de Em Doumri. La surface libre de la nappe phréatique se raccorde à l'ouest au niveau marin. Au niveau de Tiguent, la nappe phréatique du Continental Terminal est captive. Elle est libre ou semi-captive dans la région de Rosso et sa piézométrie se raccorde vers le sud à celle des nappes alluviales. L'écoulement naturel de la nappe se fait depuis le fleuve et le lac R'Kiz en direction nord-est vers le creux piézométrique centré à Aquilal Fai à la cote de - 40 m en dessous du niveau de la mer.

Les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères phréatique et subphréatique sont très hétérogènes. La porosité efficace de 5%, déterminée à Hassi El Bagra pour la nappe phréatique, est considérée commune à ces deux horizons aquifères.

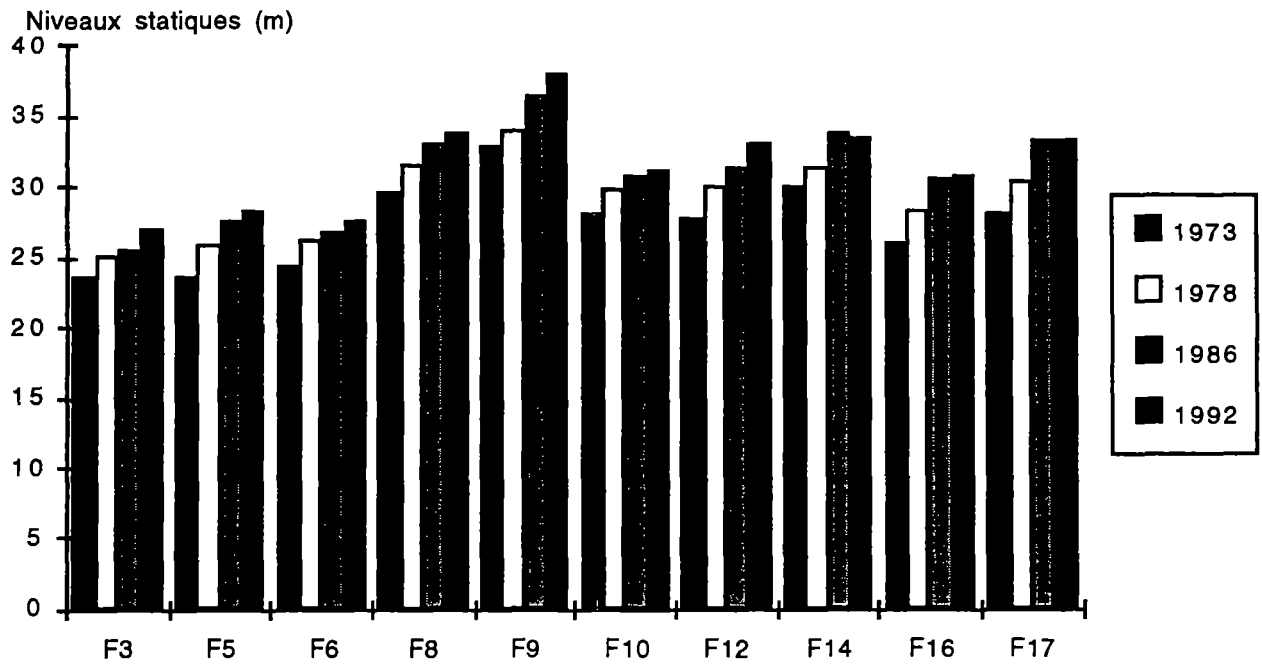


Figure 3a - Niveaux statiques de forages d'Idini. entre 1973 et 1992

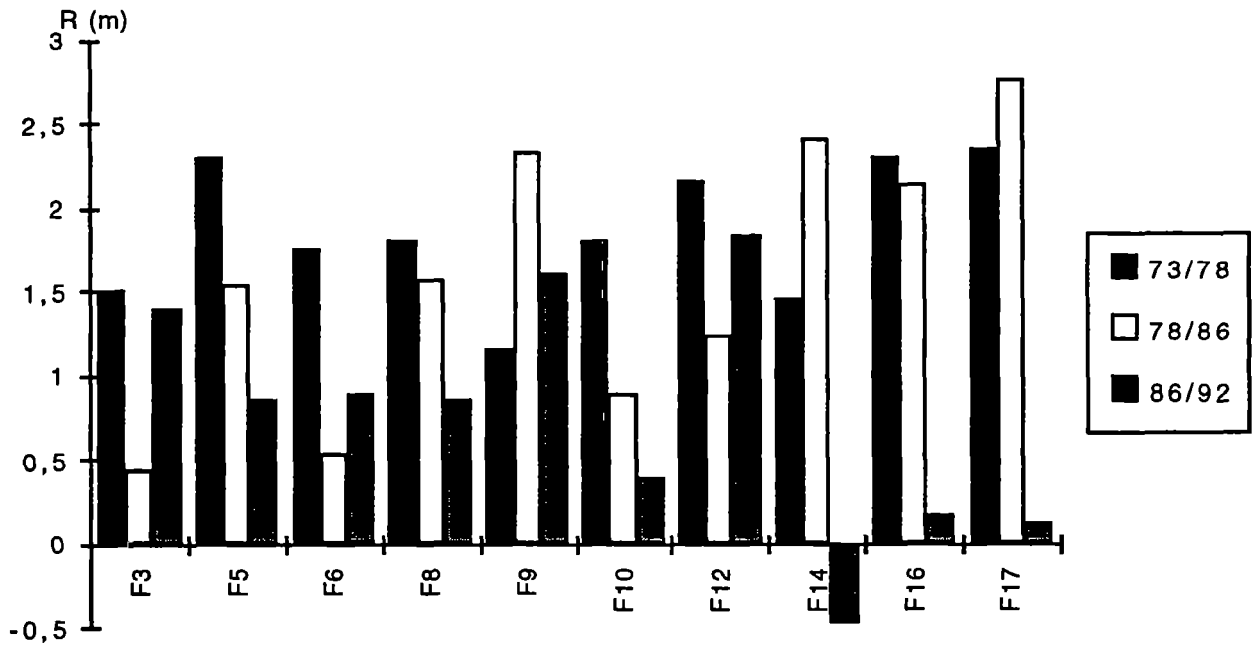


Figure 3b - Rabattements de forages d'Idini entre 1973 et 1992

Pour la période 1973-1992, l'évolution des niveaux statiques de 10 forages d'Idini, montre des rabattements appréciables dus aux prélèvements (fig. 3). Les pompages créent donc une dépression de plus en plus marquée, estimée en 1978 à 16 km de long sur 6 km de large pour une amplitude maximale de 3 m. Cependant, durant cette même période, le rabattement de la nappe est resté faible dans le zone d'Idini. Différents travaux (BRGM 1967 et 1986, BURGEAP 1978) ont déterminé des transmissivités moyennes de $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à Idini et $8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à Hassi El Bagra. La différence relativement importante de transmissivité entre ces deux zones a été attribuée aux variations d'épaisseur (10 m à Idini et 20 m à Hassi El Bagra) de l'aquifère capté. Le tableau 1 regroupant certaines caractéristiques des anciens forages d'Idini, montre des variations importantes de la transmissivité et du coefficient d'emménagement. Ce coefficient varie de $2,3 \cdot 10^{-5}$ à $2,1 \cdot 10^{-3}$ suivant que les niveaux concernés soient captifs ou semi-captifs.

Forage	Tx10 ⁻³ (m ² .s ⁻¹)		S	Ns (m)			R1 (m)	R2 (m)	R3 (m)	Min (mg.l ⁻¹)	
	1978	1986		1978	1986		1992	73/78	78/86	86/92	1978
F1	2,5	7,8		25,21			0,9			340	342
F2	13,6			25,57		27,44	1,55			340	371
F3	5	5	5,08.10 ⁻⁵	25,15	25,59	26,98	1,5	0,44	1,39	300	345
F4		3,5		22,86	24,83		1,1	1,97		350	404
F5	7	6	5,25.10 ⁻⁴	25,92	27,55	28,4	2,3	1,63	0,85	730	846
F6	8,8	8,1		26,21	26,75	27,63	1,75	0,54	0,88	740	822
F7	1,9	2,1	2,26.10 ⁻⁴	34,18	36,69		2	2,51		450	676
F8	2	2,7		31,48	33,04	33,9	1,8	1,56	0,86	650	802
F9	8,8	8,7	2,14.10 ⁻³	34,06	36,39	37,99	1,15	2,33	1,6	310	594
F10	2,6	3	1,89.10 ⁻⁴	29,9	30,79	31,18	1,8	0,89	0,39	190	
F11	16	20	1,24.10 ⁻⁴	29,67	31,81		2,3	2,14		280	493
F12	3,8	6,6		30,01	31,33	33,16	2,15	1,32	1,83	460	400
F13	5,2	5,7	3,59.10 ⁻⁴	30,95	32,86			1,91		250	403
F14	5,5		7,8.10 ⁻⁵	31,45	33,85	33,37	1,45	2,4	-0,48	460	550
F16	9	12	3,01.10 ⁻⁴	28,44	30,57	30,74	2,3	2,13	0,17	340	337
F17	10	10	2,01.10 ⁻⁴	30,45	33,21	33,34	2,35	2,76	0,13	240	271
F18	11	19	2,21.10 ⁻⁴	29,54		33,26	2,6			150	192
F19	3,1	2,1	2,33.10 ⁻⁵	30,65		33,79	1,8			200	254

T : Transmissivité; S : Coefficient d'emmagasinement , R . Rabattement ; Min : Minéralisation à 20° C ; Ns . Niveau statique

Tableau 1 : Caractéristiques des forages du champ captant d'Idini

Données 1975-1978			
Localité	Ns (m)	T (m ² .s ⁻¹)	M(mg.l ⁻¹)
Bareina	52,2	0,5.10 ⁻³	196
Bou El Ghorbane	55	2.10 ⁻²	230
El Meteyenne	44,6	1,5.10 ⁻³	180
El Meteyenne er	45,11	2,8.10 ⁻²	230
Mederdra	21,5	2,7 10 ⁻³	270
El Boïrid	5,85		150
Bouer Torres	35,5	8,6.10 ⁻³	240
Tigomatine	5,3		140
Naïmat	23,5	5.10 ⁻³	1400
Jlefty	19	1,3.10 ⁻³	1346

T : Transmissivité

Ns : Niveau statique

M . Minéralisation

Données 1986-1992			
Localité	Ns (m)	T (m ² .s ⁻¹)	M (mg.l ⁻¹)
Charat (86)	22,3	6 10 ⁻³	174
El Goueissi (86)	42,29	6.10 ⁻³	160
Jaber (86)	32,5	2.10 ⁻³	300
Mederdra (86)	32,02	1.10 ⁻²	300
Keur Moundi(86)	27,94	2.10 ⁻²	393
Loumbour (86)	36,27	4,4.10 ⁻³	300
Mayou Chayed(86)	46,29	10 ⁻⁴	286
Kamsan (90)	8,5		405
Kassi Koutane(90)	9,4		475
Rache (90)	11,7		291
Atellijid (90)	11,2		250
Zelgmana (90)	6,3		278
AEP Rosso F1 (90)	17,94	8,7 10 ⁻³	178
AEP Rosso F2 (90)	18,95	3,5.10 ⁻³	156
Hassi El Moctar F1(92)	10,42	7,5.10 ⁻³	184
R'Kiz (86)	15,66	0,5 10 ⁻³	1100
R'Kiz (RK3)(86)	11,23		845
Chegund (90)	10		752

Tableau 2 : Caractéristiques de forages captant le continental terminal (nappe phréatique) dans le sud du Trarza

Une situation analogue à celle de la zone d'Idini a été observée dans le sud du Trarza. Dans les environs de Mederdra, les transmissivités (tableau 2) sont de l'ordre de 5.10⁻³ à 10⁻² m². s⁻¹ alors qu'elles sont nettement plus faibles (de l'ordre de 10⁻⁴ m². s⁻¹) à R'Kiz. A Kraâ El Ahmar, des travaux effectués sur deux forages pour l'alimentation en eau potable de Rosso, ont déterminé un coefficient d'emmagasinement de 10⁻³. Au droit de Tiguent, ce coefficient est évalué à 10⁻² (BRGM 1990).

IV - ALIMENTATION DES AQUIFÈRES

Les eaux de la nappe du Trarza sont fossiles et se sont accumulées au cours d'une période humide du quaternaire où le niveau de la mer était très inférieur au niveau actuel (B. Dieng, E. Ledoux, 1987). En raison de l'existence de son creux piézométrique, les écoulements naturels des masses d'eau avoisinantes sont orientés vers cette dépression. Ces écoulements s'effectuent suivant des pentes relativement faibles, de 0,1 à 1‰ pour l'ensemble de la nappe et de 5‰ en bordure du fleuve. La perméabilité locale ou continue des terrains géologiques, favorise ces écoulements à travers le substrat des formations aquifères. Ces terrains sont relativement perméables ($2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$) dans le Continental intercalaire et très peu perméables dans les alluvions fluviales. La faible pluviosité, rendue inefficace par l'action conjuguée de températures élevées et d'une évaporation importante, défavorise une alimentation par infiltration directe des eaux de pluies dans le bassin (J. Archambault, 1987). En effet, en région subsaharienne, au dessous d'un certain seuil (400 mm) de pluviométrie annuelle l'alimentation par les pluies est négligeable. Les eaux de ruissellement en provenance du socle précambrien, se rassemblant vers des zones de convergence, alimentent les nappes du Brakna et de l'Amechtil. Ces nappes voisines drainent à leur tour des eaux en direction du creux de la nappe du Trarza. Cette réalimentation, très épisodique, est peu importante, à l'image de la faible pluviométrie des zones concernées.

Le faciès argileux des alluvions fluviales colmatant les berges du fleuve Sénégal minimiserait une infiltration des eaux vers les horizons sableux du Continental Terminal et la ré-alimentation de ces horizons semblerait assez limitée.

La côte mauritanienne constituée de sédiments détritiques perméables ou semi-perméables favorise l'infiltration marine dans les aquifères du Trarza. Cette alimentation, par un processus d'intrusion marine lent et continu, se traduit par une avancée du front salé. Enfin, les différents niveaux aquifères du Continental Terminal, peuvent localement entrer en communication lorsque s'interrompt l'horizon argileux imperméable qui les sépare. Cependant, dans la zone d'Idini, la nappe profonde et la nappe subphréatique apparaissent isolées l'une de l'autre.

V - MINÉRALISATION DES EAUX SOUTERRAINES DU TRARZA

V-1 Données antérieures à 1992

Le continental Terminal du Trarza renferme des eaux dont la minéralisation est fonction de divers facteurs (climat, nature et profondeur des aquifères, nature de l'encaissant...). Les facteurs géographique et climatique sont essentiellement liés à la proximité de la mer et au déficit hydrique de cette région aride. Sur la frange salée, un gradient de minéralisation non homogène, suivant la zone et l'horizon aquifère, décroît du littoral vers l'intérieur. L'augmentation de la salinité vers le littoral est beaucoup plus rapide pour la nappe subphréatique que pour la nappe phréatique. En effet, pour cette dernière, les isogrammes 1, 2 et 3 g.l^{-1} ont été localisés respectivement à 4, 15 et 30 km au nord-ouest d'Idini (BURGEAP, 1978). Par contre, pour la nappe subphréatique, les isosalinités 1, 2 et 7 g.l^{-1} sont rencontrées approximativement à 8, 9 et 11 km dans la même direction (BURGEAP, 1978 et BRGM, 1986). Vers l'ouest, le front salé se retrouve entre Hassi El Bagra et Oued Naga. Dans cette zone, à l'inverse de celle d'Idini, on est en présence d'une nappe subphréatique plus minéralisée que la nappe phréatique. Les piézomètres de la frange salée et ceux voisins dans la nappe d'eau douce ont des minéralisations (fig. 4) qui reflètent une sensible avancée du front salé entre 1978 et 1986.

Sur le littoral sud-ouest du Trarza, les caractéristiques de cette frange ont été très peu étudiées et sont, par conséquent, mal connues. Cependant, à l'horizon de Tiguent, le front salé de la nappe phréatique est situé à 1,5 km à l'est de ce site. De Hassi Kafi jusqu'aux environs de pK 20 de Rosso, il se confond approximativement avec le tracé de la route Nouakchott - Rosso. A 15 km au nord de Rosso, il rencontre la bande fluviale salée et remonte vers R'Kiz. La frange salée renferme des lentilles d'eau douce dans les sables superficiels.

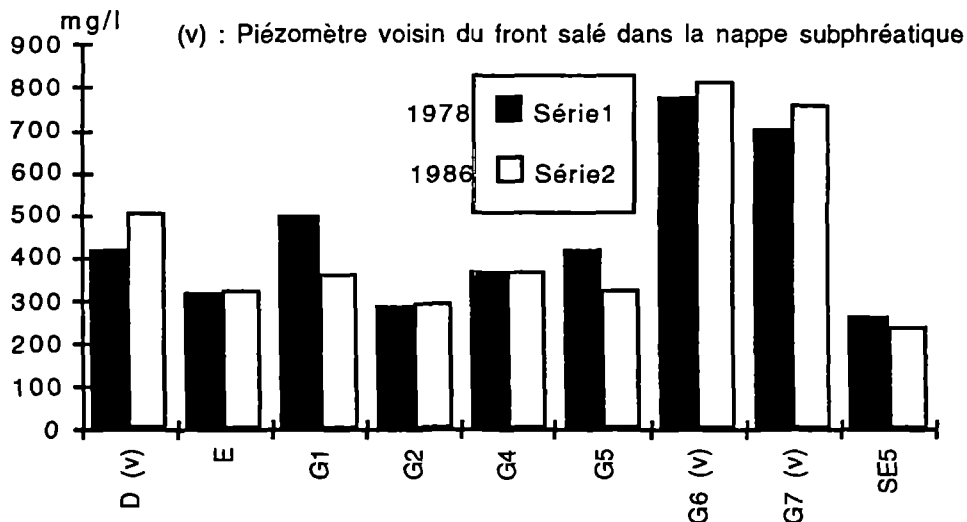


Figure 4: Minéralisation des piézomètres du champ captant d'Idini entre 1978 et 1986

Dans la zone Idini-Em Doumri, les eaux de la nappe phréatique sont douces. La minéralisation à 20°C déterminée en 1986 (tableau 3), varie globalement de 250 à 500 mg.l⁻¹ à l'exception de la zone Tenadi-Igrem qui constitue un corps d'eau salée. Les tableaux 1 et 4 qui regroupent des caractéristiques des eaux des forages du champ captant d'Idini et de la zone considérée montrent que la nappe subphréatique présente une salinité relativement faible.

Sites	M(mg.l ⁻¹)	Minéralisation (mg.l ⁻¹)		
		Piézo	1978	1986
Seissad	320			
Tanaoubouk	251			
Teniachil	447			
El Medroum	437			
Nouadibou	347			
Amjerjil	488			
Em Doumri	307			
Ijnaouene rte	336			
Ijnaouene	407			
Lim'Herid	400			
Boumbeibigha	280			
Tindegsemmi	305			
Tguelile	403			
Aoudech sud	347			
Tenadi	1054			
Ryad-Tenadi	603			
Boutechtai	746			
Aoudech route	847			
Igrem	1129			
		D (v)	420	507
		E	320	324
		G1	500	362
		G2	290	291
		G4	370	371
		G5	420	324
		G6 (v)	780	814
		G7 (v)	701	757
		SE5	260	240

Tableau 3 : Minéralisation des eaux de la nappe phréatique dans la zone Idini-Em Doumri

Piézomètre			N.s (m)		R (m)	M (mg/l)
	1978	1986	1986	1992	86/92	
A (s)	2620	2832	38,4			1986
Fs2		805	19,41			Fr1
D (v)	420	507	19,25		0,36	Fr2
E	320	324	23,76	24,12	0,28	Fr3
G1	500	362	40,58	40,85	0,17	Fr4
G2	290	291	27,91	28,08	0,02	Fr5
G4	370	371	29,68	29,7	0,23	Fr6
G5	420	324	34,73	35	0,03	Fr7
G6 (v)	780	814	21,07	21,1	0,39	Fr8
G7 (v)	701	757	37,41	37,8		Fr9
SE5	260	240				Fr10
SEL1 (s)		2851				Fr12
SEL2 (s)		19100				Aouleigat
						Tenadi F1

(s) : Piézomètre de la frange salée M : Minéralisation à 20° C N.s : Niveau statique
 (v) : Piézomètre voisin de la frange salée Fr : Forage de reconnaissance (B.R.G.M. 1986)

Tableau 4 : Forages entre Idini et Em Doumri

A Idini, la minéralisation des eaux est hétérogène (figure 5); au delà de cette hétérogénéité, la salinité a subi une sensible augmentation de 1978 à 1986 qui a été attribuée à une avancée du front salé dans la nappe.

La minéralisation des eaux de la nappe phréatique dans le sud du Trarza est comparable à celle de la zone d'Idini. Cependant, cette région semble comporter beaucoup plus de corps d'eau salée dans la nappe d'eau douce. Le tableau 2 montre des domaines de faible salinité (Mederdra et environs) et des domaines de forte salinité, en particulier le R'Kiz. Du fait de l'absence de données systématiques sur les eaux de cette région, l'influence de la frange salée reste mal définie.

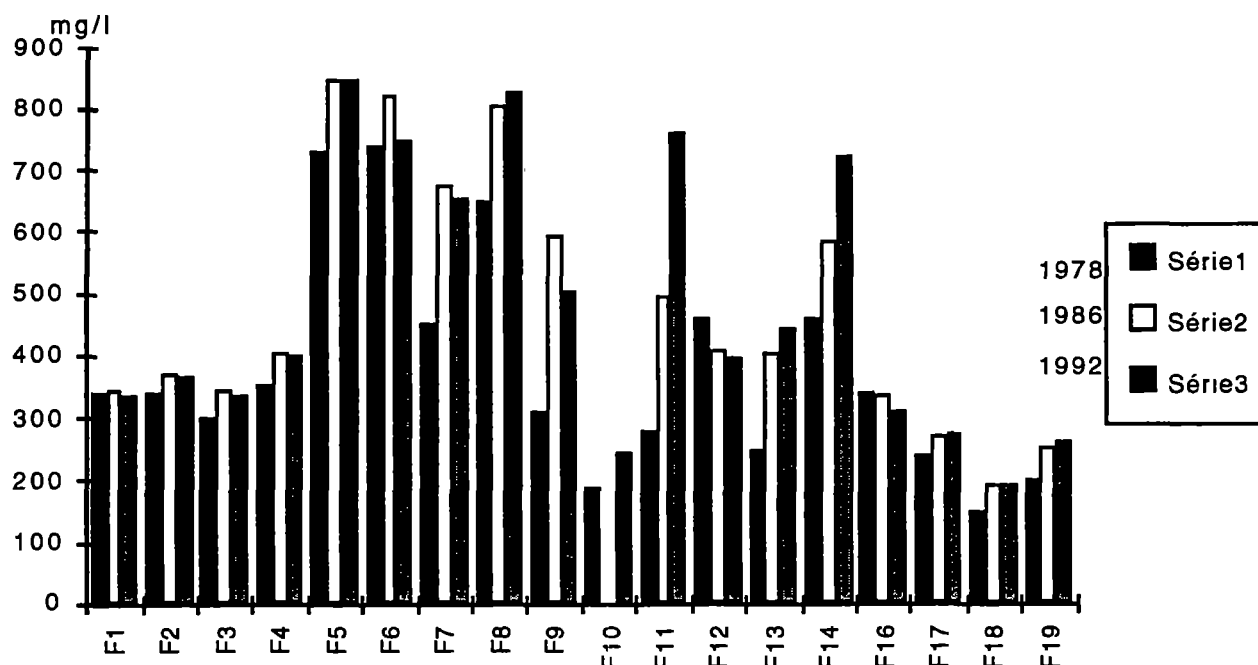


Figure 5 : Miniéralisations des eaux d'Idini

V-2 Etude hydrochimique

V-2-1 Méthodes d'analyse

Dans cette étude, les eaux des forages du champ captant d'Idini ont été caractérisées par leur minéralisation et leur teneur en chlorures et sulfates. La minéralisation a été déterminée à partir de mesures de conductivité électrique à 20°C effectuées à l'aide d'un conductimètre à microprocesseur WTW 196.

Le dosage des chlorures a été réalisé par la méthode de Mohr et le dosage des sulfates a été effectué par néphélométrie au chlorure de baryum sur un spectrophotomètre Spectronic 20 D (Milton Roy Company).

V-2-2 Résultats et discussion

Les résultats obtenus (tableaux 5, 6 et 7) montrent que les teneurs minérales n'ont pas subi de variation notable durant la période de septembre 1992 à août 1993. Les caractéristiques hydrochimiques des eaux des forages restent sensiblement les mêmes au cours de cette année.

Echant	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou	
Cht Id		321		346		382	329		376			398	367
F1		334					335		341			331	333
F2		364		362		362	362		361			360	360
F3		336		336		337	334		336			334	334
F4		399		399		400	400		399			401	400
F5		847				865	855		856			844	839
F6		748		780		780	708		776			772	
F7		655		664		656	655		653			645	655
F8		824		824		831	831		831			829	829
F9		502		505		501	536		508			506	826
F10		245		248		377	350		249			359	252
F11		717		770					777			788	790
F12		397					393		394			397	405
F13		442		443		443	441		442			443	443
F14		721		731		736	727		724			724	721
F18		193		191		192	191		192			192	192
Cht Nt		349		347		369			372			418	371
F16						305	302		302			304	304
F17							274		273			274	274
F19							255		241			240	247
F20							371		369				
F23							203		208			216	222

Tableau 5 : Minéralisation (mg. l⁻¹) des eaux des forages du champ captant d'Idini de septembre 1992 à août 1993

	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Echan												
Cht Id	0,85		0,83		0,82	0,81		0,82			0,72	0,80
F1	0,96					0,96		0,89			0,93	0,97
F2	0,94		0,97		0,92	0,91		0,92			0,88	0,84
F3	0,67		0,67		0,65	0,70		0,67			0,64	0,72
F4	0,77		0,72		0,75	0,67		0,74			0,66	0,71
F5	0,97				0,95	0,97		0,99			1,05	1,07
F6	0,85		0,86		0,85	0,82		0,86			0,88	
F7	0,91		0,94		0,91	0,89		0,95			0,92	0,83
F8	0,89		0,98		0,94	0,91		0,94			0,98	0,96
F9	0,80		0,77		0,74	0,76		0,74			0,69	0,91
F10	0,80		0,75		0,70	0,72		0,69			0,70	0,64
F11	0,45		0,42					0,45			0,38	0,35
F12	0,81					0,73		0,75			0,85	0,80
F13	1,15		1,14		1,03	1,00		1,00			0,88	1,08
F14	0,93		0,97		0,90	0,87		0,86			0,96	0,98
F18	0,62		0,56		0,55	0,58		0,46			0,56	0,73
Cht Nt	0,85		0,78		0,81			0,73			0,70	0,78
F16					0,90	0,85		0,98			0,99	0,98
F17						0,59		0,63			0,66	0,66
F19						0,59		0,61			0,49	0,68
F20						0,90		0,90				
F23						0,72		0,69			0,59	0,54

Tableau 6 : Rapport SO_4^{--}/Cl des eaux des forages du champ captant d'Idini de septembre 1992 à août 1993

	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Cht Id	0,25		0,24		0,25	0,25		0,26			0,27	0,28
F1	0,23					0,24		0,27			0,25	0,25
F2	0,23		0,24		0,24	0,25		0,26			0,26	0,26
F3	0,24		0,24		0,25	0,25		0,26			0,27	0,26
F4	0,25		0,26		0,26	0,27		0,28			0,28	0,28
F5	0,23				0,27	0,23		0,23			0,23	0,22
F6	0,25		0,27		0,26	0,26		0,26			0,26	
F7	0,24		0,25		0,25	0,25		0,26			0,26	0,27
F8	0,24		0,23		0,25	0,25		0,25			0,26	0,25
F9	0,27		0,28		0,28	0,28		0,28			0,29	0,25
F10	0,25		0,24		0,26	0,26		0,28			0,26	0,25
F11	0,32		0,34					0,35			0,35	0,36
F12	0,25					0,27		0,28			0,27	0,28
F13	0,22		0,23		0,22	0,24		0,26			0,26	0,24
F14	0,24		0,24		0,25	0,24		0,25			0,24	0,25
F18	0,22		0,21		0,21	0,22		0,23			0,22	0,22
Cht Nt	0,24		0,25		0,25			0,29			0,26	0,29
F16					0,23	0,24		0,25			0,23	0,23
F17						0,26		0,26			0,27	0,25
F19						0,24		0,24			0,26	0,23
F20						0,24		0,26				
F23						0,26		0,24			0,25	0,25

Tableau 7 : Rapport Cl/M des eaux des forages du champ captant d'Idini de septembre 1992 à août 1993

La comparaison des résultats de la minéralisation avec ceux présentés dans le tableau 1 fait apparaître une stabilisation du processus de salinisation, qui était attribuée à une contamination marine. Seuls, les forages 11 et 14 (figure 5) montrent une augmentation sensible, probablement en relation avec les niveaux argileux salifères présents dans ces sites. Cette stabilisation de la minéralisation semble modifier sensiblement l'évolution prévue à partir des résultats de 1986. Les rapports Cl/M et SO_4/Cl permettent de caractériser une intrusion saline. On peut observer sur les tableaux 6 et 7 que le rapport Cl/M est faible et le rapport SO_4/Cl élevé, attestant que les eaux analysées ne présentent pas de caractère marin manifeste. Les valeurs les plus élevées du rapport sulfate-chlorure se situent dans le nord de la zone étudiée et doivent être mises sur le compte de la proximité du sebkha Drahmcha, en général assez chargé en sulfate de calcium.

La stabilisation de la minéralisation et le faible rabattement des niveaux piézométriques entre 1986 et 1992 (tableaux 1

et 4-a) conduisent à penser que le remplacement des eaux douces extraites par pompage (plus de 30 000 m³ / jour) ne s'effectue pas totalement à partir des infiltrations océaniques. Cette situation d'équilibre de l'interface eau douce - eau salée serait à mettre en relation à la fois avec :

- l'effet de barrage hydraulique provoqué par l'arrêt de l'exploitation des puits les plus externes, ce qui diminue probablement les vitesses de déplacement des eaux du biseau salé vers Idini ;
- les écoulements souterrains des masses d'eau avoisinantes dans l'aquifère du Trarza orientés vers le champ captant d'Idini (en désaccord apparent avec un schéma hydraulique de "nappe en creux") ;
- une ré-alimentation de la nappe à sa bordure méridionale par la vallée du fleuve Sénégal (jusqu'à présent d'importance minimisée).

Nos recherches actuelles s'orientent vers ces deux dernières voies. Ainsi la situation du champ captant d'Idini apparaît actuellement moins critique que ne le laissait prévoir les études antérieures. Les valeurs de la minéralisation (tableau 5), montrent que globalement les eaux de ce champ captant restent de bonne qualité et que la migration du biseau salé vers l'est en direction des eaux d'Idini marque un net ralentissement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andrews, R. W. (1981). Salt-water intrusion in the costa de Hermosillo, Mexico : a numerical analysis of water management proposals. *Groundwater*. Vol. 19, n°6, 635-647.
- Archambault, J. (1987) Réflexions sur l'alimentation et l'évaporation des nappes phéatiques en Afrique subsaharienne. *Hydrogéologie* (2). III. 2, 69-78.
- B.R.G.M. (1967 et 1986). Mémoires n° 49 et Rapport : Etude hydrogéologique dans la région d'Idini en vue de l'alimentation en potable de Nouakchott (Mauritanie).
- B.U.R.G.E.A.P (1978). Rapport préliminaire sur l'alimentation en eau potable de Nouakchott R.I M-Direction Hydraulique.
- Bossy, G (1970). Intrusion d'eau salée dans une nappe d'eau douce. Vérifications des lois théoriques *Bull. BRGM.* (2). III. 2, 23-30.
- Castany, G. (1982). Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie-Tunisie), aquifères du Continental intercalaire et du complexe terminal. *Bull. BRGM.* (2). III 2, 127-147.
- Contractor, D N. (1983). Numerical modeling of saltwater intrusion in the Norther Guam Lens. *Water. Res. Research.* Vol. 19, n°5, 745-751.
- D'orval, M.-C., Moulaye, A. et Petit, J.-P (1980-1981) Entre l'océan et le désert, à quel prix la capitale mauritanienne peut-elle assurer son alimentation en eau? *Hydrogéologie* (2) III. 4, 361-368.
- De Wiest, R. J. M. (1965). *Geohydrology*, 295-315 traduit par J. Debuissou, A. Dreyfus et L. Moniton (1970), invasion marine des aquifères côtiers. *Hydrogéologie* (2) III, 7-22.
- Debuissou, J. et Moussu, H. (1965). Une étude expérimentale de l'intrusion des eaux salées marines dans une nappe côtière du Sénégal sous l'effet de l'exploitation. *A. I. H. S. Symp. d'Haïfa*, n° 72, 334-349.
- Dieng, B. et Ledoux, E. (1987). Les nappes déprimées d'Afrique occidentale : une explication paléohydrogéologique. *Hydrogéologie* n° 2. III. 2, 99-108.
- Dreyfus, A. et Vailloux, Y. (1970) Localisation de l'interface Comparaison des lois de Ghyren-Herzberg, Hubbert et Luszczynski. Application pratique au cas des wateringues. *Bull. BRGM* (2). III. 2, 34-40
- Forkasiewicz J., et Margat, J. (1982). L'exploitation des réserves d'eau souterraine en zones arides et semi-aride Essai de synthèse, *Bull. BRGM.* (2) III. 2, 115-126.
- Forkasiewicz, J. (1982). Aquifère du Maestrichtien du bassin sénégal-mauritien. *Bull. BRGM.* (2). III. 2, 185-196
- Gupta, A. D. and Yapa, P. N. (1982) Salt-water encroachment in an aquifer : a case study. *Water Res. Research.* Vol. 18, n°3, 546-556.
- Jeanson, B. et Dufort, J. (1970). Etude sur modèle physique des conditions de pollution des nappes côtières par l'eau salée lors de la production *Bull. BRGM.* (2). III. 3, 99-148.
- Kishi, Y., Fukuo, Y., Kakinuma, T. and Ifuku, M. (1982). The regional steady interface between fresh water and salt water in coastal aquifer. *J. Hydrology*, 58, 63-82.
- Lacroix, G., Custodio, E., Ganoulis, J. et Potie, L. (1988). Utilisation rationnelle des ressources en eau dans les régions côtières. *Bull. BRGM.* (2) III. 2, 185-196.
- Lee, C H. and Cheng, R T. S (1974). On sea-water encroachment in coastal aquifers *Water Res. Research* Vol. 10, n° 5, 1039-1043
- Mania, J. and Meens, V. (1981). De watering influence on the stability of the fresh and salt-water interface in Flanders (France). *Quality Groundwater Proceedings of Int. Symp. Noordwijkerhout. The Netherlands Studies Environnemental Science, Elsevier.* Vol. 17, 973-978.
- Mania, J. et Meens, V.(1984). L'interface eau douce-eau salée en Flandres françaises. *Bull. Soc Géol Fr.*, t. XXVI, n° 6, 1281-1291.
- Mania, J., Imerzoukène, S. et Braillon, J.-M (1985). Pollution saline de la nappe côtière à l'est d'Alger *Hydrogéologie* n° 3, 213-226
- Nadler, M, Margaritz, A. and Mazor, E.(1980) Chemical reactions of seawater rocks and freshwater experimental and field observations on brackish waters in Israel *Geochimica et Cosmochimica Acta.* Vol 44, 879-886.
- Price, R M. and Herman, J. S (1991). Geochemical investigation of salt-water intrusion into a coastal carbonate aquifer : Mallorca, Spain. *Géol. Soc. Am. Bull*, vol. 103, 1270-1279
- Stossel, R. K., Ford, W. C. and Schuffert, J. D.(1989). Water chemistry CaCO₃ dissolution in the saline part of an open-flow mixing zone, coastal Yucatan Peninsula Mexico. *Géol. Soc. Am. Bull*, vol. 101, 159-169.
- Vuillaume, Y. (1970). Caractérisation géochimique de l'intrusion marine : application à la nappe de Crau. *Bull. BRGM.* (2). III 2, 59-80

QUALITE DES EAUX DES PUIITS DU PROJET "ALIZE" DANS LE SUD DU TRARZA (MAURITANIE)

Piro, J., Séméga, B. M., Mohamed Ould Sid'Ahmed Ould Kankou,
Institut Supérieur Scientifique B.P. 5026 Nouakchott (R.I. de Mauritanie)

et

Arnaud L.
G.R.E.T., Projet Alizés, B.P. 5004 Nouakchott (R.I. de Mauritanie)

I - INTRODUCTION

Les gouvernements membres des Nations Unies ont déclaré les années 80 "Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement" car 70% de la population rurale du monde n'y avait pas accès en quantité suffisante.

Dans beaucoup de pays, en particulier en Afrique, l'objectif fixé : de l'eau en quantité et en qualité suffisante pour tous avant la fin de ce siècle, a peu de chance d'être atteint. Or l'amélioration des conditions de vie en milieu rural repose, en grande partie sur la mise à disposition d'eau de qualité, aussi bien pour la santé des paysans que pour l'accroissement de la production agricole. Dans ce domaine les enjeux économiques, comme l'autosuffisance alimentaire, et sociaux, comme l'arrêt de la dépopulation des zones rurales qui conduit au développement anarchique des cités, rejoignent les considérations humanitaires. Les efforts entrepris durant ces années doivent donc être poursuivis aussi bien pour l'exhaure, grâce à des systèmes dont les pays possèdent la maîtrise de la maintenance, que pour le suivi qui permet d'optimiser les avantages qui découlent de l'installation des pompes.

C'est dans ce cadre générale que l'Unité de Recherches Hydrogéologique de l'I.S.S. et le G.R.E.T. (Groupe de Recherches et d'Echanges Technologiques) ont entrepris une collaboration, en particulier sur le projet "Alizés".

II - BUTS DE L'ÉTUDE ET TECHNIQUES UTILISÉES

L'étude présentée ici concerne 60 sites du sud du Trarza sur lesquels des pompes fonctionnant à l'énergie éolienne ont été installées par le projet "Alizés". La figure 1 présente la répartition des puits portés sur la carte des unités agrophysiographiques de l'USAID.

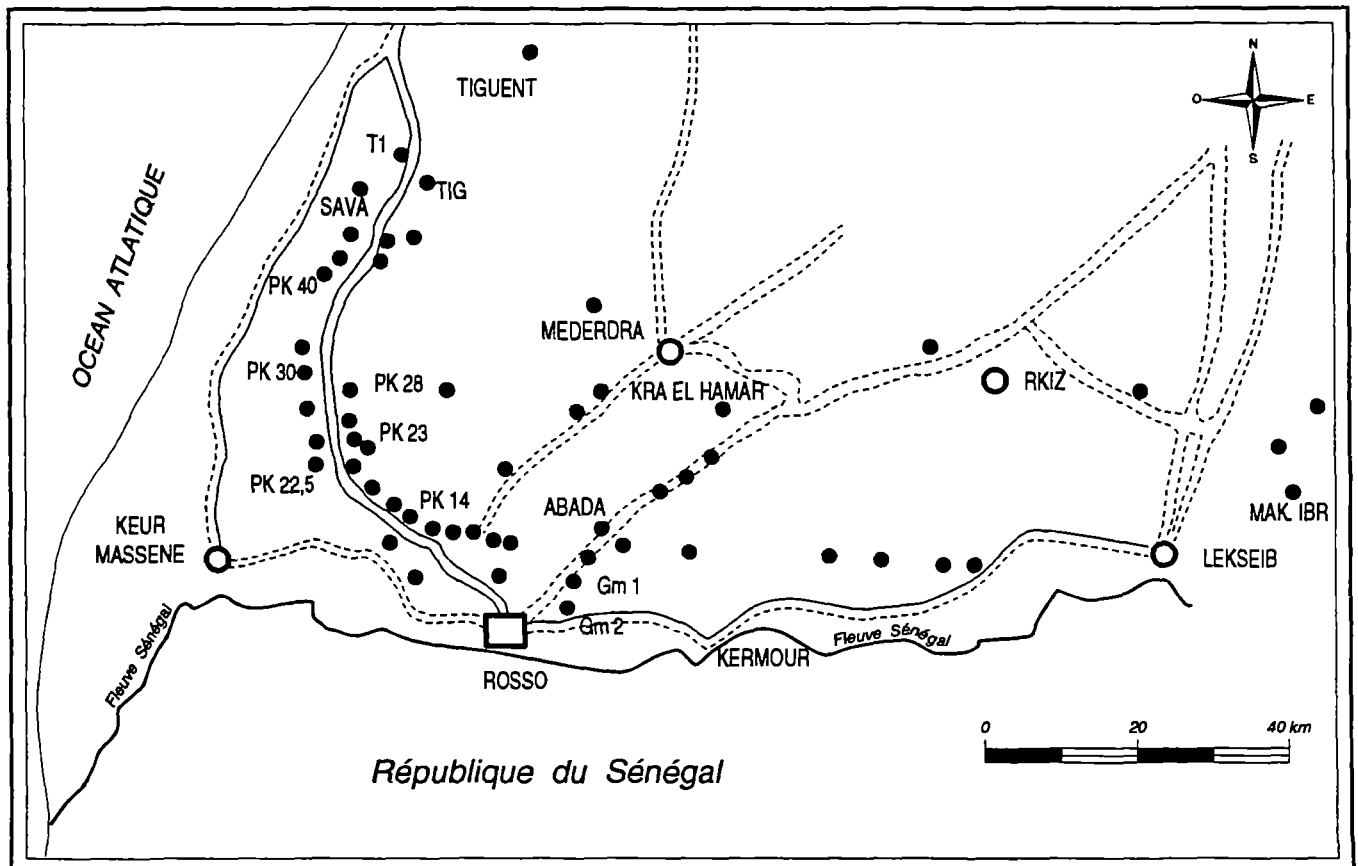


Figure 1 : Implantation des puits étudiés

Le tableau I regroupe les résultats obtenus dans le dosage des éléments "majeurs" contenus dans les eaux étudiées.

Echan	pH Ter	Cv (μ .S)	M mg/l	TH mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ⁴⁺ mg/l	Fe mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l
Pk9	7,75	162	153	48	11,62	4,62	28,0	4,9	0,29	0,31	35	13,42	0,09	5,8	23,0
Pk10 N	7,40	484	347	158	40,08	14,11	35,0	5,7	0,14	0,16	71	2,44	0,13	3,6	30,5
Pk10 C	8,25	406	291	151	34,47	15,81	32,5	7,3	0,09	0,23	60	8,54	0,13	5,8	22,5
Pk10 S	9,80	368	263	130	35,67	9,97	32,5	8,1	0,15	0,13	55	19,53	0,13	28,7	17,5
Pk13 bn	6,75	287	221	86	18,04	9,97	28,0	7,8	0,07	0,19	87	9,76	0,07	4,3	3,5
Pk13 bo	7,35	463	331	167	45,29	13,13	70,0	9,4	0,18	0,18	138	22,58	0,12	4,2	50,5
Pk14 an	6,32	449	321	134	31,66	13,38	55,0	9,2	0,10	0,17	96	18,31	0,24	6,6	17,5
Pk14 M	6,70	880	668	312	74,15	30,89	55,0	15,0	0,18	0,48	147	23,19	0,15	7,4	19,0
Pk14 R	7,25	371	266	76	17,64	7,78	55,0	5,2	0,13	0,32	96	9,76	0,08	3,8	30,0
Pk15	6,71	574	411	184	45,29	17,27	45,0	12,0	0,16	0,26	101	14,64	0,06	6,2	17,5
Pk17	6,95	876	664	181	42,48	18,24	115,0	19,0	0,17	0,25	291	15,87	0,06	4,2	35,0
Pk20 mo	7,73	367	263	124	35,27	8,76	30,0	5,0	0,13	0,21	96	46,99	0,05	4,2	11,0
Pk20 1	7,34	467	334	102	30,86	6,08	72,5	5,5	0,20	0,14	122	42,71	0,09	5,7	56,0
Pk20,5	6,03	838	636	286	64,53	30,40	60,0	13,0	0,28	0,77	158	0,00	0,07	4,0	22,0
Pk22,5	7,10	710	508	230	57,72	20,92	90,0	7,8	0,26	0,29	199	54,92	0,95	72,5	80,5
Pk23 O	7,65	643	460	256	65,33	22,62	55,0	11,5	0,19	0,25	119	66,51	0,12	4,5	139,0
Pk23 E	7,70	955	724	362	80,16	39,40	80,0	15,0	0,27	0,15	195	21,36	0,10	4,2	223,5
PK 24	6,75	636	455	206	43,69	23,59	52,5	13,5	0,24	0,21	128	3,66	0,06	13,6	13,0
Pk26	8,50	612	438	133	43,69	5,84	85,0	12,0	0,20	0,29	176	44,54	0,04	4,0	86,5
Pk28	11,25	1008	765	51	12,83	4,62	60,0	79,0	4,35	0,20	78	118,3	7,68	1,9	81,5
Pk34	9,00	694	497	258	65,73	22,86	52,5	11,5	0,27	0,20	113	29,29	0,47	0,2	70,0
Pk30	8,66	610	437	211	48,50	21,89	45,0	1,1	0,31	0,15	128	20,75	0,10	5,7	48,5
Pk39	8,09	378	271	95	25,25	7,78	95,0	4,6	0,32	0,21	112	29,90	0,05	28,9	44,5
Pk40	6,78	739	529	245	50,90	28,70	75,0	5,5	0,35	0,15	167	24,41	0,24	5,1	81,0
Pk45	8,18	710	508	168	48,90	11,19	80,0	6,6	0,10	0,21	177	144,0	0,04	33,0	79,0
Pk46	7,10	870	660	246	65,73	19,94	95,0	1,2	0,35	0,19	223	57,97	0,12	4,9	123,5
Pk49	5,95	773	553	168	43,69	14,35	115,0	6,3	0,32	0,40	261	4,27	0,07	5,3	133,5
Pk61	6,84	1009	765	309	88,58	21,40	110,0	7,0	0,48	0,28	301	64,07	0,08	1,1	88,0
B1	8,60	340	243	95	27,25	6,57	45,0	4,8	0,20	0,68	98	52,48	0,11	2,8	16,0
B2	8,30	337	241	96	26,85	7,05	45,0	4,5	0,14	0,43	96	50,04	0,04	1,5	28,5
G1	7,52	187	144	87	21,64	8,03	52,5	11,5	0,10	0,24	20	105,5	0,04	3,8	24,5
G2	7,75	400	286	112	30,06	9,00	45,0	4,6	0,09	0,18	105	26,24	0,03	4,0	38,5
Gn1	8,80	2180	1654	891	190,3	101,1	160,0	56,0	0,33	0,27	475	194,0	6,63	102,6	216,5
Dil	6,70	975	740	321	74,55	32,83	70,0	24,0	0,23	0,22	142	34,17	0,13	15,7	265,5
SAVA	5,50	1616	1226	348	66,13	44,51	220,0	6,1	0,88	22,02	514	4,88	0,19	3,8	193,5
T1	8,30	350	251	37	10,82	2,43	70,0	7,5	0,09	0,22	44	121,4	0,03	4,9	67,0
TIG	7,79	1368	1038	396	93,79	39,40	155,0	26,0	0,23	0,37	310	139,7	0,18	5,8	140,0
Aker	6,95	88	83	42	10,42	3,89	3,0	7,2	0,27	0,11	16	27,46	0,00	0,0	12,5
abada	6,20	431	309	91	23,65	7,78	57,5	5,1	0,24	0,04	151	1,83	0,00	0,6	42,5
Beguemon	7,09	303	233	104	20,44	12,89	37,5	6,5	0,35	0,10	71	72,61	0,00	0,0	2,5
Mag.Bra 1	6,95	294	226	90	20,44	9,48	35,0	3,5	2,37	3,71	60	49,43	0,00	2,8	35,5
Mag.Bra 2	7,08	287	221	96	22,44	9,73	30,0	3,4	0,22	0,13	78	50,65	0,00	2,1	23,5
Bir vettha	6,79	553	396	225	60,12	18,24	98,0	6,5	0,26	0,05	174	28,07	0,00	1,4	75,0
Bir el Sal.	6,60	260	200	77	18,04	7,78	30,0	4,9	0,21	0,17	64	0,00	0,00	5,8	72,5
Chbariya	6,35	408	292	127	36,07	9,00	43,0	5,3	0,22	0,58	66	120,2	0,00	0,3	112,5
Dawara	6,70	1036	786	417	114,6	31,86	87,0	11,5	0,54	0,03	138	247,7	0,00	0,0	101,0
El Guarse	6,20	418	299	110	26,45	10,70	60,0	6,6	0,36	0,10	122	20,75	0,25	1,1	9,5
Bouh. Deb.	6,90	286	220	91	24,05	7,54	25,0	7,6	0,32	0,03	71	43,93	0,09	4,4	33,5
ESeye B.	6,70	278	214	64	20,04	3,40	24,0	5,3	0,29	0,02	74	8,54	0,00	5,3	24,0
HSeye Idar	6,50	365	261	147	40,08	11,43	13,0	10,5	0,33	0,65	51	48,21	0,05	0,1	48,0
HSeye Ev.	6,68	239	184	80	21,64	6,32	12,5	4,7	0,68	0,25	55	14,64	0,00	6,4	4,0
GnouKara	6,91	305	235	100	26,45	8,27	25,0	4,1	0,48	0,19	76	57,36	0,00	1,1	3,5
Kermour	6,50	1791	1359	424	86,17	50,83	172,5	6,0	0,51	0,10	663	64,68	4,17	2,1	25,0
Kraelhm1	6,43	743	532	220	52,91	21,40	120,0	5,2	0,58	0,02	206	32,34	0,05	6,7	21,5
Kraelm 2	6,71	742	531	226	52,10	23,35	75,0	5,4	0,90	0,29	168	32,95	0,35	6,5	43,0
El Khram.	5,40	631	452	120	27,66	12,40	70,0	13,5	0,47	0,01	161	20,14	0,10	3,7	46,5
Simon	8,70	287	221	136	46,49	4,86	17,0	6,3	0,28	0,05	53	72,00	0,00	6,1	7,5
Rachl	5,83	248	191	62	11,22	8,27	27,5	9,2	0,25	0,06	67	14,03	0,00	0,3	47,5
Teibatt	6,65	203	156	83	18,44	9,00	12,0	11,5	0,45	0,19	28	45,15	0,00	2,4	57,5
Tewfigue	6,75	436	312	135	31,26	13,86	40,0	6,0	0,01	0,23	115	45,15	0,07	2,5	57,5

Tableau 1: Résultats des analyses physico-chimiques

Le but premier de cette étude est d'initier un suivi de la qualité des eaux mises à la disposition des populations rurales en vue de leur éventuelle amélioration par traitement. Parallèlement, une première mise en relation de la composition physico-chimique des eaux avec la corrosion des accessoires des pompes a été tentée, bien que ce phénomène mette en jeu des mécanismes difficiles à définir. La qualité physico-chimique des eaux a été établie par la détermination de leur pH, de leur minéralisation et de la teneur en éléments majeurs.

Le pH des eaux a été déterminé au moyen d'un pH-mètre à microprocesseur de marque : WTW et la minéralisation calculée à partir des mesures de conductivité ramenées à 20°C et mesurées grâce à un conductimètre à microprocesseur WTW196. Le dosage des éléments majeurs a été réalisé par volumétrie (chlore et carbonates) complexométrie à l'EDTA (calcium et magnésium) spectrométrie (fer, sulfate, ammoniacale, nitrites et nitrates) et absorption atomique (sodium et potassium) grâce à un spectromètre "Spectronic 20 D (Milton Roy Company) et un Spectromètre de flamme de marque : Jenway PFP 7.

L'exploitation des résultats est basée sur les normes publiées par l'O.M.S.

III - RÉSULTATS ET EXPLOITATION

a) Composition physico-chimique

Le tableau I regroupe les résultats obtenus dans le dosage des éléments "majeurs" contenus dans les eaux étudiées. D'une façon générale les eaux sont de très bonne qualité aux exceptions suivantes : trois puits ont une minéralisation relativement élevée par rapport aux normes de l'O.M.S. (1g.l^{-1}) : Gn1 ($1\ 654\ \text{mg.l}^{-1}$), SAVA ($1\ 226\ \text{mg.l}^{-1}$) et Kermour ($1\ 791\ \text{mg.l}^{-1}$). Seul le puits Gn1 ($891\ \text{mg.l}^{-1}$) a une dureté trop importante (norme $500\ \text{mg.l}^{-1}$ d'équivalent CaCO_3). Aucun puits ne présente une quantité excessive de sulfates (maximum de $400\ \text{mg.l}^{-1}$) ou de magnésium ($150\ \text{mg.l}^{-1}$). Par contre trois puits ont une teneur en magnésium supérieure à $30\ \text{mg.l}^{-1}$ et une teneur en sulfate supérieur à $200\ \text{mg.l}^{-1}$:

	Sulfate (mg.l^{-1})	magnésium (mg.l^{-1})
PK 23E	223	39,4
Gn1	216	101
Di1	265	32,83

Autour de ces trois puits des irritations gastro-intestinales dues à la qualité des eaux peuvent être observées. Deux puits : SAVA ($220\ \text{mg.l}^{-1}$) et Kermour ($663\ \text{mg.l}^{-1}$) dépassent les normes O.M.S. relatives aux chlorures ($200\ \text{mg.l}^{-1}$).

Enfin deux sites ont des quantités de nitrate très importantes PK22,5 ($72,45\ \text{mg.l}^{-1}$) et Gn1 ($102,64\ \text{mg.l}^{-1}$). A ceux-ci il faut ajouter le PK28 ($1,89\ \text{mg.l}^{-1}$ en nitrates) qui présente une concentration en nitrite ($7,68\ \text{mg.l}^{-1}$) très élevée. Il semble que pour ces forages une pollution d'origine animale puisse être mise en cause et devrait être éliminée par une meilleure gestion des abords des puits. Mises à part les deux dernières remarques, les puits étudiés ne présentent pas de caractéristiques réellement dangereuses pour la santé. Le chlore est principalement néfaste au niveau de la corrosion, une minéralisation relativement élevée est surtout gênante par son goût si des composants comme le magnésium additionné de sulfate n'interviennent pas.

La dureté de l'eau peut entraîner un risque de formation de calculs si une très forte présence de calcium est observée. Or, seul Gn1 a une dureté élevée mais la teneur en calcium décelée est de $190,38\ \text{mg.l}^{-1}$ alors que les normes O.M.S. donnent comme valeur maximale $200\ \text{mg.l}^{-1}$. Pour ce dernier puits des discussions sont engagées pour envisager son déplacement. Pour le site Kermour les utilisateurs s'y opposent en estimant que les avantages qu'ils en ont tiré sur le plan sanitaire (très forte baisse des problèmes gastro-intestinaux) compensent les inconvénients dus au goût. Enfin, dans certains forages l'eau délivrée présente une teneur importante en particules de rouille en suspension. Même si une attention particulière apportée lors de sa consommation (décantation) permet de minimiser les inconvénients de cette présence, une étude doit être envisagée pour en déceler l'origine ou entreprendre un traitement par filtration.

b) Corrosion

La corrosion est une des principales causes des pannes affectant les pompes que ce soit celles dépendant du projet Alizés ou celles mises en place par d'autres projets. Il est donc essentiel de choisir des matériaux résistants aux eaux souterraines agressives. Malheureusement il est difficile de déterminer un "degré" d'agressivité car ses facteurs sont interdépendants sans que cette interdépendance soit bien connue. Si un pH acide est un bon indicateur, d'autres facteurs comme la conductivité, le gaz carbonique, la teneur en chlore et en sulfate, la trop faible dureté ainsi que la présence de bactéries ont aussi des effets sur la corrosivité. Le tableau II montre les caractéristiques physico-chimiques principales des forages sur lesquels une corrosion importante a été observée.

PK 24	6,70	455	206	127,66
T1	8,30	251	37	44,33
PK 40	6,80	529	245	166,70
PK 30	8,60	437	211	127,60
Abadah	5,84	309	91	150,00
Mag.bra.1	6,34	226	90	60,28

Tableau II - caractéristiques des eaux des sites à forte corrosion

Six puits sur huit ont un pH relativement acide, mais mis à part Abadah (5,84) ces valeurs semblent insuffisantes pour expliquer à elles seules la corrosion observée. Pour T1, la corrosion serait plus à mettre sur le compte de la faible dureté que sur d'autres facteurs. En effet une eau trop douce a tendance à attaquer les métaux pour augmenter sa teneur en sels, et présente, en générale, un caractère d'agressivité appréciable. Pour le PK 30 seule la teneur relativement élevée en chlorure peut intervenir dans le phénomène étudié, mais une étude plus approfondie doit être entreprise. Pour les autres puits on peut associer plusieurs facteurs :

- pH, relative faiblesse de la dureté et minéralisation pour le PK 14 ;
- pH, chlorures et minéralisation pour Kraelahmar et PK 40 ;
- pH et chlorures pour le PK 24 ;
- pH, faible dureté et chlorures pour Abadah et pH et dureté pour Mag. Bra.1.

Une lecture de l'ensemble des résultats fait apparaître des dangers de corrosion sur des puits où aucune panne n'a été signalée :

dureté faible	13 autres puits
pH	16 autres puits
Cl	17 autres puits

Il y a, donc, un danger de corrosion sur 90% des forages ou un risque potentiel sur 76% et réel sur 14%. Dans ces conditions, et malgré le surcoût, il semble que l'acier inoxydable soit préférable aux matériaux galvanisés. Ceci d'autant plus que l'abrasion par le sable altère la qualité de la galvanisation et crée des sites favorables à partir desquels la corrosion peut se développer.

IV - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'accès à l'approvisionnement en eau est une nécessité vitale pour l'homme mais sa détention crée des besoins liés à l'optimisation de son utilisation. Aussi, parallèlement à l'amélioration de l'alimentation en eau, des actions doivent être entreprises pour en tirer le maximum d'avantages aussi bien sur le plan sanitaire qu'agricole. Les contrôles doivent permettre d'améliorer la qualité des eaux et de palier à toute dégradation.

La collaboration entre le G.R.E.T. et l'I.S.S. a permis d'initier ces contrôles limités, pour l'instant, à l'aspect physico-chimique. Il est évident que ce travail ne présentera tout son intérêt que dans un suivi et une extension vers l'étude bactériologique. La nécessité de cette dernière est confirmée par la présence de nitrates et de nitrites en quantités non négligeables sur certains sites et le constat fait par les utilisateurs sur la diminution des affections gastriques lors du passage du puits traditionnel au pompage. Il est donc important de conserver cet acquis, dû au type d'exhaure, en prenant toutes les précautions pour qu'il ne soit pas annihilé par une pollution dans les cuves de stockage.

Remerciements : Ce travail a été réalisé grâce à un financement du Ministère Français de la Coopération, dans le cadre de la mise en place d'un groupe de compétences scientifiques concernant les applications de l'énergie éolienne.

BIBLIOGRAPHIE

Alimentation en eau potable des petites collectivités, 1981, C.I.R. La Haye - Pays Bas.
 Approvisionnement en eau potable des collectivités, 1988, Banque Mondiale, Washington D.C.
 Normes internationales de l'eau de boisson, 3^{ème} ed. 1974, O.M.S. Genève.
 Rodier J. L'analyse de l'eau, 1984, 7^{ème} ed., Dunod Paris.

REFLEXIONS SUR L'EAU ET L'ENVIRONNEMENT AU BRAKNA

Mohamed Lemine Ould Yahya
PHY

1. INTRODUCTION

La connaissance et gestion des Ressources en EAU sont de nos jours indispensables pour:

- Fixer les populations et améliorer leur niveau de vie
- Freiner le processus de désertification
- Développer les actions d'Aménagement
- Protéger les Bassins Versant.

C'est dans cet ordre d'idées que nous présenterons dans cette note les différentes méthodes d'approches et modes d'exploitation opérationnels directement utilisables au BRAKNA. (Fig. 1)

2. CADRE SUCCINT

2.1. Contexte Géologique. (Fig. 2).

La Région du BRAKNA est marquée par deux grandes Unités Géologiques :

- 1 - A l'Ouest on rencontre les formations sédimentaires de l'EOCENE.
- 2 - A l'Est affleurent les chaînes métamorphiques plissées, correspondant aux Mauritanides, avec localement une "fenêtre" granitique au Sud de GUIMI - Dôme de ADHM ADRESS.

2.2 Contexte hydrogéologique.

La Région du BRAKNA présente plusieurs types d'aquifères :

A - Aquifère Principal dans la série sédimentaire.

C'est la bordure Est de la Nappe du TRARZA

Cet aquifère est exploité au Niveau d'ALEG et par de nombreux Puits et Forages dans la WILAYA.

B - Aquifère type Milieu fissuré

La mise en évidence de cet aquifère est souvent précaire bien qu'elle fait systématiquement appel à la Géophysique.

Il s'agit d'un aquifère du type compartimenté, qui ne peut donc être recoupé qu'à la faveur des fractures (failles, réseaux de diaclases). Il s'inscrit dans l'arc des Mauritanides

C - Aquifère superficiel c'est un aquifère que l'on rencontre dans certains niveaux alluvionnaires :

- CHOGAR
- MOGTA LAHJAR
- GUIMI
- SANGRAFA

La capacité de cet aquifère est généralement très liée à la pluviométrie et l'on observe parfois des tarissements complets des oglats.

Dans ce cas, si des barrages ou digues sont à l'origine de ces nappes alluviales (SANGRAFA), il s'agit de favoriser l'infiltration, le maximum de temps pour sécuriser le village et ce au détriment ponctuel (retards) des cultures saisonnières.

D - Les Méandres de MOGTA LAHJAR et de GUIMI.

Les études antérieures ont montré l'existence de nappes d'extension limitées liées à un enfoncement par jeux de failles du socle (40m) où "fosses d'altérations" en Méandres. C'est le cas de Mogta Lahjar où un forage donne un débit supérieur à 20 m³/h.

A GUIMI, le même phénomène existe sur Forage (CEAO1) où le socle a été recoupé à 19m.

Les possibilités de ces aquifères sont elles aussi très liées à la recharge.

Ce type d'aquifère est probablement présent dans d'autres sites au BRAKNA, et mérite d'être reconnu par Géophysique.

La mise en évidence et l'exploitation de ces ressources contribuera largement au freinage du Processus de désertification et à la fixation des populations.

E - La Paléovallée ALEG - NIABINA

La mise en évidence de cette paléovallée, nettement visible sur l'Image Satellite LANDSAT, par points d'eau sera un nouveau pôle d'activités agro-pastorales. Cette mise en évidence est réalisable en combinant la géophysique avec le positionnement par GPS.

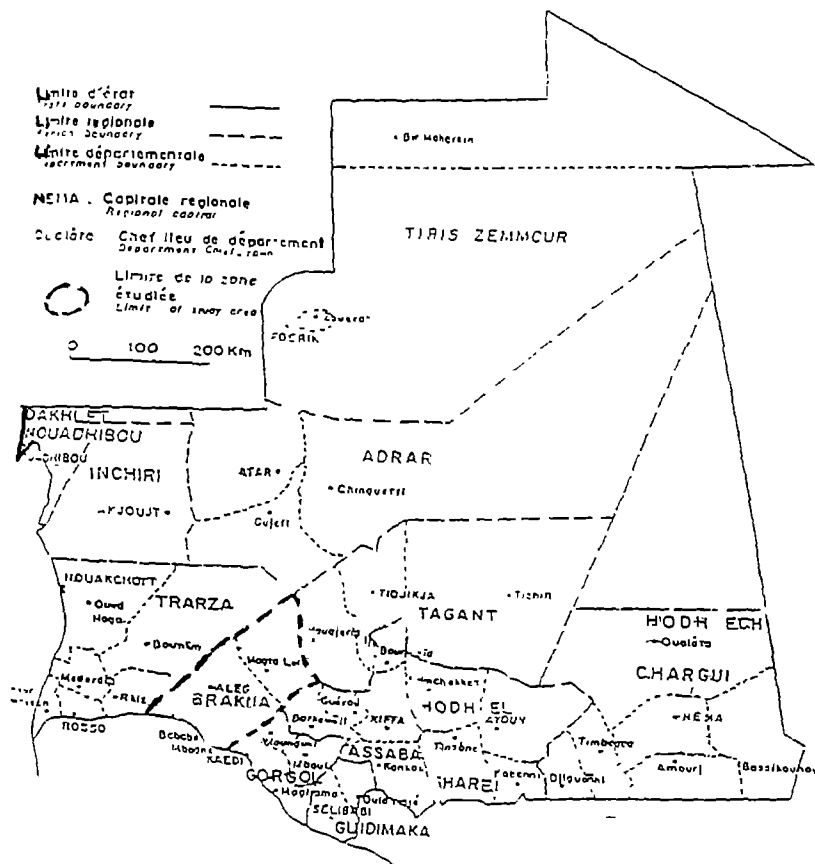
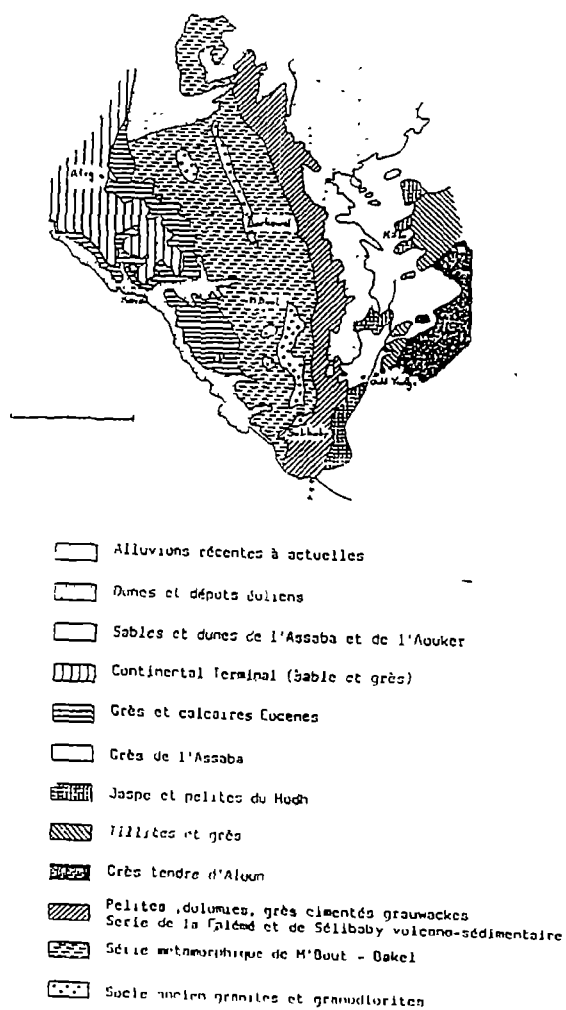
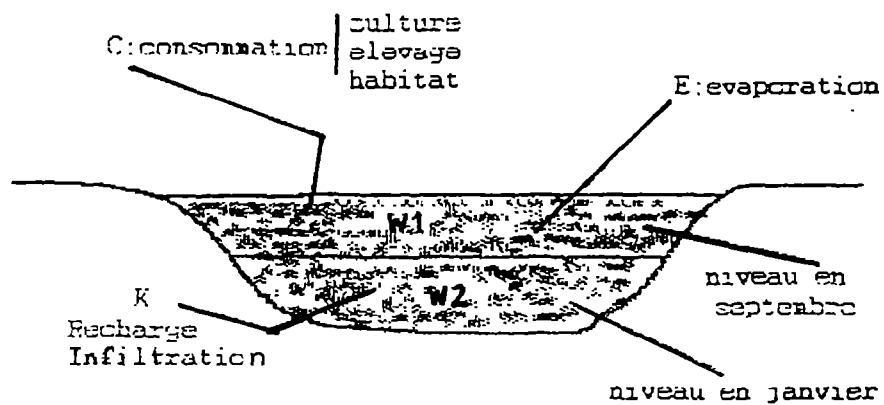
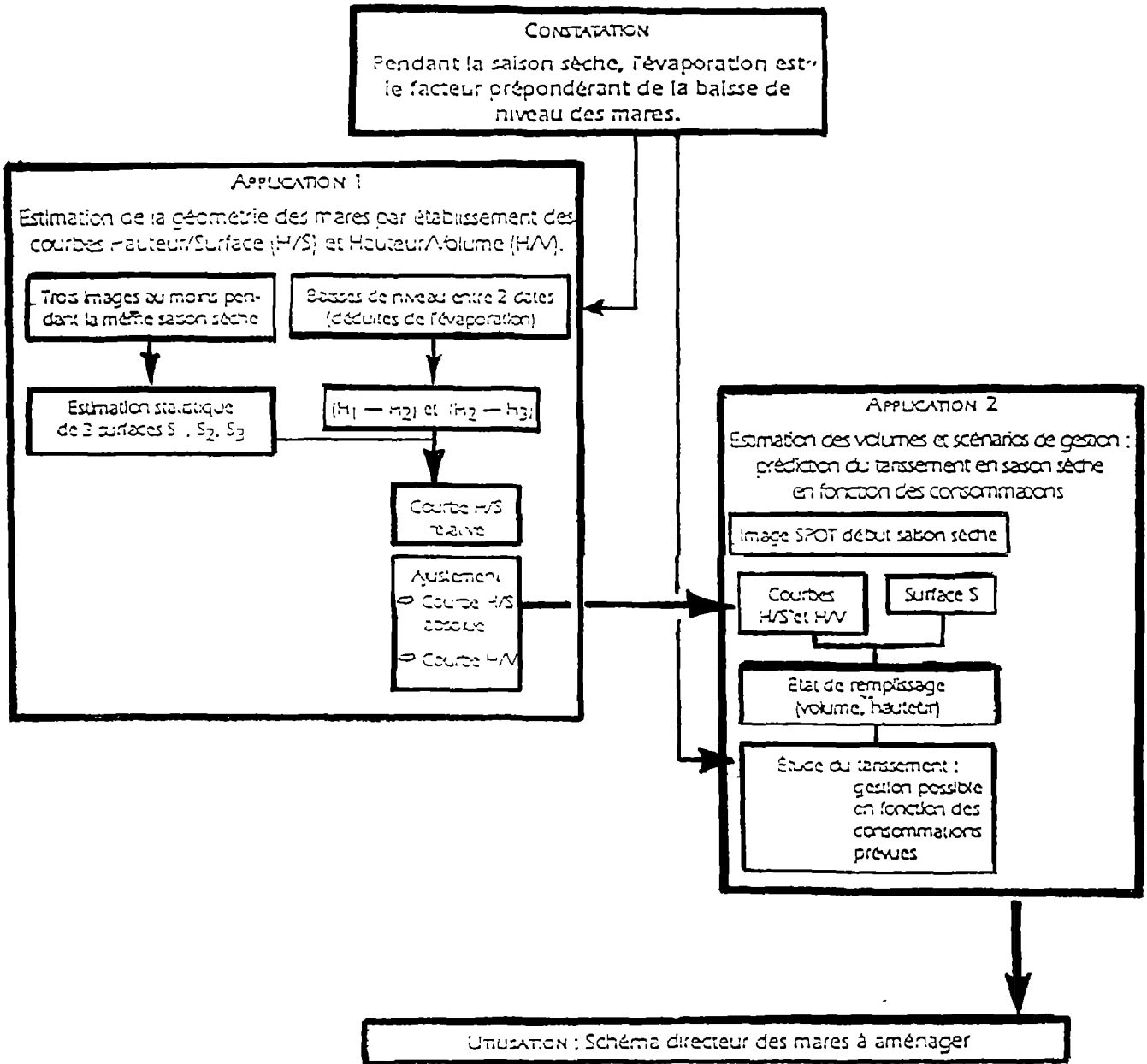


Fig. 2 GEOLOGIE du SUD EST MAURITANIE



CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE

63



F - LES GRANITES (SUD DE GUIMI)

Cette fenêtre granitique est probablement très prospective en matière d'eau. La bordure Nord de cette formation correspond à l'OUED KETCHI (principal réseau hydrographique de la zone).

Ceci laisse supposer que la frange d'altération (ALTERITES) est relativement profonde.

Ces altérites au GUIDIMAKA ont donné d'excellents résultats en forages (débit env. 20 m³/h).

Une campagne de GEOPHYSIQUE, soutenue par un support photogéologique préalable, mettrait en évidence les accidents majeurs et le toit du substratum résistant. Ainsi un programme de sondages de reconnaissance pourrait être lancé.

2.3 Le Biseau Sec

La Bordure Est de la Nappe du TRARZA est marquée par un biseau sec.

D'un point de vue géologique, ce biseau se traduit par la remontée en marche d'escalier (jeu de failles) d'un horizon formé par des argilites violettes que l'on retrouve dans les Puits de TANKASSASS (Puits sec).

Si l'on connaît approximativement la limite de ce biseau au niveau de l'axe ALEG - CHOGAR, il est difficile de ce prononcer sur toute la partie Sud du BRAKNA. Le Puits de KEWEL (Régions de MALE) exécuté dans les formations sédimentaires (selon la coupe litho stratigraphique) qui a capté cette nappe, dénote une importante imprécision du tracé de ce biseau (erreur de plus de 20 km).

Il est donc important de délimiter ce biseau afin de fixer les population autour de nouveaux points d'eau .

2.4 Les barrages et Dignes Filtrantes

Le concept Barrages/Dignes Filtrantes est réalisé pour la première fois en Mauritanie par le Projet BRAKNA (A.F.V.P).

Ce concept devait permettre :

- de développer les surfaces cultivables
- de sécuriser les barrages
- de développer l'infiltration pour la recharge des nappes.

Cette méthode a été adoptée à CHELKHET TOURJE et AGMAMINE dans la Région de WAD AMOUR.

Le succès aujourd'hui prouvé devrait conduire au développement de celle-ci dans d'autres sites.

2.5 Le concept Barrage/Puits.

Ce concept a été adopté en 1992 au BRAKNA.

Il s'agit d'implanter un ouvrage (puits) en Aval Barrage au droit d'un accident majeur préalablement mis en évidence par la géophysique (méthode électrique ou autre).

Le sondage électrique renseignera sur la profondeur de la frange altérée, donc sur le contact avec la roche saine. Il mettra en évidence d'autre part, les contrastes liés à la fracturation (effets latéraux).

L'exemple de GOUEWA 2 en est une bonne illustration :

- Puits réalisé à l'Aval d'une diguette
- Implanté sur fracture de direction et pendage connus
- Exécuté jusqu'au contact avec la roche saine (30m).
- Résultats : 24m de Hauteur d'eau en Juin

Les ouvrages réalisés dans les mêmes conditions sont d'une grande sécurité pour les Villageois qui n'hésiteront pas à se fixer.

2.6 Le Pastoralisme dans l'AGAN et L'AOUKER.

Il semble que tous les ans, les éleveurs de l'AGAN et l'AOUKER évoluent par manque d'Eau vers le Sud et bien souvent leurs cheptel dévaste les cultures saisonnières.

Il y' a donc un déséquilibre naturel contre lequel, il y' a lieu de lutter.

Il s'agit de faire une étude hydrogéologique sur les zones pastorales et de réaliser quelques points d'eau espacés de 25 Km au plus. Ainsi les éleveurs n'auront plus besoin de remonter jusqu'au fleuve.

Plus au Sud, d'importantes zones pastorales méritent d'être repérées, cartographiées et étudiées en vue de réalisation de puits pastoraux.

3. LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU

La Région du BRAKNA, au niveau pluviométrie, se situe entre l'isohyète 100 - 150 mm/an la gestion des ressources en eau devient très vitale dans le cadre de l'aménagement et la protection des Bassins versant.

3.1 Le processus hydrologique.

Le cycle hydrologique en milieu Sahélo-saharien est caractérisé par deux saisons :

- * Une saison pluvieuse qui dure, dans le cas du BRAKNA, environ 2 mois.
- * Une saison sèche (sans précipitations).

Dans ces conditions, pour obtenir des prévisions de disponibilité en Eau des mares (ou lacs) en fin période pluvieuse et rationner les cultures par la suite, il faut estimer de manière fiable les variables suivantes :

En fonction de ces variables et surtout compte tenu de leur évolution dans la période de culture contre saison, il faut calculer la surface à cultiver pour qu'en fin de saison agricole : $W_2 > 0$

3.1.1 Le Paramètre K - (Infiltration / Recharge).

L'évolution directe de ce paramètre nécessiterait une étude hydrogéologique sur le terrain au même titre que la topographie au Sol. Cette approche est la plus précise.

Une autre approche indirecte de ce paramètre permet d'obtenir sa valeur à partir des autres paramètres.

3.1.2 Détermination à partir des images satellitaires.

La détection des mares sur l'image satellite consiste en un positionnement des mares repérées (problème d'inventaire et de localisation : à partir de quelle surface repère-t-on les plans d'Eau sans confusion ?) et une estimation de la surface en eau (avec quelle précision peut on définir la surface d'eau ?).

De la qualité de ces deux réponses dépendent les illustrations possibles

Du point de vue physique, l'eau a la particularité d'avoir une réflectance forte dans le domaine du visible et qui chute brutalement dans Proche Infra Rouge, contrairement à la plupart des autres corps (végétation, sols nus) qui ont une forte réflectance dans cette gamme de longueurs d'onde. Ainsi la séparation "eau/non eau" ne pose généralement pas de problème majeur en télédétection si l'on peut travailler dans le domaine du proche infra rouge, et il est facile de l'isoler de son contexte.

Notre problème ici est de quantifier l'erreur de détermination des surfaces à partir des images satellite, dans le but de la minimiser. En effet ce terme de surface va entrer comme paramètre dans notre processus de détermination géométrique des mares et une erreur même faible peut entraîner au niveau des volumes une incertitude non acceptable

3.1.3. Problème de l'estimation de surface.

La détection d'un plan d'eau ne pose aucun problème en télédétection, mais la qualité de détermination de la surface dépend de plusieurs critères.

Pour ne pas surcharger le texte, nous ne donnerons ici que les grandes lignes.

3.1.4. Erreurs possibles

Les erreurs possibles peuvent être définies comme erreurs intrinsèques à l'image, et plus ou moins éliminées selon la méthode d'estimation

Pour erreur intrinsèques à l'image nous entendons:

- Les erreurs angulaires sur l'image due à la visée non verticale du satellite, erreur en principe corrigée dans les prétraitements par utilisation des paramètres de vol du satellite.

Nous la considérons comme négligeable.

- Erreur géométrique, due au découpage en carrés élémentaires de l'image, et à la tentative qui en résulte d'assimiler le contour du plan d'eau à un contour tracé sur un grille régulière. Il est bien évident que cette assimilation est d'autant plus difficile que la taille des pixels est grande par rapport au plan d'eau.

Des études théoriques (citées par JOANNES et AL, 1985) donnent une erreur égale à 10 % pour un carré de 100 * 100 mètres, erreur qui diminue progressivement par la suite

4. CONCLUSION

A la lumière de ces données, il ressort que la Wilaya du Brakna offre énormément de possibilités de développement :

- agropastoral
- aménagement
- gestion environnementale

C'est à partir des méthodes télégéotechniques simples et peu onéreuses que les études peuvent être réalisées et suivies :

- Transfert de Technologie (formation)
- Animation sensibilisation
- Réalisation d'ouvrages et travaux
- Suivi à moyen et long terme de projets
- Réactualisation de cartes et Toponymie
- Recueil et gestion des données socio-économiques et scientifiques sur la région
- Etablissement de schéma directeur
- Alimentation en Eau potable.

Ainsi la région pourra disposer de moyens humains et matériels capables d'identifier ses besoins et répondre par des actions directes.

LES IMAGES SPOT UN OUTIL D'AIDE A LA GESTION DE L'EAU

ROUCH Franck

Ingénieur Hydraulicien de Grenoble - Responsable Afrique à SPOT IMAGE.

Résumé

Parmi les multiples utilisations des images des satellites SPOT, on cite le plus souvent la cartographie ou l'agriculture. S'il est vrai que ces deux applications constituent la plus large part de l'utilisation des images SPOT, celles-ci SPOT sont aussi de plus en plus utilisées dans des applications ayant trait à la gestion de l'eau.

Dans cet article nous aborderons successivement la recherche d'eau, la gestion des périmètres irrigués, l'évaluation des besoins en eaux dans les agglomérations et les études d'implantation de barrage qui constituent aujourd'hui les principaux axes de développement de ces applications.

1. LA RECHERCHE D'EAU

Grâce à la vision globale de la terre qu'offre le satellite : 3600 km² sur une seule image, à la haute résolution (résolution de 10 ou 20 mètres au sol), et à la multiplicité de ses bandes spectrales (Vert - Rouge - Infrarouge), SPOT offre à l'hydrogéologue tous les éléments nécessaires à une interprétation du sol et une extrapolation au sous-sol afin d'optimiser la localisation des forages.

Les études menées par exemple en Nouvelle-Calédonie et au Sahel, illustrent bien l'apport de cette technique et les bénéfices que l'on peut en tirer

2. LA GESTION DES PÉRIMÈTRES IRRIGUÉS

SPOT permet de gérer au quotidien de larges périmètres irrigués en fournissant sur la zone d'études des éléments fondamentaux tels que :

La détection de fuite : Fissures ou ruptures de canalisations,

Contrôle du réseau : Irrigation sauvage, contrôle des prélèvements, débordement de canal,

Optimisation des quantités d'eau fournies,

Ainsi, nous illustrerons ce thème sur les exemples dans la plaine du Gharb au Maroc, et aux Etats-Unis, où cette technique a déjà largement fait ses preuves.

3. L'ÉVALUATION DES BESOINS EN EAUX DANS LES AGGLOMÉRATIONS

Par le passé, l'évaluation des besoins en eaux dans des agglomérations en forte croissance était réalisée à l'aide d'une enquête sur le terrain. Les conditions dans lesquelles ces enquêtes étaient réalisées n'offraient souvent pas toutes les garanties de fiabilité que l'on pouvait attendre. L'utilisation des images SPOT a permis d'améliorer très largement la qualité de ces enquêtes en permettant :

- une vision à-jour de l'agglomération nouveaux quartiers ;
- une stratification des différents quartiers avec pour chacun une estimation de leur besoin en eau ;
- un résultat rapide et fiable permettant de contrôler les résultats de l'enquête.

Cette application a été largement utilisée dans différents projets d'adduction d'eau de par le monde, nous insisterons particulièrement sur l'exemple de la ville d'Istanbul en Turquie.

4. LES ÉTUDES D'IMPLANTATION DE BARRAGE

L'utilisation de SPOT dans les études d'implantation de barrage se situe principalement dans les phases d'Avant-projet. Ainsi, SPOT a été utilisé pour la sélection de sites potentiels grâce principalement à l'utilisation de modèles numériques de terrain issus de SPOT mais aussi pour les études d'impacts lors de l'implantation d'un barrage.

Deux exemples pourront illustrer ce thème : L'implantation d'un barrage en Thaïlande et l'étude d'impact réalisée au Cameroun : calcul des surfaces inondées avec classification par thème.

PLANS D'EAU SAHÉLIENS ET IMAGERIE SPOT : INVENTAIRE ET EVALUATION DES CAPACITES D'EXPLOITATION

PUECH Christian

Laboratoire Commun de télédétection CEMAGREF / ENGREF BP 5095 34033 Montpellier Cédex 01 France Tél. : (33).67 04.63.37, Fax . : (33).67.63.57.95

Résumé

La mise en valeur des plans d'eau passe par leur connaissance précise, tant en position qu'en surface et cubature. Dans des zones arides les difficultés de déplacement et d'investigations rendent intéressante l'approche par des techniques spatiales. Nous présentons ici les résultats d'une étude pilote effectuée au Niger sur des "mares" semi permanentes de quelques hectares à quelques dizaines d'hectares, pour l'inventaire et la détermination des capacités d'exploitation des plans d'eau.

L'approche a été menée par imagerie SPOT et l'intérêt de l'opération s'est porté sur des aspects liés tant à la technique de télédétection qu'à l'inventaire lui-même.

Trois niveaux de résultats et de précisions ont été testés, et validés grâce à une campagne de mesures sur le terrain :

- un premier niveau concerne l'inventaire systématique des mares. Il s'agit ici de la caractérisation d'un plan d'eau par présence ou absence, sans référence à sa surface. L'étude théorique et expérimentale montre que cette détection est très performante dès lors que le plan d'eau a une taille supérieure à quelques pixels contigus (soit de l'ordre de 1 ha avec des images SPOT) ;
- le deuxième niveau concerne l'estimation correcte des surfaces. Entrent en jeu des considérations géométriques (rapport entre la taille du plan d'eau et la résolution des images) et radiométriques, ainsi que le type de méthode d'extraction des plans d'eau. Nous sommes arrivés à une détection de surface ayant une précision de l'ordre de 5 à 10% pour des plans d'eau de 10 ha ;
- un troisième niveau concerne la détermination de la capacité des plans d'eau. On doit passer de l'information spatiale (de surface) donnée par les images à l'information volume, donc avec une composante de hauteur d'eau. Dans le contexte sahélien, à l'intérieur d'une même saison sèche, cela est possible en introduisant la liaison entre baisse des niveaux et évaporation. A l'aide de la connaissance statistique des formes des courbes hauteurs-surface, nous pouvons proposer une méthode qui fournit, sans terrain, une estimation des courbes hauteurs surface et hauteur-volume de chaque plan d'eau. Les volumes sont estimés à mieux que 30% près, et ceci pour tous les plans d'eau de plus de 10 ha présents sur l'image.

L'utilisation de ces courbes est bien connue des gestionnaires de plans d'eau en zone sahélienne. Elles servent en effet de référence pour les simulations de gestion des eaux, c'est à dire à la détermination a priori, mois par mois pendant la saison sèche, de l'évolution des niveaux et des volumes en fonction de l'évaporation (tranche d'eau perdue) et des aménagements présents ou prévus (volumes d'eau prélevés).

La précision obtenue est apparue suffisante pour un schéma directeur d'aménagement des plans d'eau.

Les résultats de cette étude sont probants : par une méthode robuste, peu chère et rapide, la télédétection satellitaire est à même de constituer un inventaire exhaustif de toute mare dépassant 1 ha et de définir avec une précision acceptable sa géométrie pour une surface minimale de 10 ha.

Il est alors possible de dégrossir le problème de l'aménagement par une sélection des mares prioritaires d'un point de vue potentiel hydraulique, mares qui feront l'objet de mesures plus précises, soit par photographies aériennes, soit, en phase aménagement, par des mesures classiques au sol.

I. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'attention des autorités Nigériennes s'est portée sur l'exploitation des mares naturelles aussi bien pour l'alimentation des troupeaux que pour l'irrigation de contre saison.

Un grand nombre de ces plans d'eau sont peu exploités par rapport à leur capacité supposée. Leur dispersion et leur isolement supposeraient des investissements parfois importants pour leur mise en valeur agricole : implantation de populations, investissements hydro-agricoles proprement dits, organisation de circuits de transport et de commercialisation, etc

Le premier problème, pour le planificateur, consiste à inventorier la ressource et à évaluer globalement les potentialités de mise en valeur. Un certain nombre d'inventaires, à partir de moyens conventionnels, ont été réalisés plus ou moins partiellement sur le terrain. Longs et coûteux, ces inventaires ne donnent qu'une évaluation imprécise et qualitative, le plus souvent à partir d'informations d'enquête, sur la pérennité relative de la ressource.

Le deuxième problème concerne l'estimation statistique de la ressource, pour établir des projets de mise en valeur à l'échelle régionale. Les modèles de ruissellement ne permettent pas d'estimer directement cette ressource à partir de la pluviométrie, et il faut disposer d'observations directes à la fin de chaque saison pluvieuse. L'intérêt de chronique annuelle de cette ressource et des moyens de l'obtenir est alors mis en relief.

Tous ces problèmes nécessitent de disposer d'un outil synoptique, répétitif et d'un coût compatible avec les avantages économiques que l'exploitation de cette ressource permettrait d'escompter.

Dans ce contexte, il est apparu intéressant de tester l'utilisation de la télédétection pour estimer ces divers paramètres.

II. SITE D'ETUDE ET DONNEES DISPONIBLES

Le site d'étude choisi est la région de Tillabéry, à 100 km au nord de Niamey au Niger (Figure 1) nombre de mares peu exploitées sont situées à quelques dizaines de kilomètres des rives du fleuve.

Les données disponibles sont des Images SPOT XS prises au cours de la saison sèche

image	date
XS 59/321	29.10.88
P 59/321	04.01.89
XS 59/321	13.03.89
XS 59/321	12.10.89
XS 59/322	12.10.89
XS 59/321	19.11.90

Tableau I - images SPOT utilisées

On a accès également aux données climatologiques (évaporation à Tillabéry) Enfin une campagne de terrain spécifique a été organisée pour valider les hypothèses formulées.

III. RADIOMETRIE DES PLANS D'EAU EN ZONE SAHELIENNE.

Un des intérêts de la télédétection satellitaire pour la reconnaissance de objets terrestres est sa possibilité d'exploitation de données multispectrales. Chaque point élémentaire de l'image (pixel) est en effet connu selon sa radiométrie dans plusieurs longueurs d'ondes et ces différentes réponses constituent sa "signature spectrale". Si les signatures spectrales de deux objets sont bien discernables alors il sera possible de les attribuer facilement à des classes différentes.

Ainsi on distingue habituellement les comportements radiométriques particuliers (figure 2) pour :

- l'eau pure (forte diminution dans le visible qui lui donne une réponse quasiment nulle dès le proche infrarouge) ;
- la végétation qui, après un pic dans le vert et une baisse relative dans le rouge, montre une très forte valeur dans le proche infrarouge ;
- les sols nus qui du bleu au proche infrarouge présentent des courbes régulièrement croissantes.

Les allures générales des courbes de signature spectrales des objets habituels du paysage sont bien connues, mais les comportements particuliers de chaque végétation, sol ... doivent être observés dans chaque site et pour chaque image.

Ces propriétés rendent l'eau pure particulièrement facile à isoler de son contexte, du moins pour des pixels homogènes : le canal Proche infrarouge PIR, permet à lui seul une séparation efficace.

Pour ce qui est du Sahel, toutefois, ces comportements sont grandement perturbés par l'énorme charge en limons qui compose ces plans d'eau. Alors qu'en mer calme et sur lacs peu chargés, la transparence de l'eau joue sur plusieurs mètres et parfois quelques dizaines de mètres, dans les régions qui nous occupent celle-ci est limitée à quelques centimètres à peine.

SEGUIS (1993), faisant des mesures de transparence au moyen d'un disque SECCHI dans un bras du Sénégal, trouve des profondeurs de disparition du disque de l'ordre de 10 cm (mare de Figo, eaux très chargées) à 40 cm (Pont Gari, eaux moyennement chargées). Les mares du Niger ont un degré de turbidité élevé qui les rapprocherait des 10 cm trouvé à Fido.

Les courbes de réflectance de cette eau limoneuse sont alors intermédiaires entre celle de l'eau pure et celle des sols nus humides (Cf figure 2)

Dans le canal proche infrarouge PIR, il est alors parfois difficile de séparer les eaux chargées des sols les plus sombres : les cuirasses par exemple présentent une radiométrie quasiment semblable. Dès lors le canal PIR n'est plus le meilleur séparateur de l'eau.

Aussi dans la régions étudiée avons nous dû choisir un autre support radiométrique à la ségrégation . Il s'est avéré que le rapport $(PIR-R)/(PIR+R)$, encore appelé NDVI indice de végétation normalisé, permettait une bonne discrimination même avec les zones cuirassées. SEGUIS (1993) trouve un résultat analogue au Sénégal : les rapports de réflectance PIR/R et R/V sont plus discriminants que les réflectances pures.

C'est donc le rapport NDVI que nous avons utilisé

IV. 1^{er} NIVEAU DE PRECISION : INVENTAIRE DES PLANS D'EAU

Le problème d'inventaire des plans d'eau est celui du repérage et la localisation exacte des plans d'eau grâce à l'image satellite

Il se pose dans des termes de oui/non : détection d'un plan d'eau sans référence à une estimation de la superficie.

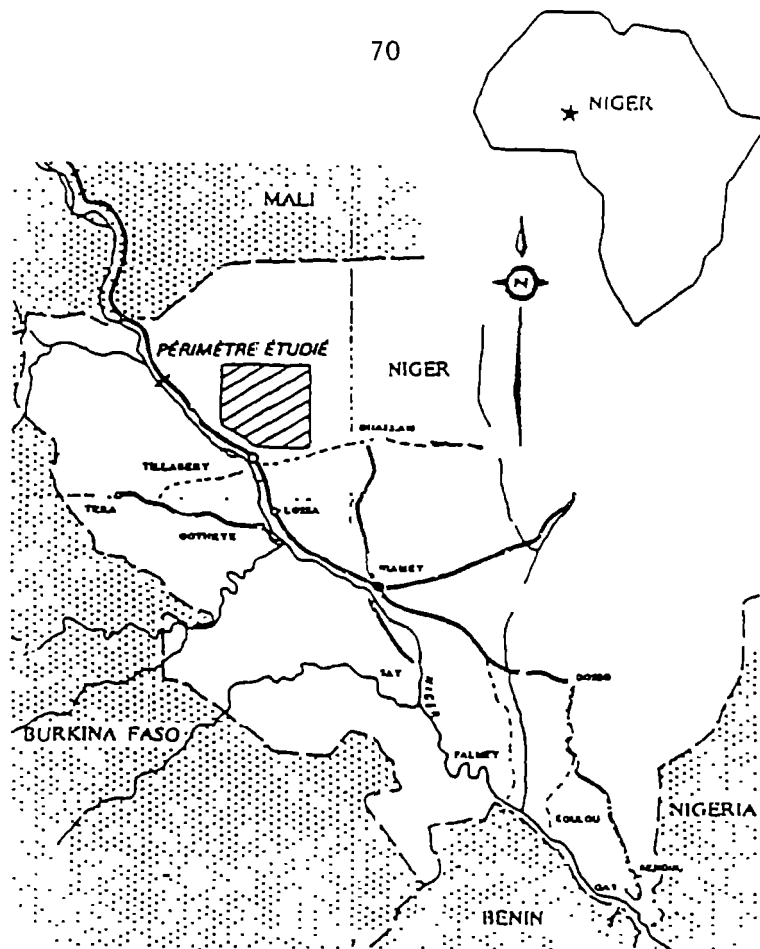
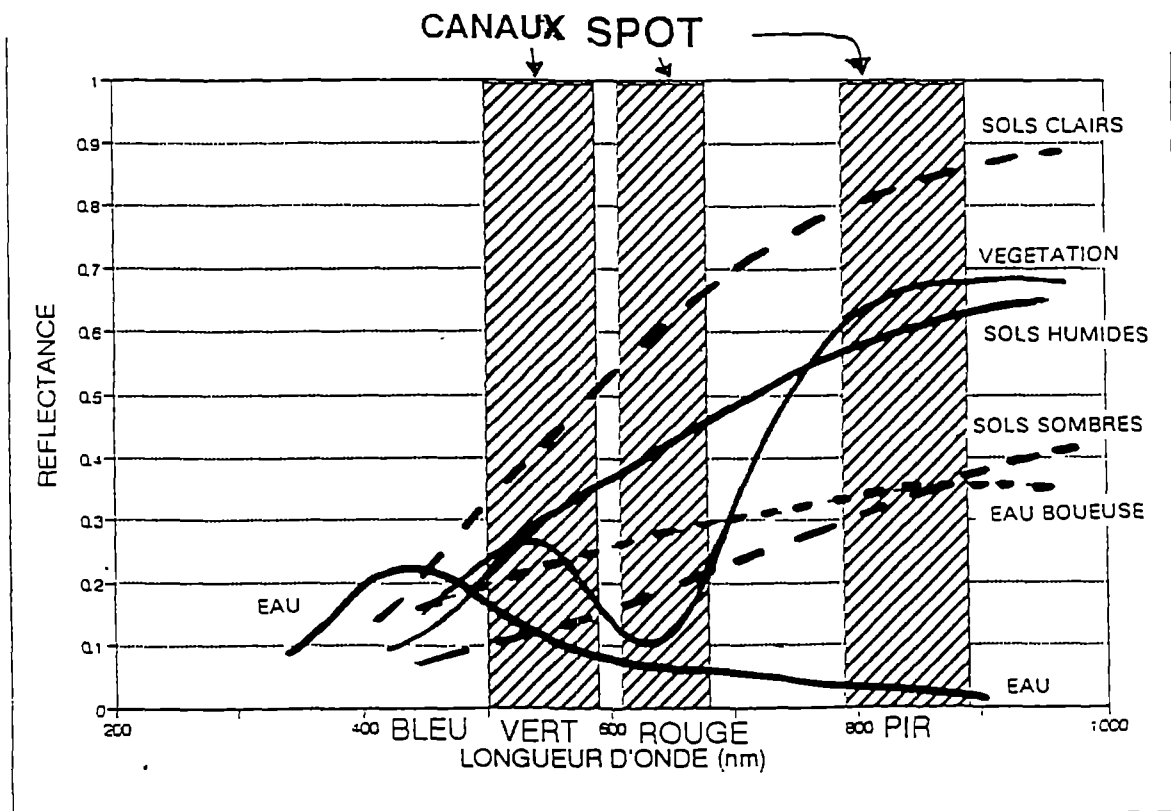


Figure 1



SIGNATURES SPECTRALES DES DIFFERENTS CORPS

Mise en évidence de la confusion entre eau-boueuse et sols sombres dans le canal proche infrarouge PIR.

Figure 2

4.1. Seuil minimal de détection des plans d'eau

Nous n'avons pas pu effectuer sur place de calcul de sensibilité pour les tous petits plans d'eau car ceci aurait nécessité une logistique importante pour un rendu peu novateur. En effet, vu la baisse relativement rapide des mares de petite dimension (fin d'assèchement), il aurait fallu avoir une coïncidence presque parfaite entre date d'image satellite et date d'observation sur le terrain d'un grand nombre de mares. Nous nous contenterons donc de rappeler les principaux résultats obtenus lors d'inventaires par télédétection d'objets facilement discernables : plans d'eau, zones incendiées, plaques de sols nus .. Toutes les études correspondantes arrivent à la même conclusion, par exemple MAUREL (1988) indique que omissions et confusions tombent pratiquement à zéro dès que la taille du plan d'eau est supérieure à 4 pixels contigus. Cette limite s'explique facilement par des considérations géométriques : un pixel pur étant certain d'être obtenu sous la condition que la taille de l'objet détecté soit au moins égale à 4 fois le pixel (Cf figure 3).

Ainsi sur une image SPOT XS (pixel 20*20 m), les plans d'eau qui dépassent, globalement, un carré de 50 sur 50 mètres (1/4 hectare) sont tous repérés sur cette image

4.2. Positionnement des plans d'eau

Avant utilisation des images satellite, il convient de les géoréférencer. Dans les zones sahéliennes, le relief ne perturbe pas la géométrie des images, et à l'aide de points de référence au sol (points d'amer) il est possible de localiser toute information à un ou deux pixels près, soit environ 50 m avec des images SPOT, ce qui est tout à fait suffisant dans notre cas.

4.3. Exploitation des images.

Nous avons pour cet inventaire exploité les images de novembre 1989, soit 2 images contigues couvrant environ 60 *120 km Le recensement obtenu par l'image satellite conduit à un nombre de mares repérées égal à 97, dont un grand nombre de très petites mares non présentes sur les inventaires précédents.

Pour la validation, deux autres sources de documents ont été utilisées :

- les photographies de la mission IGN 1975 (nombre de mares repérées 145) ;
- les reconnaissances de terrain et avion (1989) (nombre de mares repérées 45, 104 ayant "disparu" et 4 étant "apparues").

La comparaison entre inventaires de 1975 (photographies aériennes) et de 1989 (avion + imagerie SPOT) indique une baisse du nombre de mares de 36%. La tendance générale entre ces deux années est donc une baisse de l'hydraulicité.

En fin de compte on recense 32 mares communes aux divers inventaires, de taille suffisante pour faire l'objet d'investigations pour aménagement (superficie de plusieurs dizaines d'hectares).

Le résultat est un fichier donnant pour chaque mare la latitude et longitude, la surface, et un numéro dérivé de sa position dans l'image ainsi que le numéro de référence dans le projet si possible

V. 2 ème NIVEAU DE PRECISION : DETERMINATION DES SURFACES EN EAU

Nous cherchons ici à estimer le superficie de chaque plan d'eau à partir des images satellites ainsi que la précision de détermination obtenue

5.1. Erreurs possibles sur l'estimation de la surface

Les erreurs possibles peuvent être définies comme erreurs intrinsèques à l'image et par erreurs dues à la méthode d'extraction. Par erreur intrinsèques à l'image nous entendons :

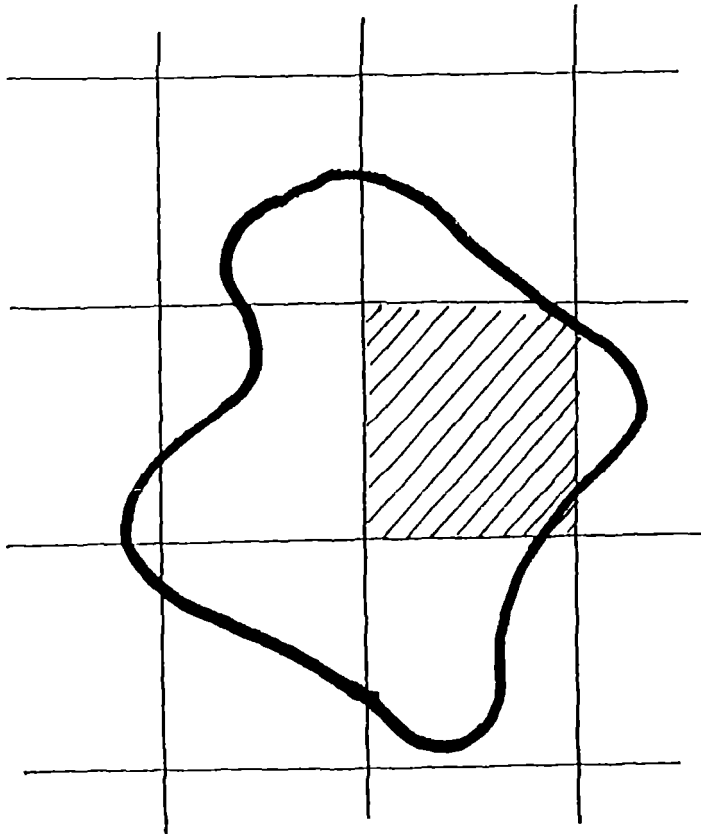
- les erreurs angulaires sur l'image dues à la visée non verticale du satellite, erreurs en principe corrigées dans les prétraitements SPOT de type 1B ;
- erreur géométrique, due à la représentation de l'image en grille régulière (mode "raster"), et à la nécessité qui en résulte d'assimiler le contour du plan d'eau à un contour tracé sur une grille régulière ;
- erreur due aux effets de bordure et à la présence de pixels mixtes ;
- erreur due à la présence d'herbes aquatiques de bord de mare qui cachent la limite exacte du contour de l'eau.

L'erreur géométrique (Cf figure 4) est la plus facile à analyser. JOANNES et al (1986) donnent les estimations suivantes :

erreur géométrique	taille de l'objet	
	bordure en pixels	surface sur image SPOT
50%	1	0.04 ha
25%	2	0.16 ha
10%	5	1 ha
5%	10	4 ha

Tableau II - erreur géométrique selon la taille de l'objet étudié

**NIVEAU 1
INVENTAIRE**

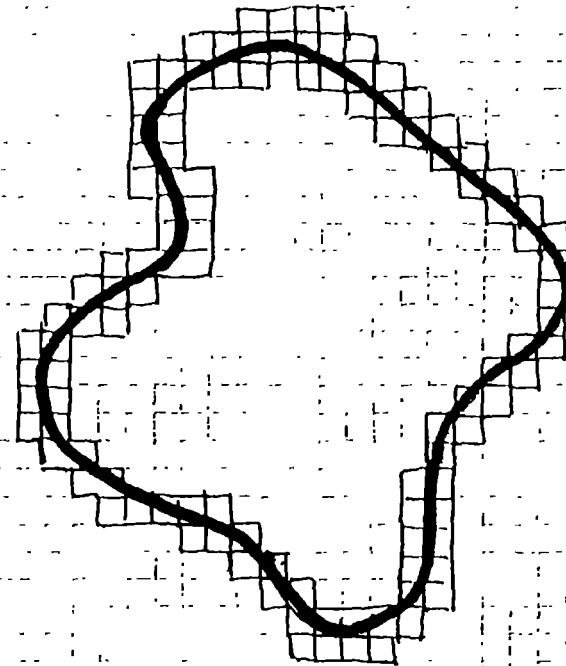


**DETECTION MINIMALE :
AU MOINS UN PIXEL PUR**

$$S \geq 4.P$$

Figure 3

**NIVEAU 2
DETERMINATION DE SURFACES**



**EFFET GEOMETRIQUE DE LA RESOLUTION
SUR LA PRECISION DES SURFACES**

Figure 4

5.2. Choix de la Méthode d'estimation de la surface

Ce choix est important, car il peut soit ajouter de nouvelles erreurs aux erreurs intrinsèques, soit les compenser partiellement. Nous avons comparé trois méthodes d'estimation :

A. Photo-interprétation d'image satellite sur film photographique

La restitution dépend de l'échelle de travail, de l'épaisseur du trait et de l'habileté de l'opérateur. Cette méthode ne doit être utilisée à notre avis que si seul l'ordre de grandeur de la surface est nécessaire

B. Photo-interprétation d'image aidée par ordinateur.

L'image numérique visualisée sur écran (Cf figure 5) permet de suivre tant bien que mal le contour en opérant des zooms dans les parties confuses de l'image.

En fait nous sommes arrivés à la conclusion évidente que tout opérateur ne peut définir exactement le contour de l'image et qu'il existe une zone de confusion de la limite portant sur environ 2 pixels de large. On peut, plutôt que de définir une limite, décider d'une limite minimum et d'une limite maximum au contour, le chiffre de surface à retenir étant intermédiaire entre surface minimale et surface maximale (par exemple la moyenne).

On peut déduire l'erreur potentielle de ce type de détection en écrivant que l'erreur par rapport à une telle moyenne est égale à :

erreur relative = $1/2 * \text{surface de confusion} / \text{surface de la mare}$

Pour une mare type supposée circulaire, et une largeur d'incertitude égale à 2 pixels l'erreur relative est :

$$1/2 * (2 * \pi * r) * 2 / (\pi * r^2) = 3/r$$

où r représente le rayon exprimé en nombre de pixels

Ce qui conduit pour des images SPOT XS (pixel = 20 m) à :

Surface (ha)	S r(m)	erreur (%)
100	564	7 %
50	399	10 %
10	178	22 %
5	126	32 %
1	56	70 %

Tableau III - erreur moyenne sur la surface estimée par photo-interprétation pour une largeur de confusion de 2 pixels.

Pour une mare non circulaire l'erreur relative est encore plus forte puisque le rapport périmètre/surface augmente. On voit alors combien ce type de détermination est approximatif et qu'il faut essayer de l'améliorer.

C. Méthode par traitement d'image

Pour estimer la superficie avec une meilleure précision, nous avons utilisé une approche statistique pour diminuer l'incertitude sur la localisation du contour.

La solution adoptée consiste à **compenser statistiquement le nombre de pixels mal classés**. Ayant remarqué tout d'abord que les radiométries de l'eau d'une part et des terrains avoisinants d'autre part avaient des distributions gaussiennes de même dispersion, nous avons extrait des fenêtres polygonales autour de chaque mare telle que les populations terre/eau soient sensiblement de même importance. L'histogramme des radiomètres présente alors une allure bimodale bien marquée avec deux parties symétriques. Dès lors si l'on choisit comme seuil de séparation terre/eau la radiométrie du minimum dans l'histogramme, il en résulte que le nombre de *pixels-eau* attribués à tort à la terre (surface S1) est égal au nombre de *pixels-terre* attribués à tort à l'eau (surface S2) : $S1 = S2$.

Dans cette méthode, la détermination du contour géométrique exact de la mare n'est pas parfaite, mais la valeur numérique de la surface estimée (et c'est ce qui nous importe) est très proche de la réalité.

La figure 6 montre ce que l'on obtient du point de vue théorique et dans un cas réel de mare.

D'où la méthode :

- création d'une fenêtre polygonale entourant la mare, telle que S eau proche de S.terre ;
- calcul de l'histogramme bimodal ;
- détermination dans l'histogramme des réflectances minimales et maximales pour la limite eau-sol ;
- détermination des surfaces de l'eau associées à ces réflectances (Smini et Smaxi) ;
- détermination de la surface optimale par $S = (Smini + Smaxi)/2$.

5.3 Contrôle de l'erreur du calcul des surfaces par image satellite

L'erreur réelle a été estimée par recoupement avec des mesures topographiques sur le terrain (campagne de terrain de novembre-décembre 1990). Toutefois, les dates de l'image satellite et des mesures de terrain n'étant pas totalement identiques (écart de l'ordre de 1 mois), un des travaux préliminaires a été, en utilisant les courbes hauteur-surface et les évaporations, de définir des surfaces ramenées à une même date.

On arrive alors aux résultats suivants :

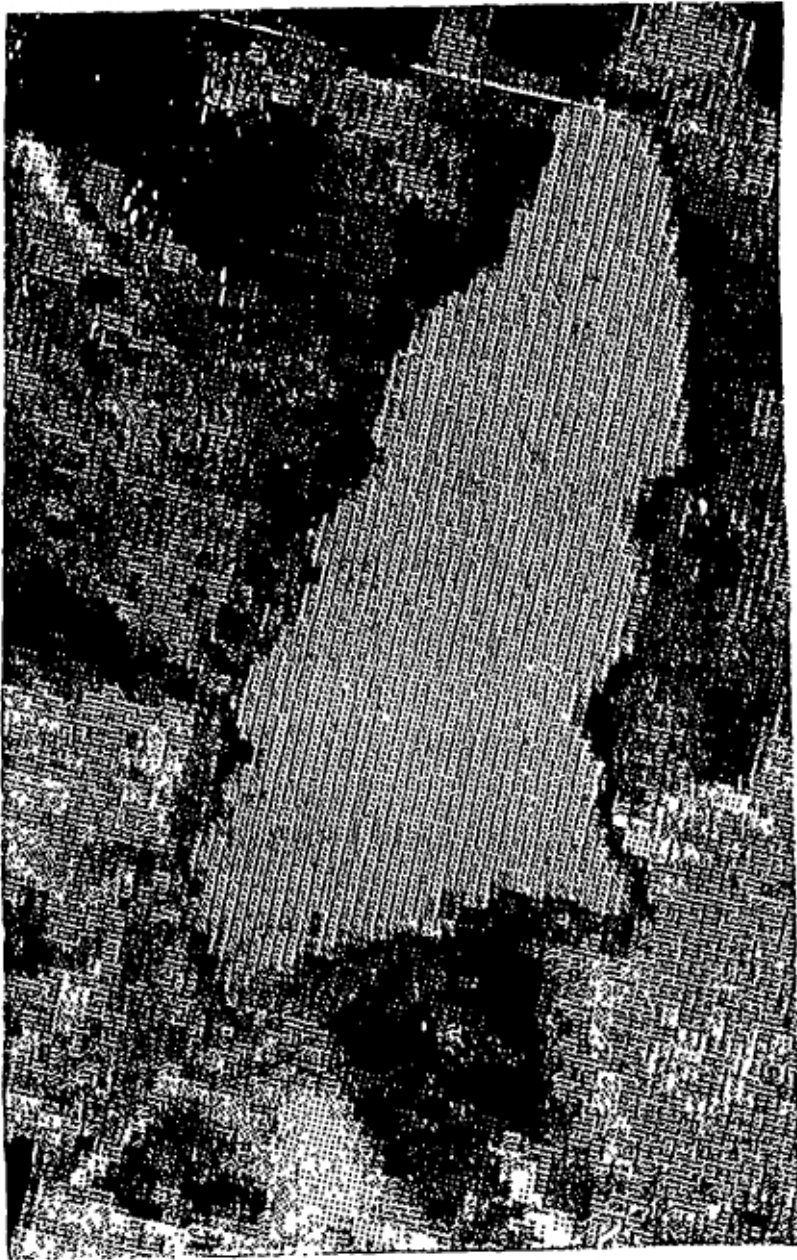
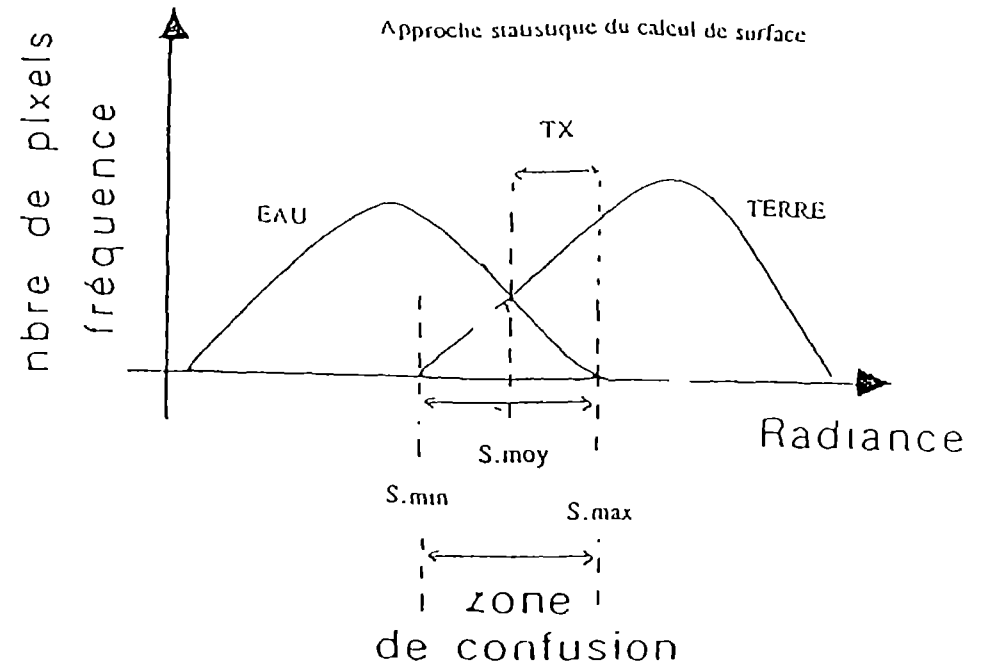


Image satellite SPOT XS - mare de Tillabery n°6 Ter

Figure 5



REPONSES RADIOMETRIQUES DE DEUX
UNITES A DIFFERENCIER

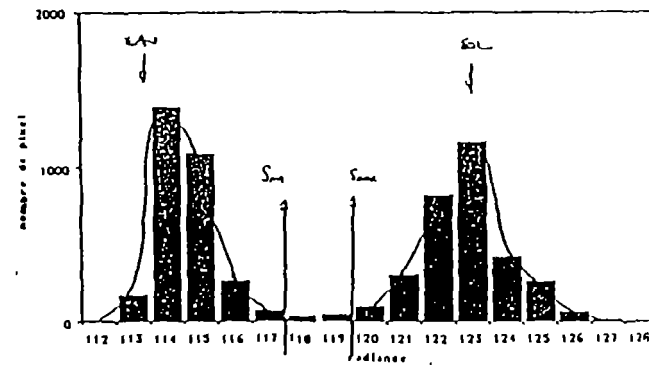


Figure 6

- le taux d'indécision calculé sur l'histogramme bimodal est de l'ordre de la moitié de celui calculé lors de l'estimation par photo-interprétation. Ce qui équivaut à dire que la recherche du seuil par méthode numérique a fait diminuer la zone d'indécision à environ 1 pixel de large ;
- la comparaison entre surface estimée par image satellite et surface mesurée par topographie, ramenées à une même date, donne des erreurs encore plus faibles, de l'ordre de 2% pour des mares de 100 à 150 hectares.

mare numéro	surface ha 19.11.90	écart %
6 bis	147.6	1.7%
6 ter	117.6	-2.7%
17	117.5	-1.8%
11	36.6	2.4%

Tableau IV - comparaison entre estimation des surfaces par télédétection et par topographie (surfaces en ha)

Ainsi les résultats sont tout à fait conformes aux attentes : l'erreur commise est bien inférieure à l'erreur d'indécision. Les quelques chiffres obtenus correspondent à une largeur de bande d'indécision d'environ 1/2 pixel.

METHODE DE CALCUL DE LA SURFACE	largeur de confusion
taux de confusion par photo-interprétation	2 pixels
taux de confusion par seuil numérique	1 pixel
erreur après équilibrage statistique	1/2 pixel

Tableau V - synthèse des précisions de surface par image satellite

L'ensemble de ces résultats a été reporté sur la figure 7 où l'on a fait figurer la tendance de l'erreur en fonction de la surface. On obtient alors des informations sur la qualité de détermination des surfaces en eau à partir d'images SPOT XS : si l'on peut utiliser la technique de la compensation statistique des erreurs, l'erreur peut être estimée à :

- 2 à 3 % pour S=100 ha
- 3 à 5 % pour S= 50 ha
- 5 à 10 % pour S= 10 ha

VI. 3^{ème} NIVEAU DE PRECISION : DETERMINATION DES VOLUMES

6.1. Les termes du bilan hydrologique des mares

Le cycle hydrologique de la zone sahélienne est caractérisé par une alternance entre une saison des pluies, qui au Niger s'étend approximativement de mai-juin à septembre-octobre, et qui concentre la quasi totalité de la pluviométrie annuelle, et une saison sèche au cours de laquelle on n'observe pratiquement aucune précipitation.

Le bilan se ramène essentiellement aux termes suivants :

- DW : variation de volume du plan d'eau ;
- Es : Evaporation sur la mare elle même ;
- K : infiltrations et échanges avec la nappe phréatique ;
- C : Consommations éventuelles que l'on peut découper en besoins pour l'agriculture, besoins humains et pastoraux ;
- Ec, P : pendant la saison des pluies, apports dans la mare par Ecoulements et par les Précipitations qui tombent directement sur le plan d'eau

L'équation de bilan prend alors la forme suivante :

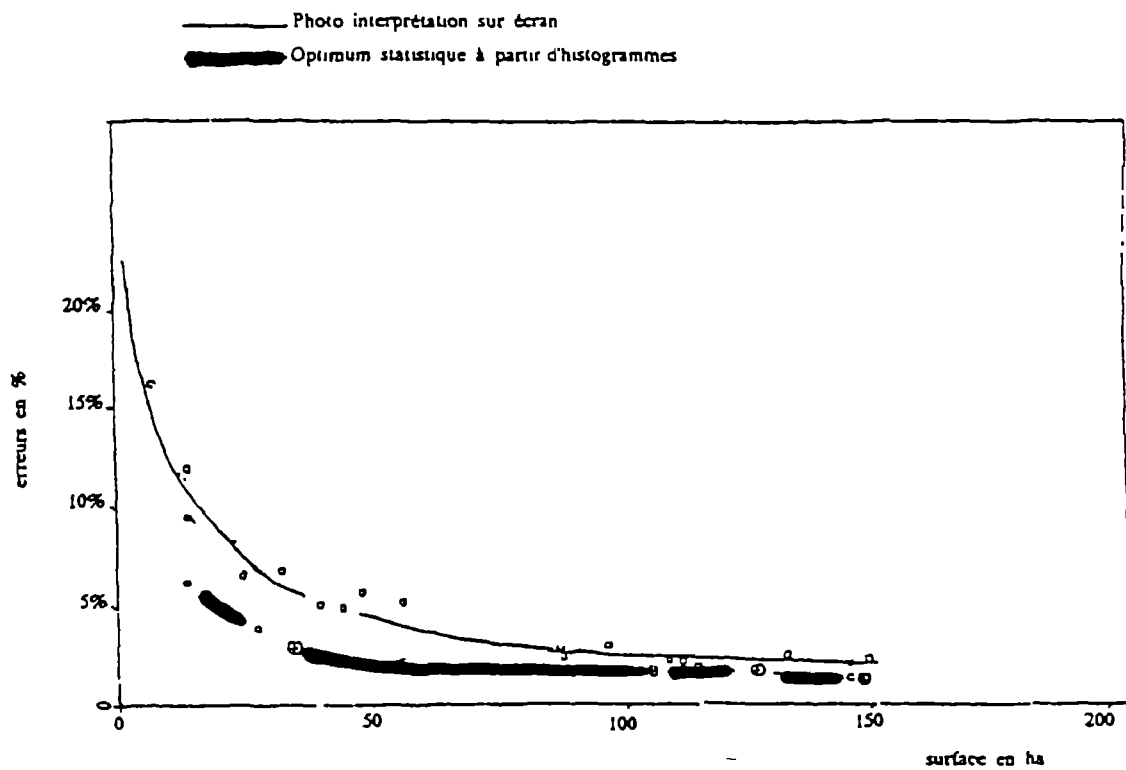
$$DW = Ec + P - Es \pm K - C$$

6.2. Observation des courbes de tarissement

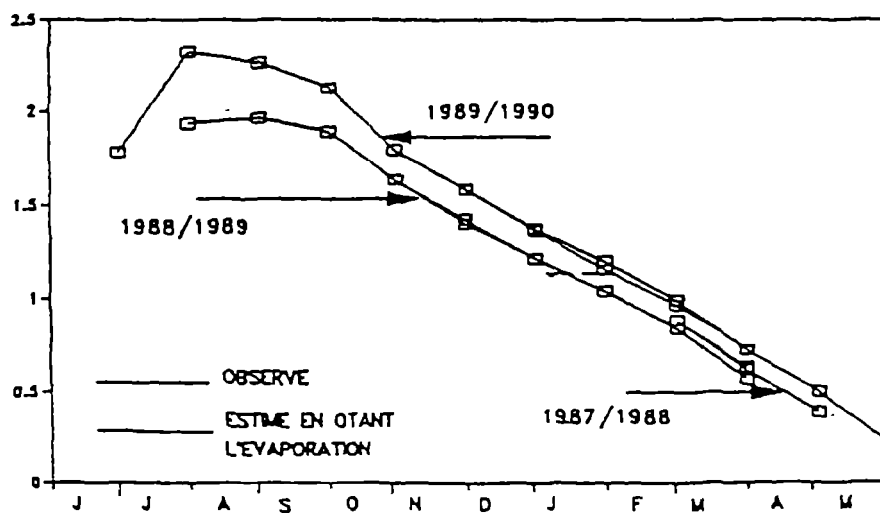
L'observation de ces courbes conduit à une constatation, bien connue au Sahel, qui est la suivante :

Pendant la saison sèche, la baisse de niveau des mares est pratiquement linéaire et cette baisse présente un parallélisme

Qualité d'estimation de la surface en eau à partir d'images SPOT XS



Comparaison entre courbes de décrue de la mare et évaporation - Mare de Muri



d'une année à l'autre.

On pourra juger de cette baisse sur la figure 8 qui montrent l'évolution du niveau sur l'une des mares du projet : la mare de MARI.

Le niveau de l'eau baisse donc d'une valeur sensiblement constante pendant la saison sèche, et les apports de la saison des pluies viennent remplir ces mares de façon aléatoire, fonction des pluies et de leur répartition.

Cette constatation est pour nous essentielle.

Elle est le point de départ des démarches qui vont permettre l'utilisation efficace de la télédétection pour la gestion des plans d'eau de cette zone géographique

Les conséquences de cette baisse sont en effet les suivantes :

A - Si l'on connaît le niveau de remplissage de la mare à la fin de la saison des pluies, il est possible de définir le comportement futur de la mare au cours de la saison sèche à venir. Donc prévoir dès octobre l'évolution du niveau jusqu'en mai-juin, ou jusqu'à la date éventuelle d'assèchement.

Pour transformer ces indications en volumes d'eau, il est nécessaire de connaître la forme géométrique de la cuvette, généralement mise sous forme d'une courbe hauteur-surface ou hauteur-volume.

La décroissance n'est en fait linéaire que pour les plans d'eau pour lesquels le terme consommation est faible devant le volume de la mare. Si l'on aménage des mares il faut faire intervenir ce terme dans le calcul de l'évolution du plan d'eau

B - Une deuxième conséquence de cet état de fait est la possibilité d'émettre l'hypothèse que le phénomène essentiel qui régit la baisse de niveau est l'évaporation. Et donc qu'il est possible de simplifier le bilan des eaux en saison sèche en négligeant tous les termes autres que l'évaporation :

$$DW = E$$

Cette hypothèse a d'ailleurs déjà été proposée, notamment par JOANNES et al. (1985)

Si tel est le cas (ordre de grandeur des consommations + infiltrations inférieur à l'incertitude sur l'évaporation) alors il est possible de bâtir une méthodologie de connaissance et de suivi des mares basée sur cette hypothèse et de définir la géométrie de la mare à partir de la seule télédétection satellitaire.

6.3. Validation de ces simplifications.

La campagne de mesures de terrain d'octobre-novembre 1990 nous a permis de vérifier l'ordre de grandeur des différents termes du bilan et d'en préciser les conditions ;

L'évaporation

L'ordre de grandeur de l'évaporation est de 200 mm/mois ou 7 mm/jour en année moyenne et son incertitude va de 1 à 2 mm/jour suivant les méthodes d'estimation

Elle a été calculée à partir de la formule de Penman, qui fournit une estimation avec une erreur de 8% (RIOU 1975), quand on utilise les paramètres climatologiques locaux.

Le changement de site de mesure peut introduire des écarts importants. Nous avons observé des écarts de 15 à 20% entre deux postes de Niamey (Agrhymet et aérodrome) qui s'expliquent par des conditions de vent très différentes. On peut alors estimer une erreur complémentaire de changement de site, de l'ordre de 10% à 15%.

Enfin l'utilisation pour l'évaporation mensuelle d'une moyenne interannuelle plutôt que la valeur pour le mois en cours introduit des erreurs complémentaires moyennes de l'ordre de 10%.

Ainsi on peut estimer l'erreur probable moyenne sur l'évaporation mensuelle à environ 8% si l'on utilise les paramètres mesurés sur le site lui-même et 18% si l'on utilise les paramètres d'une station proche.

Ces chiffres sont à augmenter de 10% - soit respectivement 18% et 28 % d'erreur moyenne sur l'évaporation mensuelle - dans le cas d'utilisation d'une moyenne interannuelle.

Les consommations

Notre enquête a porté sur un ensemble de 4 mares parmi les plus importantes. Les consommations concernent trois ensembles de besoins : agricoles, humains et pastoraux

Les superficies agricoles actuelles autour de ces mares sont respectivement de 3, 3, 5 et 10 ha. Les consommations associées sont beaucoup plus faibles que celles des périmètres classiques, suite au système d'irrigation (par puisards ou par puits à l'aide de seaux), et au type de cultures : le mil (non irrigué) et le niébé, culture de décrue, planté en octobre, arrosé uniquement dans les premiers quinze jours de la plantation, pied par pied

On peut alors, pour le niébé, estimer le volume d'arrosage journalier à environ 7 m³ par hectare, soit 70 m³/jour pour 10 ha de cultures. Alors, pour un plan d'eau qui serait de 50 ha, la baisse de niveau associée serait l'ordre de 0.2 mm/jour, donc négligeable.

Les consommations humaines et pastorales sont encore plus faibles. Nous basant sur les consommations types, et les données du recensement administratif de 1983 pour la population et le cheptel, on aboutit pour la mare la plus peuplée (800 habitants et 195 UBT de cheptel) à des consommations de 16 et 6 m³/jour (UBT = Unité de Bétail Tropical soit un bovin ou 10 ovins)

Toutes ces valeurs sont excessivement faibles par rapport aux termes d'évaporation, et peuvent donc être négligées devant ceux-ci.

Infiltrations, échanges avec la nappe

C'est un terme bien délicat à estimer car il n'est pas mesurable directement et ne peut généralement être appréhendé qu'à partir des résultats de bilans. L'erreur relative que peut alors porter ce terme est très importante. Mais notre but ici n'est pas réellement d'estimer cette infiltration mais plutôt de vérifier s'il est possible de la négliger devant l'évaporation.

Notre approche s'est basée sur 2 types de mesures :

- mise en évidence d'un échange entre la mare et la nappe ;
Des mesures piézométriques particulières, effectuées à la tarière sur 6 mares, ont montré que le niveau des mares est supérieur à celui des nappes et révèle donc un écoulement dans le sens mare --->nappe à cette époque de l'année (novembre).
Dès lors la nappe n'est pas affleurante, mais est alimentée par la mare. Les gradients hydrauliques estimés sont très faibles : ils varient de 1.10^{-4} à 3.10^{-4}
- mesure de la variation de niveau des mares entre 2 dates pour une comparaison directe avec les données d'évaporation, mesurées ou calculées.
Deux tournées sur 15 mares du projet, à un mois d'intervalle environ (début octobre et début novembre 1990) ont permis de contrôler la baisse de niveau : entre 7 et 12 mm/jour, avec une moyenne de 7.9 mm. Cette valeur est très proche de la valeur d'évaporation calculée pour la même période à Tillabéry : 8.0 mm.
La précision pour chaque mesure a été estimée à ± 0.5 cm, pour une dénivelée totale de l'ordre de 20 cm, soit une erreur possible de l'ordre de 5%

Pour 85% des mares étudiées la variation de niveau entre dans la fourchette d'estimation de l'ETP₀ : l'ordre de grandeur de l'infiltration est inférieur ou égal à celui de l'erreur sur l'évaporation. L'hypothèse selon laquelle l'infiltration peut être négligée devant l'évaporation peut être considérée comme acceptable.

Pour 15% des mares, la variation de niveau est supérieure à la fourchette d'estimation : il est impératif de faire intervenir un terme d'infiltration. Pour ces mares, le terme d'infiltration à prendre en compte serait égal à la différence entre baisse de niveau observée (10.8 et 11.9 mm/jour) et évaporation estimée (de l'ordre de 8 mm/jour) soit environ 3 mm/jour. On note que ceci est cohérent avec les indications fournies par Grésillon (1976) pour les plans d'eau aménagés du Burkina Faso, puisqu'il précise qu'une infiltration de 2 à 3 mm/jour peut être tenue comme une moyenne acceptable dans les retenues d'eau artificielles au Sahel.

Par ailleurs l'observation particulière des courbes de décrue des mares montre une baisse de niveau plus rapide que l'évaporation pour les premiers mois de la saison sèche : octobre et novembre.

L'examen de ces anomalies nous a conduit à tempérer l'hypothèse selon laquelle *évaporation = baisse de niveau* pour les seuls cas de mares bien colmatées : le mauvais colmatage est d'ailleurs révélé par l'existence d'une végétation vivante, soit sur le pourtour des mares (qui explique les anomalies de début de saison, quand les mares sont pleines), soit à l'intérieur même des mares, qui explique les mares "anormales"

Conclusion

Il semble alors légitime d'accepter l'hypothèse selon laquelle on peut négliger dans l'équation de bilan tous les termes devant l'évaporation, sauf pour les mares mal colmatées (présence d'arbres vivants) ou en contact avec une zone mal colmatée (berges couvertes d'arbres vivants) ou avec une zone de débordement (au début de la saison)

L'ordre de grandeur des termes du bilan est alors :

- Evaporation : 7 mm/jour, incertitude 1 à 2 mm/jour
- Infiltration :
 - pour 85% des mares, infiltration faible et impossible à déterminer (inférieure à l'incertitude sur l'évaporation) ;
 - pour 15% des mares : infiltration allant jusqu'à 3 mm/jour tant qu'une part non négligeable de la mare est en contact avec des zones non colmatées (arbres vivants, berges, zones de débordement occasionnel)
- Consommations : une fraction de mm.

6.4. Méthode d'estimation de la courbe hauteur/surface à partir de la seule imagerie satellitaire

Nous partons des éléments suivants :

- l'image satellite nous fournit une surface de la mare avec une précision tout à fait acceptable ;
- la décroissance du niveau des mares est dû pour l'essentiel à l'évaporation ;
- l'évaporation des mares est connue ainsi que sa précision.

De plus, les études de Grésillon (1983) puis Gilard (1986), ont montré que, dans le Sahel, la forme des cuvettes présentait une grande stabilité due à un relief plat et uniforme. Ils ont proposé de mettre la courbe hauteur-surface sous la forme :

$$S = S_0 \cdot H^\alpha$$

S_0 : surface avec un mètre de tranche d'eau

H : profondeur (mare vide si $H=0$)

et donc la courbe hauteur-volume devient :

$$V = S_0/(\alpha+1) \cdot H^{\alpha+1}$$

de forme $V = V_0 H^B$

avec $V_0 = S_0/(\alpha+1)$ et $B = \alpha+1$

L'analyse statistique d'un grand nombre de retenues, naturelles ou non, dans la région, montre la constance du terme α qui oscille autour de 1.25

Dès lors, si l'on peut avoir plusieurs images pendant la même saison sèche (nous avons estimé devoir en prendre 3 au minimum), nous pouvons établir la courbe Hauteur/Surface à partir du schéma suivant (figure 9) :

A. Pour chaque image i on calcule la surface de la mare à la date t_i , soient S_1, S_2, S_3 pour t_1, t_2, t_3 .

B. Entre deux images, aux dates connues, on calcule la baisse de niveau H_1-H_2 et H_2-H_3 d'après l'évaporation, en rajoutant un terme d'infiltration de 2 mm/jour pendant les mois d'octobre novembre, valeur augmentée de 1 mm/jour pour les mares présentant un grand nombre d'arbres :

C. ajustement d'une courbe $S=S_0.H^\alpha$, par moindres carrés, avec pour contrainte α compris entre 1.2 et 1.3 ; On obtient S_0 et α , puis, H_1, H_2 et H_3 .

Etant donné que la variation de α dans la fourchette indiquée n'a pas de grosses répercussions sur les résultats, nous retenons une valeur arrondie pour S_0 qui donne α dans la fourchette recherchée

A la fin du calcul on doit vérifier la cohérence physique de ces profondeurs :

- si la mare s'assèche pendant la saison sèche, on vérifie que : $H_1 < \Sigma$ (évaporation octobre à mai) et inversement.
- la profondeur maximum H_1 doit être inférieure à une limite raisonnable (de l'ordre de 4 à 5 m)

Le calcul a été mené sur la saison 1988/89 sur 4 mares pour lesquelles nous avons pu avoir 3 images SPOT consécutives de la même saison sèche. Les évaporations au cours de cette période sont les valeurs mensuelles moyennes à Tillabéry (1978-89) et l'infiltration a été supposée égale à 2 mm/jour pendant les seuls mois d'octobre novembre. Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 10 et le tableau VI.

Mare numéro	Paramètres estimés			
	S_0 (ha)	α	cote maxi (m)	V_0 ($10^3 \cdot m^3$)
6 bis	39	1.20	2.40	177
6 ter	35	1.30	2.00	152
17	41	1.25	1.80	182
22	26	1.27	0.60	115

Tableau VI : paramètres des courbes Hauteur-surface-volume obtenus par imagerie satellitaire

VII. APPLICATIONS

7.1 Gestion des mares

L'intérêt de la connaissance précise des courbes hauteur volume pour les mares sahéliennes vient de leur utilisation systématique dans tout calcul de gestion annuelle.

Cette gestion est en effet basée sur le fait que l'on peut, en cours de saison sèche connaître le devenir de la mare et prévoir son tarissement en fonction des hypothèses d'utilisation effectuées.

Le calcul manuel se fait mois par mois, et l'on enlève à la mare pendant ce laps de temps d'une part une tranche d'eau due à l'évaporation, d'autre part le volume des consommations estimées (Fig 11).

Ce calcul est grossier et peut être amélioré par recours à l'informatique et un pas de temps plus court : GILARD (1986) utilise un pas de temps journalier. Toutefois l'ordre de grandeur est suffisant pour prévoir dès le mois d'octobre le devenir en cours de saison et la surface de cultures qu'il est raisonnable de planter pour la saison en cours.

Les aménagements reposent sur les mêmes schéma de calcul mais en rajoutant une information de fréquence sur les volumes disponibles

7.2 Reconstitution de chroniques de remplissage

On peut noter l'intérêt complémentaire de définir une courbe hauteur-volume : celui de permettre de transformer les documents spatiaux anciens (photos aériennes ou images satellitaires) en données de volume stocké en début de saison sèche.

On réalise alors une banque de données qui est une chronique des volumes observés, information directement utile pour les aménagements.

Cette transformation, de la donnée image à une date quelconque en une donnée volume en début de la saison sèche peut

NIVEAU 3
ESTIMATION DE LA CUBATURE

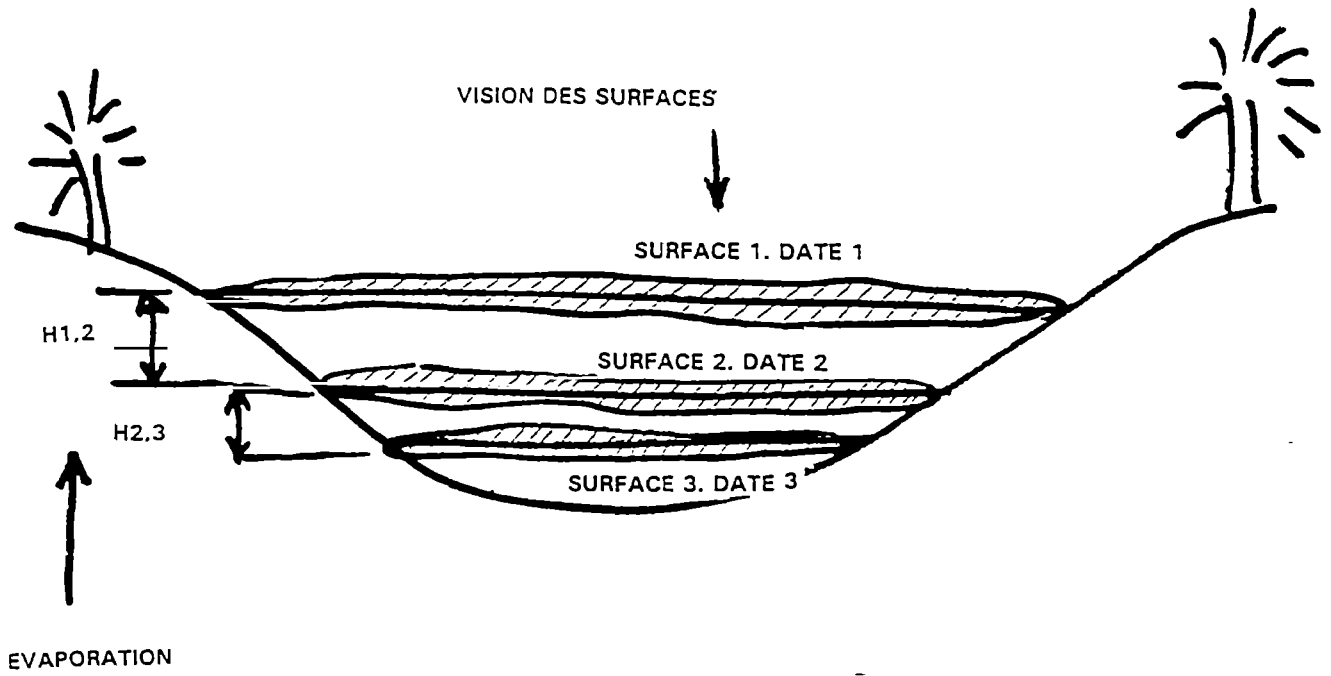


Figure 9

Courbe hauteur-surface - Mare 6 ter

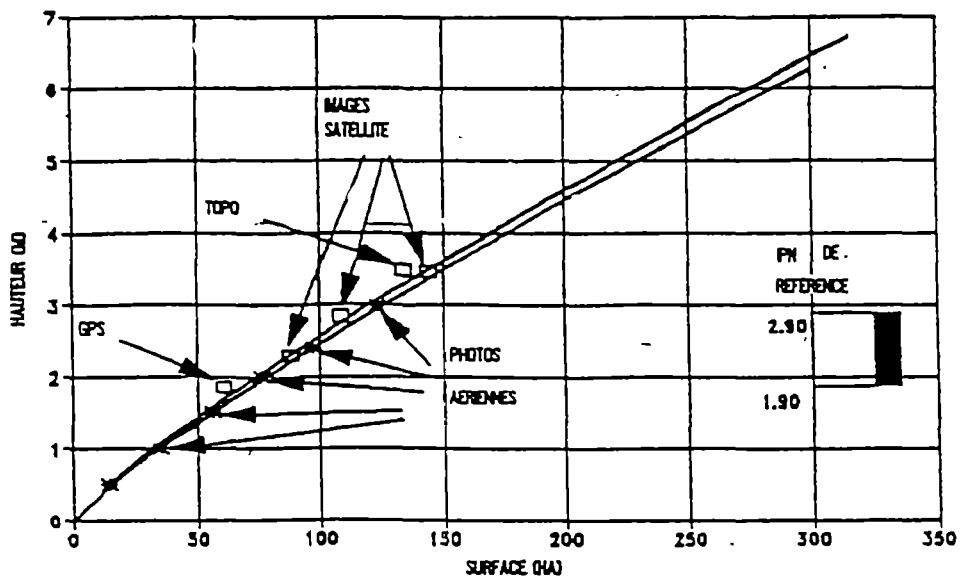


Figure 10

être effectuée de la façon suivante :

à la date du document on définit la surface de la mare $S(t)$. On remonte ensuite de la date t à la date t_0 (par exemple le 1^{er} octobre) en utilisant la courbe hauteur-volume en ajoutant successivement mois par mois les valeurs de tranches évaporées et, si nécessaire, les consommations.

VIII. BILAN TECHNICO-FINANCIER

Bien que la méthode classique d'obtention de courbes, par levés topographiques de terrain, conduise sans contestation à l'estimation la plus précise, les méthodes élaborées ici utilisant la télédétection conduisent à des résultats honnêtes et utilisables dans la phase de schéma directeur des aménagements

Il nous a semblé utile, avant de conclure, de faire un bilan technico-financier des méthodes pour une comparaison plus efficace des différentes approches.

Par méthode topographique, il faut des travaux longs et coûteux, à répéter pour chaque mare dont on aura auparavant bien déterminé l'existence et l'intérêt. Les coûts d'une telle opération seraient de l'ordre de 500 FF (25000 F CFA) par hectare de relevé, soit 2 500 000 F CFA pour une mare de 100 Ha (source consultant).

En télédétection satellitaire, il faut 3 images satellite de la même saison sèche, les plus espacées possible (coût environ 50 000 FF par scène SPOT soit 2 500 000 F CFA), mais à partir de ces images il est possible de traiter d'un seul coup et rapidement toutes les mares présentes sur l'image. Supposons que l'on repère 1000 ha de plans d'eau par image le coût unitaire des données revient donc à environ 50 FF soit 250 F CFA. Vu que la méthode est simple et robuste et ne demande pas beaucoup de temps de traitement d'image, on peut estimer un coût de traitement de l'ordre de celui des images.

Il est également possible d'utiliser la télédétection aérienne : installation de mires ou IPN étagés en bord de mare, puis relevés par survols aériens réguliers par avions d'aéro-club (PIATON et al. 1992) Cette solution nécessite l'implantation préalable de mires et ne vaut que pour les mares équipées. Elle conduit à une précision intermédiaire, le coût étant estimé à environ 300 FF (15 000 F CFA) par hectare.

La comparaison des méthodes pour l'établissement de ces courbes pour la région d'étude (Tillabery, au Niger) peut être résumée dans le tableau VII.

Méthode	logistique	Délais	coût/ha des données	Précision	
				surface	volume
mesures TOPO	très importante	5 à 10 ans	500 FF	1 %	5 %
Photo aérienne	moyenne	3 ans	75 FF	< 3 %	5 à 15 %
images satellite	faible	une saison	50 FF	2 à 10 %	15 à 30 %

Tableau VII : comparaison financière

En conclusion se dessine l'intérêt économique de ces approches par télédétection, en particulier celle par télédétection satellitaire du fait de :

- sa simplicité ;
- son exhaustivité ;
- son faible coût à l'hectare de mare ;
- la non nécessité de mesures de terrain ;
- la possibilité de traiter rapidement toute une partie donnée de territoire pour laquelle il faudrait de longues années par les méthodes classiques

Il nous semble qu'alors, dans un but de connaissance des potentialités d'aménagement d'une zone, cette méthode permette d'atteindre le but à moindres frais, mais surtout que ce soit la seule à pouvoir le faire dans des délais raisonnables.

IX. CONCLUSION

La mise en valeur des plans d'eau naturels au Sahel pose des problèmes techniques dans la mesure où la ressource est mal connue, dispersée géographiquement dans des régions parfois difficiles d'accès.

La connaissance de cette ressource passe par les étapes de repérage, localisation et quantification des surfaces et des volumes en eau. La télédétection est un outil performant pour les premiers points qui relèvent de détection de surface mais paraît a priori moins destinée à définir des volumes. Toutefois, dans le contexte particulier du Sahel il est possible d'arriver à une telle estimation

La constatation que, pour la grande majorité des mares, l'évaporation est quasiment exclusivement responsable de la baisse de niveau pendant la saison sèche permet de construire ces courbes directement à partir de l'imagerie satellitaire. Avec quelques images de la surface acquises pendant la même saison sèche, l'estimation de l'évaporation entre ces acquisitions permet de calculer les différences de niveau correspondantes. L'utilisation de formules analytiques permet de caler ces estimations en hauteur absolue, à partir de paramètres de forme moyens observés sur la région.

Enfin, l'intégration des courbes hauteur-surface obtenues permet de calculer les courbes hauteur-volume correspondantes. Dans le document produit, au delà de la méthode, nous nous sommes particulièrement attachés à quantifier la précision

UTILISATION DE LA COURBE POUR LA GESTION DE LA MARE

(GRESILLON 1976)

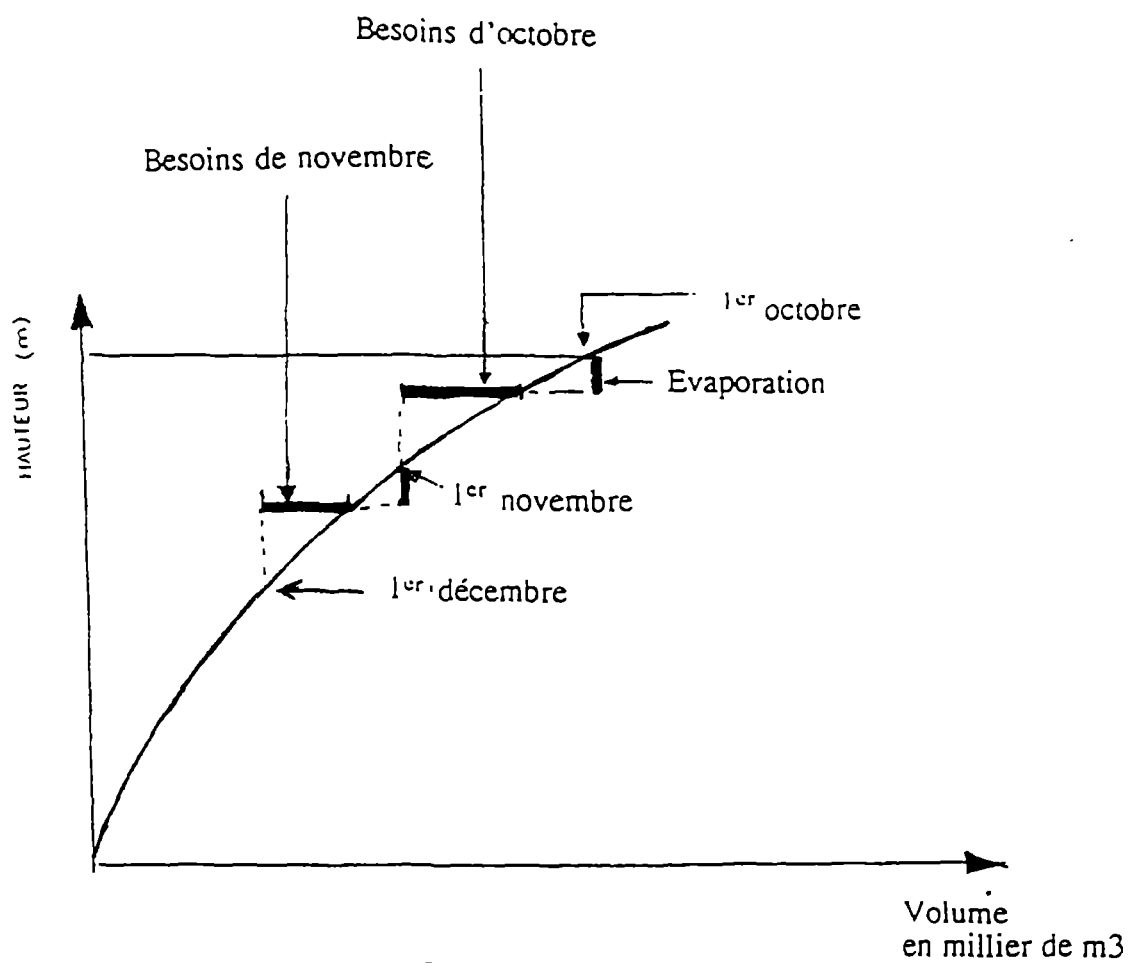


Figure 11

de chaque étape et de chaque paramètre. Nous arrivons en particulier à des précisions de détection de surface de l'ordre de 5 à 10% pour des mares de 10 ha et des précisions en volumes de l'ordre de 30%, ce qui est compatible avec les utilisations proposées. Il est évident que la précision par mesures de terrain sera toujours meilleure que celle proposée par des moyens satellitaires à résolution grossière. Toutefois d'autres critères, technico-financiers sont à mettre dans la balance.

La détermination directe, par bathymétrie, se heurte à des délais et des coûts insurmontables pour connaître l'ensemble des ressources d'une région et la méthode satellitaire, en tant que première approche devient un moyen grossier, certes, mais rapide, systématique et très bon marché si on le ramène à l'hectare.

Au delà de la connaissance de la ressource en tant que cubature, ces moyens permettent de générer des chroniques d'observations de volumes stockés sur un grand nombre d'années : cette banque de données potentielle peut alors être utilisée directement dans les études d'aménagement.

La télédétection apparaît alors comme le seul moyen permettant, à un coût raisonnable, d'apporter, sur des superficies relativement vastes, avec une répétitivité suffisante, et dans des délais suffisamment courts, une information minimale nécessaire à la réalisation de schémas de mise en valeur des plans d'eau naturels au Sahel.

BIBLIOGRAPHIE

- CHEVALIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A. 1985 Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina Faso) Col Travaux et documents n°190. Ed de l'ORSTOM. 251 p.
- COMBEAU, CHAUME R. 1985 Evolution saisonnière de la signature spectrale d'une Sebkhia à partir de données Landsat. Atelier de télédétection de l'ORSTOM Bondy 35 p. 20 fig.
- D'AT DE SAINT FOULC J., GILARD O., PIATON H. 1986 Petits barrages en terre au Burkina Faso. Bilan et analyse critique. Série hydraulique agricole CIEH. 180 p, 66 fig.
- DESSAY N. 1989 Application de la télédétection à la qualité optique des eaux du lac Ichkeul. Rapport de DESS. Dpt de Géographie. Univ des Lettres et Sciences Humaines Paul Valéry Montpellier III. 80 p. 25 fig et pl photo, 8 tabl.
- FRIGITT, ORUM, 1987 Faisabilité de l'irrigation à partir d'unités de pompage photovoltaïque de faible puissance. CIEH ENGREF.
- GRESILLON J.M., 1976 Petits barrages en terre en Afrique Occidentale. EIER Ouagadougou. 120 p.
- JOANNES H., PARNOT J., RANTRUA F., SOW N. 1986 Possibilité d'utiliser la télédétection dans le domaine de l'eau en Afrique. CIEH Série Hydrologie. 141 p, 54 fig.
- MAUREL P. 1988 Cartographie et inventaire des plans d'eau à partir d'images SPOT. Exemple des Landes. LCT CEMAGREF-ENGREF. 25 p. 6 fig.
- MONIER Th, 1991 Méthode d'utilisation des images satellitaires SPOT pour le suivi et la gestion des plans d'eau au Sahel. Cycle postgrade en environnement de l'EPFL, Lausanne. LCT CEMAGREF-ENGREF Montpellier. 74 p. 38 fig. 6 pl. 30tab.
- OWALABI S., 1990 Intérêt de l'imagerie SPOT pour le suivi hydrologique des mares sahéliennes. Cas du Niger. Mémoire de DESS. GDTA / ENSG.
- LCT CEMAGREF-ENGREF Montpellier. 30 p. 22 fig. 4 photos. 2 tabl.
- PIATON H., PUECH C., 1992 Apport de la télédétection pour l'évaluation des ressources en eau d'irrigation pour la mise en valeur des plans d'eau à caractère permanent et semi permanent au Niger. CIEH Ouagadougou, LCT Montpellier. 80 p + annexes.
- POUYAUD B., 1986 Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libre en climat tropical sec. Coll Etudes et thèses. ED de l'ORSTOM. 224 p. 85 fig. 112 tabl.
- PRATA A J., 1990 Satellite derived evaporation from Lake Eyre. South Australia. Int Journal of Remote Sensing, 1990, vol 11, pp 2051 à 2068.
- PUECH C., 1984 Méthodes et références pour la conception et l'analyse des aménagements hydroagricoles au Burkina Faso. Tome 1 : Hydrologie des petits barrages. CIEH Série Hydrologie. 82 p. 12 fig.
- PUECH C., CARETTE J., 1989 Apport de la télédétection à l'aménagement des bassins versants par petits ouvrages en Afrique Soudano-Sahélienne. Guide élaboré à l'occasion d'une opération d'appui formation à l'AFVP Min Coopération. LCT CEMAGREF-ENGREF. 166 p, 85 fig, 26 tab.
- RIOU C. 1975 La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale. Mémoires ORSTOM N°80, 236 p, 99 fig.
- SASS J., SZABO G. 1988 Utilisation de la télédétection pour les études des lacs et des barrages réservoirs. Deuxième colloque franco-hongrois sur les techniques dans le domaine de l'eau. Vituki-Budapest 27 p, 1 fig.
- SEGUIS L., 1993 Modélisation de la signature spectrale d'eau continentale par prise en compte de l'épaisseur de tranche d'eau, de la nature du fond et de la concentration de matière en suspension. Exemple du Sénégal. in 5^e Journées Scientifiques de l'AUPELF, Tunis 09.1993.

CONTRIBUTION DE LA SISMIQUE REFLEXION HAUTE RESOLUTION A L'INVESTIGATION D'AQUAFERES DISCONTINUS SEMI-PROFONDS. CAS DU BASSIN DE TAZA, MAROC

Bouvier.A., Guillemot. D.
Compagnie Générale Géophysique

et

Chaabi. A.,
Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau. Rabat.

Résumé

La décennie 1980-1990 a consacré l'utilisation des méthodes géophysiques légères : traîné et sondages électrique, VLF, magnétisme et sismique réfraction pour des projets d'hydraulique villageoise en Afrique de l'ouest.

Pour l'implantation précise de forages peu profonds (50 à 70 mètres) et de faible débit (quelques m^3/h) ces techniques, associées aux données hydrogéologiques, ont réduit le pourcentage global d'échec d'environ 30 %.

Dans les zones jugées "difficiles" du point de vue hydrologique : pas de fracturation décelable dans les terrains superficiels, aquifères semi-profonds (situés à une centaine de mètres et au-delà), débit requis important ($> 100 m^3/h$), ces méthodes se sont révélées peu efficaces.

Seules, la sismique haute résolution, parce qu'elle correspond à une investigation en continu du devenir des différents réflecteurs individualisés et rapportés à autant de niveaux lithologiques repères, permet le positionnement précis d'un forage positif.

L'exemple de la recherche d'eau dans le bassin de TAZA, MAROC, illustre parfaitement l'apport de cette méthode, d'application aujourd'hui généralisée pour la recherche d'aquifères discontinus semi-profonds à profonds

INTRODUCTION

Depuis les années 1970, dans les programmes d'hydraulique villageoise, les méthodes géophysiques constituent le complément indispensable de l'hydrogéologue pendant la phase d'implantation des forages.

Habituellement, en milieu fissuré, l'hydrogéologue sélectionne le meilleur site possible à partir de photos aériennes avec contrôle sur le terrain des conditions hydrogéologiques (fracturation, niveau statique dans les puits), en tenant compte des contraintes locales (sociales, éloignement du village. .).

Le rôle du géophysicien consiste alors à préciser, confirmer ou infirmer l'emplacement du forage en donnant des indications sur la profondeur de celui-ci et sur l'épaisseur des horizons jugés aquifères

Les méthodes électriques (traîné et sondage) sont utilisées le plus couramment et sont localement associées à la magnétométrie dans le cas d'intrusions éruptives (figure 1) VLF et sismique réfraction sont d'un emploi moins universel.

Ces méthodes légères ont fait progresser le taux moyen de succès des forages de l'ordre de 30 % - taux établi à partir d'études réalisées sans et avec prospection géophysique en Afrique de l'Ouest (Hydraulique Villageoise au Mali, Burkina Faso, Niger, Guinée, Côte d'Ivoire)

La profondeur moyenne du forage positif type est voisine de 60 mètres et le débit égal à quelques m^3 /heure, débit suffisant pour les besoins de quelques centaines d'habitants.

Dans le cas de programmes d'irrigation ou d'alimentation en eau de villes importantes, les besoins dépassent la centaine de m^3 /heure et il faut alors faire appel à des ressources situées à moyenne ou grande profondeur (quelques centaines à un millier de m).

Les zones fracturées ou karstiques profondes et à eau douce ne provoquent plus en surface de chute sensible de la résistivité, vu le pouvoir intégrant des dispositifs électriques, en grande longueur de ligne

Seuls les grands sondages électriques, lorsque les aquifères sont identifiés comme des formations lithologiques bien définies et d'une certaine extension latérale : calcaires fissurés ou sables à eau douce, de plusieurs dizaines de mètres de puissance et entourés de formations plus conductrices : marnes ou argiles, permettent la mise en évidence des grands traits structuraux affectant la série sédimentaire en précisant les variations de faciès de l'aquifère et de la salinité de l'eau.

Lorsqu'il s'agit d'implanter un forage productif profond au niveau d'un aquifère discontinu, à l'aplomb d'une zone fracturée ou karstique localisée, les sondages électriques ont rarement la résolution souhaitée et il convient alors d'utiliser la seule méthode fournissant une image continue et détaillée des structures géologiques : la sismique réflexion haute résolution

Etude électrique :

Un exemple, l'étude du bassin de Taza au Maroc, illustre parfaitement les limites de la méthode électrique et l'apport incontournable de la sismique réflexion pour sélectionner un site favorable de forage, dans une région de grande complexité structurale.

La ville de Taza, située entre le Rif et le Moyen Atlas souffre d'une pénurie d'eau potable accentuée par plusieurs années de sécheresse.

Un petit nombre de forages à proximité de la ville ne fournissent que 70 % des besoins, à partir de niveaux sableux ou calcaires situés entre 200 et 500 mètres de profondeur.

Au niveau du forage, dit de Taza Piscine, la succession lithologique est la suivante, à partir de la surface :

- sables et limons de plaine, du quaternaire,
- marnes bleues, plus ou moins compactes et calcareuses rattachées au Miocène, sur plus de deux cents mètres de puissance,
- conglomérats de la base du Miocène rencontrés entre 219 et 224 mètres de profondeur,
- calcaires et dolomies du Lias,
- argiles rouges du Permo-trias constituant le socle imperméable dont le toit est atteint à 450 mètres de profondeur.

Les calcaires liasiques représentent la seule ressource importante et pérenne. Localement karstifiés, ils favorisent l'infiltration des eaux de pluie qui se concentrent dans de véritables chenaux karstiques, sous les marnes miocènes imperméables.

Les calcaires sont affectés par plusieurs faisceaux de fractures de direction principale NE-SO et directions associées N-S et NO-SE. Ces accidents ont contribué à la formation de compartiments ou panneaux qui conditionnent le processus d'écoulement des eaux souterraines.

Le forage de Taza Piscine est artésien et situé le long d'une faille drainante dans les sables et conglomérats de base du Miocène. Cette faille a une direction N.NO - S.SE.

Parce qu'il existe un bon contraste de résistivité - rapport supérieur à 10 - entre les marnes conductrices et les calcaires résistants sous-jacents, une prospection par sondages électriques a été réalisée au Sud et à l'Est de Taza pour préciser, d'une part l'allure du toit des calcaires liasiques et d'autre part, essayer de suivre l'accident ou faisceaux d'accidents à l'origine de l'eau captée dans les sables du forage de Taza Piscine.

Sondages électriques :

La cinquantaine de S.E. réalisés entre Taza et le Douar Jeouna, 4 kilomètres plus à l'Est (figure 2), appartiennent à la même famille caractérisée par des résistivités d'abord peu élevées (5 à 20 ohms.m) sur plusieurs dizaines voire quelques centaines de mètres de puissance puis de valeurs croissant régulièrement avec la profondeur.

En examinant en détail l'allure de la remontée de la branche terminale des diagrammes, on peut distinguer deux types de S.E. (figure 3) :

- Type 1 : branche ascendante à deux pentes, la première peu développée étant de l'ordre de 30°, la deuxième égale ou supérieure à 40° (SE Q50) ;
- Type 2 : branche ascendante de pente complexe correspondant à un accroissement de la résistivité par paliers (S.E. P30).

Le long de la pente faiblement ascendante du diagramme, le découpage en plusieurs horizons de résistivité intermédiaire entre les marnes conductrices miocènes (10 ohms.m environ) et les calcaires du Lias (150-250 ohms.m) est assez aléatoire.

Carte des conductances longitudinales totales du Miocène s.l.

Pour rendre compte néanmoins de l'importance relative de ces niveaux intermédiaires assimilés aux marnes sableuses accompagnées vers le bas de passées gréseuses ou calcaires, l'on a établi une carte des conductances longitudinales totales (CT) des horizons conducteurs ou peu résistants ($P \leq 50$ ohms.m) situés au-dessus du résistif terminal profond ($P > 100$ ohms.m) rattaché aux calcaires du Lias.

Cette carte, figure 4, indique l'existence d'une zone centrale en forme de langue "pointée" vers l'Ouest où prédominent les fortes valeurs de CT (supérieures à 50 mhos.m au niveau des S.E. R40 et R30) encadrée par deux aires où les valeurs de CT sont inférieures à 25 mhos m.

Les CT élevées traduisent soit un épaississement de la série conductrice soit une baisse de la résistivité de l'ensemble de la série, les deux phénomènes étant souvent liés.

A hauteur des SE S60, R40, R30, R20 qui jalonnent l'axe de la "langue" de CT élevées, les marnes plastiques sont les plus conductrices : $r = 5-6$ ohms.m ;

Les valeurs de CT inférieure à 25 mhos m reflètent l'augmentation de la résistivité moyenne des marnes miocènes (10-15 ohms.m) avec un développement des passées sableuses à la base du Miocène (résistivité moyenne 25-30 ohms.m)

Plus qu'une variation importante de l'épaisseur de la série conductrice miocène, c'est un changement de faciès de cette série, en apparence plus marneuse au centre et à l'Est de l'étude, devenant plus sableuse à l'Ouest et au Nord qui serait responsable des variations de CT enregistrées.

Forage implanté sur données électriques

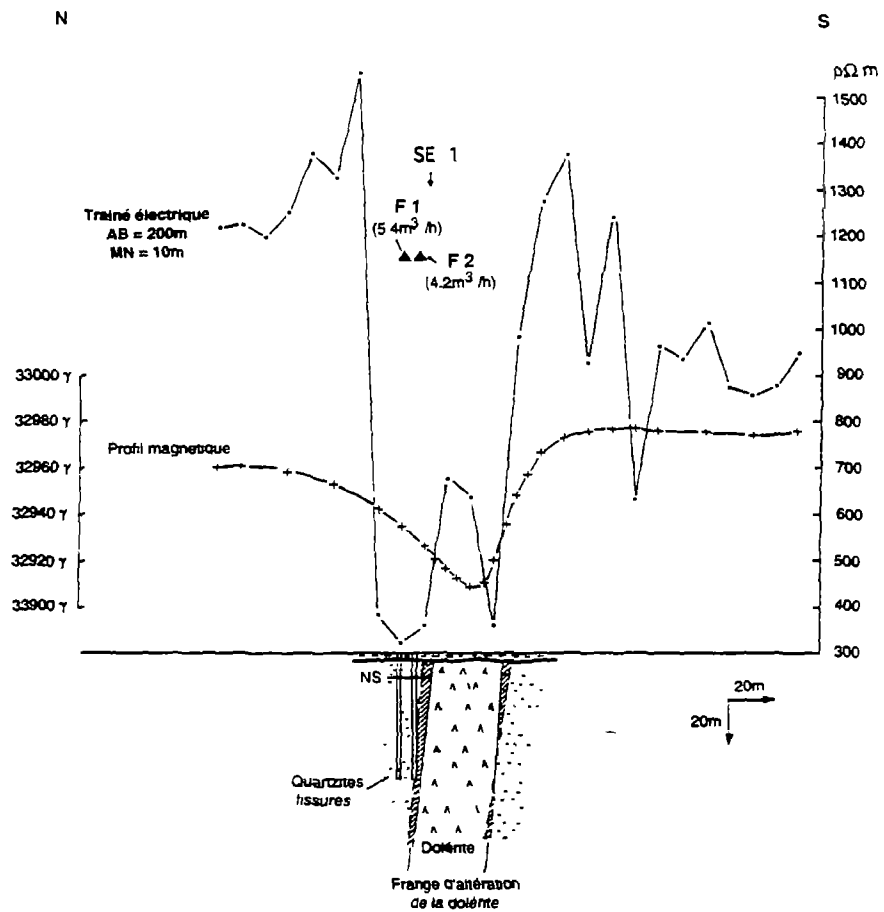
Le choix du S.E. Q50 comme site potentiel de forage (720/16) reposait sur 2 facteurs a priori favorables :

- a) le SE appartient au même contexte électrique que le forage de TAZA Piscine. Pour ce dernier, la résistivité moyenne des marnes miocènes est voisine de 15 ohms.m puisque cette formation a une conductance totale de 14 mhos m pour une épaisseur de l'ordre de 215 mètres

En conservant la même valeur de résistivité moyenne, l'épaisseur du Miocène attendue au niveau du forage Q 50 était de 15×20 mhos m = 300 mètres ;

- b) l'interprétation quantitative du SE Q50, figure 5, contrôlée à l'ordinateur, indique une augmentation des

KOA (MALI)
($\alpha = 390 \text{ gr}$)



TAZA PISCINE
PLAN DE SITUATION
DES TRAVAUX

Echelle: 1/25 000

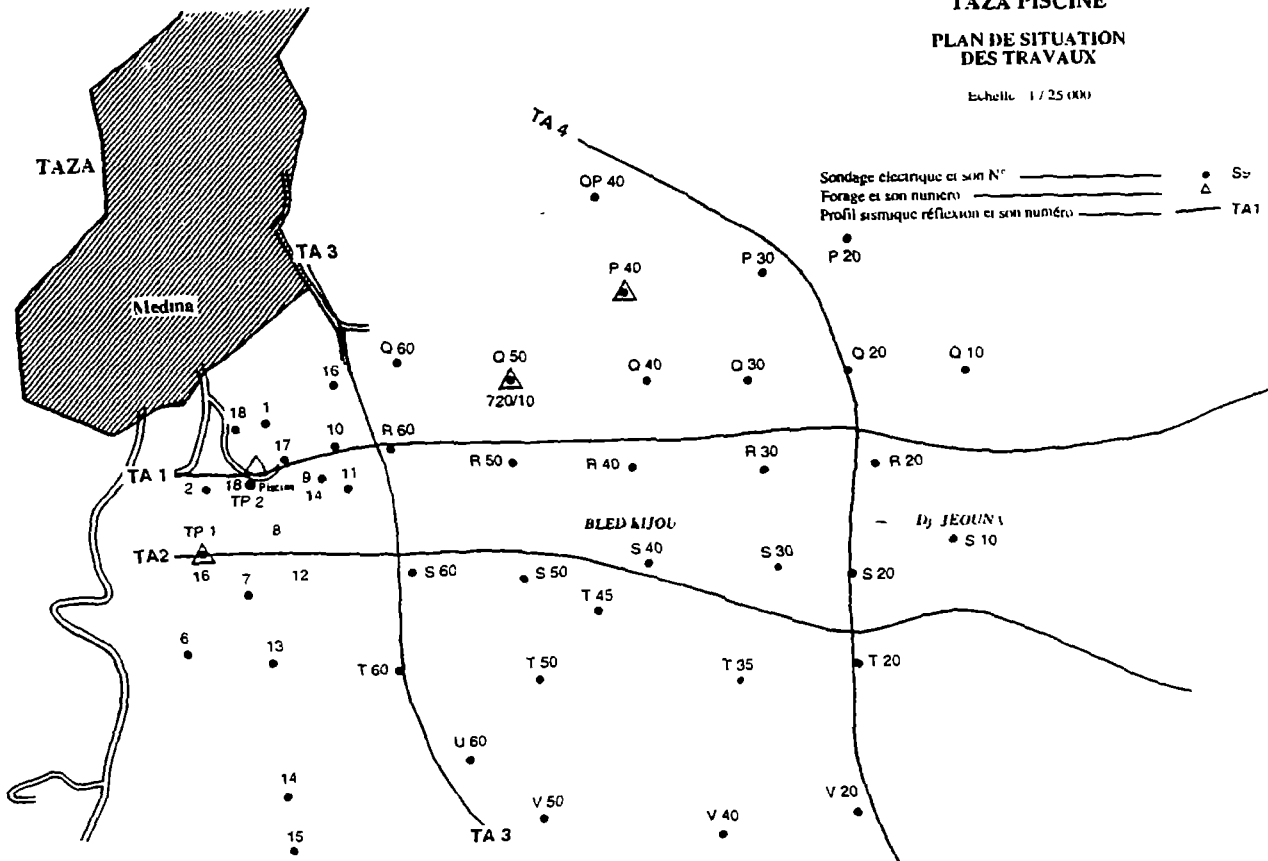
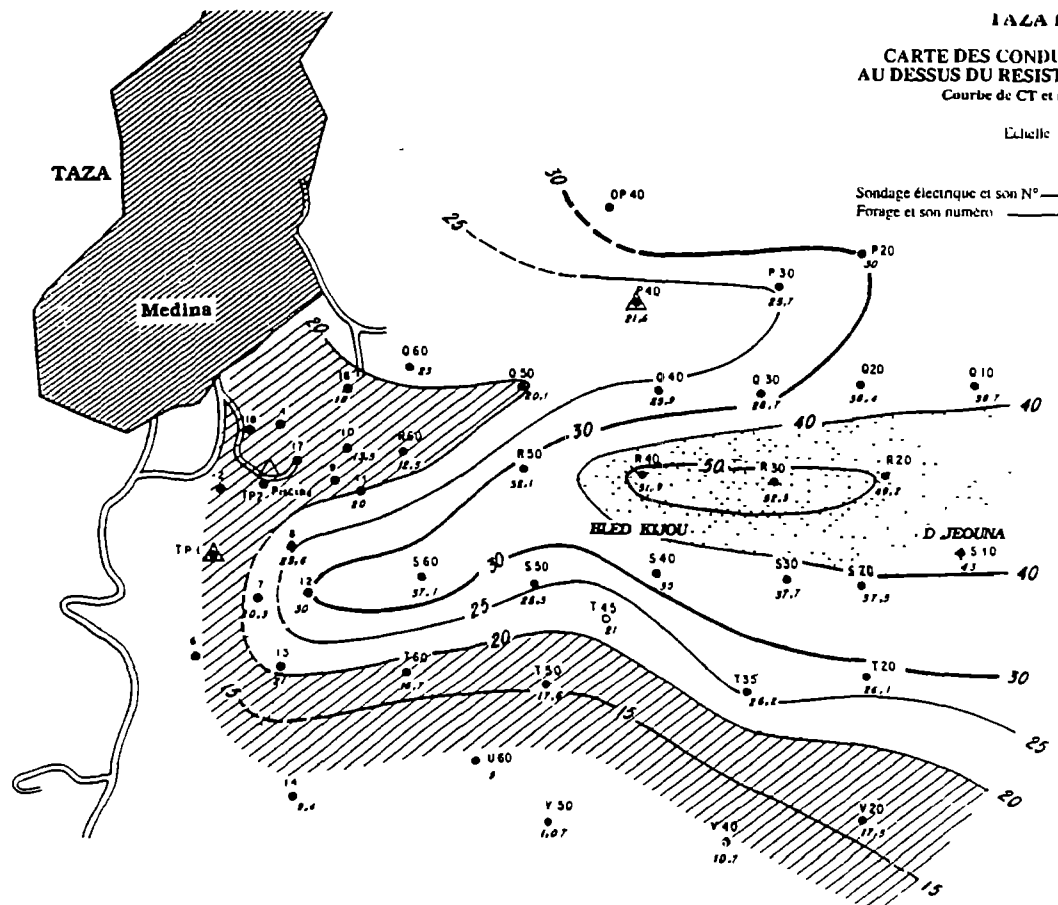
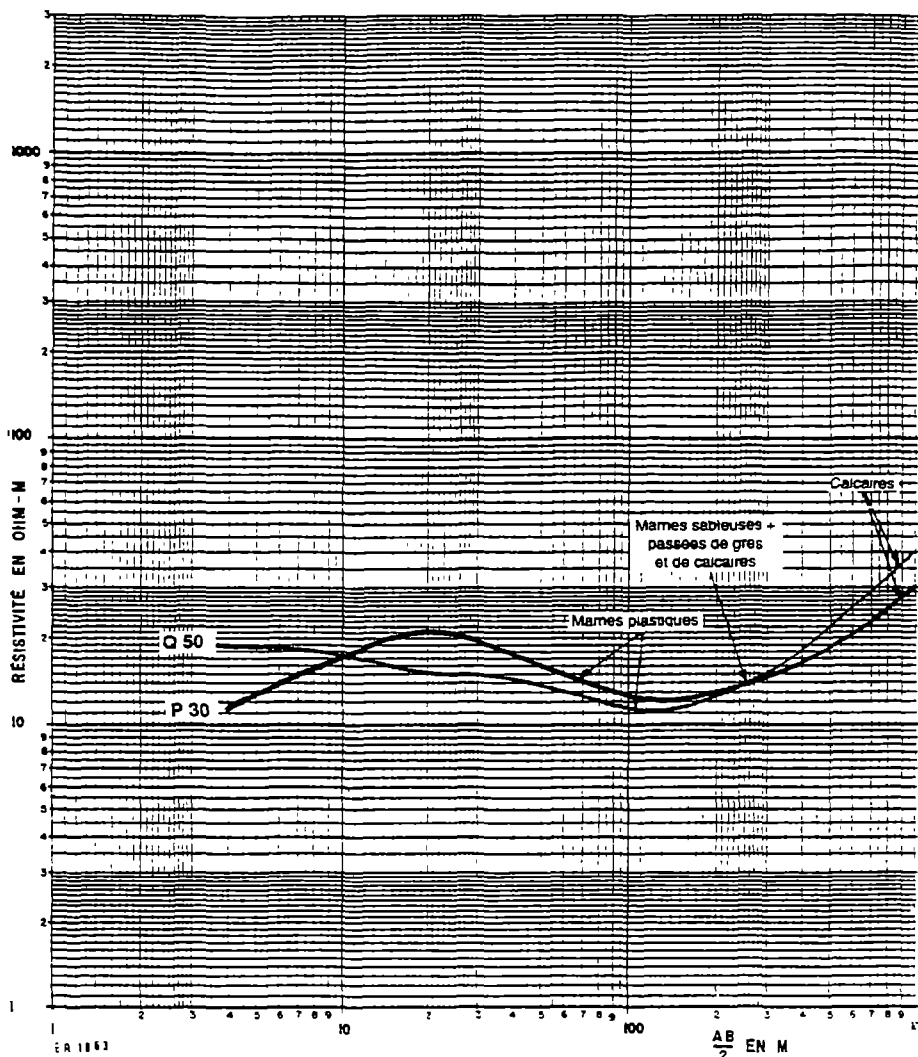


Fig 2

TAZA PISCINE
Diagramme de S.E.

Type 1 : Q 50
Type 2 : P 30



résistivités (30 ohms.m au lieu de 10 ohms.m) qui traduit l'occurrence d'intercalations résistantes dans les marnes : sables, grès et calcaires, représentant un aquifère potentiel au dessus du Lias résistant (250 ohms.m).

Le forage 720/16 localisé au point Q50 s'est arrêté à 387 m de profondeur sans rencontrer les calcaires liasiques. Sous des marnes plastiques grises, de nombreuses intercalations calcaires ou gréseuses ont été traversées mais le débit a été jugé insuffisant.

Une ré-interprétation quantitative du SE Q 50 en fonction des données du forage suggère l'existence de deux horizons de résistivités intermédiaires (24 et 60 ohms m), le toit du Lias étant alors situé à environ 430 mètres de profondeur.

La prospection électrique a bien mis en évidence l'aire - ou le panneau - avec remplissage préférentiel de marnes du Miocène, axée sur les S E. S60, R40, R30 et R20 (valeurs de conductance supérieures à 30 mhos.m), flanquée de zones "hautes" où la conductance reste inférieure à 20 mhos.m

Le secteur de Taza Piscine appartient également à un " haut fond " des calcaires liasiques. Cependant, les limites entre les différentes zones matérialisées probablement par des accidents majeurs sont trop floues pour implanter avec sûreté un forage positif

Pour localiser les fractures majeures affectant le Lias, seuls drains exploitables, la D.R.P.E. a fait appel à deux techniques complémentaires : une étude par télédétection suivie d'une campagne de sismique réflexion haute résolution.

Etude par télédétection

L'analyse des photographies aériennes et des images SPOT a permis de dégager les éléments prépondérants à l'origine de l'alimentation des principales zones aquifères du bassin de TAZA et en particulier, trois directions de fracturation :

- une direction NE-SW, celle de l'accident Nord Moyen Atlasique,
- une direction N-S, celle des calcaires liasiques et dont l'importance hydrogéologique semble de tout premier ordre,
- une direction E-W, moins apparente que les deux précédentes

Par ailleurs, les zones de faible densité du réseau hydrographique se superposent aux zones de forte densité de la fracturation. Les aires calcaréo-dolomitiques seraient aussi des zones d'infiltration et de recharge pour les aquifères karstiques.

Etude sismique réflexion haute résolution

Les résultats précédents ont conduit à l'implantation de quatre profils sismiques TA1 à TA4 (figure 2) totalisant une longueur de 20,4 kilomètres.

Les deux profils TA1 et TA2 sensiblement Est-Ouest et transverses au bassin miocène avaient pour but de repérer les accidents longitudinaux correspondant à une direction privilégiée pour les circulations d'eau ; les deux profils TA3 et TA4 sont sensiblement perpendiculaires aux précédents et devaient déceler les accidents transversaux affectant les calcaires du Lias. L'objectif de la sismique était d'obtenir quatre sections coïncidant avec des structures géologiques à faible et moyenne profondeur (une centaine à plusieurs centaines de mètres). Devaient apparaître le toit et le mur des horizons calcaires et dolomitiques, la position et le rejet éventuel des accidents ainsi que les variations latérales de faciès au sein des calcaires.

Rappel théorique

En sismique, les ondes élastiques émisées sont principalement de deux types :

- les ondes longitudinales ou de compression (ondes "P") ;
- les ondes transversales ou de cisaillement (ondes "S").

En sismique réflexion, on s'intéresse principalement aux ondes P qui sont plus faciles à émettre.

La représentation graphique (figure 6) d'un tir sismique permet de distinguer plusieurs types d'arrivée d'ondes :

- la première onde est appelée "arrivée directe" et correspond à une onde réfractée. Elle se déplace à l'interface de deux niveaux de vitesses différentes ; sa vitesse est celle du niveau le plus rapide ;
- pour les géophones les plus proches du point de tir, une autre arrivée est caractérisée par de fortes amplitudes et surtout des fréquences assez basses. Cet ensemble d'ondes est appelé "cône de bruit" et regroupe toute une série d'ondes : onde aérienne de vitesse égale à 300 m/s, ondes de Love qui sont des ondes de cisaillement se déplaçant à la surface du sol, ondes de Rayleigh.

Ces trains d'ondes varient beaucoup en fonction de la source et des caractéristiques lithologiques de chaque terrain. Ils masquent généralement les signaux utiles, il faut donc les éliminer, soit à l'enregistrement, soit par traitement du signal.

- enfin, apparaissent des ondes s'alignant suivant une certaine courbure (indicatrice).

Elles correspondent aux arrivées réfléchies. Il faut les mettre en valeur en améliorant leur amplitude ainsi que leur contenu fréquentiel tant à l'acquisition sur le terrain que lors du traitement du signal.

Cependant la possibilité d'enregistrer des ondes réfléchies est soumise à l'existence d'un miroir représentant une interface lithologique permettant aux ondes de se réfléchir. L'énergie réfléchie dépend d'un coefficient, k, qui correspond au contraste d'impédance acoustique qui peut exister entre deux terrains en contact.

L'impédance acoustique est, pour un terrain considéré, le produit de la vitesse par la densité. La "réflectivité" d'une interface sera donc d'autant plus importante que les paramètres densité et vitesse de chaque couche seront différents.

Acquisition des données

Après implantation et levé topographique des quatre profils, l'acquisition des données terrain s'est effectuée en utilisant, comme source sismique : deux vibreurs hydrauliques d'un poids de 14,5 tonnes chacun, vibrant avec des fréquences

comprises entre 10 Hz et 120 Hz

Un laboratoire digital de 48 canaux représentait le dispositif d'enregistrement. Les quarante huit traces étaient espacées de 15 mètres, chaque trace comprenant 9 géophones de 10 Hz, déroulés parallèlement au profil.

L'espace entre géophones était égal à 1,6 mètre. Chaque tir a eu lieu au centre du dispositif des 48 traces, entre deux traces et au pas de 15 mètres.

Les signaux arrivant aux géophones étaient véhiculés par câble, échantillonnés, numérisés et enregistrés par le laboratoire

Un traitement adapté des données enregistrées sur bande magnétique a conduit à l'établissement de coupes sismiques (ou sections) montrant l'agencement des réflecteurs le long des profils. Les sections apparaissent sous forme de coupes temps (temps en millisecondes)

Identification des horizons sismiques

Les calcaires dolomitiques du Lias sont recouverts soit par les marnes schisteuses du Lias supérieur et du Dogger, soit en discordance par les argiles et marnes gréseuses du Miocène.

Le contact entre les calcaires liasiques (impédance acoustique élevée) et les dépôts supérieurs (impédance acoustique faible) devait être souligné par une réflexion positive de grande amplitude (phase noire sur les sections).

Pour confirmer cette hypothèse, les données des forages existants près des lignes sismiques ont été utilisées. Ainsi, la coupe lithologique du forage 762/16 indique-t-elle le passage de marnes grises et argiles rouges à des calcaires peu marneux attribués au Lias, à 431 mètres de profondeur.

En utilisant une vitesse moyenne des ondes sismiques égale à 2 700 m/s dans les niveaux du Miocène - vitesse fournie par les données traitées ("stack") - le calcul du temps de transit des ondes (temps double : aller et retour entre le sol et le réflecteur) situe le toit des calcaires à 319 ms

De fortes réflexions apparaissent, figure 7, à des temps proches, entre 295 et 325 ms. Il est donc raisonnable de considérer la réflexion supérieure (doublet d'énergie positive) comme le toit des calcaires, toit des formations de forte impédance acoustique.

Au-dessus, les réflexions occasionnelles sont de plus faible amplitude mais l'on a pu distinguer, figure 8, un sismofaciès moyen hétérogène avec des réflexions abondantes. Les contrastes d'impédance sont nombreux et traduisent la mise en place de formations de lithologie variable : des alternances de marnes ou argiles et de termes détritiques plus grossiers : sables, grès, galets. Ces derniers sont le plus souvent développés à la base du Miocène.

Les marnes relativement homogènes correspondent à un sismofaciès peu contrasté traduisant l'absence de forts contrastes d'impédance. Ce faciès apparaît principalement dans la moitié supérieure des formations miocènes et, de façon discontinue, au toit des calcaires liasiques.

Pour le pointé des sections et leur représentation, l'on a individualisé d'une part la réflexion positive (phase noire) correspondant au toit du Lias carbonaté (marqueur L sur les sections), d'autre part, la base et le sommet du faciès détritique (BD et SD) attribué au Miocène. Ce dernier pointé, plus subjectif, ne suit pas un horizon sismique bien défini mais indique l'extension verticale d'un sismofaciès

Sections interprétatives

Deux sections coïncidant avec les profils TA2 et TA3 sont présentées figures 9 et 10.

Profil TA2, figure 9

Le marqueur L passe par un point haut central (PM370) à morphologie d'anticlinorium et une structure occidentale en horst (PM585-625) et graben (PM515-585).

La fracturation est abondante, probablement polyphasée (phases compressives et extensives). Les rejets verticaux sont faibles à l'Est du PM510 et la tendance générale est compressive. A l'Ouest de ce point, au contraire, les rejets peuvent être importants (PM515, PM585, PM625) et les failles majeures sont directes (phase d'extension).

Le faciès contrasté détritique (BD - SD) se réduit au-dessus de l'anticlinorium central, où il repose directement sur le Lias carbonaté. Il en est de même à l'Ouest du horst (ouest du PM625). Ce faciès est également très réduit entre les PM475 et 520, sur la bordure orientale du graben. En revanche, les points bas du Lias sont associés à des épaisissements importants du faciès détritique miocène : graben (PM515-585) et moitié orientale du profil.

Profil TA3, figure 10

Le marqueur L présente une nette structuration en horst et graben sur ce profil. La moitié méridionale du profil (PM1-210) est monoclinale, avec un fort pendage apparent vers le Nord.

La fracturation est abondante sur cet intervalle, les rejets verticaux sont faibles.

Un horst encadré par des failles directes de rejet vertical important occupe la partie centrale du profil (PM210-295).

La partie septentrionale montre une structure irrégulière de type synclinal, fortement fracturée.

Le faciès contrasté détritique (BD-SD) est mal défini sur ce profil. Il semble cependant avoir une puissance importante au droit de zones basses du Lias. Au-dessus du horst central, les différences de sismofaciès ne sont pas visibles.

Carte structurale du toit des calcaires du Lias

Le report des différents accidents affectant le Lias carbonaté a conduit à l'établissement de la carte structurale du Lias, figure 11

Une faille majeure F1, orientée N100 individualise deux unités structurées différemment :

Une unité méridionale qui présente une fracturation intense et complexe dont les principales composantes orientées selon des directions NE-SW et NW-SE. Cet ensemble est surélevé par rapport à l'unité nord, le rejet vertical de F1 dépassant localement 150 mètres. La moitié ouest de l'unité sud est caractérisée par une tectonique en horst et graben définie par des failles directes, de fort rejet vertical.

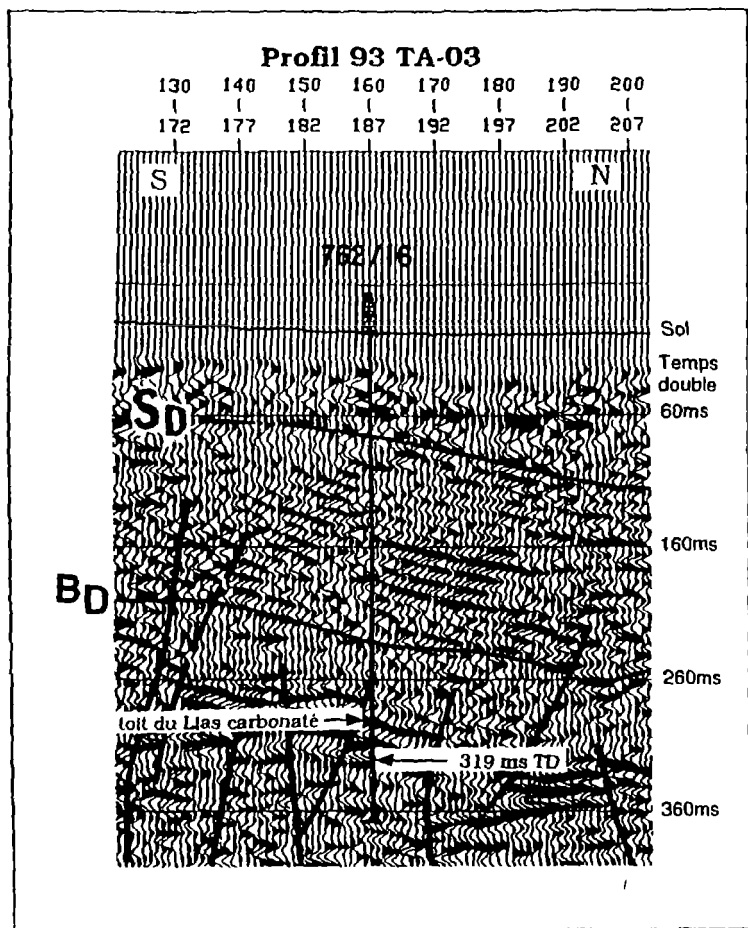


Fig 7 - Identification des réflecteurs sur le profil 93TA-03, au forage 762/16

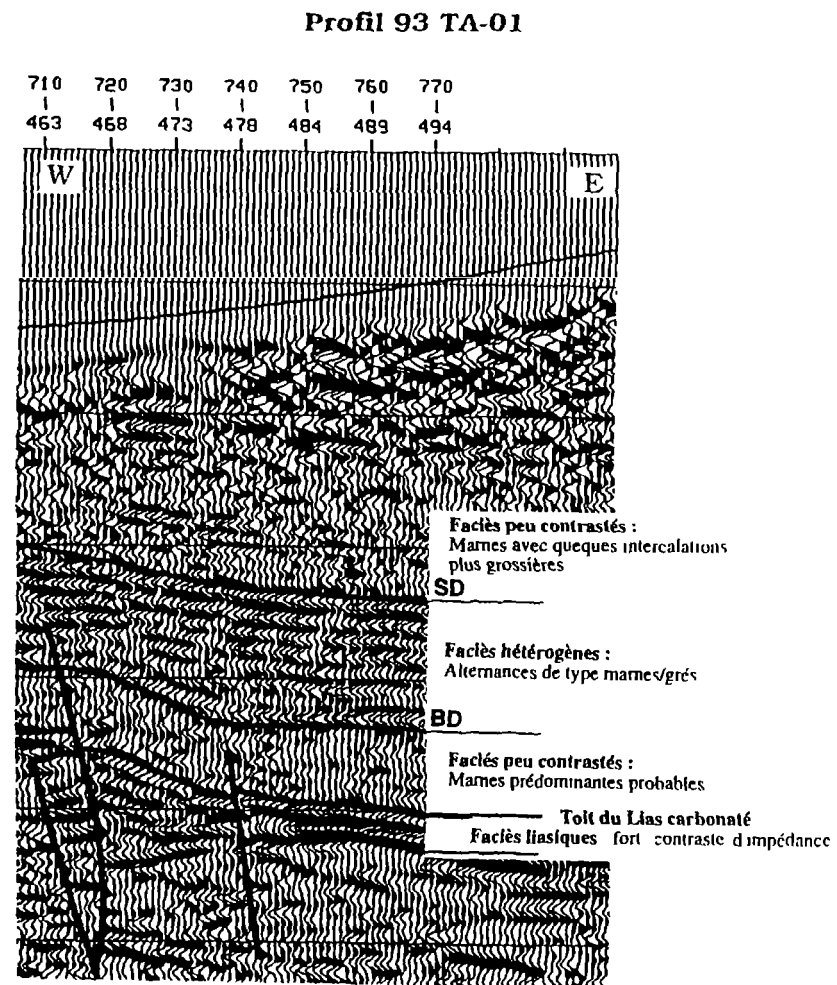


Fig. 8 - Les sismo-faciès du Miocène

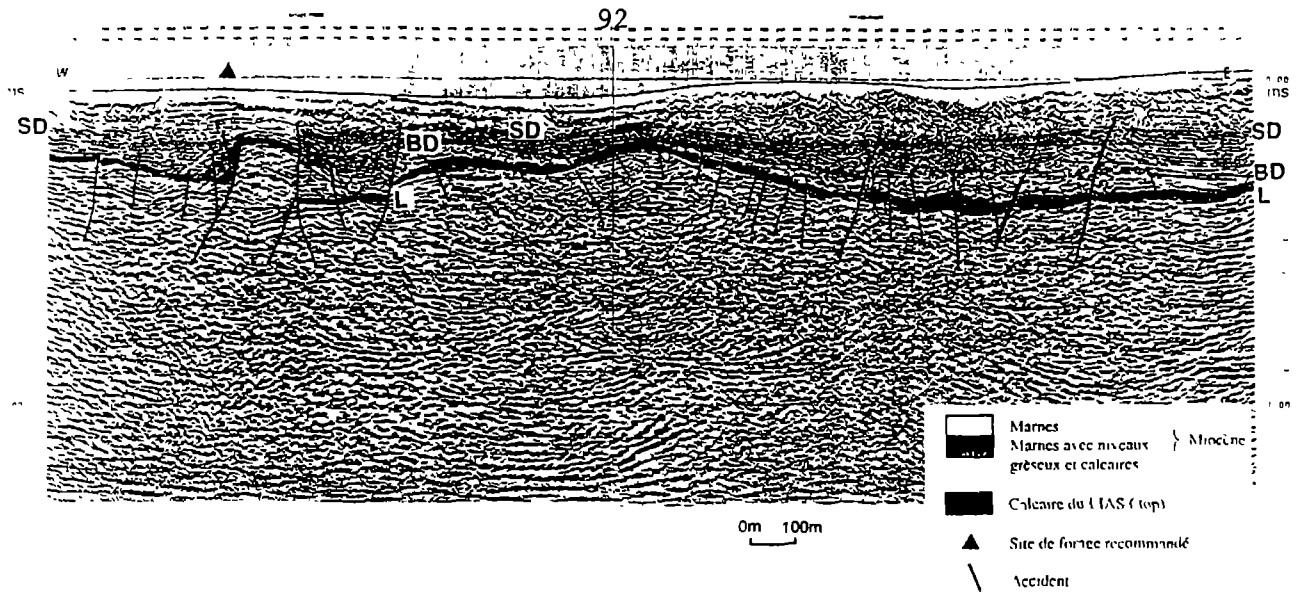


Fig. 9 - TAZA - PROFIL TA 2 - SECTION INTERPRETATIVE

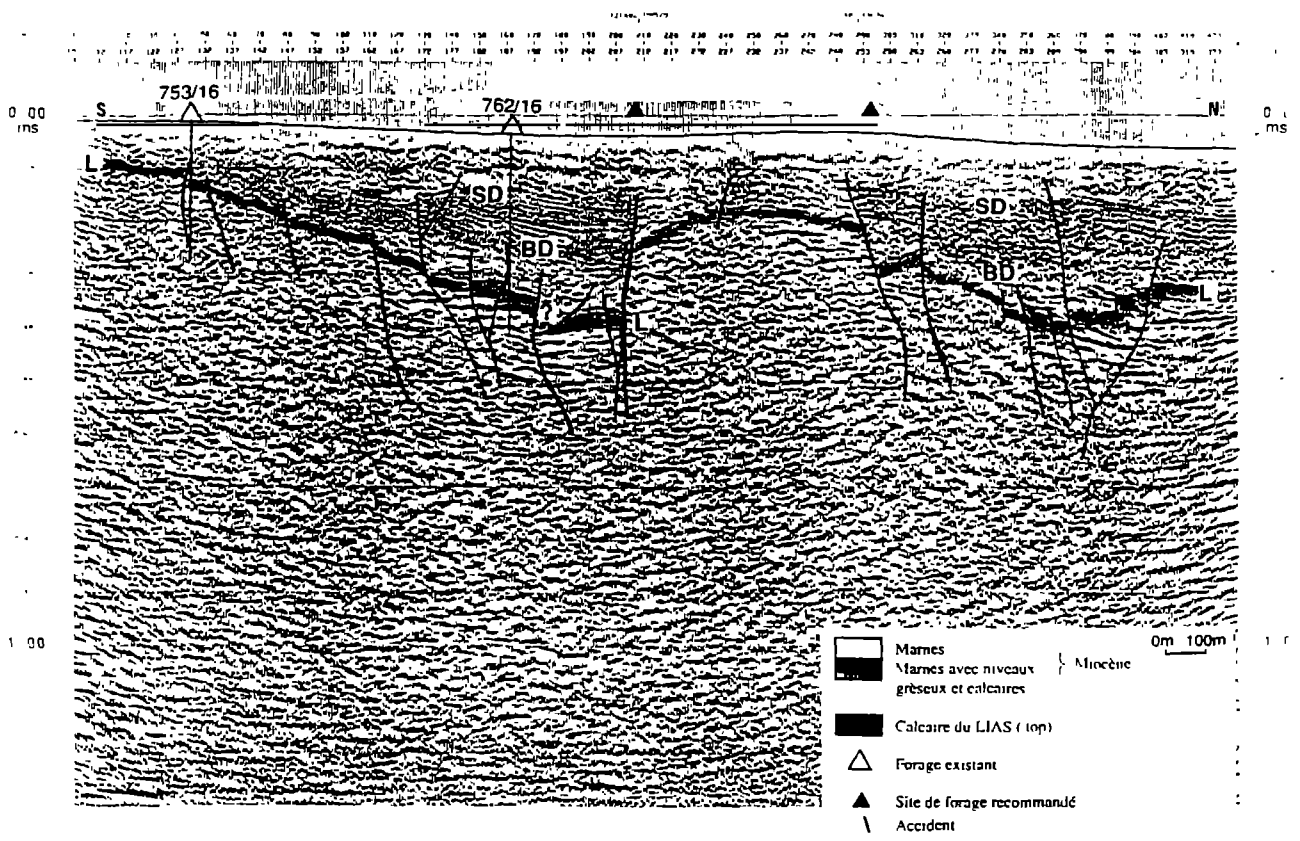


Fig. 10 - TAZA - PROFIL TA 3 - SECTION INTERPRETATIVE

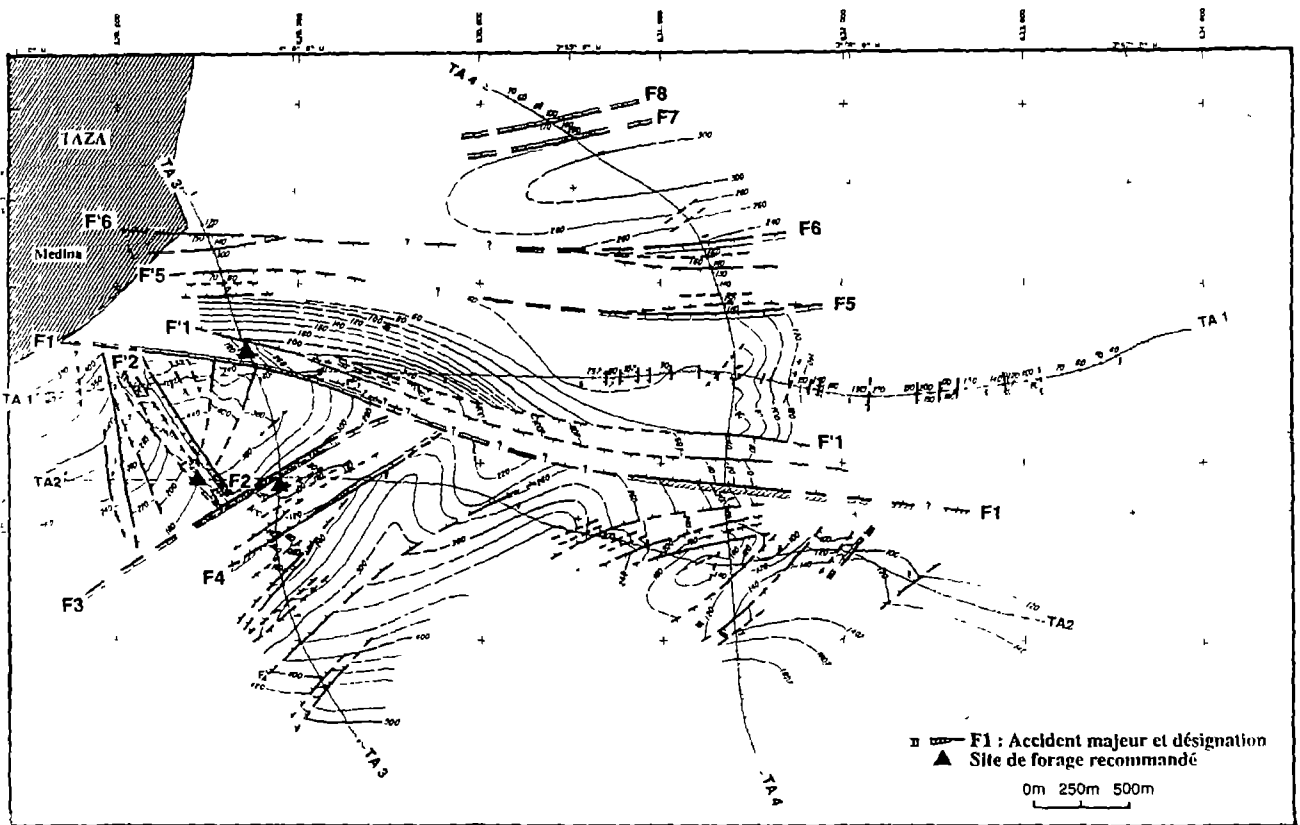


Fig. 11 - TAZA - CARTE STRUCTURALE

Un bloc surélevé triangulaire, encadré par les failles F1, F2 (orientée N155) et F3 (orientée N60) est probablement lié à l'alimentation des forages Taza Piscine. Le sommet de la structure dessine un dôme, fracturé dans sa partie nord-ouest.

Les failles F2 et F'2 (orientées N170) définissent une zone effondrée, orientée NNW-SEE, fracturée parallèlement à F2. A l'ouest de cette zone, le substratum liasique remonte régulièrement vers le Nord-Ouest.

Un graben perpendiculaire au précédent est délimité par les failles parallèles F3 et F4 (orientée N60). Cette structure est également morcelée par des failles longitudinales.

A l'Est de F4 se développent des structures souples, d'axes vraisemblablement orientés NE-SW, peu fracturées dans leur partie nord mais affectées par de nombreuses failles au Sud.

L'orientation de cette fracturation semble être NE-SW. Le toit du Lias remonte fortement vers le Sud.

A l'Est de cette zone, la fracturation, de tendance compressive, devient plus intense à proximité de l'intersection TA2 - TA4. L'orientation des accidents varie de N40 à N80.

Une unité nord présentant des directions structurales de tendance est-ouest. Une zone effondrée, comprise entre les failles F1 et F'1 borde F1 au nord.

La zone de déformations souples au Nord de F'1 s'approfondit rapidement vers le Nord et vers l'est avant de remonter, à l'Est de l'étude, en un vaste anoclinal affecté par une fracturation abondante (rejets faibles). L'axe de cette structure est impossible à déterminer (recoupement par un seul profil).

Le substratum liasique remonte vers le Nord par une série de failles F5, F'5, F6 et F'6 subparallèles, probablement continues, d'orientation est-ouest.

Au Nord de la zone, un horst orienté de la même façon est encadré par les failles en gradins F5 et F6 d'une part, F7 et F8 d'autre part.

Les sites de forage recommandés sont sélectionnés en fonction de la similitude structurale avec le site productif de Taza Piscine. Ce dernier est localisé à l'aplomb d'une fracture importante, F2.

Les zones les plus favorables à des débits élevés sont situées dans les faciès détritiques miocènes, mis en contact par faille avec l'aquifère karstique du Lias. C'est le cas de part et d'autre du horst central (profil TA3) délimité par les accidents F1 et F3, à une profondeur de l'ordre de 250 mètres.

CONCLUSION

La réalisation de grands sondages électriques est adaptée à la reconnaissance d'aquifères à quelques centaines de mètres de profondeur lorsqu'il existe d'une part, un bon contraste de résistivités entre les horizons humides et les formations imperméables, et d'autre part, lorsque l'on s'adresse à des aquifères plus ou moins généralisés.

La méthode électrique met par ailleurs en évidence les grands traits structuraux d'une région donnée. A TAZA, la prospection électrique a décelé les zones basses entre les accidents F1 et F5 ainsi que F3 et F4 ; elle a également détecté les remontées du substratum au Nord (vers le - horst F6-F7), à l'Ouest et au Sud de l'étude.

Elle n'a pu cependant caractériser le "point haut" délimité par les accidents F1, F2, F3, situé à l'est du site de Taza Piscine.

Dans le cas où les aquifères sont discontinus et - cas de TAZA - confinés dans des zones karstiques ou de fracturation localisée, la sismique réflexion haute résolution est irremplaçable pour implanter un forage de façon précise et favorable.

Bien qu'à TAZA, le rapport de coût entre électrique et sismique soit de 1 à 8, le coût de forages à plusieurs centaines de mètres justifie l'utilisation d'une méthode plus performante, la sismique réflexion haute résolution.

UTILISATION DU EM 34 (APPAREIL ÉLECTROMAGNÉTIQUE) DANS LA PROSPECTION GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE À L'HYDROGÉOLOGIE (EXEMPLE EN MAURITANIE)

Mamadou Diallo

GEO-CONSULT International B P / 6140 Nouakchott - Mauritanie.

I - INTRODUCTION

En Mauritanie, la méthode géophysique la plus utilisée pour la recherche d'eau souterraines, reste de loin, la méthode électrique. C'est une méthode qui a certes beaucoup d'avantages mais ses inconvénients (sous sa variante traînée électrique) ne sont pas à négliger. En effet, il est parfois difficile de soutenir l'existence d'une anomalie électrique dans des cas où la photo-interprétation n'a pas montré de linéaments et cela notamment à cause de l'extrême sensibilité des électrodes (plus précisément potentielles) aux hétérogénéités de surface.

Pour diminuer le risque d'implantation sur des anomalies douteuses et améliorer l'interprétation sur des données géophysiques en terme hydrogéologique, il faut nécessairement utiliser d'autres méthodes géophysiques simultanément avec la méthode géo-électrique ou indépendamment.

Cette approche a été largement exploitée par les bureaux d'études IWACO BV, et Géo-consult international S A. qui utilisent l'électromagnétisme comme outil de prospection principal simultanément avec la géo-électrique et le magnétisme.

Pour la confirmation des photo-linéaments et la détection de toutes anomalies structurales. Il est fait usage des appareils suivants :

- l'EM 34 appareil de mesure électromagnétique mis au point pas le constructeur Canadien Géonice Limited (Canada) ;
- le magnétomètre à Proton scintrex.

II - PRESENTATION DE L'ELECTROMAGNETISME

Le développement scientifique du 18^{ème} siècle notamment dans le domaine de la physique a permis à d'éminents scientifiques tel que Maxwell, d'établir la théorie de base de l'électromagnétisme.

L'utilisation de l'électromagnétisme dans le domaine technique a connu un essor particulier dans le domaine de la géophysique

Dans ce domaine, la technique de prospection électromagnétique a été largement utilisée pour l'exploitation minière. En effet, c'est une excellente technique pour la localisation de mesures conductrices de l'électricité à faibles profondeurs

De nos jours, il est fait usage de cette méthode dans le domaine de l'hydrogéologie, notamment pour la détection des fractures, contact eau salée/eau douce, zone d'importants recouvrements argileux etc.

Ces possibilités sont intégrés dans la conception de l'appareil de prospection par méthode électrique, l'EM 34, l'appareil développé par Géonice Canada.

Généralités

En prospection électromagnétique, le champ primaire ou source est créée par le passage d'un courant alternatif à travers des corps des formes géométriques diverses telles que des dispositifs circulaires rectangulaires, linéaires, etc en prospection par méthode EM, il est particulièrement important de connaître l'influence du champ primaire au niveau du dispositif de réception ou éliminer son effet puisqu'il y est toujours avec le champ secondaire créée par les courants induits dans le sous-sol.

Un développement élémentaire des équations de Maxwell permet de décrire la propagation des ondes électromagnétiques. Pour étudier cette propagation des ondes EM on utilise les équations de Maxwell sous une forme liant le champ électrique K et le champ magnétique :

- la première équation décrit la loi de Faraday qui stipule qu'il existe un champ électrique K dans une région de l'espace où il y a un champ magnétique \xrightarrow{H} et \xrightarrow{B} variable.
- la deuxième équation décrit la loi d'Ampère (tenant compte du courant de déplacement de Maxwell $\gamma \xrightarrow{D} / \gamma$ qui stipule qu'un champ magnétique est lié dans une région de l'espace où il y a un flux de courant et que ce champ est proportionnel au courant total c'est-à-dire (conduction plus déplacement) dans l'espace considéré.

Comme l'onde sismique, les ondes électromagnétiques sont largement atténuées en se propageant dans le sous sol. Cette atténuation se manifeste par une absorption de l'énergie incidente qui se traduit par une décroissance exponentielle de l'amplitude du signal EM, et un Shift du contenu fréquentiel progressif vers les BF quand la profondeur atteinte par l'onde croît.

Un autre facteur qui entre en ligne de compte quand on parle de l'atténuation de l'onde électromagnétique est celui lié à l'expansion du front d'onde électromagnétique au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source. C'est le facteur

géométrique.

La profondeur à laquelle l'énergie d'un onde plane est réduite à une valeur égale à 1/e (37 %) de sa valeur initiale est appelée profondeur de peau, ζ qui s'écrit :

$$\zeta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \omega \sigma}} = \frac{\sqrt{2}}{\gamma} \text{ avec } \omega = 2\pi f, f = \text{fréquence (Hz)} \tag{1}$$

σ = conductivité électrique du terrain

μ_0 = perméabilité magnétique

Cette expression montre que N décroît quant la conductivité et la fréquence augmentent. Il est donc important lors des campagnes géophysiques par méthode EM d'avoir une idée précise des conductivités des profondeurs cibles, ceci permet de choisir les fréquences adéquates afin de couvrir les profondeurs souhaitées.

Cas du EM 34

C'est un appareil qui permet de lire directement la conductivité apparente du sous-sol lors des mesures sur terrain. Il est constitué essentiellement d'un émetteur et d'un récepteur liés par un câble de longueur variable.

- l'intérieur est constituée d'une boucle circulaire à travers laquelle circule un courant alternatif pour servir de base à la création du champ primaire I_p
- le récepteur est aussi constitué d'une boucle circulaire mais de dimension plus petite qui permet d'enregistrer le champ magnétique secondaire I_s induit dans le sous-sol en présence du I_p . (loi de Faraday et Ampère).

Si on appelle N la longueur du câble liant les deux boucles, en utilisant (1) on peut définir un nouveau paramètre B appelé nombre d'induction :

$$\gamma S = \sqrt{2} B \tag{2}$$

Il existe 2 modes de mesure avec l'EM 34 :

L'un avec des boucles verticales et l'autre avec des boucles horizontales.

Dans ce cas où le nombre d'induction B est très petit $\gamma S \ll 1$, il est montré que :

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right)_{\text{Horizontal}} = \left(\frac{H_s}{H_p}\right)_{\text{vertical}} = \frac{iB^2}{2} = \frac{i\omega\mu_0\sigma S^2}{2} \tag{3}$$

Cette expression montre que le champ magnétique secondaire est linéairement proportionnelle à la conductivité du terrain σ et qu'il est en déphasage de +90° par rapport au champ magnétique primaire.

Pour que B soit très faible par rapport à l'unité on doit choisir S très faible par rapport) ζ , ainsi :

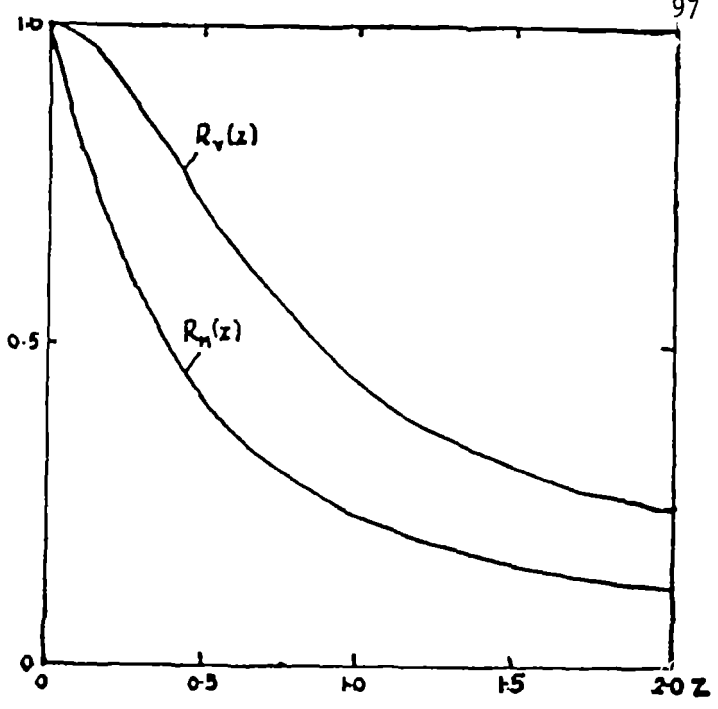
$$\omega \ll \frac{2}{\mu_0 \sigma \zeta^2} \tag{4}$$

Cette condition définit donc la valeur de S qui détermine à son tour la profondeur de pénétration effective avec la condition que B soit très inférieur à l'unité $B \ll 1$

Pour choisir des fréquences d'opération du EM34 on a d'abord estimé la conductivité maximale probable du sous-sol de sorte que la condition (4) soit toujours satisfaite. Alors la conductivité apparente lue sur l'appareil s'écrit :

Il existe 3 fréquences (où longueur de câble S) d'opération avec l'EM34 dont les caractéristiques sont les suivants :

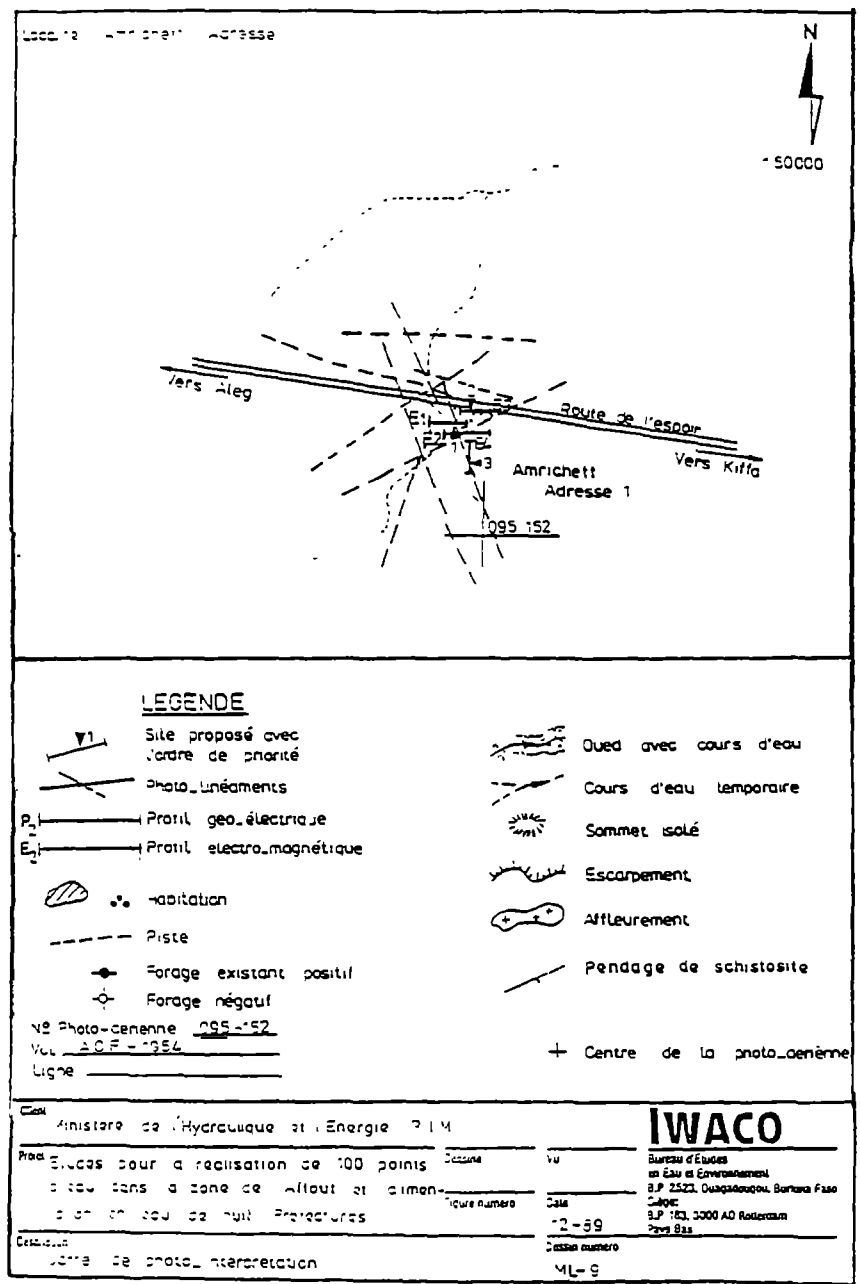
LONGUEUR DU CÂBLE (M)	PROFONDEURS D'EXPLORATIONS (M)	
	Dipôles horizontaux	Dipôles verticaux
10 m	7.5 m	15 m
20 m	15 m	30 m
40 m	30 m	60 m



$$R_v(z) = \frac{1}{(4z^2 + 1)^{1/2}}$$

$$R_h(z) = (4z^2 + 1)^{1/2} - 2z$$

Fig. 2 Cumulative réponse versus depth for vertical and horizontal dipoles



III - INTERPRETATION

Réponse de l'instrument en fonction de la profondeur

La figure 1 montre les courbes $\Phi_V(Z)$ et $\Phi_H(Z)$ qui définissent respectivement la contribution d'une couche d'épaisseur dz située à une profondeur z au champ magnétique secondaire. La courbe $\Phi_V(Z)$ définit le cas où les boucles sont horizontales et $\Phi_H(Z)$ le cas où les boucles sont verticales.

L'observation de la courbe $\Phi_V(Z)$ montre que les couches situées à une profondeur approximative de 0,4 S ont une contribution plus significative sur le champ magnétique. On note aussi que la fonction $\Phi_V(Z)$ tend vers zéro quand Z tend vers l'infini. Elle est pratiquement insensible aux variations de conductivités superficielles.

Quand les boucles sont par contre verticales, la contribution au champ magnétique secondaire provient essentiellement des couches situées à des profondeurs plus petites que 0,5 S.

Ce qui signifie que la conductivité apparente est essentiellement due aux couches superficielles situées à des profondeurs moins que 0,5 S comme le montre la courbe $\Phi_H(Z)$.

Expression de la conductivité apparente

Il existe une autre fonction définissant la part de fonction de tous les terrains situés en dessous d'une profondeur Z à la conductivité apparente observée. Cette fonction s'écrit à partir $\Phi_V(Z)$ ou $\Phi_H(Z)$ comme suit :

$$R_{H_v}(Z) = \int_Z^{\infty} \Phi_{H_v}(Z) dZ \tag{5}$$

$R_v(z)$ représenté une réponse cumulative et est placée sur la figure (2) pour les deux dispositifs (dipôles verticaux et horizontaux).

Pour établir l'expression de la conductivité apparente considérant un modèle simple d'un terrain à deux couches de conductivités respectives σ_1 et σ_2 (voir figure 3) d'après l'expression de $R_v(z)$ la contribution de la deuxième couche à la conductivité apparente est de

$$\sigma_a = \sigma_2 R_v(Z) \tag{6}$$

La contribution de la 1ère couche est de :

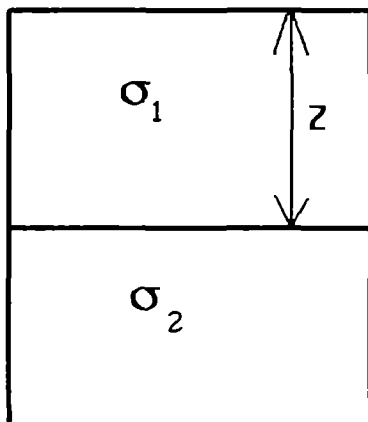
$$\sigma_a = \sigma_1 (1 - R_v(Z)) \tag{7}$$

La lecture sur l'appareil sera alors la somme de ces deux quantités

$$\sigma_a = (1 - R_v(Z))\sigma_1 + \sigma_2 R_v(Z) \tag{8}$$

Dans le cas de terrains multicouches le processus de détermination de la conductivité apparente est similaire.

Fig 3



IV - UTILISATION DE EM 34 EN MAURITANIE

Cas du Projet Aftout et 8 Préfectures

Le Bureau d'Etudes Hollandais, IWACO en collaboration avec le Bureau d'Etudes Mauritanien Géo-Consult international S.A. ont été les premiers à utiliser l'électromagnétisme (EM 34 comme méthode géophysique principale appliquée à l'hydrogéologie en Mauritanie.

Cette méthode a servi à l'exécution des profils lors du projet d'amélioration des conditions d'approvisionnement en eau des zones rurales de l'Aftout et alimentation en eau des 8 préfectures, en vue de détecter les fractures et linéaments prévus par la photo interprétation.

La manipulation des données électromagnétiques (EM 34) comme toutes autres données géophysiques nécessite au préalable une bonne connaissance des conditions géologiques et hydrogéologiques de la région à étudier. Cela nous permet à priori de savoir s'il faut favoriser les zones de basses conductivités ou de hautes conductivités lors du choix des points d'impacts sur les profils EM 34, dans des zones à recouvrements argileux importants ou à eau généralement salée.

La connaissance du niveau statique régional est particulièrement importante en effet il permettra de savoir s'il est possible d'atteindre le niveau aquifère par le signal EM à travers un choix approprié de la longueur du câble. Il n'est cependant pas exclu d'utiliser la méthode EM dans les régions où le niveau statique dépasse les possibilités d'investigation de l'appareil auquel cas le choix d'un point d'impact nécessite obligatoirement un sondage électrique.

C'est notamment le cas du département de Bassikounou situé en partie dans les grès du continental intercalaire considérés généralement comme nappe continue. Le niveau statique étant situé au-delà de 60 m, il est quasi impossible de couvrir les niveaux aquifères par méthode EM, cependant on peut utiliser cette méthode qui nous permettra de détecter des linéaments ou croisements de linéaments au lieu des points d'impact par excellence.

Dans les mêmes conditions la méthode peut aussi servir à définir les zones à recouvrement argileux qui favorisent la salinité des eaux souterraines en général.

Pour une illustration concrète d'un contact entre deux zones, considérons le village de Amricher Adresse 1 dans le département de Maghta Lahjar, qui a fait l'objet du projet cité plus haut. Géologiquement les substratum est constitué de grauwackes, siltstones et pélites cambro-ordovicien inférieur de la série de Kiffa. Les deux profils E1 et E2 détectent parfaitement le linéament prévu par la photo interprétation.

Sur E1 on distingue deux domaines de conductivités :

- la première allant de la station 0 à la station 300 E1 ;
- la seconde allant de 300 E1, dans le dernier cas les mesures avec les boucles horizontales et verticales sont presque identiques ce qui signifie que le terrain est plus ou moins électriquement homogène de 15 jusqu'à 30 m.

Dans la première zone il y a par contre une différence nette entre les valeurs de σ_a des boucles verticales et horizontales aussi bien qualitativement que quantitativement.

La courbe en boucles horizontale de conductivité plus nettement basse en moyenne, soit la même allure que celle des boucles verticales, mais avec une variation plus lente de la conductivité. Le contact entre les zones est bien marqué sur cette courbe. Elle se manifeste par une anomalie de type V nettement visible entre les stations 220E1 et 300E1. Le choix du point d'impact E1 en dehors de la zone de contact a été particulièrement évité à cause des risques de salinité pour confirmer l'hypothèse de contact on peut comparer les sondages SE340E4 et SE360E1 situés respectivement dans la zone de basse et hautes conductivités.

Essais statistiques

Les calculs ont été faits pour 77 villages de l'Aftout dans les départements d'Aleg, Maghta Lahjar, Moudjéria, Monguel, M'Bout et Barkéol.

Les formations géologiques rencontrées sont :

Les schistes de la série des Oua Oua, les Grauwackes, les micaschistes de la série d'El Aoudja, les micaschistes des groupes de Gadel, les micaschistes de la série d'El Aoudja et la série volcano-sédimentaires. Dans le cadre du projet "Amélioration des conditions d'approvisionnement en eau des zones rurales de l'Aftout et alimentation en eau potable de huit préfectures", ces villages ont fait l'objet d'implantation de forage par méthode électromagnétique. Le genre d'anomalies en V ou U ont été remarqué à ce niveau.

Taux de réussite : toutes formations comprises :

1. sur le bord de l'anomalie (maximum de conductivité) : 90 %
2. sur la pente de l'anomalie en tenant compte du pendage : 56 %
3. sur le minimum de l'anomalie (centre de la zone fracturée) : 75 %.

Le taux de réussite par formation géologique n'a pas été calculé vu la faiblesse du nombre d'échantillons si l'on fait la répartition entre les différentes formations citées (les nombres ne seront pas suffisamment représentatifs).

NB : Les implantations faites sur les maximums ont été les plus nombreuses dans le souci d'éviter les centres des zones fracturées qui, dans les formations schisteuses, sont très broyées et deviennent souvent excessivement argileuses. La majorité des forages négatifs aux centres des anomalies a rencontré des schistes altérés et bien que mouillés sont pratiquement à l'état pâteux. Dans d'autres formations le pourcentage de réussite au centre aurait été certainement

meilleur en l'absence d'intrusion dioritique (détectable par méthode magnétique).

Exemple de l'Alimentation en eau de la ville de Oualata

Des résultats satisfaisants ont été obtenus avec la méthode EM dans le cadre de prospections géophysiques complémentaires pour l'alimentation en eau de la ville de Oualata.

Au terme de l'étude géophysique, ont été exécutés :

- 26 profils électromagnétiques ;
- 2 traînés électriques ;
- 27 sondages électriques

L'observation des profils EM montra que la méthode permet une bonne définition des linéaments, caractérisée par une brusque diminution dans la conductivité lue en mode dipôles verticaux (boucles horizontales) lors du passage sur les linéaments ou failles. Cette diminution atteint son maximum au centre du linéament ou faille.

Comme exemple on peut citer l'anomalie du profil P2 où ont été choisis les points d'impacts F1 (2400P2). Ces deux points ont été forés.

Dans le cas de F1 le débit à la foration était de $1,1\text{m}^3/\text{h}$ avec une conductivité de $682\ \mu\text{s}/\text{cm}$ et le F2 avait un débit de $1,5\text{m}^3/\text{h}$ avec une conductivité de $662\ \mu\text{s}/\text{cm}$. Les anomalies similaires ont été testées par sondage mécanique dans le cadre du même projet et les résultats sont satisfaisants.

Comparaison de la méthode électromagnétique (EM 34 avec la géo-électrique (traîné).

Dans l'ensemble des études réalisées avec l'EM 34 il n'existe pas une qui ait été systématiquement exécutée avec des traînés électriques. A ces stades, il est donc très difficile de faire une comparaison rigoureuse de deux méthodes, cependant les résultats observés dans le cadre du projet CEAO-1 et Aftout sont révélateurs. En effet, dans le projet CEAO-1 et Aftout il a été fait essentiellement usage de la géo-électrique alors que dans le second cas l'outil de prospection géophysique était l'électromagnétisme. Pour les cas de la CEAO-1 le taux de succès ne dépasse pas 40 % alors que pour le cas du Projet Aftout on est déjà à plus de 50 %.

L'avantage de la méthode EM par rapport à la méthode géo-électrique est pertinente. En effet, le problème tel que l'injection du courant dans le sous-sol, la sensibilité des électrodes aux hétérogénéités de surface ne se pose plus du fait que le contact dans le sous-sol est produit de manière inductive.

La faible dimension du dispositif assure une mesure plus homogène de la conductivité (ou résistivité) et d'autre part les mesures ne sont pas du tout affectées par l'opérateur qui ne fait que la lecture sur l'échelle de conductivité appropriée. Ce qui n'est pas le cas dans les dispositifs géo-électriques (traînés) où les dispositifs sont longs et où la circulation du courant dans le sous-sol dépend largement du degré d'implantation des électrodes (facteur humain).

La faible dimension du dispositif EM assure une meilleure résolution latérale des anomalies liées aux fractures.

V - CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Les données électromagnétiques étant interprétées qualitativement, elles ne peuvent à elles seules servir à la détermination des caractéristiques géo-électriques des terrains. Il est donc nécessaire d'utiliser systématiquement les sondages électriques pour la détermination de la coupe géo-électrique de manière plus rigoureuse au niveau des anomalies.

Dans le cas de terrains dont la résistivité ne dépasse pas $1000\ \Omega\cdot\text{m}$ et où la profondeur du niveau statique n'est pas très élevée on peut systématiquement remplacer les profils électriques par les profils électromagnétiques.

Pour l'étude des ressources en eau en Mauritanie, une utilisation systématique de l'outil géophysique est recommandée. On doit tendre vers une diversification de ces méthodes et une analyse plus rigoureuse des données afin d'établir des modèles d'interprétations caractéristiques pour les différents domaines hydrogéologiques.

VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Rapport d'Etude d'implantation et campagne géophysique dans l'Aftout (IWACO).

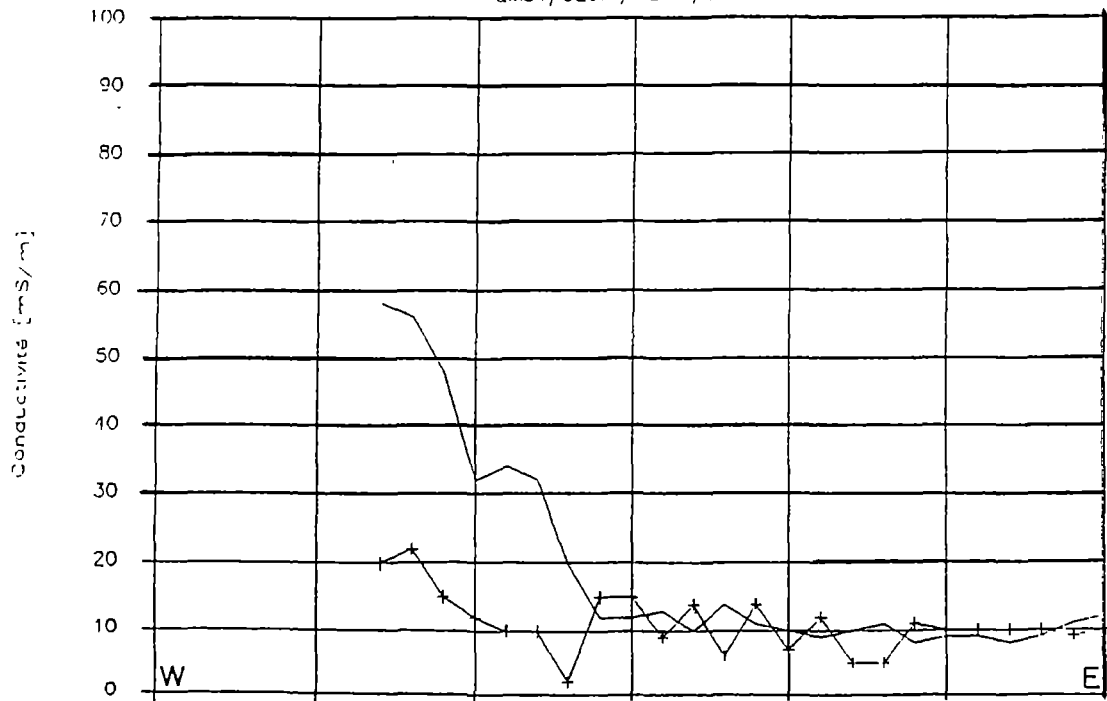
Rapport géophysique de l'alimentation en eau de Oualata.

Technical Note TN -6 electromagnetic Terrain conductivity measurement at low induction Numbers (Geonics Limited).

W. M. Telford, L.D. Geldart R. E. Sheriff, D.A. Keys : Applied Geophysics.

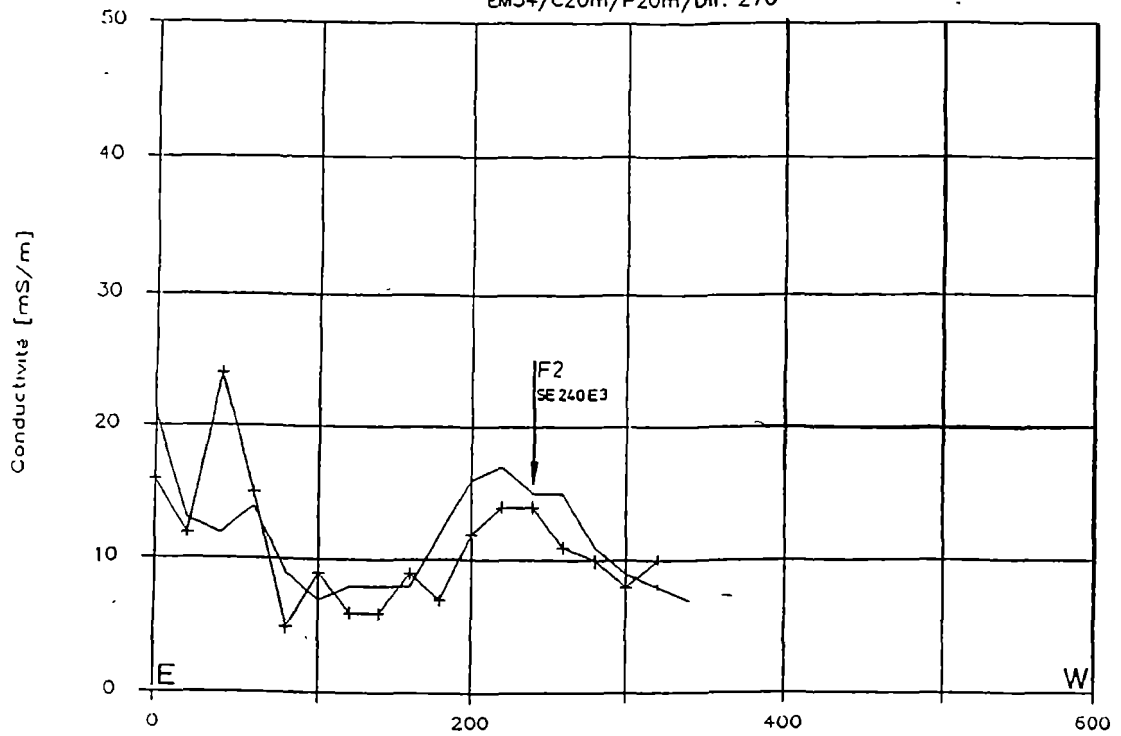
Amrichet Adresse 1 Profil E2

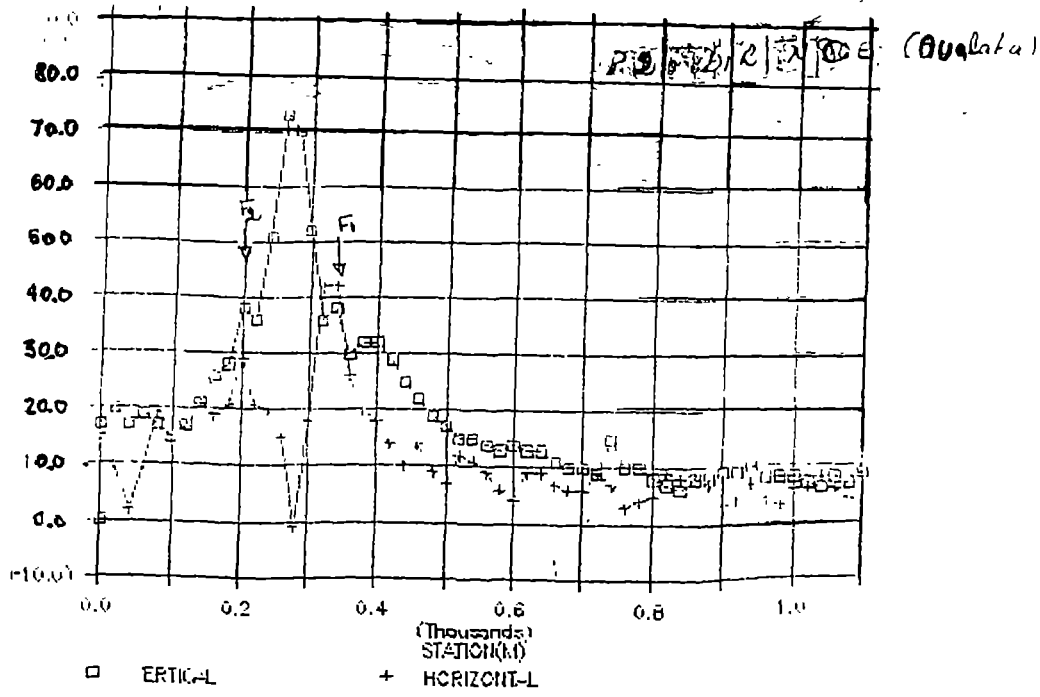
EM34/C20m/P20m/Dir. 90°



Amrichet Adresse 1 Profil E3

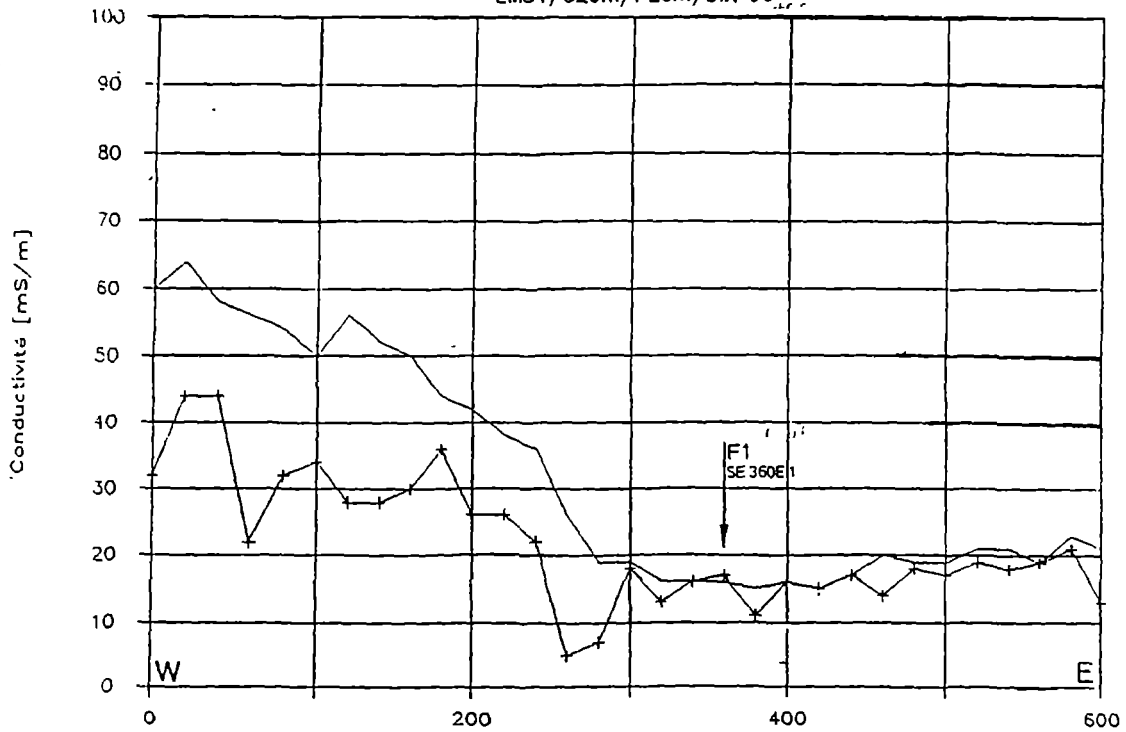
EM34/C20m/P20m/Dir. 270°

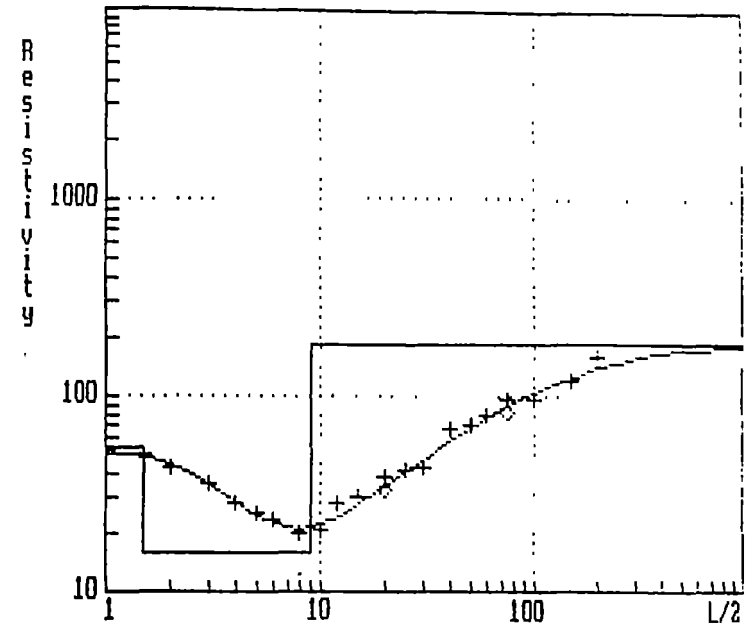
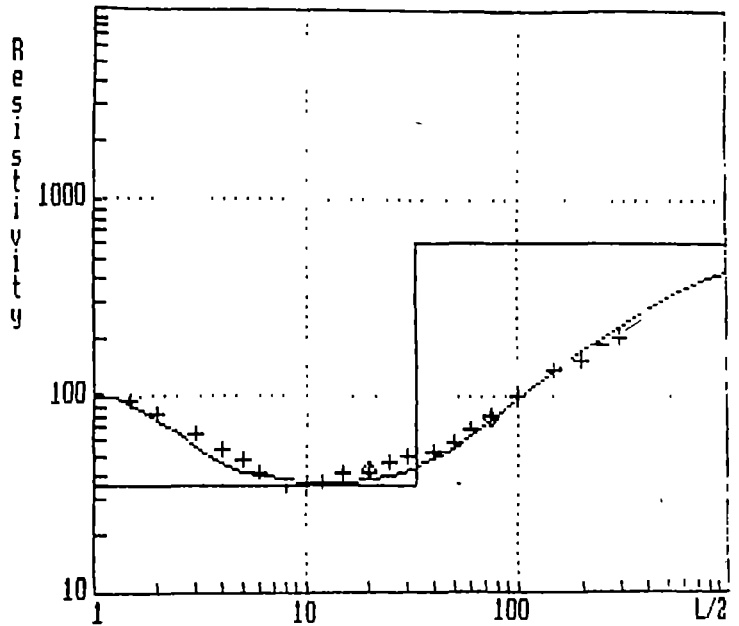




Amrichet Adresse 1 Profil E1

EM34/C20m/P20m/Dir. 90°





Project Name 1492
 Location Amriche Adress
 Coordinates 360E1
 Direction N180E
 Date 25/10/89
 Site propose 1

Disk
 File ML9-S2
 Data
 Sidi et Yahya
 Date
 Schlumberger

Project Name 1492
 Location Amriche Adress 1
 Coordinates 340E4
 Direction N180E
 Date 25/10/89

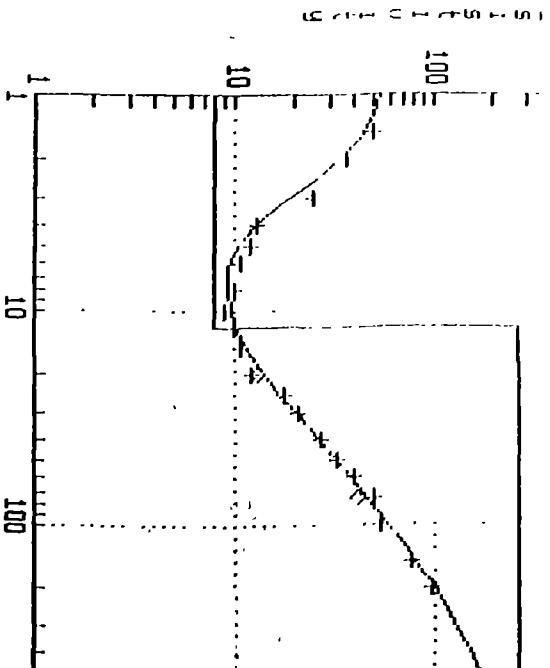
Disk
 File ML9-S4
 Data
 Sidi et Yahya
 Date
 Schlumberger

L/2 (m)	Rho (Ohm.m)	L/2 (m)	Rho (Ohm.m)	L/2 (m)	Rho (Ohm.m)
1.5	97.0	12.0	37.0	60.0	58.0
2.0	81.0	15.0	41.0	75.0	79.0
3.0	65.0	20.0	41.0	75.0	77.0
4.0	54.0	20.0	43.0	100.0	99.0
5.0	49.0	25.0	47.0	150.0	125.0
6.0	42.0	30.0	50.0	200.0	153.0
8.0	36.0	40.0	53.0	250.0	185.0
10.0	35.0	50.0	58.0	300.0	200.0

L/2 (m)	Rho (Ohm.m)	L/2 (m)	Rho (Ohm.m)	L/2 (m)	Rho (Ohm.m)
1.5	51.0	12.0	28.0	60.0	78.0
2.0	43.0	15.0	30.0	75.0	96.0
3.0	36.0	20.0	39.0	75.0	83.0
4.0	28.0	20.0	33.0	100.0	99.0
5.0	25.0	25.0	42.0	150.0	120.0
6.0	23.0	30.0	43.0	200.0	150.0
8.0	20.0	40.0	68.0		
10.0	21.0	50.0	72.0		

Resistivity (Ohm.m)	Depth (m)
115.0	1.0
36.0	33.0
400.0	

Resistivity (Ohm.m)	Depth (m)
54.0	1.5
14.0	9.0
182.0	



Project Name
Location
Coordinates
Direction
Date

1492
Amichet
N270E
25/10/89

Disk
File
Data
Site
Date
Schlumberger

L/2 (m)	Rho (Ohm.m)	L/2 (m)	Rho (Ohm.m)
1.5	51.0	12.0	10.0
2.0	37.0	15.0	11.0
3.0	25.0	20.0	12.0
4.0	13.0	25.0	13.0
5.0	12.0	30.0	18.0
6.0	11.0	40.0	21.0
8.0	10.0	50.0	27.0
10.0	9.0		33.0

Resistivity (Ohm.m) Depth (m)

51.0 12.0

37.0 15.0

25.0 20.0

13.0 25.0

12.0 30.0

11.0 40.0

10.0 50.0

9.0 60.0

IDENTIFICATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE EN MAURITANIE. IMPLANTATION D'OUVRAGES SUR ANOMALIES GEOPHYSIQUES EN MILIEUX DISCONTINUS

Vincent, P.

Bureau Géophysique, Direction de l'Hydraulique

Les rôles du Bureau Géophysique au sein de la Direction de l'Hydraulique (D.H.) sont multiples. L'un des principaux, est de suivre et d'améliorer la connaissance des aquifères souterrains, dans leur géométrie et leurs caractéristiques physiques en Mauritanie.

Il a eu à concevoir, à suivre et à compléter les diverses phases de recherches pour l'alimentation en eau potable (A.E.P.) de villes telle que OUALATA et de sites pastoraux tels que Bir Iguini et Ahmeyne (TJIRIT).

SITE de OUALATA. (A.E.P.)

SITUATION GEOGRAPHIQUE (Carte A).

La ville de OUALATA est une ville ancienne, très enclavée, située dans la région du Hodh ECH CHARGUI, à 110 km au nord de NEMA et à 1 200 km à l'est de la capitale Nouakchott.

Devenue préfecture et site classé par l'UNESCO comme "Patrimoine Mondial", cette ville de 2 500 habitants s'alimentait en eau potable par des puits et temporairement pour le bétail, par les eaux de surface de la retenue d'un barrage sur l'oued Oualata.

HISTORIQUE des CONNAISSANCES

La chronologie des principaux travaux de recherche d'eau potable à Oualata, peut se résumer de la façon suivante :

- 1981- La D.H. édite un dossier hydraulique dans le cadre de la Restauration et Rénovation des Cités Anciennes dont fait partie la ville de OUALATA, avec 1^{er} photo-interprétation.
- 1985 - Dans le cadre du projet CEAO 1, trois forages seront réalisés, sans reconnaissance géophysique préalable. Les résultats sont décevants, (1 forage sec, 1 forage à $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et 1 forage salé à $5480 \mu\text{S Cm}^{-1}$ pour $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).
- 1989 - La D.H. démarre les recherches hydrogéologiques et géophysiques pour l'alimentation en eau potable de la ville de OUALATA et édite un rapport d'évaluation des besoins à mettre en oeuvre pour la poursuite de la reconnaissance, (géophysique et forages).
- 1992 - La D.H. confie à un Bureau d'Etude national, la réalisation d'une prospection géophysique complémentaire qui permet de positionner 27 forages de reconnaissance.

La même année, 22 forages seront entrepris, suivis par 3 autres au début 1993.

La même année, le Bureau Géophysique de la D.H. va intervenir en trois temps dans ce programme :

- **Phase 1** : Analyse et synthèse entre la géophysique et les résultats de 15 forages déjà réalisés.
- **Phase 2** : Complément d'études géophysiques sur le terrain.
- **Phase 3** : Synthèse et choix des nouvelles implantations avec leurs résultats.

INTERVENTION du Bureau Géophysique de la Direction de l'Hydraulique

Le Bureau Géophysique est intervenu en trois phases distinctes. La première a pour but de faire la synthèse des travaux antérieurs ; la deuxième, de reprendre et compléter les études terrains avec de nouvelles méthodes géophysiques ; la troisième, d'effectuer la synthèse afin de comprendre les mécanismes d'alimentation et de proposer de nouvelles implantations de forages.

PHASE 1 : Analyse et Synthèse. (Fig. 1a)

L'analyse des résultats des 15 forages existant, nous permet de découper le site en 3 zones :

- * Zone nord de l'oued
- * Zone amont du barrage
- * Zone aval du barrage

A - Zone nord de l'oued.

Les résultats obtenus sont les suivants :

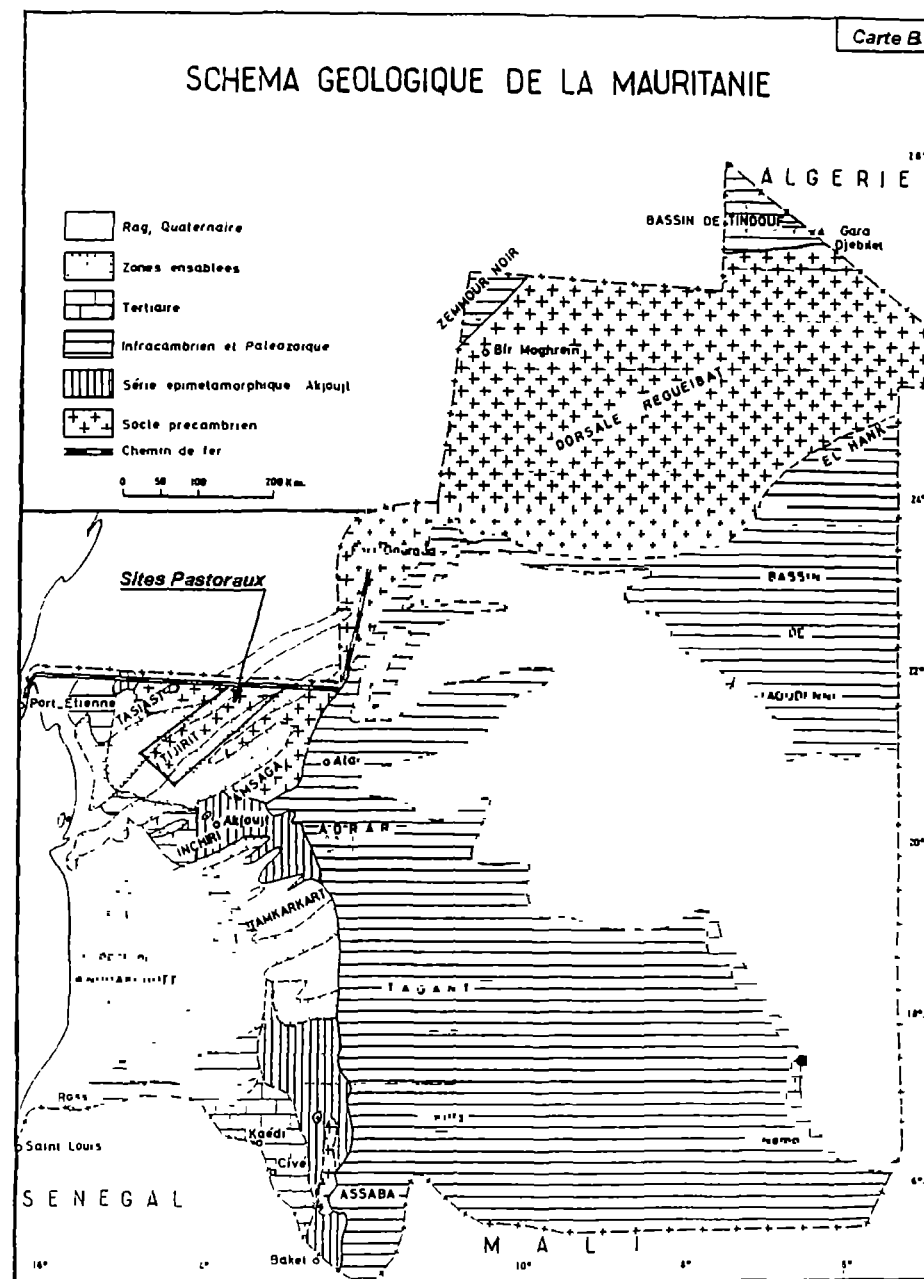
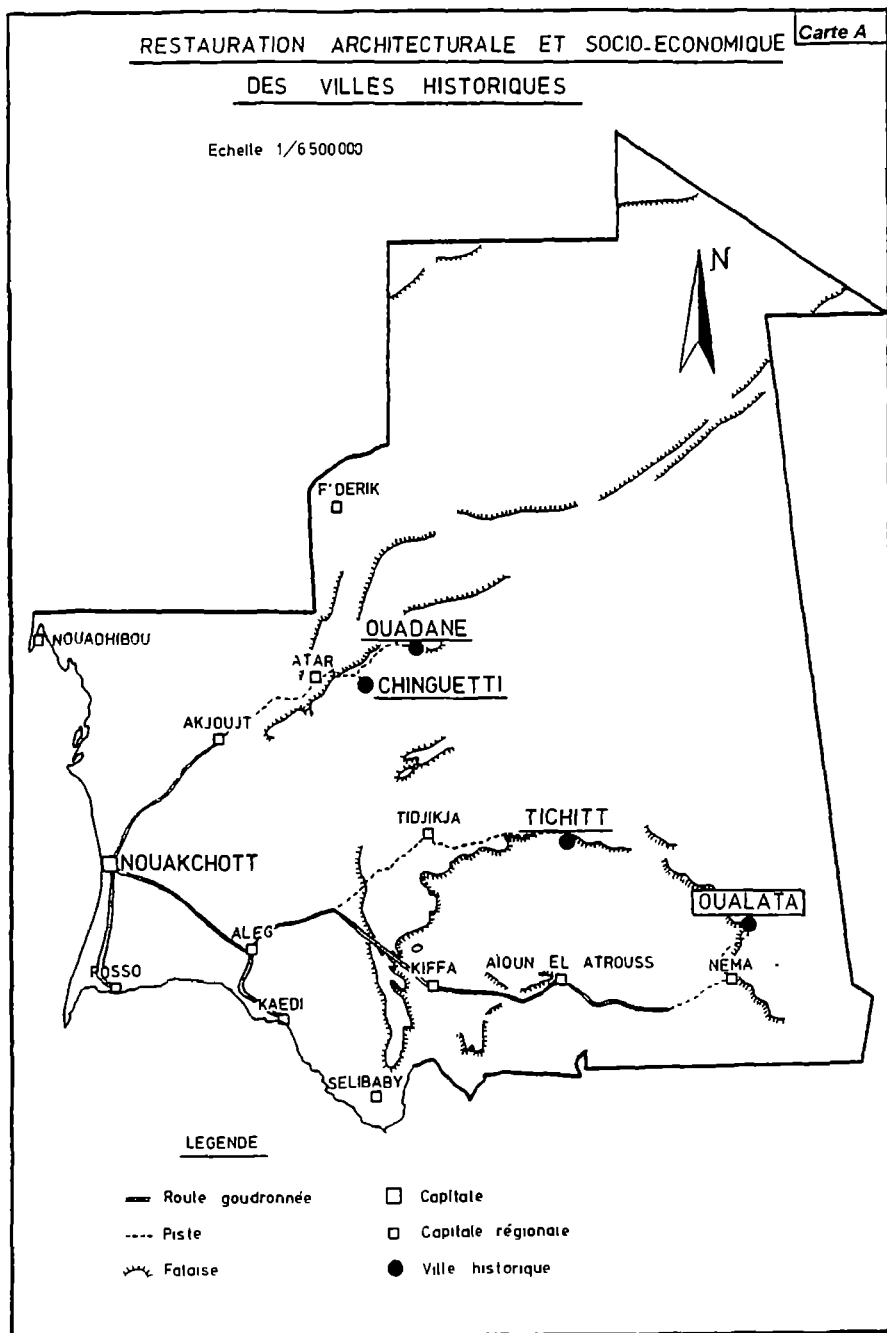
Forages F 7 (sec), F 6 ($1,1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, salé).

Conclusion : Le contexte est défavorable pour une A.E.P. d'où abandon de la suite du programme de forages pour cette zone.

B - Zone amont du barrage.

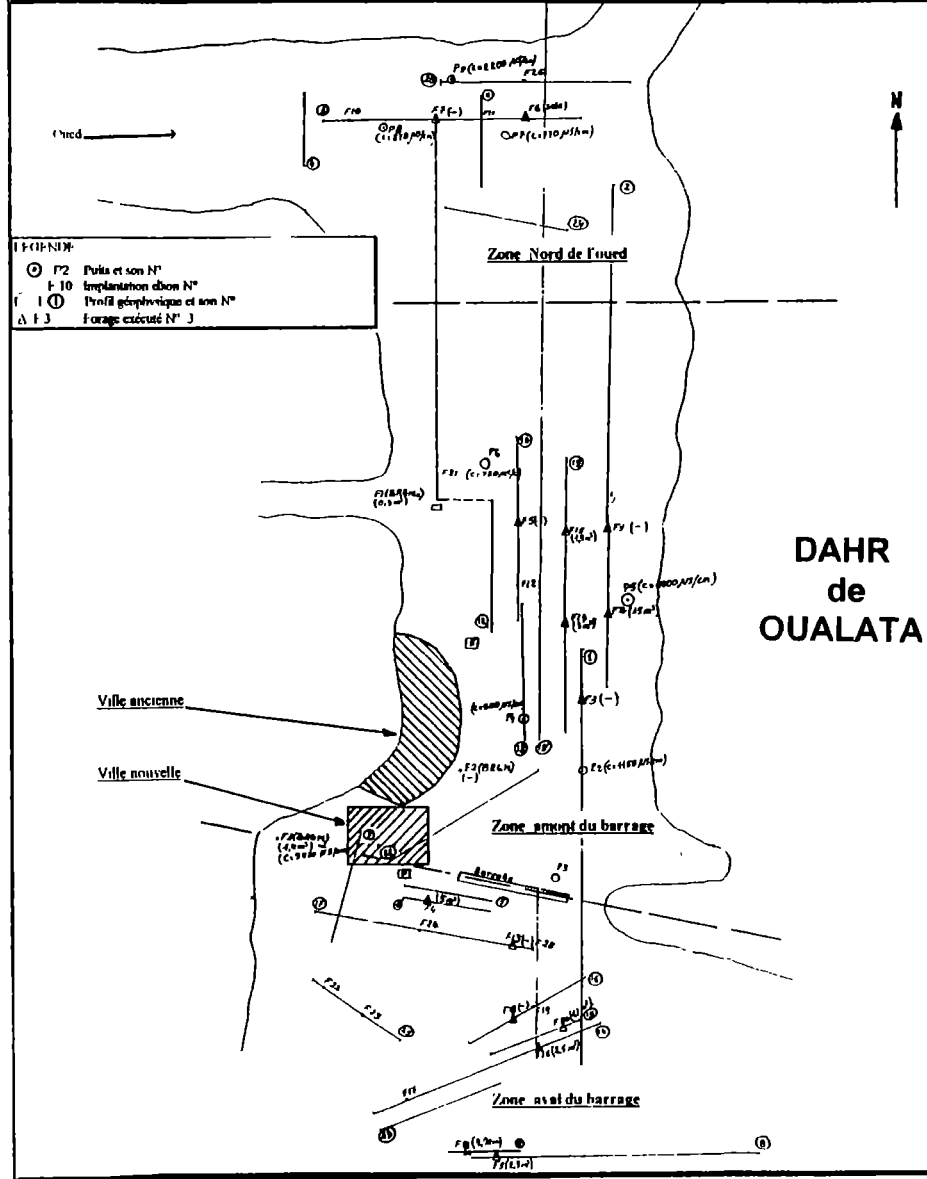
Les forages réalisés présentent les caractéristiques suivantes :

Forages F 1 (sec), F 2 ($15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), F 3 (sec), F 5 (sec), F 14 ($3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), F 15 ($2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$)



Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie
VILLE DE OUALATA
 OUVRAGES HYDRAULIQUES
 Plan de Situation
 Echelle 1/5 000

Fig 1a

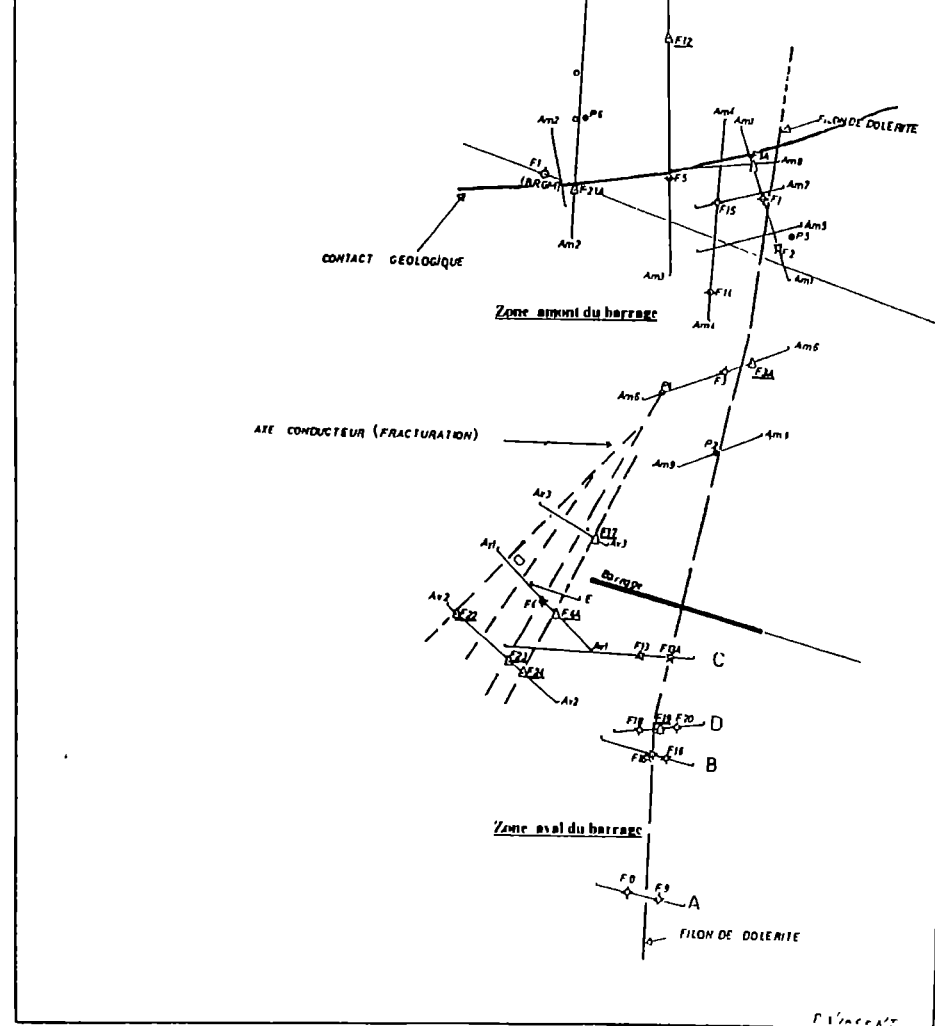


LEGENDE
 ○ F2 Puits et son N°
 F 10 Implantation ébous N°
 F 11 Profil géophysique et son N°
 Δ F 3 Forage exécuté N° J

Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie
VILLE DE OUALATA
 TRAVAUX GEOPHYSIQUE
 Plan de Position
 Echelle 1/5 000

Fig 2a

LEGENDE
 ○ F2 Puits et son N°
 ◇ F 2 Forage réalisé et son N°
 F 1 Am 1 Profils TRAINF et V.I.F. amont barrage N°1
 F 1 Am 1 Profils TRAINF aval barrage N°1
 F 1 A Profils TRAINF et V.I.F. aval barrage
 Δ F 3A Forage proposé N° 3A



On remarque la disparité des débits pour des forages qui entourent le plus prometteur (F 2) dans l'objectif recherché. Il faut donc trouver une cohérence avant de poursuivre la foration des nouveaux ouvrages.

Conclusion : Il faut noter que la plupart des forages à faibles débits sont éloignés des fractures.

C - Zone aval du barrage.

Forages F 4 ($5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), F 8 ($4,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), F 9 ($2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), F 13 (sec), F 16 ($2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), F 18 (sec), F 20 ($1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Aucun forage n'a donné un débit supérieur à $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, que deux forages sont secs et que le forage F 4 est très éloigné des autres

Conclusion : Il est intéressant de poursuivre les études autour du F4 et de forer les "anomalies" géophysiques remarquables.

PHASE 2 : Complément d'études. (Fig. 2a)

Le Bureau Géophysique va intervenir au cours de deux missions de terrain :

A - En juillet 1992 :

- Dans la zone aval du barrage, où seront réalisés les profils A, B, C, D, E, par les méthodes électromagnétique (VLF) et magnétique, calés sur les forages existants.

Les "anomalies VLF" ont alors été forées (F 13A et F 16A).

Ces derniers forages vont mettre en évidence l'existence d'un filon de dolérite qui jouerait le rôle d'écran, (Fig. 3a) ;

Les forages à l'est de l'axe des anomalies sont positifs (F 9, F 16 et F 20).

*Les forages à l'ouest (F 13 et F 18) sont négatifs.

Le Forage (F 8) ne suit pas la règle ; l'anomalie V.L.F. n'a pas la même amplitude "le filon de dolérite doit s'enfoncer et l'effet écran, à ce niveau, ne joue plus."

Le forage (F 4) n'est quant à lui, sur aucune anomalie V.L.F. ou magnétique.

- Dans la zone amont du barrage, où seront réalisés les profils Am 1, Am 2 et Am 3 par les méthodes électromagnétique (VLF) et magnétique, aucune "Anomalie" ne viendra justifier les bons résultats (F 2) comme les mauvais (F 1, F 3 et F 5).

B - En novembre 1992 :

- Dans la zone aval du barrage où seront réalisés les profils Av 1, Av 2 et Av 3, puis une reprise du profils D, par méthodes électriques.

- Dans la zone amont du barrage, les profils Am 1 à Am 3 sont étudiés par méthodes électriques ainsi que les profils Am 4 à Am 9. Cependant les profils Am 5 à Am 9 seront doublés par une méthode électromagnétique (V.L.F)

La démarche adoptée pour la zone amont se présente comme suit .

- 1 - Reprise de la prospection par un Sondage Electrique (SE) sur le puits P 5, le plus proche de F 2 et mesures par Trainé Electrique (TE) sur les profils orientés N-S (Am1 à Am4), avec calage sur un point d'eau connu, (forage ou puits).
- 2 - Poursuite des mesures par Trainé Electrique et V.L.F sur des profils orientés E-W (Am5 à Am9), passant toujours par un ouvrage, (ou s'en rapprochant le plus) (Fig. 4a)

Phase 3 : Synthèse et choix des nouvelles implantations avec leurs résultats.

a - Synthèse zone Amont :

*Par profils (Am5 et Am7) (Fig. 5a), pour trouver une "solution géophysique" au bon débit de F 2. Partant des connaissances acquises sur la zone aval du barrage, et grâce aux profils orientés E-W, retrouvant les mêmes "anomalies", nous avons pu admettre l'extension du filon de dolérite vers le nord du barrage et comprendre les résultats médiocres des forages placés à l'ouest de ce filon

*Par carte d'Iso-Résistivité (Fig. 6a), pour suivre en surface l'évolution et l'orientation des "anomalies géophysiques", l'une de direction N-S, liée à l'existence du filon de dolérite invisible sur la photo aérienne ; l'autre de direction E-W reconnue par la photo aérienne

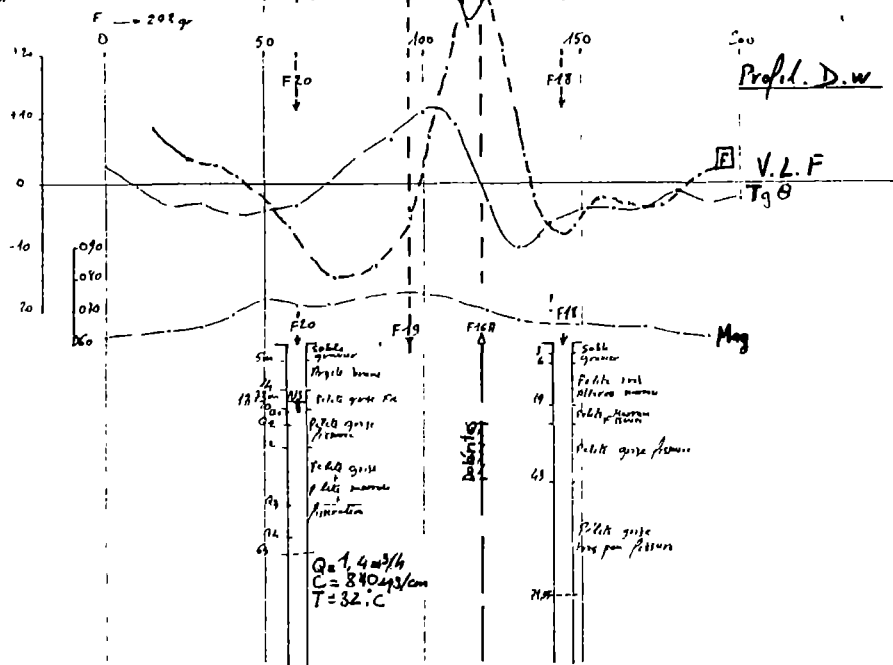
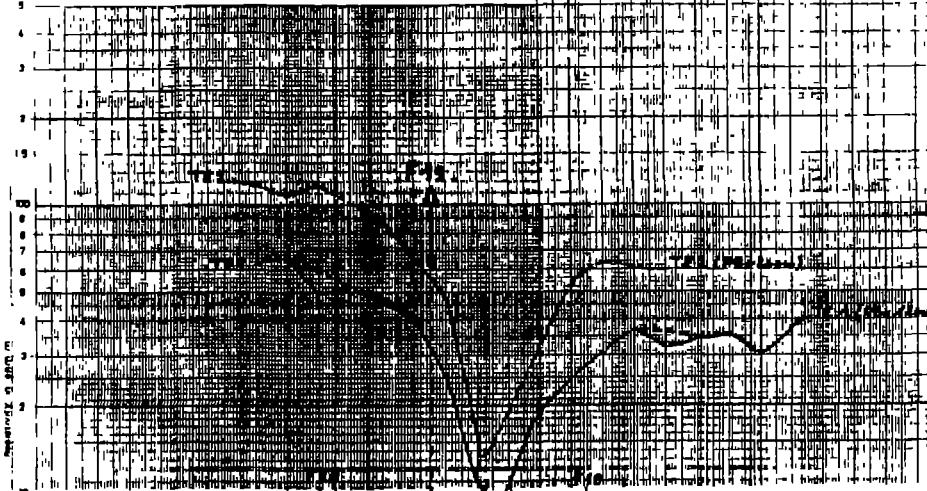
Cette analyse en 2 dimensions nous a permis de :

- implanter le forage F 3A ($18 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) à 60 m du F 3 (sec) ;
- implanter le forage F 2A ($8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) sans appui géophysique, entre F 2 et F 3A ;
- implanter le forage F 1A ($4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) sur un contact géologique ;
- déplacer le forage F 21 en F 21A ($1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) montrant ainsi qu'il n'y aucune recharge par l'ouest ;
- déplacer F 12 sur un accident vu en photo aérienne au nord de la zone avec un résultat négatif.

b - Synthèse zone aval :

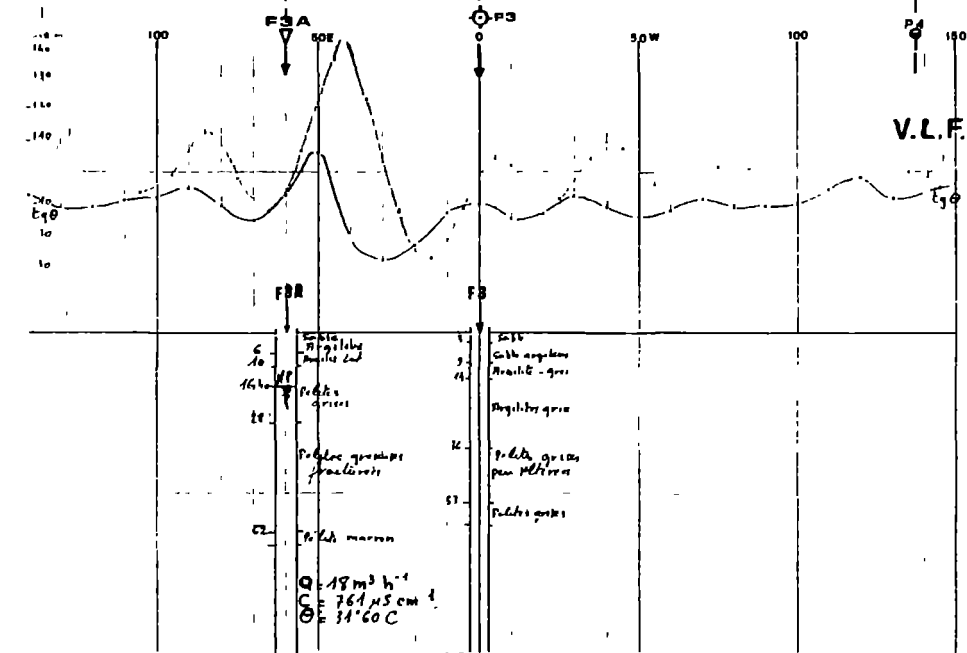
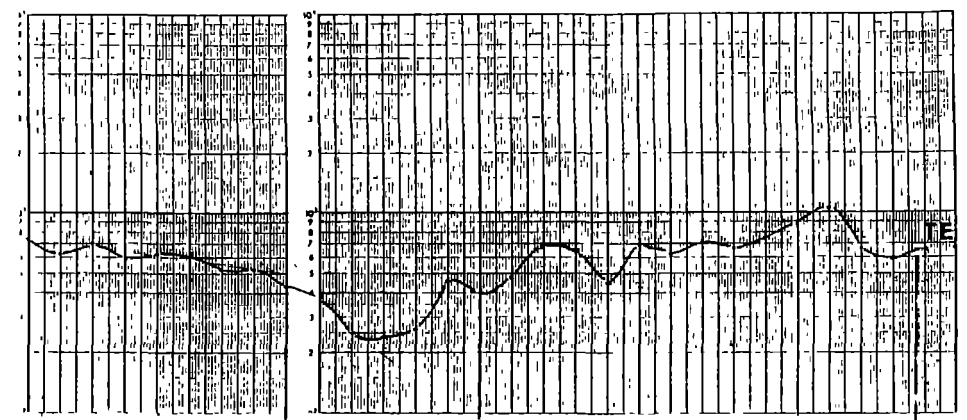
*Par profils A à D, pour rechercher la position optimale d'un forage par rapport à l'anomalie géophysique, quel que soit son type

RESISTIVITY PROFILE N° D.w AB-120m/20m
 ZONE QUALATA MM. 10
 OPERATOR L. Chari DATE 6/11/1982 On On 11



LEGENDE
 P 4 Puits P4
 F 3 Forage F3
 F 3A IMPLANTATION F 3A
 TE Traine Electrique
 V.L.F. Electromagnétique

QUALATA
 PROFIL "TRAINE ELECTRIQUE" & "V.L.F." Am6
 Implantation J & L 1A
 AB 120 m MN 10 Pas de 10 m
 Vhaut 257.4 m



L'implantation du forage F 19 ($4,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) confirme les faibles débits dans la zone aval par rapport à la zone amont.

**Par profils Av 1 à Av 3 et E, pour expliquer le débit de F 4 et chercher à connaître et étendre le potentiel aquifère de cette partie ouest de la zone aval. On remarque la convergence des axes conducteurs vers le puits P 4.*

Les implantations F 4A, F 17 et F 22 à F 24 ont été proposées mais l'échec du F 4A fera que ce programme sera abandonné dans le cadre de l'objectif recherché.

CONCLUSION

L'objectif recherché pour l'alimentation en eau potable de la ville de OUALATA a été atteint. Le travail rigoureux et méthodique entrepris par le Bureau Géophysique a permis d'accroître les connaissances et de reconnaître le potentiel des ressources en eau souterraine. Les forages d'exploitation ($> 8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) sont situés à l'est d'un accident géologique souterrain se comportant comme une barrière hydraulique. Les ouvrages placés sur des accidents de la photo-interprétation sont décevants. Le barrage sur l'oued OUALATA joue un rôle dans l'alimentation des fractures. Le Dahr de OUALATA, à l'est du site, doit constituer la recharge de l'alimentation souterraine des ouvrages qui alimentent aujourd'hui la ville de OUALATA.

Zone du TIJIRIT. (Sites pastoraux)

SITUATION GEOGRAPHIQUE (Carte B).

La zone du TIJIRIT se présente sous la forme d'une péninsule étroite de 20 km de large étirée du S-W au N-E sur 220 km et encadrée par deux cordons dunaires de même direction, l'AZEFAL au N-W et l'AKCHAR au S-E.

Sa vocation est strictement pastorale et le nomadisme correspond à la forme de vie la plus répandue. Les points d'eau permanents sont extrêmement rares (3) et les temporaires (ouglats) guère plus nombreux. La pluviométrie y est très faible, ($< 100 \text{ mm}$). L'accès de cette zone s'avère très difficile.

Les premières RECHERCHES (Fig. 1b)

La zone du TIJIRIT a toujours intéressé les géologues miniers mais très rarement les hydrogéologues.

***Site de Ahmeyine.**

C'est en 1973-75 que des études sont entreprises dans cette région et aboutissent à une première reconnaissance autour des puits de Ahmeyine et El Bouirat, où des forages seront réalisés, permettant de déceler la présence d'eau dans le sous-sol. Aucun puits ne sera creusé sur les forages positifs à l'époque.

***Site de Bir Iguini.**

Aucune étude n'est entreprise autour de Bir Iguini qui dispose de trois puits mais à eau très chargées ($> 8000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$). La Direction de l'Hydraulique va creuser en 1990, sans études géophysiques préalables un nouveau puits qui sera à eau douce mais de faible débit. Le Bureau Géophysique de la D.H. va intervenir sur le site de Ahmeyine, pour retrouver l'emplacement du forage positif à eau douce exécuté 20 ans plus tôt, et sur le site de Bir Iguini pour implanter un nouveau puits à eau douce afin de satisfaire les besoins pastoraux ; aucun point d'eau n'existe sur un rayon de 60 km.

INTERVENTION du Bureau Géophysique

Le Bureau Géophysique est intervenu en trois phases distinctes. La première a pour but de faire la synthèse des travaux antérieurs ; la deuxième, d'effectuer les études terrains avec des méthodes géophysiques appropriées compte tenu des contextes géologique et hydrogéologique connus ; la troisième, d'effectuer la synthèse afin de faire apparaître des mécanismes d'alimentation des eaux souterraines et de proposer une implantation pour puits sur les sites ciblés.

PHASE 1 : Analyse et Synthèse.

- Le seul rapport dont dispose la D.H. sur la zone, est un rapport de M. SIMONOT, synthèse sur la reconnaissance hydrogéologique, projet des Nations Unies (MAU 67-502) de février 1975. Les résultats des campagnes de prospection de janvier 1973 et janvier-février 1975 avec la conclusion sur les ressources en eau souterraines n'intéressent que le site de Ahmeyine.
- Pour le site de Bir Iguini, hormis l'existence de puits et une carte géologique, le travail à réaliser avoisine la recherche exploratoire.

PHASE 2 : Etudes sur le terrain.

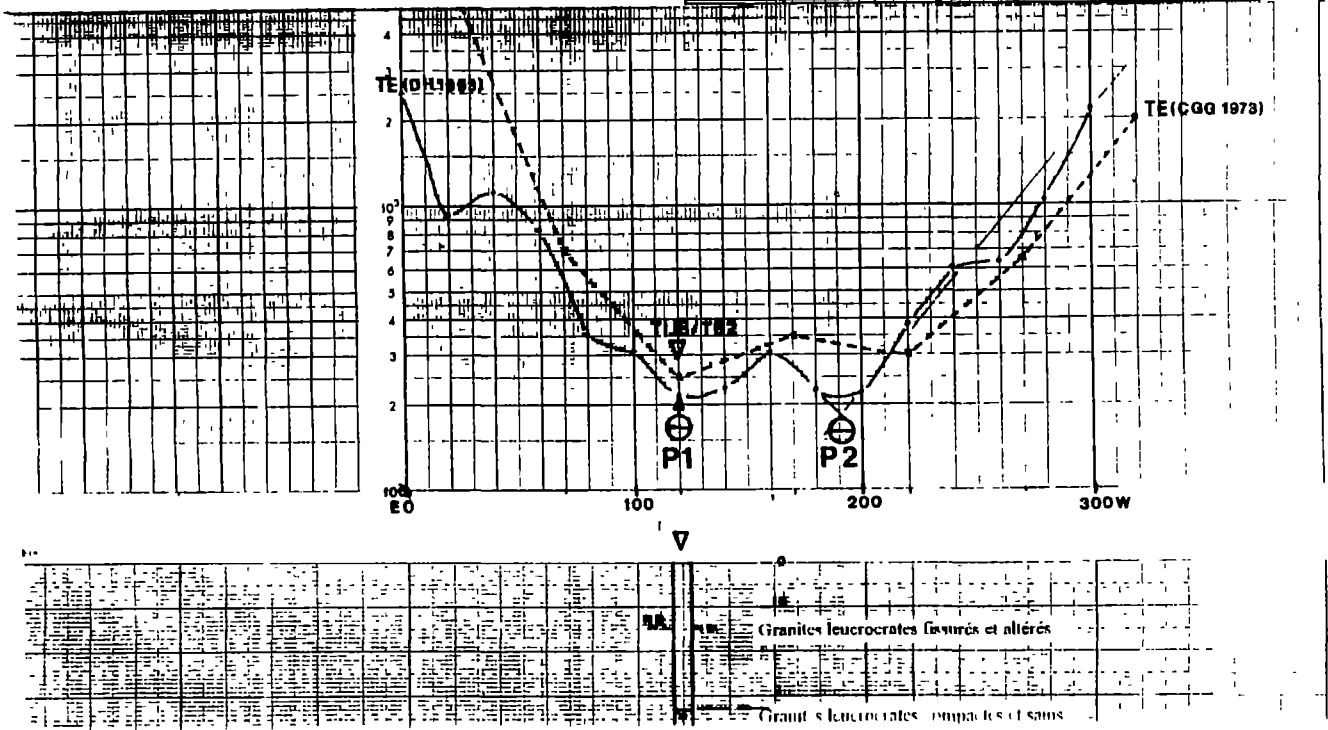
- Site de Ahmeyine (Fig. 2b)

L'objectif, forage de reconnaissance avec eau douce, étant connu sur document, il fallait retrouver sur le terrain la position exacte du forage TIJ8/TB2. Nous n'avons retrouvé aucun indice de surface des travaux antérieurs mais la carte du rapport a été suffisante pour se repérer au sol. Nous avons réalisé un profil par méthode électrique (Trainé Electrique), suivant la même direction que la première étude et avec le même dispositif mais avec un "bond" de 20 m au lieu de 50. Un Sondage Electrique d'étalonnage a été réalisé au droit du puits actuel. Ce puits a fait l'objet d'un relevé

LEGENDE
 P 1 . IMPLANTATION PUIITS 1
 P 2 . IMPLANTATION PUIITS 2
 TIJ8/TB2 Forage de reconnaissance (1975)
 --- TE Trainé Electrique DH (1993)
 - - - TE Trainé Electrique C G G (1973)

(Fig. 2b)

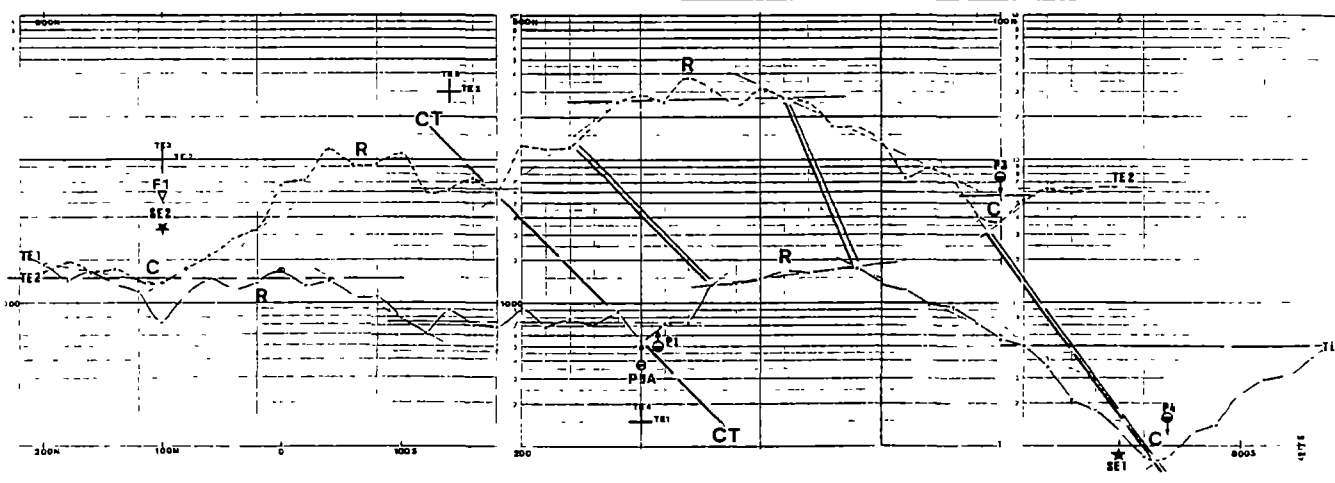
Ahmeyin
 (TUNISIE)
PROFILS "TRAINE ELECTRIQUE"
 AB = 80 m, MN 10, pas de 20 M
 Azimut : 310 Gr.

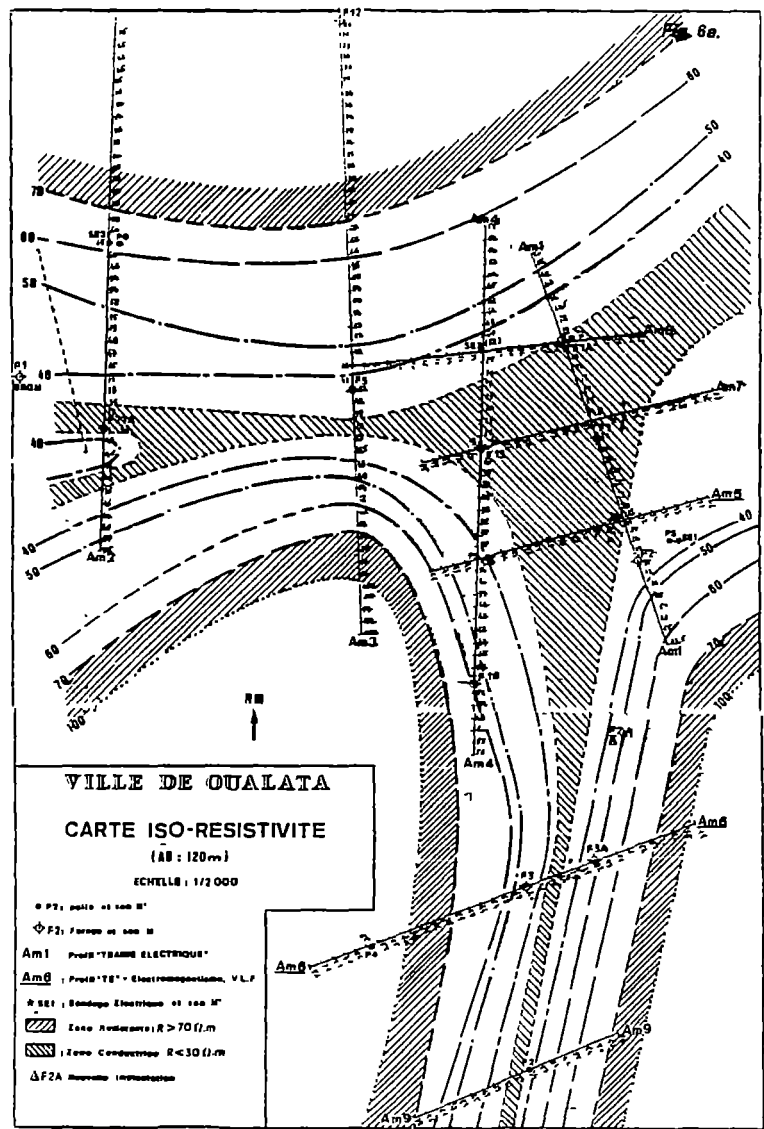
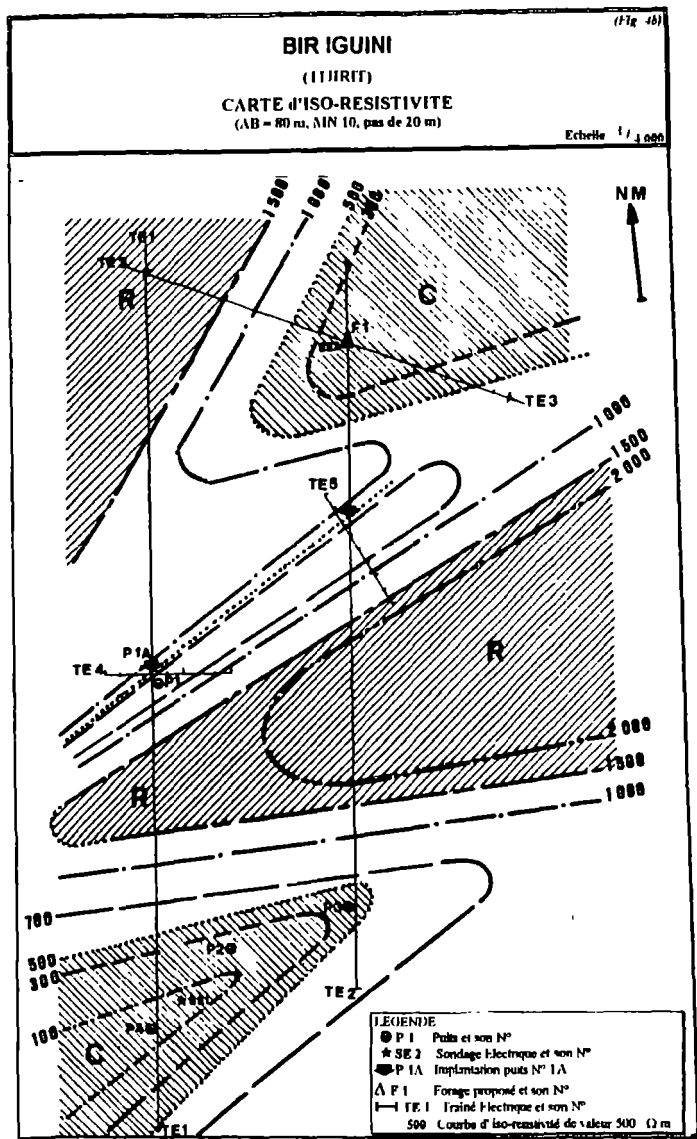


LEGENDE
 P 1 Puits N° 1
 P 1A IMPLANTATION PUIITS 1A
 F 1 Forage proposee et son N°
 SE 2 Sondage Electrique et son N°
 --- TE 1 Trainé Electrique N° 1
 - - - TE 2 Trainé Electrique N° 2
 C Conducteur < 500 Ω.m
 R Resistant > 1500 Ω.m

(Fig. 3b)

Bir Iguini
 (TUNISIE)
PROFILS "TRAINE ELECTRIQUE"
 AB = 80 m, MN 10, pas de 20 M
 Azimut : 6 Gr





piézométrique occasionnel depuis 1959

Dates	1959	1973	1975	1993
Niveau Stat	12.65 m	12.00 m	12.06 m	12.20 m
Cond. $\mu\text{S Cm}^{-1}$	865	1 250	1 515	1 500

- Site de Bir Iguini (Fig. 3b).

Le relevé des puits a d'abord été fait :

Puits	P 1 (D H)	P 2	P 3	P 4
Niveau Stat	15.20 m	15.30 m	ensablé	15.35 m
Température	26°9	26°6	-	-
Cond $\mu\text{S Cm}^{-1}$	1 000	8 500	-	9 000

La méthode électrique, Traîné Electrique (TE), a été utilisé pour tous les profils :

- TE 1 de direction N-S et passant par le puits P 1 et le puits P 4
- TE 2 de même direction et passant par le puits P 3
- TE 3 de direction NW-SE, démarrant au bout de TE 1 et coupant le profil TE 2 (Pte. 800)
- TE 4 de direction E-W, recoupant le profil TE 1, proche du puits P 1
- TE 5 de direction NW-SE, recoupant le profil TE 3 (pt. 560)

Deux Sondages Electriques ont été réalisés pour comparer les résultats entre la partie conductrice au sud-ouest et celle au nord-est de la zone d'étude.

Phase 3 : Synthèse et choix des implantations avec leurs résultats.

- Site de Ahmeyine.

La comparaison des deux profils (celui de 1973 et 1993), montre que l'on a retrouvé la même forme d'anomalie électrique, avec une meilleure précision sur le terrain, (pas de 20 au lieu de 50). La forme de l'anomalie permet de préciser qu'une deuxième unplantation est possible, (marquée P 2).

Résultats : Un puits sur P 1 a été creusé depuis et a bien retrouvé l'eau douce

Le fonçage de P 2 n'a pas été tenté, mais sa situation en partant de P 1 sera facile à retrouver dans le futur.

- Site de Bir Iguini.

Les profils de Traîné Electrique permettent de voir que les puits très salés sont sur des zones très conductrices, pour un environnement résistant à très résistant.

La carte d'Iso-Résistivité (Fig. 4b) montre en surface, l'évolution et la direction des "anomalies électriques". On note deux zones conductrices, séparées par un axe résistant, et une zone de contact. Des effets latéraux et d'anisotropies viennent perturber les mesures électriques.

Résultats : Un nouveau puits, P 1A, a été positionné à 14 m de P 1 et creusé depuis Il a rencontré l'eau douce en plus grande quantité, (n'aurait pas pu être vidé en-fin de creusement). Une deuxième implantation P 3A a été proposée sur le profil TE 2 mais le puits n'a pas été tenté Une troisième implantation, pour forage, a été faite sur l'anomalie conductrice au N-E, dans un but de reconnaissance, l'eau pouvant être salée mais cette anomalie se situe à la jonction de deux affleurements formés par des guelbs

CONCLUSION

L'objectif recherché pour l'implantation de deux puits pastoraux a été atteint.

Les connaissances nouvelles apportées par la géophysique pour le site de Bir Iguini sont très importantes pour le futur car il y aura toujours une demande accrue des besoins en eau douce dans cette région de la Mauritanie.

BIBLIOGRAPHIE

BRGM (1985) Projet CEAO 1.

BURGEAP (1966) Synthèse hydrogéologique et aménagement hydraulique du sud-est Mauritanien.

C G G (1973) Reconnaissances géophysique par méthodes électriques et sismique en Mauritanie.

Direction de l'Hydraulique (1981) Restauration et rénovation des Citées Anciennes, dossier hydraulique, (DONNAT).

Direction de l'Hydraulique (1989) Recherches hydrogéologiques et géophysiques pour l'A.E.P de Oualata (TALFUMIERE).

Direction de l'Hydraulique (1993) Synthèse sur la recherche d'eau souterraine pour l'alimentation en eau potable de la ville de Oualata. (Etudes de surface et forages)

GEO-CONSULT (1992) Prospection géophysique complémentaire pour l'A.E.P. de OUALATA

PNUD (1975) Rapport de synthèse - Reconnaissance hydrogéologique - Zone du TIJIRIT, (M. SIMONOT, MAU 67 502).

PROSPECTION DES FRACTURES AQUIFERES DU SOCLE CRISTALLIN PAR DOSAGE DU GAZ RADON CONTENU DANS LE SOL

R. Mathieu

Bureau de Recherches Géologique et Minière, B P. 6009 ORLEANS Cedex FRANCE

S. Puyoo

Bureau de Recherches Géologique et Minière, B P. 6009 ORLEANS Cedex FRANCE

M. Ricolvi

Bureau de Recherches Géologique et Minière, B P. 6009 ORLEANS Cedex FRANCE

Résumé

En zone de socle cristallin ou métamorphique, la distribution des concentrations de gaz radon dans le sol est influencée par le réseau de fractures sous-jacent. Les anomalies positives (zones à concentrations anormalement élevées) jalonnent les accidents importants. Une étude expérimentale réalisée sur trois champs de captage situés au Burkina Faso dans des contextes hydrogéologiques et climatiques différents, montre que la prospection radon permet de délimiter, à l'intérieur des zones favorables reconnues par géophysique ou photo-interprétation, les secteurs les plus productifs : les 5 forages implantés sur des anomalies radon bien contrastées et étendues ont fourni des débits exceptionnellement élevés (7 à 30 m³/h). Si l'efficacité de la méthode, pour l'implantation des forages à débit élevé, semble démontrée, des progrès restent à faire sur la compréhension des phénomènes qui sont à l'origine de la présence du radon dans le sol (identification des sources émettrices, migration du gaz).

Abstract

In crystalline and metamorphic rocks, the distribution in the soil of the radon gas content is influenced by the underlying fracture network. The positive anomalies (anormally high content) mark out the major faults.

An experimental survey has been carried out on three borehole fields in Burkina Faso, in various hydrogeological and climatological backgrounds. It shows that the radon exploration method allows to spot most productive areas, within those previously found promising by geophysics or photo-interpretation. The five boreholes drilled on large and well contrasted radon anomalies, have produced exceptionally high discharges (7 to 30 cu.m/h).

If the method efficiency seems proved, progress must be made to understand the phenomena that are at the origin of the radon occurrence in the soil (identification of radioactive sources, gas migration).

INTRODUCTION

L'étude statistique des débits obtenus par plusieurs dizaines de milliers de forages réalisés dans le socle cristallin montre que 15 % d'entre eux fournissent un débit supérieur à 5 m³/h. L'analyse du contexte hydrogéologique dans lequel sont situés ces forages à débits élevés ne permet pas de tirer des règles d'implantations qui permettraient d'accroître, de façon significative, la probabilité d'obtenir des débits importants. Autrement dit, dans l'état actuel de nos connaissances, la mise à jour d'un débit supérieur à 5 m³/h dans le socle cristallin est totalement aléatoire.

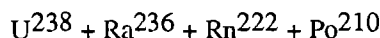
Le développement prévisible de l'agriculture irriguée et de l'alimentation en eau potable des petites villes à partir de l'eau souterraine suppose que l'on soit capable de trouver en zone de socle (où sont concentrés 65 % de la population ouest africaine) des débits ponctuels élevés avec un taux de succès suffisamment important pour que le coût de la recherche n'apparaisse pas comme prohibitif.

La méthode radon, expérimentée en France, est actuellement testée au Burkina Faso dans le cadre de l'étude des milieux fissurés. Les premiers résultats sont prometteurs : il est possible que cette technique de prospection devienne notre outil le plus efficace pour l'implantation des forages à débit maximum.

PRINCIPE DE LA METHODE

Rappels

Les roches cristallines du socle contiennent en très faible quantité (en moyenne 3,5 ppm) mais uniformément réparties, des minéralisations uranifères. Le radon est l'un des descendants de l'uranium ; la filiation simplifiée s'écrit :



Parmi les propriétés du radon on retiendra que :

- le radon est un gaz inerte radioactif, émetteur α très énergétique, de période courte (3,8 jours) : il est possible de le doser par des méthodes physiques extrêmement sensibles et précises ;
- le radon est le seul gaz radioactif présent dans la nature en quantités mesurables : lorsqu'on mesure la radioactivité d'un mélange gazeux, on est certain de doser uniquement le radon ;
- le radon est soluble dans l'eau ; sa solubilité augmente lorsque la température décroît ;
- le radon est 7,5 fois plus lourd que l'air.

Le radon marqueur des fractures aquifères

Pouvoir d'émanation

Les atomes de radon prennent la place, dans le réseau cristallin, des atomes de radium dont ils sont issus. Au moment de sa formation, l'atome de radon conserve une partie de l'énergie produite par la désintégration (énergie de recul). Cette énergie résiduelle provoque un déplacement de l'atome de radon qui varie de 20 à 70 nanomètres. Ce déplacement est suffisant pour permettre aux atomes situés à la surface du cristal de se libérer dans l'espace intergranulaire.

On appelle pouvoir d'émanation, le rapport entre la quantité de radon libérée de la roche hôte et la quantité de radon qui y reste piégée.

Facteurs influençant le pouvoir d'émanation

Le pouvoir d'émanation est d'autant plus grand que la surface de contact entre les cristaux de la roche et l'extérieur est grande. Autrement dit plus une roche est divisée plus le radon aura de possibilité de s'en échapper. A titre d'exemple, le pouvoir d'émanation à partir d'un cristal de NaCl est de 1,7 % alors qu'il peut atteindre 99 % pour une roche uranifère finement broyée.

Le pouvoir d'émanation augmente avec la teneur en eau de la roche mère : lorsque l'hydratation d'une zéolithe (silicate dont la teneur en eau varie sans variation de la structure cristalline) passe de 0 à 7 moles d'eau, le pouvoir d'émanation du radon varie de 1 à 63 %.

Migration du radon dans la roche

Le radon libéré des cristaux par son pouvoir d'émanation va migrer dans la roche en empruntant les espaces intergranulaires et les discontinuités (fractures).

Cette migration sera d'autant plus facile que les discontinuités sont plus nombreuses. De plus si la roche est aquifère, le processus de migration sera renforcé par l'entraînement mécanique de l'eau en mouvement. Cet entraînement étant d'autant plus efficace que le milieu est plus perméable.

En conséquence, au niveau d'une fracture aquifère le dégagement de radon doit être plus important qu'au niveau de la roche saine car :

- ñ la division de la roche fracturée et la présence d'eau augmentent considérablement le pouvoir d'émanation du radon,

- ñ les discontinuités et le mouvement de l'eau favorisent la migration du radon à travers le massif rocheux.

On doit donc par des prélèvements de gaz dans le sol pouvoir mettre en évidence des anomalies positives de concentration en radon qui devraient se situer à la verticale des accidents du socle ; l'extension et l'amplitude de ces anomalies devraient être liées à l'intensité de la fracturation.

PREMIERS RESULTATS DE LA PROSPECTION REALISEE AU BURKINA

Le groupement BRGM-AQUATER a entrepris depuis 1987, sur financements européens, français et italien, l'étude des ressources en eau souterraine des aquifères du socle cristallin au Burkina Faso. Ce projet consiste à étudier et mettre en exploitation 3 champs de captage expérimentaux placés dans des contextes hydrogéologiques et climatiques représentatifs de l'Afrique sahélienne.

Pour implanter les forages de reconnaissance et de production, on a superposé aux techniques d'implantation utilisées classiquement en hydraulique villageoise (photo-interprétation, géophysique) une étude détaillée par prélèvements de gaz radon dans le sol (2000 échantillons analysés).

Constat sur l'efficacité de la méthode

Les résultats des 43 forages réalisés sur les 3 sites sont détaillés dans les tableaux ci-après, en distinguant pour chaque forage la ou les méthodes d'implantation utilisées. Les premières conclusions sur l'efficacité de la prospection radon peuvent être résumées ainsi :

Site de Sanon

Ce premier champ expérimental, situé à 15 km au nord-ouest de Ouagadougou, est constitué par un substratum granitique ancien recouvert d'une épaisse formation altérée saturée (30-45 m).

La prospection radon réalisée sur ce site (900 prélèvements de gaz dans le sol) a mis en évidence une dizaine d'anomalies d'amplitude 3 à 4 fois supérieure à la concentration moyenne régionale (fig. 1).

On constate que sur les 4 forages capables de fournir un débit supérieur à $5 \text{ m}^3/\text{h}$ dans des conditions d'exploitation économiquement acceptables (débit spécifique supérieur ou égal à $0,25 \text{ m}^3/\text{h/m}$) 3 sont placés sur une anomalie radon bien contrastée et étendue (+++).

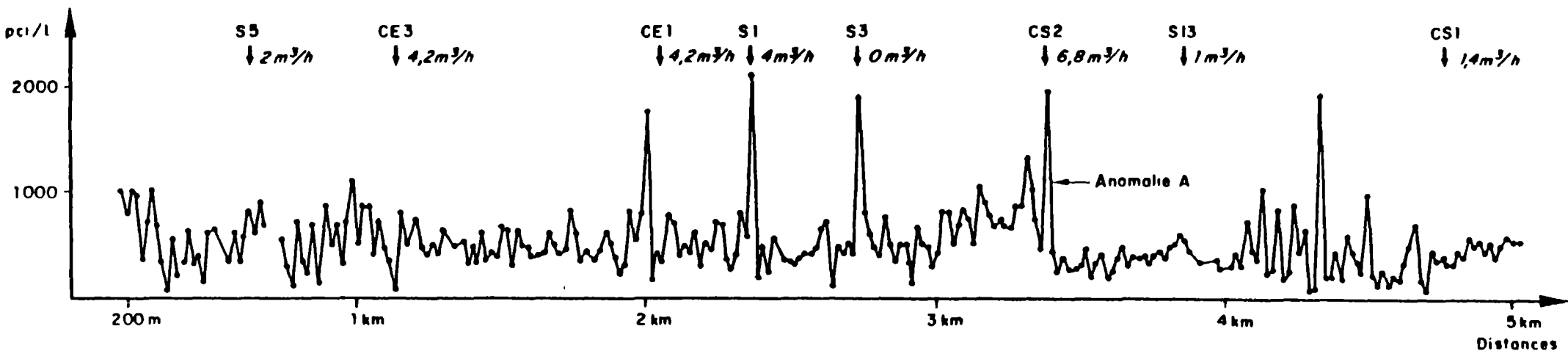
A l'exception du forage S3, tous les forages positionnés sur un pic radon (++) ont rencontré des zones fortement fissurées ; les débits spécifiques varient entre 0,11 et $0,23 \text{ m}^3/\text{h/m}$ selon la puissance et le degré de colmatage de la zone fissurée reconnue.

Site de Katchari

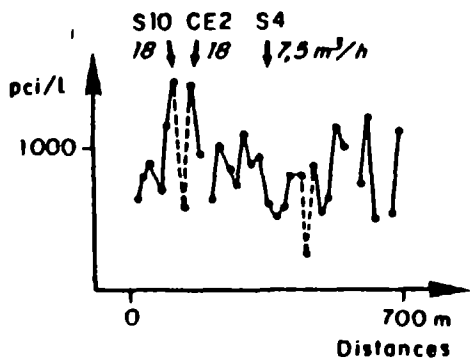
Le site de Katchari est situé en zone sahélienne à 10 km à l'ouest de Dori ; le substratum est ici amphibolitique avec un recouvrement altéré-sec peu épais (15-20 m).

On observe que les concentrations radon moyennes sont beaucoup plus faibles qu'à Sanon (100-150 pci/l) ; cela est dû

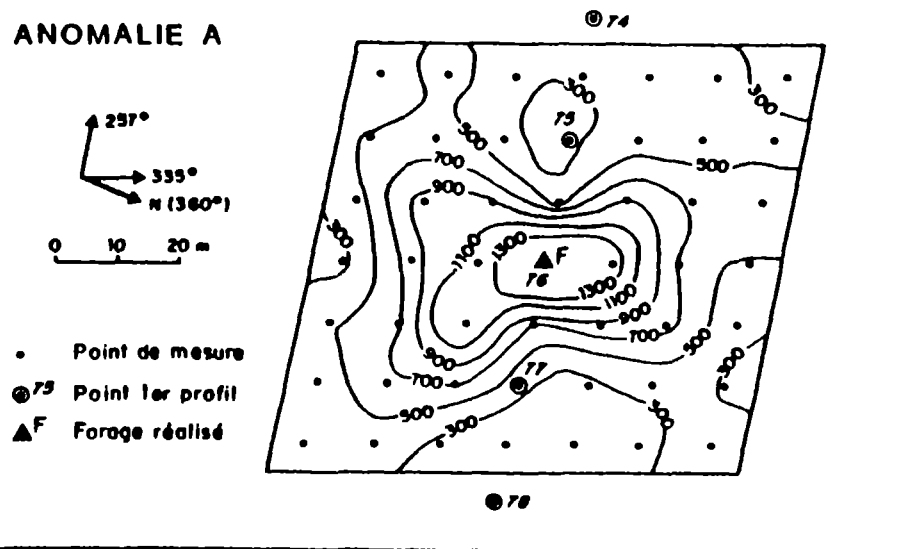
PROFIL 1 (ouest-est) Pas de mesure : 20m



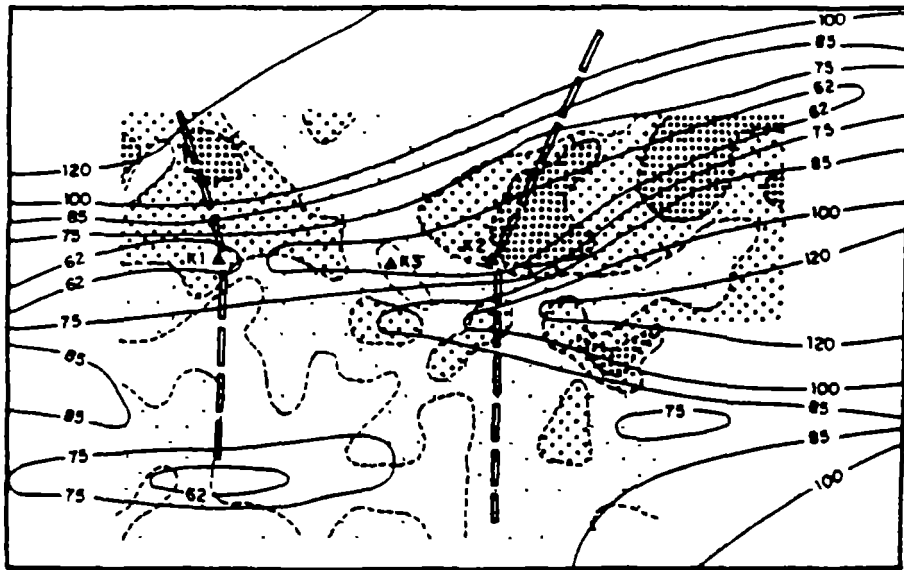
PROFIL 2 (sud-nord) Pas de mesure : 20m



ANOMALIE A



PROSPECTION RADON SUR LE SITE DE SANON



100 — Courbe d'égale résistivité apparente ($\Omega \cdot m$)
(dispositif ABMN orienté N.S.)

— — — — — Axe conducteur d'après carte de résistivité apparente
suivant dispositif ABMN orienté E.W.

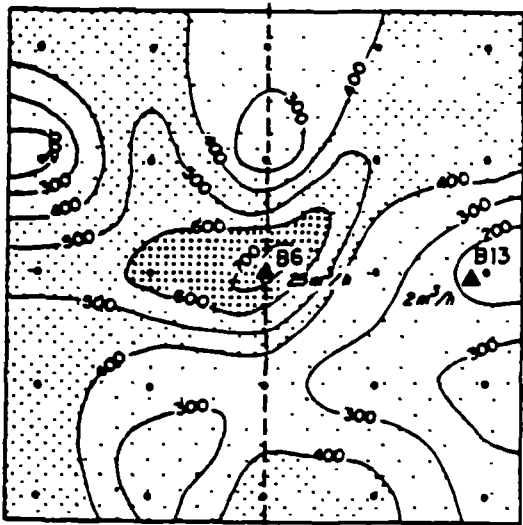
Plages d'isovaleurs de concentration en gaz Radon (pci/L)

< 100 pci/L	150 à 200 pci/L
100 à 150 pci/L	> 200 pci/L

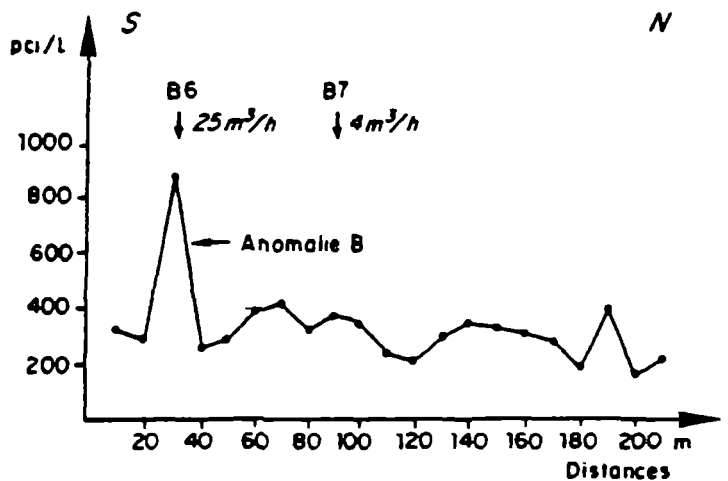
▲ K3 Forage réalisé dans le cadre de l'étude

SITE DE KATCHARI

ANOMALIE B Profils 0 5 m

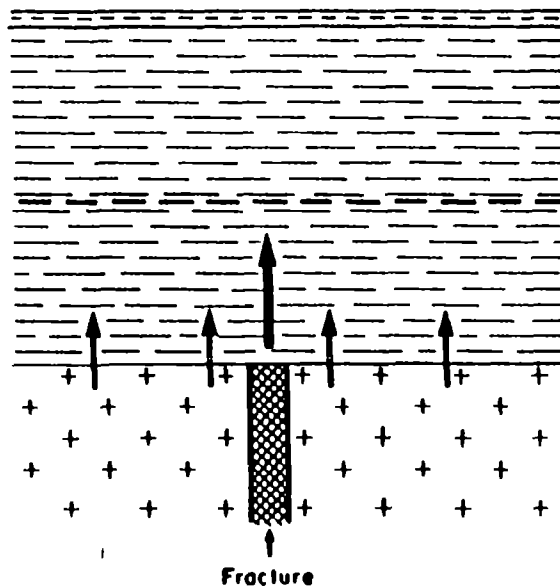
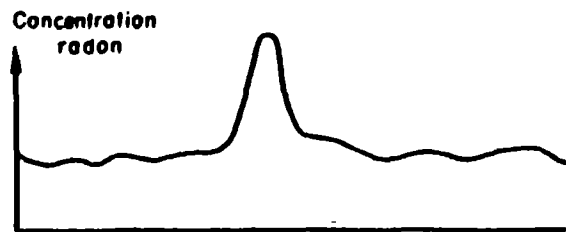


< 200 pci/L	400 à 600 pci/L
200 à 400 pci/L	> 600 pci/L



PROFIL 3 passant par l'ANOMALIE B

SITE DE BAROGO



HYPOTHESE 1

Les zones émettrices sont situées dans le socle

Le pouvoir d'émanation du radon est anormalement élevé au niveau de la zone fracturée (roche mère très divisée, présence d'eau)

Par migration du gaz à travers le recouvrement altéré, l'anomalie de concentration radon se retrouve dans le sol .

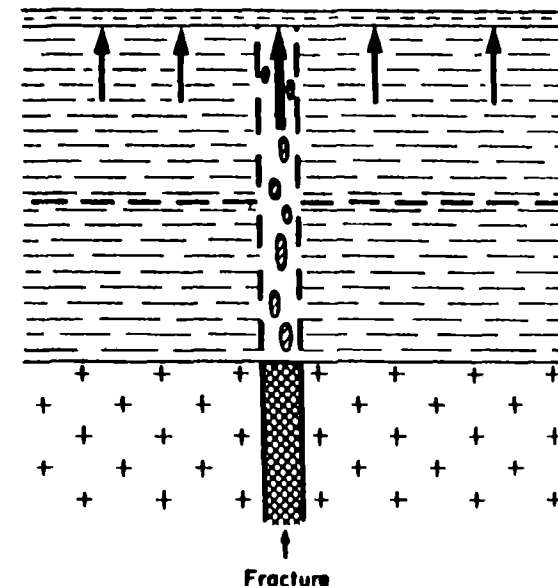


Altérites sèches

Niveau statique

Altérites saturées

Socle



HYPOTHESE 2

Les zones émettrices sont situées dans les altérations

La zone fracturée contient des minéralisations uranifères anormalement fortes par rapport au socle sain environnant . Les sources émettrices, conservées dans les altérations (filon fantôme) sont à l'origine de l'anomalie radon observée dans le sol .

HYPOTHESES SUR L'ORIGINE DU RADON CONTENU DANS LE SOL

N° forage	Méthode			Profondeur (m)	Débit fin foration (m ³ /h)	Débit pompage (m ³ /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)
	R	G	PHM					
K 2	+++	+++	+++	72,0	11,0	12,0	7,3	1,64
K 6	-	++	+++	67,5	11,0	12,0	14,1	0,85
K 4	-	++	+++	63,0	3,5	4,5	11,3	0,40
K 12	-	++	+++	58,5	3,6	4,9	10,2	0,39
K 1	-	+++	++	63,0	5,4	6,0	16,6	0,36
K 3	0	++	+++	52,0	2,0	2,8	17,1	0,16
K 5	0	++	++	63,0	0,5	-	-	-
K 8	0	++	0	58,5	0,2	-	-	-
K 9	-	++	0	58,5	0,2	-	-	-
K 7	0	+	++	54,0	-	-	-	-
K 11	0	++	0	63,0	-	-	-	-

R = prospection radon

G = prospection géophysique

PHM = photointerprétation et géomorphologie

Méthode radon

- méthode non utilisée

0 pas d'anomalie

+ anomalie faiblement contrastée

++ anomalie ponctuelle (pic sur profil)

+++ anomalie contrastée et étendue

Méthode géophysique et géomorphologique

- méthode non utilisée

0 pas d'indices

+ indices peu significatifs

++ indices favorables

+++ indices très favorables

SITE DE BAROGO

N° forage	Méthode			Profondeur (m)	Débit fin foration (m ³ /h)	Débit pompage (m ³ /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)
	R	G	PHM					
B 6	+++	0	++	66	25,0	12,0	7,2	1,67
LEAO 104	0	0	+++	46	20,0	7,2	6,3	1,14
B 4	0	++	+++	81	13,5	12,0	15,0	0,80
B 7	0	+++	++	58	4,0	4,0	7,6	0,52
F 2	0	+++	++	52	14,0	4,8	9,5	0,50
B 2	0	++	+++	54	6,7	6,2	18,4	0,34
CE 1 - 772.1	+	++	+++	51	15,0	6,0	25,5	0,23
B 8	+	++	+	76,5	4,0	4,0	22,0	0,18
CE 1 - 772.2	0	0	++	45	3,2	4,0	25,6	0,15
B 12	-	-	+++	63	3,0	3,5	24,6	0,14
B 9	0	+++	+	58	2,8	-	-	-
B 13	0	0	++	53	2,0	-	-	-
B 3	0	++	++	67,5	1,5	-	-	-
B 5	-	++	0	63,0	1,2	1,5	29,3	0,05
F 1	0	+	++	52,0	1,2	-	-	-
B 10	0	++	++	72,0	1,0	-	-	-
B 1	0	+++	+++	81,0	0,7	-	-	-

R = prospection radon

G = prospection géophysique

PHM = photointerprétation et géomorphologie

Méthode radon

- méthode non utilisée

0 pas d'anomalie

+ anomalie faiblement contrastée

++ anomalie ponctuelle (pic sur profil)

+++ anomalie contrastée et étendue

Méthode géophysique et géomorphologique

- méthode non utilisée

0 pas d'indices

+ indices peu significatifs

++ indices favorables

+++ indices très favorables

SITE DE SANON

N° forage	Méthode			Profondeur (m)	Débit fin foration (m ³ /h)	Débit pompage (m ³ /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m ³ /h/m)
	R	G	PHM					
CE 2	+++	+	+	49,0	18,0	4,0	5,1	0,78
S 10	+++	+	+	63,0	18,0	12,1	20,2	0,60
S 4	0	+++	+	72,0	3,0	7,5	19,0	0,40
CS 2	+++	0	+	67,5	6,8	4,9	14,5	0,34
S 16	-	-	+++	67,5	5,0	7,0	30,0	0,23
CE 1	++	+	++	51,1	4,2	3,6	15,4	0,23
S 6	-	+++	0	76,5	3,0	4,5	20,8	0,22
S 8	++	++	++	58,5	4,0	4,4	27,5	0,16
CE 3	0	+	++	59,0	4,0	4,0	24,4	0,16
S 12	++	0	+	72,0	3,0	3,0	21,3	0,14
S 1	++	0	+	76,5	3,6	4,0	35,3	0,11
CS 1	0	++	+	63,0	2,0	1,4	15,2	0,09
S 5	0	+	++	72,0	2,0	-	-	-
S 13	0	++	+	63,0	1,2	1,2	27,0	0,04
S 3	++	0	+	49,5	0,0	-	-	-

R = prospection radon

G = prospection géophysique

PHM = photointerprétation et géomorphologie

Méthode radon

- méthode non utilisée

0 pas d'anomalie

+ anomalie faiblement contrastée

++ anomalie ponctuelle (pic sur profil)

+++ anomalie contrastée et étendue

Méthode géophysique et géomorphologique

- méthode non utilisée

0 pas d'indices

+ indices peu significatifs

++ indices favorables

+++ indices très favorables

à la nature lithologique du substratum, les roches vertes étant moins riches en minéraux uranifères que les granites. On note également une excellente concordance entre les résultats des prospections électrique et radon ; les anomalies radon sont alignées sur les axes conducteurs qui en géophysique électrique matérialisent les zones fracturées présumées favorables.

L'exemple représenté sur la figure 2 montre clairement l'aptitude de la méthode radon à délimiter, à l'intérieur d'une zone favorable reconnue par géophysique, les secteurs les plus productifs. Le débit spécifique des 3 forages implantés sur le même axe conducteur est d'autant plus élevé que la concentration en radon au droit des forages est plus forte :

$$K_2 = 200 \text{ pci/l}, Q_s = 1,64 \text{ m}^3/\text{h/m}$$

$$K_1 = 160 \text{ pci/l}, Q_s = 0,36 \text{ m}^3/\text{h/m}$$

$$K_3 = 90 \text{ pci/l}, Q_s = 0,16 \text{ m}^3/\text{h/m}$$

Site de Barogo

Comme à Katchari, le niveau moyen d'émanation radon est faible (100 à 300 pci/l). On remarque une bonne correspondance entre les profils électriques et les profils radon ; en particulier, les contacts schistes/roches vertes, bien marqués sur les profils électriques du fait des contrastes de résistivité, apparaissent clairement sur les profils radon, les formations schisteuses étant moins uranifères que les roches vertes

Les 500 prélèvements effectués sur le site n'ont permis de mettre en évidence qu'une seule anomalie bien contrastée (850 pci/l). Le forage B6 positionné au centre de l'anomalie (fig. 3) a fourni 25 m³/h alors que les forages voisins placés sur anomalie géophysique (B7) ou indice morphologique (B13) n'ont donné respectivement que 4 et 2 m³/h.

Conclusions

En zone de socle granitique à recouvrement altéré épais (site de Sanon), les 3 forages implantés sur des anomalies bien contrastées et étendues ont fourni des débits élevés : 7 à 15 m³/h pour 20 m de rabattement. Lorsque les forages sont positionnés sur des anomalies ponctuelles, les résultats sont plus modestes (2 à 5 m³/h). Il faut souligner que dans un tel contexte géologique, la géophysique électrique et la photo-interprétation sont pratiquement inopérantes.

Dans les régions à substratum volcano-sédimentaire (Katchari, Barogo) à recouvrement peu important, la prospection électrique permet de présélectionner les zones favorables. A l'intérieur de ces zones, la méthode radon délimite les secteurs les plus productifs. Les performances des forages implantés dans ces conditions sont alors exceptionnelles : 30 m³/h pour 20 m de rabattement.

Développement de la méthode

Si l'efficacité de la prospection radon pour la recherche des débits élevés dans les aquifères de socle semble démontrée, les mécanismes qui permettent la concentration du gaz dans le sol restent à élucider.

Compte tenu de la brève durée de vie du radon, de sa forte solubilité et de sa densité très supérieure à la densité de l'air, les sources émettrices doivent obligatoirement être situées à proximité du sol. Si le schéma de principe exposé au paragraphe 2 est admissible pour un socle subaffleurant, il ne peut être conservé lorsque les formations cristallines sont séparées de la surface du sol par plusieurs dizaines de mètres d'altérations à prédominance argileuse saturées ou sèches. Dans ce cas, l'hypothèse la plus probable consiste à admettre que les fractures du socle sont des lieux de concentration privilégiés des minéralisations uranifères (minéralisations secondaires) ; ces anomalies géochimiques, conservées dans les produits d'altération jusqu'au niveau du sol (filon fantôme) sont à l'origine des concentrations anormales en gaz radon (fig 4).

Des phénomènes secondaires peuvent perturber la distribution initiale des sources émettrices et donner naissance à des anomalies radon non reliées à la fracturation. On sait que les sels d'uranium sont solubles en milieu oxydant et peuvent être transportés par les eaux de surface ou les eaux souterraines puis précipiter et se concentrer dans des milieux réducteurs confinés comme les amas de matière organique. Les anomalies radon peu contrastées et localisées au droit des lits de rivière ont probablement cette origine.

Pour accroître l'efficacité de la prospection radon, il est nécessaire de mieux comprendre la genèse des anomalies observées. C'est l'objectif assigné aux études que le BRGM va entreprendre sur fonds propres au Burkina Faso. Ces expérimentations consisteront à multiplier les prospections sur des sites bien connus du point de vue hydrogéologique et structural, à établir des corrélations entre les concentrations en gaz et la géochimie des altérations et à préciser l'influence des facteurs extérieurs (température, humidité du sol, pression atmosphérique) sur les niveaux d'émanation. Les données recueillies au terme de ce programme de recherche devraient permettre d'une part de définir les critères d'identification des anomalies reliées aux zones intensément fracturées et d'autre part de fixer les règles d'implantation des forages par rapport à l'anomalie observée.

MISE EN PLACE, ORGANISATION DES RESEAUX DE COLLECTE, TRAITEMENT ET DIFFUSION DES DONNEES SUR LES RESSOURCES EN EAU : EAUX DE SURFACES

Sarr Djibril.

Ingénieur Hydrologue
Chef du Service Hydrologie

L'exposé comprend cinq parties suivantes :

- la partie 1 fait l'historique de la mise en places des réseaux ;
- la partie 2 traite de la collecte et du contrôle des données ;
- la partie 3 aborde les traitements de données ;
- la partie 4 fait place à la diffusion des données ;
- la partie 5 présente la conclusion et les suggestions.

1. HISTORIQUE DES RESEAUX

1.1. PLUVIOMETRIE

1.1.1 Stations climatiques

Les premiers postes pluviométriques ont été installés en 1905 à Kaédi et Nouadhibou.

Ici, les stations climatiques regroupent : les postes pluviométriques, les stations synoptiques et les stations agrométéorologiques. Dans le cadre du Programme AGRHYMET (Agrométéorologie, Hydrologie et Météorologie), un renforcement du réseau existant a commencé à partir de 1978. Il est difficile de donner le nombre exact de stations climatiques implantées, mais il dépasse la centaine car il existe des localités dotées de postes non déclarés.

1.1.2 Codifications

Les stations ont été codifiées en 1987, puis mises à jour en 1990 mais avec la découverte de nombreux pluviomètres, cette codification est caduque.

1.1.3 Répartition et densité

Le réseau est très inégalement réparti. Sur les 108 stations climatiques recensées 85 % se trouvent au Sud et la latitude de Nouakchott qui marque la limite entre le Sahel et le Sahara, et correspond à environ 30 % de la superficie du pays. En faisant abstraction de la superficie au Nord du 18°, la densité moyenne est d'environ 3, soit 2 fois moindre, au minimum de ce qui serait nécessaire. De l'ensemble des stations installées, entre 1905 et 1993, celles qui sont réellement exploitables seraient inférieures à 50 au cours de l'hivernage 1993.

1.1.4 Observations - observateurs

Il y a également à noter les changements fréquents d'observateurs, des déplacements de pluviomètres et des modifications de l'environnement des instruments de mesures. En plus depuis 1989, les carnets n'ont été confectionnés, et les missions de réfection, de contrôle et de collecte n'ont pas été effectuées.

Le matériel d'équipement des stations se dégrade au fil du temps. Non indemnisés, les observateurs ne sont plus motivés à effectuer les relevés correctement.

1.2 HYDROMETRIE

1.2.1 Stations

Les premières batteries d'échelles limnimétriques ont été installées sur le Fleuve Sénégal à Kaédi en 1903, puis à Boghé en 1908. De 1951 à 1966, la MAS (Mission d'Aménagement du Fleuve Sénégal) et l'ORSTOM (Institut Français de Recherches Scientifique pour le Développement en Coopération) ont créé 46 stations : de 1976 à 1970, dans le cadre du Programme ARGHYMET, 11 stations sont reprises, 19 nouvellement installées soit 31 stations.

Actuellement toutes les stations sont complètement dégradées.

1.2.2 Codifications

Les stations ont été codifiées en 1987 et mises à jour à 1990. Cette codification reste valide en 1994.

1.2.3 Répartition et densité

Là aussi le réseau est très inégalement réparti. On constate également que sur les 70 stations, seules 8 sont situées au nord du 18°. Si l'on ne considère que la superficie du située au sud du 18°, la densité moyenne est d'environ 2.

1.2.4 Observations - observateurs

Ils sont également formés dans le tas et rencontrent les mêmes problèmes que ceux des postes pluviométriques.

2. COLLECTE ET CONTRÔLE DE DONNEES

2.1 ORGANISATION DE LA COLLECTE

2.1.1 PLUVIOMETRIE

2.1.1.1. Sources

Les données proviennent des documents de synthèse, des carnets de relevés, des Tableaux Climatologiques Mensuels (TCM) et des messages radio Ministère de l'Intérieur des Postes et Télécommunications (MIPT) et celui du Ministère du Développement Rural et de l'Environnement (MDRE).

2.1.1.2 Qualité

En 1991, sur les 57 stations disposant de données de base, 9 au minimum ont des données inexploitable.

En 1992, sur les 27 stations, 2 ont des données inexploitable.

En 1993, le nombre tombe à 21.

2.1.2 HYDROMETRIE

2.1.2.1 Sources

Ce sont les documents de synthèse, le annuaires, les carnets des observateurs et les enregistrements des limnigraphes.

2.1.2.2 Qualités

Les données quant elles existent sont de bonne qualité.

2.2 CONTROLE

L'archivage et le contrôle de données collectées se font à divers niveaux ; sur le terrain et au bureau.

2.2.1 ORIGINE DES DONNEES MANQUANTES

Les véritables données manquantes sont celles qui n'ont pas été transmises ou qui n'ont pas été recueillies par défaut d'observation

2.2.2 LACUNES

Les hiatus dans les séries chronologiques peuvent être dus à l'arrêt des observations ou) des oublis de report de données.

2.2.3 CAS DES DONNEES ABERRANTES

L'origine des données aberrantes est variable. Elles peuvent résulter souvent de mauvaises mesures, d'erreurs de transmission ou de report.

2.2.3.1 *Erreur de transmission*

2.2.3.2 *Erreurs de report*

3.1 TRAITEMENT MANUEL

3.1.1 PLUVIOMETRIE

- élaboration de fiche mensuelle
- élaboration de fiche récapitulative de toutes les stations
- trace des isohyètes sur carte

3.1.2 HYDROMETRIE

Les fiches confectionnées sont :

- fiches des hauteurs moyennes journalières ;
- fiches de jaugeages ;
- fiches de hauteurs, débits ;
- fiches de débits mensuels, volumes écoulés ;
- fiches des bilans hydrologiques ;

En plus, les limnigrammes et les hydrogrammes sont tracés.

3.2 TRAITEMENT INFORMATIQUE

3.2.1 MATERIEL D'EQUIPEMENT ET LOGICIELS

En général le matériel demande des conditions très difficiles à remplir en Mauritanie, pour fonctionner pendant un intervalle de temps assez long sans subir de dommages. Les logiciels sont difficiles à gérer.

Le manque de coordination dans l'informatisation des structures en place pose actuellement des problèmes d'incompatibilité de logiciels ou de matériels.

3.2.2 PLUVIOMETRIE

Dans les domaines de l'Agrométéorologie et de la Météorologie le logiciel CLICOM a été recommandé pour la gestion de banques de données. Ce logiciel est abandonné

Les logiciels CLIMBASE et SUIVI utilisés auparavant pour le suivi de la campagne agricole, viennent d'être remplacés par CLIMAT.

3.2.3 HYDROMETRIE

Les deux logiciels utilisés pour la gestion de la banque de données sont :

- HYDROM pour le traitement des données hygrométriques
- PLUVIOM pour le traitement des données pluviométriques et pluviographiques

Signalons que DISLOI, HYDROM et PLUVIOM sont développés par l'ORSTOM.

- BLT est un logiciel de traitement de données hydrométriques développé au Centre Régional AGRHYMET de Niamey. L'ancienne version ne tourne plus depuis qu'un virus a attaqué et détruit le premier disque dur.

4. DIFFUSION DES DONNEES

Les données ponctuelles peuvent être fournies en réponse à des demandes.

Par ailleurs, il existe :

- des bulletins décennaires de juin à octobre pour le suivi de la saison des pluies ; ce sont des informations brutes
- des rapports de campagne ;
- des annuaires ;
- des rapports de synthèse.

Les contraintes (budgétaires, matérielles et en ressources humaines) ont provoqué des retards considérables et des limites dans la diffusion des données. L'informatisation des structures, permettra d'assurer les publications dans des délais plus courts, si toutes les difficultés rencontrées sont aplanies.

5. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

La situation actuelle des réseaux pluviométriques et hydrométriques et des institutions de tutelle est préoccupante et nécessite une réflexion approfondie

Pour trouver une solution durable à cette situation, il sera indispensable de tenir compte :

- des causes des échecs des réseaux antérieurs ;
- de la définition de réseaux de base . exploitation continue pendant 20 à 30 ans au minimum ;
- de la mise en place de stations secondaires ; 15 à 20 ans au minimum ;
- de la création de stations spéciales, 10 à 15 ans ;
- des possibilités budgétaires de l'état à assurer le fonctionnement des réseaux à long terme, de l'implantation des réseaux à la diffusion des données en passant par la collecte, le traitement, la gestion informatisée et le stockage ;
- d'une clarification des rôles et des attributions du Service d'Hydrologie afin d'éviter les déménagements qui s'accompagnent, le plus souvent de perte de données anciennes ;
- de la décentralisation de certaines activités au niveau des délégations régionales du MDRE : observations et transmission des souches de relevés ;
- des changements climatiques futurs ;
- de besoins concurrents d'une population en accroissement rapide : qualité, aménagements urbains et ruraux, points, barrages , évacuation des eaux pluviales, transports solides, envasements.

INFORMATISATION DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU : ELEMENTS DE REFLEXION

Icard, P.
Ministère Coopération Française

Les actions menées en 1993 sont parties des constats suivants :

- **Le Ministère de la Coopération** a financé un grand nombre de systèmes informatiques destinés à stocker et gérer les informations sur les points d'eau. La plupart des opérateurs français (ORSTOM, BRGM, BURGEAP et GEOLAB) ont été impliqués dans ces actions. Au niveau régional, le Centre AGRHYMET et, **le CIEH** ont joué un rôle important d'expertise et de conseil auprès des Etats Africains. Celui-ci a tenté de normaliser un certain nombre d'opérations. Il a été le partenaire de projets visant à promouvoir l'informatique moderne
- **Les systèmes en place**, bien qu'ils soient tous fondés sur un moteur de type Dbase, se caractérisent par une grande hétérogénéité. Ils n'ont pas suivi l'évolution des mentalités et des besoins et sont, le plus souvent, restés orientés vers les caractéristiques techniques des ouvrages de captage. De plus, il s'agit, dans la plupart des cas, de systèmes fermés que les opérateurs nationaux ne peuvent pas faire évoluer par leurs propres moyens, et pour lesquels la formation dispensée est restée limitée à un simple apprentissage du logiciel.

Ces actions ont concerné :

- La tenue d'un **séminaire à Ouagadougou (janvier 1993)**, qui a rassemblé les opérateurs français concernés et les coopérants du secteur (11 Etats), et dont les recommandations ont porté sur :
 - la mise en place de bases minimales (comprenant les 30 données fondamentales sur les ouvrages) ;
 - la mise en place de produit "clé en main" ;
 - l'ouverture des systèmes et des fichiers ;
 - la définition de procédures d'actualisation et de mise à jour des programmes ;
 - l'introduction de la dimension géographique dans les outils.

Les travaux ont fait ressortir la nécessité de **faire évoluer les outils** au delà de la logique hydraulique villageoise (programmation des équipements en fonction de besoins estimés), pour permettre une véritable **gestion des ressources en eau**, intégrant les eaux souterraines et les eaux de surface.

Enfin, la nécessité d'une **évaluation générale des systèmes** s'est imposée. Quelques missions ont été effectuées au cours du premier semestre 1993 par l'Office International de l'Eau (Tchad, Sénégal, Bénin, Mauritanie) Les actions nécessaires ont été identifiées et même lancées (Mauritanie).

Eléments de réflexion pour une poursuite des actions.

Les futures actions dans le domaine de la gestion informatisée des ressources en eau doivent prendre en compte :

- **L'évolution des besoins.** D'une manière générale les demandes des utilisateurs se situent sur trois plans :
 - évaluation et suivi des besoins et de la ressource ;
 - planification et suivi des investissements ;
 - gestion cartographique de l'information.

Il se pose par ailleurs, et pas seulement pour des raisons d'ordre financier, le problème de la pérennité et de **l'appropriation des systèmes** par les services nationaux (outils trop spécialisés, peu conviviaux, déficit de formation). La bonne **insertion institutionnelle** des outils est fondamentale et l'accent doit être mis sur le caractère structurant des outils. Par exemple, le développement de modèles mathématiques doit accompagner la création de véritables cellules de pilotage de la ressource dotées des moyens de faire respecter l'exploitation rationnelle des nappes

- **L'évolution des systèmes.**

La décentralisation des outils d'aide à la décision : les tentatives menées jusqu'à présent pour équiper les services régionaux sont restées peu convaincantes. Mais il ne fait aucun doute que la mise au point de versions locales des bases de données va devenir indispensable.

La régionalisation : la compatibilité potentielle des systèmes à l'échelon régional se heurte à l'incompatibilité des données. La mise au point des "bases minimales", contenant un nombre limité d'informations, doit servir de fondement à une mise en cohérence régionale.

L'extension au domaine de l'environnement : les outils développés pour le secteur eau, en particulier les Systèmes d'Information Géographique, peuvent être valorisés et exploités dans un cadre beaucoup plus global.

- **Les nouveaux outils.** Deux axes de recherche et de développement pourraient être explorés.
La mise en place d'*outils de modélisation* comme prolongement des systèmes permettant l'intégration des eaux de surface et des eaux souterraines. Ces outils qui existent mais n'ont jamais été mis en place en Afrique sont les seuls susceptibles d'assurer une véritable planification par confrontation de l'état des besoins et de l'état de la ressource.
A plus long terme, l'utilisation de nouvelles techniques destinées à faciliter les tâches de saisie avec, d'une part, *la vectorisation* d'images (issues des missions aéroportées ou des satellites) et leur utilisation dans les systèmes d'information géographique, et, d'autre part, la contribution de la *reconnaissance optique* des caractères dans la constitution des bases de données factuelles.
- **Le partenariat** Le Ministère de la Coopération a permis de développer d'excellents produits qui n'ont pas d'équivalent dans les autres systèmes de coopération. Un des objectifs à poursuivre doit être la valorisation de ces produits. Cette fonction peut être confiée à *l'Office International de l'EAU*, qui a vocation à intervenir sur ce thème par délégation du Ministère de la Coopération. Un des moyens de cette valorisation peut être l'organisation de séminaires et/ou de sessions de *formation* sur les thèmes de l'exploitation et de la maintenance des bases de données, les méthodes utilisées en planification ainsi que les techniques existant en matière de saisie, de critique et de validation des données. Au niveau des Etats, la recherche de *relations contractuelles avec les développeurs*, en vue d'assurer l'actualisation et le renouvellement des outils, est à mener.

GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Janssens Jan. G.

Banque mondiale

et

Matar Fall

Banque mondiale

DE GRANDS PROBLEMES :

- La demande en eau augmente, pour
 - irriguer les cultures ;
 - préserver la bio-diversité ;
 - conserver les éco-systèmes ;
 - fournir de l'eau potable ;
 - approvisionner l'industrie ;
 - satisfaire les autres agents économiques.
- Des pénuries majeures se produisent.
- La qualité de l'eau se dégrade pratiquement partout.
- Les coûts ont énormément augmenté

QUELQUES CAUSES PRINCIPALES :

- Gestion fragmentée.
- Dépendance excessive sur des organismes publics surchargés.
- Pas assez d'attention portée sur :
 - les prix ;
 - la participation ;
 - l'environnement.

UNE NOUVELLE APPROCHE S'AVERE NECESSAIRE

- Reconnaître que l'eau est :
 - un besoin élémentaire,
 - une denrée économique rare.
- Equilibrer les besoins de :
 - porter l'attention au long-terme et à la protection des éco-systèmes.
 - s'appuyer plus sur les mécanismes de marché, les prix, la gestions décentralisée
- Nouvelle politique adoptée en mai 1993

COMMENT A-T'ON PREPARE CETTE POLITIQUE ?

- Un processus participatif
- Commencé en 1991.
- De vastes consultations auprès des :
 - pays emprunteurs ;
 - organisations internationales ;
 - ONG ;
 - experts indépendants ;
 - personnel de la Banque ;
- Plusieurs ateliers participatifs.

OBJECTIFS DE LA POLITIQUE :

- Guider le personnel de la Banque
- Établir des critères pour les nouveaux prêts de la Banque.

LES PRINCIPAUX ASPECTS :

- Un cadre global.
- L'accent est mis plus fortement sur :
 - les incitations ;
 - les prix ;
 - la gestion de la demande ;
 - le recouvrement des coûts.
- La mise en place de cadres juridiques et réglementaires solides.
- La décentralisation des services.
- Le besoin de mécanismes de coordination.
- La protection, l'amélioration et le rétablissement de la qualité de l'eau.
- Servir les pauvres en priorité.
- Un programme ambitieux
- Pour chaque pays, les priorités sont différentes.
- La mise en œuvre devra :
 - être progressive ;
 - tenir compte des différences

BANQUE MONDIALE Gestion des ressources en eau - Document de politique générale.

- L'eau : depuis 30 ans, un des secteurs pour lequel la Banque a le plus prêté
- Plus de 40 milliards de \$ prêtés (environ 15 % du total des prêts).
- Prêts prévus pour les 5 prochaines années :
 - environ 20 milliards de dollars ;
 - sur près de 200 projets.
- Besoins globaux : 800 milliards de dollars sur les dix prochaines années

SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE, BASES DE DONNÉES ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU APPLICATION À LA MAURITANIE

Emsellem, Yves

GeoLab Rue A. Einstein. BP 117
06902 Sophia Antipolis Cedex

La gestion des ressources en eau nécessite un ensemble complet et cohérent de logiciels pour traiter les informations de la reconnaissance de terrain, des projets, de la programmation, de l'aménagement du territoire et de la maintenance des investissements. Ces fonctions sont remplies par l'Intégrateur, IRH, GeoFor et GeoVil (Fig. 1).

L'Intégrateur, construit pour étudier la faisabilité des projets de l'hydraulique villageoise, puise ses informations dans le système IRH de gestion des données alphanumériques de villages, de points d'eau, de mesures périodiques, de maintenance.

IRH est alimenté par GeoFor, pour les points d'eau, et GeoVil, pour les villages.

L'Intégrateur décrit les systèmes à l'aide des cartes saisies à l'aide du Système d'information chronogéographique SICG Geo.

Geo convertit également les données cartographiées en données de modèles de ressources en eau Lab, permettant d'étudier et de contrôler la gestion des ressources en eau souterraine et superficielle, en quantité et qualité, au niveau local et au niveau régional.

1 - L'INTEGRATEUR

élabore les dossiers de faisabilité des projets d'hydraulique villageoise, des dossiers de mise en valeur des ressources en eau, de l'agriculture, de la santé publique, de l'économie, de la programmation, de l'aménagement du territoire.

L'Intégrateur est à la fois un outil de programmation, un SICG système d'information chronogéographique, un outil de gestion des projets, de mise à jour et d'interrogation des bases de données des points d'eau et des villages.

Conçu à l'initiative du Ministère Français de la Coopération autour du S.I.C.G. Geo, système d'information chronogéographique, il permet d'élaborer et d'éditer les cartes de population et de besoins en eau, de ressources naturelles, de climat et d'hydrométéorologie, de l'agriculture, de l'élevage, des infrastructures, sur fond de cartes administratives.

Utilisant l'ensemble des données ponctuelles ou réparties stockées dans les bases de données disponibles, il permet de calculer et confronter les différents indicateurs caractéristiques d'un programme et de les cartographier.

Pour ce faire, il utilise des choix hiérarchisés élaborés par l'utilisateur. Doté d'une base de coûts unitaires, il permet de calculer les métrés et les coûts d'un projet.

L'Intégrateur exploite

- * les données alphanumériques issues de tous les fichiers de données au format dBase/xBase, notamment des fichiers du système IRH, mais aussi d'autres systèmes tels que SIGMA, Prosper, Progrès, Gorée, IRH Burkina,
- * les cartes construites à l'aide de l'Editeur Geo, ou importées depuis Atlas GIS, Atlas Draw, Mapinfo, Autocad, Arcinfo.

L'Intégrateur permet également d'importer des images satellites SPOT et les résultats de leur traitement sur station Unix ou sur PC, notamment la topographie, le réseau hydrographique, les routes, les villes, les fractures, l'occupation des sols, les besoins en eau.

Conçu pour les pays de l'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique Centrale, il peut être employé pour tout projet de développement intégré.

L'Intégrateur est composé de

Geo,

système d'information chrono-géographique, destiné à la création la modification, la consultation, l'affichage, l'impression

des cartes

géographie - hydrométéorologie

géologie - hydrogéologie

population, sols, climats, agriculture,

mais aussi de tout thème créé très simplement à l'aide du Configurateur inclus,

de la base des données

des points d'eau et des villages:

la population, le bétail petit et grand,

les équipements, école, marché, dispensaire,

les ouvrages, puits, forages, sources, mares

les nappes, les épaisseurs d'altération, les fractures dans le socle, les profondeurs atteintes, les gammes de débits obtenus,

les programmes réalisés ou programmés,

des séries chronologiques,
 météorologie, hydrologie, prélèvements,
 des tableaux normatifs
 besoins en eau unitaires,
 coût de la reconnaissance,
 coût des forages,
 coût de la maintenance

- * **Un configurateur**
 permettant de créer de nouveaux thèmes et de nouvelles cartes, de définir et modifier leur contenu, de créer et modifier la nature et les attributs des objets qui les composent,
- * **Un module de planification**
 pour trouver l'adéquation des besoins et des ressources,
- * **Un module de faisabilité des projets**
 permettant de définir, en fonction de priorités modifiables, le métré et les coûts des ouvrages à réaliser.
- * **Un module de programmation**
 des investissements adaptés aux besoins,
- * **Des utilitaires**
 mise à jour des bases de données,
 importation et exportation de données aux
 formats courants,
 dessin, zoom,
 interpolation des données,
 affichage deux et trois dimensions,
 affichage de séries chronologiques,
 sélection des zones de travail,
 calculs à partir des données stockées.

En pointant sur un village on fait apparaître et l'on peut modifier sa fiche, composée des données caractéristiques du village, des points d'eau et de son plan schématique. En appelant à partir de la fiche village les forages du village, on fait apparaître leur fiche, et vice-versa.

De même, en pointant sur une zone géologique, sur une ville, une route, un lac, une source ou une rivière, le nom et les caractéristiques de l'objet apparaissent dans la boîte de dialogue.

L'intégrateur permet de fusionner des cartes superposées ou jointives en une seule carte.

Construit comme tous les logiciels Geolab en suivant strictement les règles strictes de la programmation moderne, il peut être aisément étendu, modifié, amélioré, adapté dans de courts délais sans dépendre d'éditeurs extérieurs.

Sorties

L'Intégrateur produit trois types de résultats:

- * les cartes affichées à l'écran peuvent à tout instant être capturées au format BMP, PCX, LBM, et imprimées sur toute imprimante laser ou couleur figurant dans la liste gérée par Windows.
- * Les cartes de l'Intégrateur sont des objets vectorisés: elles peuvent donc être tracées à une échelle quelconque sur plotter. La sélection de la coupure se fait à l'écran.
- * Les résultats de l'étude de faisabilité sous forme de fichiers textes récupérable dans les traitement de texte pour mise en forme (Fig. 2).

2 - IRH

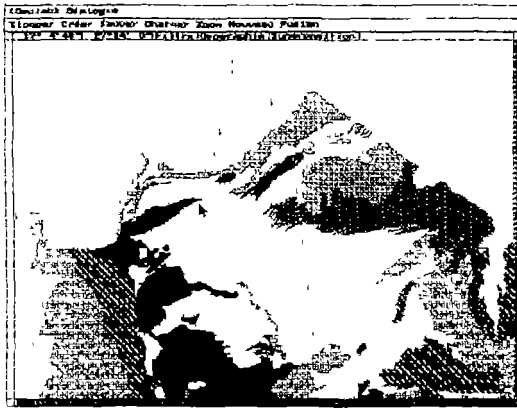
Système multifichiers, relationnel, régionalisé, des données des points d'eau au format de fichiers dBase, créé sur financement FAC pour le Ministère de l'Hydraulique du Niger, IRH est en cours d'installation en Mauritanie et au Mali. Il est utilisable par tout autre Etat Africain.

IRH est utilisé depuis 1989 pour la saisie, la mise à jour, la modification, et la consultation des fichiers par la Direction de l'Hydraulique du Niger et ses Directions Départementales, puis par les Projets et les ONG.

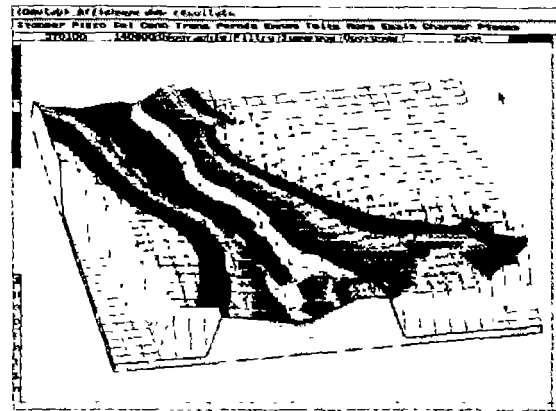
Comme tous les programmes Geolab, IRH n'est pas protégé contre la copie. Bien mieux, les sources du code Clipper sont fournies aux utilisateurs pour leur permettre de le faire évoluer et leur assurer une totale sécurité d'utilisation.

C'est le seul système de ce type actuellement opérationnel.

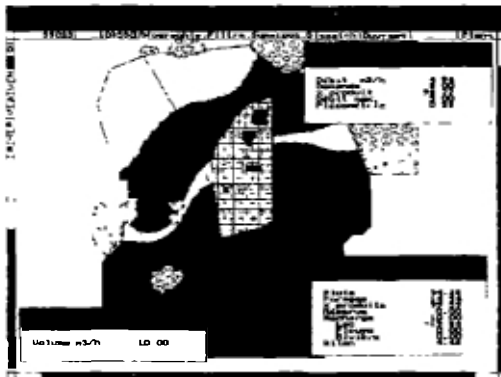
Le Menu ouvre une fenêtre offrant le choix entre les diverses possibilités de traitement des données :



Esquisse de la carte géologique



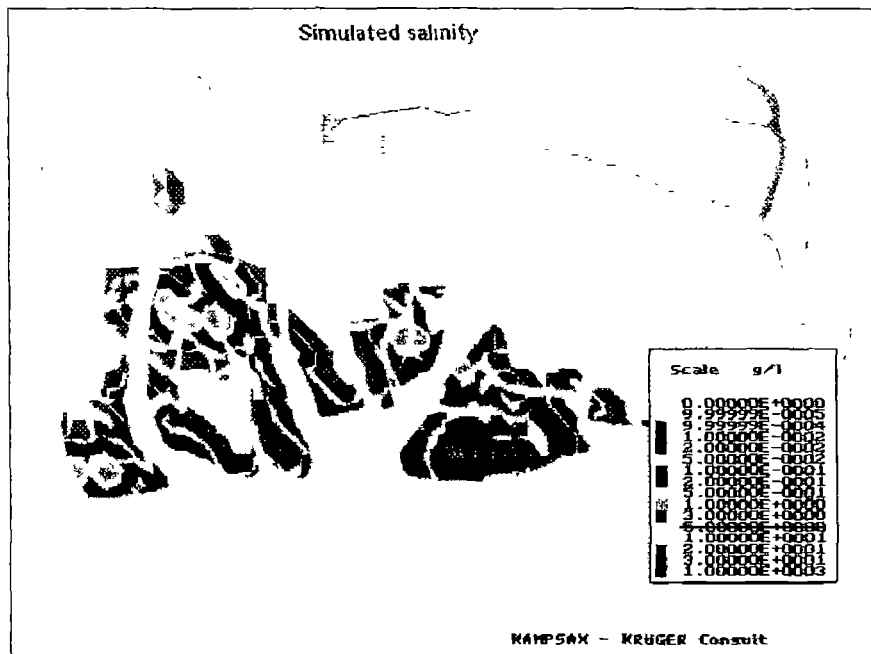
Vue en trois dimensions de l'écoulement de surface dans un système sédimentaire



Contrôle des simulations



Simulation de la piézométrie



Invasion simulée des nappes profondes sous la mangrove par l'eau salée

- * Saisie
 points d'eau, villages,
 projets, pompes, analyses,
 mesures, maintenance
- * Consultation des données,
- * Synthèses,
- * Modification des fiches
- * Suppression des fiches.
- * Edition rapports et listes,
- * Edition de la fiche ARH synthétique d'un village
- * Interrogation de la base par menu logique (et, ou, +, -, <, >, () etc)
- * Sauvegarde
- * Bases départementales

Le système comporte six fichiers :

Village
Point d'eau
Projets
Maintenance
Analyses
Mesures périodiques

La rubrique Village permet de saisir et modifier :

Généralités: Position, Références, population, structure de l'habitat, Dispensaires, Ecoles, Centre religieux,

Consommations: Bétail (bovins, ovins, caprins, camélins, ...) Maraîchage, irrigation, artisanat/industrie,

Souhaits du village: pompe, puits, forage, AEP, Retenue,

Inventaire des ressources puisards, puits traditionnels, améliorés, maraîchers, cimentés, exploitables, pastoraux, sondages, piézomètres, forages-puits, pompes à motricité humaine, points d'eau privés, AEP, Sources, mares, Alimentation en Eau Potable Villageoise, cours d'eau, barrages, date de mise à jour.

Hydrogéologie: bassin versant, pluviométrie, aquifères, productivité, formations, qualité de l'eau.

La rubrique Point d'eau appelle au choix: le **Dossier complet** ou le dossier simplifié :

Généralités: coordonnées, village, nom, indice, position, entreprise, dates, études préalables, profondeur, finalité, Niveau statique, débit utile

Caractéristiques principales, usage,

Coupe géologique détaillée,

Aquifères: nature, cotes, nappe, venues d'eau,

Coupe technique, Gravier filtrant, Foration, Cimentation, Packer, Vitesses d'avancement, Tubages, crépines
Superstructures, Pompes

La rubrique Maintenance décrit :

pompes, réparateur, Pièces, interventions

La rubrique Analyses détaille les analyses

physico-chimiques ou bactériologiques

La rubrique Projet spécifie:

Généralités

Nom, Financement, Sources, Montant,

Finalités du projet, Zones d'intervention

Montant prévisionnel, Montant réel

Année de démarrage,

Maître d'ouvrage, Maître d'oeuvre,

Sondages de reconnaissance,

Bureaux d'études, Supervision, Entreprises

Villages concernés, Dossier de projet

La rubrique Mesures périodiques concerne:

Visite de points d'eau, Maintenance

Analyses physico-chimique ou bactériologique

Piézométrie

I.R.H., base de données relationnelle, comporte en outre :

* un glossaire en ligne,

* une aide en ligne,

* les contrôles logiques systématiques à la saisie.



fig 4 - Transmissivité



fig5 .saisie des données historiques

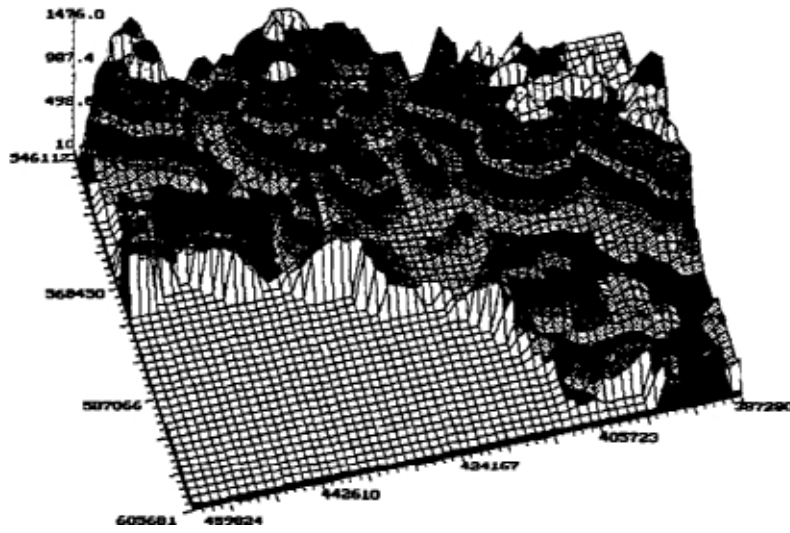


fig. 6 - Vue 3D du bassin du Volturno

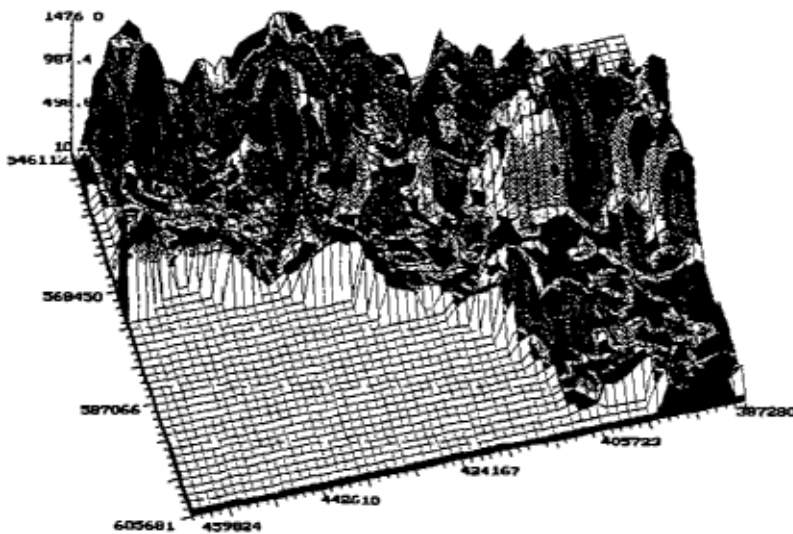


fig. 7 - Vue 3D du potentiel d'érosion

3 - GEOFOR - GEOVIL

Geofor et GeoVil sont destinés à la saisie des données de points d'eau et de village stockées dans IRH et utilisées par l'Intégrateur. Les communications se font dans les deux sens avec IRH et l'Intégrateur. GeoFor et GeoVil sont conçus pour travailler de façon autonome, et pour être distribués aux utilisateurs. Geofor et GeoVil peuvent importer des données depuis la plupart des systèmes de bases de données utilisées en Afrique qui sont pratiquement tous au format xBase (Fig. 3). Pour éviter toute incertitude, et toute erreur de traitement, les données se réfèrent, chaque fois que c'est possible, à un glossaire: c'est le cas pour les index de village et de point d'eau, pour les aquifères, pour la lithologie, pour les diamètres de forage, d'équipement ou de compléation, pour les types de crépines ou de tubages, pour les superstructures, pour les usages de l'eau, les besoins, types d'habitat. Geofor, à partir des données de points d'eau saisies en conversationnel, crée instantanément et affiche la coupe lithologique et la coupe technique des forages, les imprime ou les dessine sur table traçante. Sous Windows, les images peuvent être capturées et incluses dans les rapports.

Geovil est doté d'un module de dessin à main levée pour construire le croquis du village, complément habituel des fiches de village.

4 - LES MODÈLES

Le logiciel GeoLab est un outil de gestion et de programmation des ressources en eau souterraines et superficielles en quantité et qualité, composé de deux modules, l'éditeur Geo et le simulateur Lab. L'éditeur Geo, *système d'information chrono-géographique* définit la géométrie du système et stocke l'ensemble des données caractéristiques des écoulements dans le système de référence géographique usuel, degré:minutes:secondes ou, plus souvent, coordonnées Lambert, sans référence à un quelconque système de maillage destiné à la modélisation. Il génère les fichiers nécessaires au simulateur. Le simulateur Lab reproduit le comportement, en quantité et en qualité, en régime permanent et en régime transitoire, des ressources en eau de surface et d'eau souterraine soumis aux conditions météorologiques et aux prélèvements et rejets des utilisateurs et soumis aux risques de pollution. Il comporte les modules représentant le fonctionnement des aquifères libres ou captifs, des systèmes hydrologiques intégrés eau de surface-eau souterraine, et des systèmes hydrauliques intégrés représentant les écoulements de surface. GeoLab traite les différents fluides :

- * eau pure
- * pollutions conservatives
- * pollution isodensité
- * pollution densité variable eau salée, hydrocarbures
- * pollution biodégradable nitrates, ammoniacale, DBO
- * pollution radioactive

L'ensemble est complété par un module d'optimisation des prélèvements.

Le menu, activé dès le lancement du logiciel propose à l'utilisateur un ensemble de choix :

Environnement définit le cadre de travail et les couleurs

Géographie construit les objets hydrauliques.

Données saisit, modifie, édite les cartes de la topographie, de la piézométrie et des paramètres hydrauliques

Maillage maille le modèle, avec le système quadtree de mailles variables

Historique saisit les séries chronologiques: pluies, pompages, infiltrations, réalimentations, piézométries, concentrations, engrais, irrigations, concentrations

Génération crée les fichiers de données simulateur.

Parmi les objets créés par Géographie citons

- Mer, Lac, Rivière, Fleuve, Source, Canaux,
- Route, Ville, Fouille, Palplanches, Forêt,
- Forages, Piézomètre, Limnigraphe, Analyseur,
- Epanchages, Accidents, Stockages, Usines,
- Parcelles et zones agricoles.

Cette liste s'étend au fur et à mesure des besoins.

La structure, les paramètres et les variables définissant le système hydraulique sont

La structure des couches

- extension des couches
- altitude du sol, des toits et des murs

les variables hydrauliques

- piézométrie
- concentrations en polluants
- densité de l'eau

les paramètres hydrauliques

- perméabilité horizontale (Fig. 4)
- perméabilité verticale
- coefficient d'emmagasinement
- dispersivité intrinsèque
- anisotropie

les flux et débits entrants et sortants

- pluie

- évaporation
- infiltration
- pompages
- infiltration de l'irrigation
- recharge (Fig. 5)

Les conditions aux limites

- de potentiel
- de flux
- de concentrations

Pour simplifier le travail de l'utilisateur, les fichiers de GeoLab sont conçus pour importer les données saisies sur tableur. Tous les fichiers GeoLab sont vérifiables en ASCII.

GeoLab permet d'utiliser, pour les écoulements de surface les données SPOT de topographie et d'occupation des sols. Geolab est pourvu d'un **mailleur** fonctionnant selon le système **quad-tree des mailles variables**, mailles carrées découpées en 4 mailles plus petites et ainsi de suite. Ce système a l'avantage de considérer la totalité du bassin versant avec de grandes mailles, donc de garantir de **bons bilans équilibrés**, tout en analysant finement avec des petites mailles les zones d'intérêt. Une fois les données saisies, Geo les convertit en fichiers d'entrée des simulateurs. Les modifications successives nécessitées par le calage d'un modèle se font rapidement, en ne régénérant que les fichiers nécessaires. A tout instant il est possible de **zoomer**, d'afficher les tableaux de bord des ressources en eau superficielles ou souterraines, les limnigraphes, les piézomètres, les analyses chimiques, les bilans, les cartes de toutes les grandeurs en deux ou trois dimensions, pour faciliter le calage des modèles et améliorer le suivi de la gestion. GeoLab, pendant les simulations, permet de modifier l'ensemble des prélèvements, réalimentations, pluie, caractéristiques de forage, donc d'approcher la gestion fine de la ressource.

Les modèles de nappes servent à gérer les champs captants, à étudier les fouilles, les barrages, les canalisations, à implanter les forages au mieux, à répartir les prélèvements, à calculer les répercussions des aménagements.

Ils servent à étudier les conséquences des **accidents de pollution**. Les modules en densité variable permettent de traiter **l'invasion des nappes par l'eau salée de la mer** et les hydrocarbures. Début 1994 le modèle Geolab reste le **seul modèle de nappes opérationnel capable de traiter la propagation de l'eau salée à trois dimensions**. L'exemple de la figure jointe est celui de la mangrove à l'embouchure du Fleuve Niger, dans le système multicouches faillé et tectonisé du golfe du Bénin.

Enfin GeoLab permet d'**optimiser la répartition** des prélèvements de façon à protéger la ressource tout en économisant les charges d'exploitation.

GeoLab traite les écoulements intégrés eau de surface-eau souterraine de deux façons différentes:

- * en représentant les rivières par un canal connecté verticalement aux nappes sous-jacentes: c'est le point de vue *hydrologique*.
- * en laissant l'eau couler sur la surface du sol et se rassembler dans les points bas: c'est l'optique *hydraulique*, nécessaire à l'étude des inondations.

Dans l'un et l'autre cas une analyse fine de la pluie, de l'évapotranspiration potentielle et de l'infiltration est indispensable. GeoLab permet de calculer partout le ruissellement et le débit des rivières. Là où existent des limnigraphes, GeoLab permet de comparer les calculs aux véleurs de référence, pendant les simulations. Geolab permet aussi de simuler la présence de limnigraphes et de piézomètres en tout point du réseau hydrologique, et de reconstituer les séries chronologiques manquantes. Les modèles intégrés permettent également de simuler les pollutions, notamment les pollutions biodégradables par les nitrates et l'ammoniaque. **Le module de pollution par les nitrates** représente la totalité du cycle de l'azote à partir des phénomènes physico-chimiques réels, l'occupation des sols, les cultures, les engrais utilisées et les doses employées, les pratiques culturales, démontrant les capacités d'extension de l'outil.

Des programmes spécifiques permettent d'utiliser les images SPOT pour reconstituer la topographie, le réseau hydrographique et l'occupation des sols.

Les modèles intégrés GeoLab permettent également de calculer l'énergie du ruissellement de surface, dont le potentiel **d'érosion des sols** (Fig. 6 et 7).

Toutes les illustrations du présent document proviennent de l'utilisation normale sous Windows de GeoLab.

En Mauritanie, l'implantation de l'ensemble du système se fait en parallèle avec la mise en forme de la base de données, et la formation des utilisateurs et de leurs partenaires dans le cadre d'un projet s'étendant sur plusieurs années de réalisation et de suivi. Un système de gestion des données prend tout son sens s'il est conçu, dès le départ, pour des objectifs précis. En Mauritanie, le système de gestion informatisée des données est destiné à **programmer** et suivre les ouvrages nécessaires à l'approvisionnement en eau des villages et de l'élevage pastoral, à **organiser** et **contrôler** leur maintenance, et à fournir les données indispensables pour **évaluer** les possibilités d'exploitation à long terme des ressources en eau souterraines et superficielles renouvelables, en protégeant à la fois leur quantité, leur qualité et l'environnement.

SITUATION ET PERSPECTIVES DE LA COLLECTE ET DU TRAITEMENT DES INFORMATIONS EN VUE DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU ET DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES EN MILIEU RURAL MAURITANIEN

Saadou Ebih Ould Med El Hacem

*Chef du Service Etudes et Planification à la Direction de L'Hydraulique BP 4913
Nouakchott- Mauritanie.*

et

Sasmayoux J.-P.

*Conseiller Technique Hydrogéologue au Service Etudes et Planification de la Direction de l'Hydraulique BP 5231 ATF
Nouakchott - Mauritanie*

I - INTRODUCTION

La République Islamique de Mauritanie est confrontée à la persistance de la sécheresse qui perdure depuis deux décennies en dégradant les conditions d'alimentation en eau des populations et du cheptel en milieu rural, ce qui compromet de ce fait le processus de développement économique et social du pays.

Les eaux souterraines constituent en majeure partie les ressources permanentes en eau pour l'approvisionnement du monde rural (57% de la population totale).

II - ORGANISATION DU SERVICE CHARGE DE LA MOBILISATION , DE LA GESTION ET DU SUIVI DES RESSOURCES EN EAU

Le Ministère de l'Hydraulique a la lourde tâche, à travers la Direction de l'Hydraulique et son "Service Etudes et Planification"(S.E.P), de coordonner, planifier et gérer le développement du Secteur Eau (voir ci-après l'organigramme de la Direction de l'Hydraulique). Le S.E.P a notamment en charge l'établissement des programmes de création de points d'eau, la conception des projets d'Hydraulique Villageoise et Pastorale, le contrôle et le suivi technique des projets, ainsi que la gestion des bases de données hydrauliques en vue de la programmation en matière d'hydraulique Villageoise et Pastorale, en conformité avec les orientations de la politique de l'eau et de l'application d'un certain nombre de critères sélectifs bien définis. Ceci suppose que ce service dispose d'un système efficace de collecte, de stockage, traitement et de diffusion des données, avec des outils de programmation et d'aide à la décision actualisables, afin d'assurer une planification rationnelle des aménagements futurs à l'échelle du Pays en fonction des disponibilités et de la qualité de la ressource en eau.

III - SITUATION ACTUELLE

1) Documentation

Le centre de documentation dispose de toute la documentation technique géologique et hydrogéologique afférente aux études et travaux exécutés sur le territoire dont la majeure partie est gérée par le logiciel TEXTO. Mille références sont saisies. Un certain nombre de cartes d'ensemble sont disponibles : (au 1/1 000 000 ème, 1/125 000 ème et 1/500 000 ème), ainsi que des cartes détaillées au 1/200 000 ème : cartes censitaires des moughataas (44) , carte des communes rurales (38) et des associations pastorales (37). Par contre la couverture aérienne au 1/50 000 ème est incomplète et date de 1952-56. Les cartes géologiques et hydrogéologiques sont archivées à la DH, mais un important travail d'actualisation reste à entreprendre.

2) Collecte, stockage et traitement des données

L'inventaire des points d'eau (I R H) : puits et forages a été mis à jour sur un fichier manuel jusqu'en 1982 à partir des documents techniques élaborés après l'exécution des grands projets d'HVP ; puis ces données ont été stockées sur une base HYDRO et depuis 1988 dans la base de données PROSPER en vue d'une Programmation informatisée et d'un Suivi des Points d'Eau Ruraux. Le logiciel qui a été mis au point par BURGEAP dans le cadre de "l'Etude d'une stratégie d'alimentation en eau en milieu rural" sur financement de l'I.D.A. n'a pas évolué depuis sa création et de ce fait n'a pu être véritablement valorisé pour la programmation en Hydraulique Villageoise. On lui reproche d'être un logiciel fermé et surtout de ne pouvoir prendre en compte les points d'eau pastoraux par définition isolés. La liste administrative des localités est saisie conformément au recensement de 1987-1988, avec 3 742 fiches (voir carte administrative de la Mauritanie jointe). Ont également été saisies 3 650 fiches Ouvrages. Par ailleurs, la Direction de l'Hydraulique, en collaboration avec l'office National de la Statistique chargé du recensement et l'ex Direction de l'Elevage, a mis au point une fiche I.R.H et une fiche socio-économique qui servira dorénavant de référence en matière d'enquêtes.(voir modèle en annexe).

Contraintes : L'I.R.H doit nécessairement être mis à jour régulièrement pour vérifier l'existant en points d'eau fonctionnels. Par manque de moyens logistiques et financiers, cette actualisation est pour l'instant limitée à l'exécution des grands projets dans le cadre desquels des équipes d'enquêtes/animation peuvent faire ressortir en outre l'évaluation des

besoins/ressources permettant le recentrage du programme compte tenu des réalités de terrain

C'est ainsi que 2 241 villages ont fait l'objet d'enquêtes IRH et socio-économiques dans les projets suivants :

Projet FED (36 villages dans le Trarza), Projet Guidimakha (232 villages), Projet Aftout (250 villages dans l'Assaba, le Tagant et le Gorgol), Projet CEAO I (376 villages dans les 2 Hodhs, l'Assaba, le Brakna, le Trarza, le Gorgol, le Guidimakha et le Tagant), Projet CEAO II (224 villages dans les 2 Hodhs et l'Assaba), Projet Réhabilitation de 500 points d'eau (1123 villages dans le Brakna, le Trarza et le Gorgol).

Il y a peu ou pas diffusion de l'information avec les autres Départements intervenants dans le Secteur Eau.

3) Suivi piézométrique

Le réseau d'observation piézométrique est relativement limité en nombre d'observations bien qu'il soit nécessaire pour la surveillance des aquifères continus, pour la connaissance des données de base afin d'évaluer la ressource, et dans les zones de socle, pour suivre l'évolution de la ressource dans les aquifères discontinus. En outre, les zones de forts prélèvements ponctuels (A E P, champs captants) doivent faire l'objet d'une surveillance particulière.

Trois intervenants sont appelés à gérer les réseaux de mesures existants, il s'agit de la DH, de la SONELEC qui a en charge la production et la distribution de l'eau et de l'électricité des centres urbains et de la Cellule de l'OMVS

- La Direction de l'Hydraulique gère le réseau intéressant la nappe des pélites du Hodh depuis 1960 ainsi que celui de la nappe des grès d'Aioun.
Dans les 2 cas, des cartes isopièzes ont été dressées et ont notamment montrées une réalimentation par des eaux météoriques à l'hivernage 1988.
Les mesures piézométriques ont été enregistrées avec le logiciel Filing Assistant d'IBM
Les données ne sont pas diffusées.
Dans le cadre du Projet Guidimakha, 10 forages ont fait l'objet de mesures mensuelles depuis Novembre 1990 (np, conductivité), actuellement 4 seulement sont mesurables. Les données sont archivées mais non diffusées. Enfin, dans le cadre du projet "Oasis", le réseau n'est pas encore opérationnel.
- La SONELEC gère 2 réseaux :
Champ captant d'IDINI qui comprend 18 forages d'exploitation et 17 piézomètres Les mesures ont été faites lus ou moins régulièrement en 1986, 1989, 1991 et 1993 avec élaboration de cartes isopièzes et prélèvements d'échantillons d'eau en vue d'une analyse physico-chimique. Les données semblent archivées mais non diffusées
Champ captant de BOULANOUAR : 14 forages ainsi que des piézomètres font en principe l'objet de mesures qui ne seraient pas archivées.
- La Cellule de l'OMVS : Basée à ROSSO, cette cellule dispose en principe d'importantes données de base et suivi piézométrique qui sont gérées avec un outil informatique (système GES/Groundwater), mais ces données ne sont pas diffusées à des utilisateurs potentiels comme la Direction de l'Hydraulique.

Remarques :

Il y a nécessité à organiser une coordination dans le domaine de l'acquisition des données entre les 3 intervenants ; la DH devant regrouper l'ensemble des informations afin d'être en mesure de gérer la ressource en eau. Un premier pas dans ce sens vient d'être franchi par la mise en place, dans le cadre du Projet sur le suivi de la nappe du Trarza financé par la Banque Mondiale, d'un groupe de travail composé du MHE, de la DH, de la SONELEC et la cellule de l'OMVS qui a élaboré les termes de références pour l'intervention d'un consultant Hydrogéologue pour mener des "études préliminaires en vue de l'établissement d'un Schéma Directeur de gestion des ressources en eau de la zone du Trarza" avec modélisation de la ressource, afin de planifier l'exploitation de la nappe qui est très sollicitée notamment pour l'alimentation en eau de Nouakchott(champ captant d'IDINI et bientôt de TENADI), et des wilaya du Trarza et du Brakna.

IV - PERSPECTIVES POUR RENDRE EFFICIENT LA STRUCTURE D'ETUDE ET DE PLANIFICATION DE LA DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE

Les nouvelles orientations de la Politique Générale du Secteur Eau adoptées en Janvier 1990 par le Gouvernement vont dans le sens du resserrement des missions de la Direction de l'Hydraulique et de leur renforcement autour de la programmation, de l'identification, de la conservation et du suivi du patrimoine hydraulique ainsi que dans le même temps, de son désengagement progressif de ses activités d'entreprise (Puits, Forages et maintenance des moyens d'exhaure) au profit d'opérateurs privés, tout en restant maître d'oeuvre pour en garantir la bonne exécution C'est donc conformément à ces orientations et aux priorités retenues dans le Programme Quinquennal d'Investissement 1992-1996 du Secteur de l'Hydraulique Rurale, que la France finance un programme d'Action dans lequel figure un "Projet d'Appui Institutionnel à la Programmation et à la Gestion des Ressources en Eau" qui vise à renforcer les capacités d'exécution du Service Etudes et Planification (S.E.P) par deux actions fondamentales qui se complètent harmonieusement.

- Première action : "Mise en place d'un système informatisé de traitement de données à vocation de gestion des ressources en eau et de programmation hydraulique"

Ce volet vise à la fourniture de matériels informatiques performants avec leur environnement, et à la mise en place rapide et à moindre coût d'un système informatisé efficace et convivial de traitement de données et de programmation à dimension cartographique. La première action est en cours par l'intermédiaire du Bureau d'Etudes GEOLAB qui a pour mission de "mettre en place un système informatisé de traitement de données à vocation de gestion des ressources en eau et de programmation Hydraulique". L'option retenue est l'adaptation du logiciel IRH qui a fait ses preuves au Niger, qui est un système de gestion des données des points d'eau et

des villages auquel sera couplé la dimension cartographique de l'Intégrateur qui est un outil de programmation et de faisabilité des projets. Les programmes ont été conçus pour l'environnement Windows dans un souci de rapidité et d'efficacité. Le système est ouvert et pourra communiquer avec ceux gérés par les autres Départements notamment sur le plan démographique et socio-économique.

-Deuxième action . "Projet d'Appui aux fonctions d'études et de maîtrise d'œuvre de la Direction de l'Hydraulique"

Ce volet peut être considérée comme une action d'accompagnement au premier en visant à renforcer les moyens humains et logistiques du S.E.P pour la collecte des données I.R.H et Besoins/Ressources, l'exécution de missions géophysiques par le Bureau Géophysique du S.E.P, le suivi piézométrique et physico-chimique des nappes des réseaux témoins, enfin pour la maîtrise d'oeuvre des projets d'Hydraulique Villageoise et Pastorale. Le démarrage de cette opération devrait intervenir au cours du dernier trimestre 1994.

V - CONCLUSION

Les principaux intérêts du système de gestion mis en place sont de :

- 1) regrouper toutes les informations nécessaires à une bonne gestion et à la valorisation des ressources en eau ;
- 2) mettre à disposition des responsables techniques des documents synthétiques évolutifs destinés à améliorer leurs capacités de suivi et de programmation en matière d'Hydraulique Villageoise et Pastorale ;
- 3) fournir ainsi aux responsables nationaux un ensemble complet d'informations et d'éléments d'appréciation pour orienter leur décision en matière de politique sectorielle de développement et d'aménagement en milieu rural.

		ONS/DH/DE			
		DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES			
		BESOINS - RESSOURCES	DATE DE LA VISITE		
IDENTIFICATION :					
Site				X	
Type de site				Y	
Arrondissement				Z	
Moughataa			Carte	Nom	N°
Wilaya			1/200 000		
Codification			Photo	N°	Mission
POPULATION					
POPULATION			HABITAT		
Population du site			Hab.		
Recensement démographique 1988					
Estimation de la Population par la Mission :					
Nombre de concessions		Moyenne des ménages dans la Moughataa			
Langue principale		Langue secondaire			
Distance du site par rapport au point d'eau	0	500	1000	2000 m	
Type d'habitat dominant					
Population hors du site :	regroupée	hameaux : nombre		estimation	hab
		permanents		temporaires	
négligeable	dispersée	cultivateurs		éleveurs	
INFRASTRUCTURES :					
Electricité		communications :		Mosquée en dur	
		bureau de poste		Education : Mahadra	
		transport privé		Ecole coranique	
		point de vente carburant		Ecole primaire	
		mécanicien		Ecole secondaire	
		télévision		Santé :	infirmier
Sécurité : force de l'ordre				dispensaire	
Commerce : Marché				hôpital	
Abattoir				pharmacie	
Hôtel ou auberge				autre	
Artisans/réparateurs					
Associations pastorales					
ACCESSIBILITE :					
Voiture		Saison sèche		Hivernage	
Véhicule tout terrain					
Animal porteur					
A pied					
Pirogue					
Atelier de forage					

ENVIRONNEMENT - MAINTENANCE :

Favorable
Médiocre
Défavorable

OBSERVATIONS :

FICHE D'INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

VILLAGE
ARRONDISSEMENT

WILAYA
MOUGHATAA

POINTS D'EAU MODERNES :

Puits date	N° Invent	Niveau eau	Profond	Nat de l'eau	Etat	Utilisation	Situa fin saison sèche
Forage date	N° Invent	Type pompe	Etat pompe	Nat de l'eau	Etat superst	Utilisation	Situation fin saison sèche

*Nature de l'eau : 1 (domestique) 2 (bétail) 3 (agriculture) s (salée) d (douce)

OBSERVATIONS :

RESSOURCES EN EAU TRADITIONNELLES :

DESIGNATION	Eau de surface	Puisards	Puits traditionnels	Puits trad. cimentés	Observations
Début saison sèche					
Fin saison sèche					
Distance					

Profondeur moyenne du niveau de l'eau (hors puisards) 0 10 20 30 40 50m
sans tenir compte des points d'eau modernes

URGENCE :

Situation en fin de saison sèche : Grave pas de points d'eau pérennes suffisants à moins de 2 km ☐1
Médiocre ☐2
Passable ressources suffisantes à proximité du village ☐3

COUT DE L'EAU a) Dépenses par famille pour exhaure traditionnelle par an :
cordes de m x UM/corde + puisettes x UM = UM/an
b) Vente : par porteur ☐ au point d'eau ☐ : litres UM = UM/m³
c) Dépenses du village pour exhaure traditionnelle par an UM = UM/an

ACTIVITES

Activités principales : Cultivateurs ☐ Eleveurs ☐ Autres
Culture de rente : Dattes ☐ Maraîchage ☐ Autres
Nombre d'éleveurs : Sédentaires Transhumants

TRAVAUX OU EQUIPEMENTS DEMANDES

TYPE	OBJECTIFS	OBSERVATIONS

ORGANISATION :

Groupements

Activités
Nombre membres
Caisse

Agents Administratifs
O.N.G

ALPHABETISATION

APTITUDE A LA MAINTENANCE :
Favorable ☐
Médiocre ☐
Défavorable ☐
Manuelle ☐
Type de pompe : Motorisée ☐
Solaire ☐

ELEMENTS DE REFLEXION SUR LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU ET LA PLANIFICATION

Le Priol, J.

Conseiller Technique Direction de l'Hydraulique BP 5231 ATF Nouakchott - Mauritanie

I. - QUELQUES BREFS RAPPELS SUR LE SECTEUR HYDRAULIQUE MAURITANIEN ET LES ELEMENTS D'UNE POLITIQUE NOUVELLE

Nous évoquerons succinctement les importants investissements consacrés au secteur Hydraulique durant la dernière décennie (3 500 Millions d' Ouguiyas Mauritaniens, soit environ 171 M FF) dans le cadre du **Plan de Redressement Economique et Financier** (PREF, 1985 à 1989) et du **Plan de Consolidation et de Relance** (PCR, 1989 à 1991), destinés à pallier les effets climatiques ; ces programmes se sont concrétisés par la création de plus de douze cents points d'eau modernes (puits, forages équipés de pompes motorisées ou à motricité humaine), la réhabilitation de près de trois cents puits et la réalisation d'une cinquantaine de réseaux d'approvisionnement en eau potable. Face à ce bilan globalement positif, nous rappellerons certains constats moins satisfaisants pouvant mettre en cause les importants financements consentis, qui ont conduit le Gouvernement Mauritanien à élaborer dès Janvier 1990 une stratégie de développement visant à mieux intégrer le secteur de l'Hydraulique au développement économique et social du pays :

- * insuffisance de planification des programmes, de maîtrise des financements extérieurs (coordination) et de participation du budget de l'Etat, d'adaptation des infrastructures modernes aux environnements naturel et humain ruraux , de prise en charge par les usagers entraînant un taux de pannes trop élevé ;
- * absence de décentralisation des pouvoirs de décision et de cadre juridique approprié ;
- * part importante de l'Administration dans l'exécution des travaux de puits et de forages et dans les activités de maintenance des équipements, au détriment de tâches fondamentales de maîtrise d'oeuvre et de gestion de la ressource en eau.

Les principales orientations de la nouvelle politique, traduites dans le Programme Quinquennal d'Investissement 1992 - 1996 du secteur de l'Hydraulique Rurale en Mauritanie, sont les suivantes :

- a) **respects de critères sélectifs en matière de création de nouveaux points d'eau visant à la recherche de cohérence avec la politique d'aménagement du territoire**, prenant en compte la demande en eau réelle, la capacité des usagers à s'approprier les coûts d'investissement et d'exploitation des équipements, la préservation de l'environnement, la valorisation des pâturages naturels, etc. désormais l'infrastructure devrait être intégrée dans le milieu naturel et humain et être facteur de structuration et de développement du monde rural
- b) **désengagement progressif de l'Administration en matière d'exécution et de gestion/exploitation des ouvrages, encourageant la promotion du secteur privé et la participation des populations bénéficiaires à l'échelle nationale ;**
- c) **redéfinition des missions de l'Administration et renforcement de ses capacités d'intervention dans les domaines de la conception de projets et de la programmation hydraulique, des études et de la gestion des ressources en eau, de la coordination et de la maîtrise d'oeuvre, de l'encadrement et de la formation, de la réglementation et de la mise en oeuvre d'une politique de l'eau.**

II - LE PROJET D'APPUI INSTITUTIONNEL A LA PROGRAMMATION ET A LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU

En conformité avec la nouvelle politique sectorielle, le "**Projet d'appui institutionnel à la programmation et à la gestion des ressources en eau**", en voie de démarrage depuis le mois de Septembre 1993 (financement Fonds d'Aide et de Coopération), vise à **renforcer les moyens du Service Etudes et Planification de la Direction de l'Hydraulique**, pour accroître la capacité d'exécution des tâches essentielles qui lui sont propres,

- * connaissance et gestion des ressources en eau souterraines et des infrastructures hydrauliques :
 - reconnaissance des aquifères : études hydrogéologiques et géophysiques, modèles de simulation ;
 - suivi des nappes (évolution de la ressource dans le temps en quantité et qualité) ; piézométrie et hydrochimie ;
 - connaissance des équipements et des besoins (demande) en eau ; enquêtes IRH et socio-économiques ;
 - collecte, conservation et traitement de l'information ; banque de données informatisée et système d'information géographique ;

* maîtrise d'oeuvre et programmation hydraulique :

- élaboration et diffusion de documents d'aide à la décision à but de programmation et de planification ;
- conception et programmation des projets d'étude et de travaux ;
- suivi administratif et technique des projets, contrôle de chantiers, évaluation des actions.

Le Projet comporte deux volets distincts :

a) **Volet 1 : Mise en place d'un système informatisé de traitement de données à vocation de gestion des ressources en eau et de programmation hydraulique :**

Ce volet a pour objet de développer, avec l'intervention du bureau d'étude GEOLAB, une banque de données informatisée et un système d'information géographique couvrant l'ensemble du secteur Eau

L'outil aura pour fonction de gérer une importante quantité de données, de produire des documents synthétiques facilement exploitables concernant les ressources en eau, les équipements et les besoins et de les mettre à disposition des responsables administratifs pour leur tâche de programmation, ainsi qu'à l'ensemble des opérateurs du secteur intéressés par les informations produites

b) **Volet 2 : Appui aux fonctions d'étude et de maîtrise d'oeuvre :**

Ce volet a pour objet de renforcer les moyens humains et matériels du SEP/DH afin de lui permettre d'assurer ses missions de connaissance des aquifères et des besoins/ressources en eau et ses travaux permanents de recueil, de sauvegarde et de valorisation de l'information (alimentation et actualisation permanente de la base de données).

III - LA MISSION DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DE LA DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE

Alors que démarre le projet d'appui institutionnel décrit précédemment et à titre d'entrée en matière au présent atelier, il nous a paru important d'introduire un certain nombre d'éléments relatifs à la gestion des ressources en eau souterraine, en renouvelant les interrogations et recommandations issues de manifestations antérieures (Colloque "l'eau souterraine, un patrimoine à gérer" Paris, 6-7 Novembre 1990"), tout en les adaptant au contexte mauritanien.

Nous nous poserons ainsi trois questions principales :

- Parallèlement à sa mission de supervision de l'exécution et de la maintenance d'infrastructures hydrauliques, pourquoi le Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie **doit-il** gérer la ressource en eau souterraine ?
- Qui sont les différents intervenants du secteur Hydraulique (structures, acteurs) et quels sont leurs besoins en information ?
- Comment doit-on gérer la ressource en eau ?

QUESTION 1 : POURQUOI GERER LA RESSOURCE EN EAU ?

a) les constats

- les aquifères souterrains non visibles, de structure hydrogéologique souvent complexe, sont mal connus et leurs potentialités en eau sont difficiles à évaluer ;
- les nappes d'eau souterraine sont inégalement réparties sous le territoire national mauritanien et présentent de grandes variations dans l'extension et les caractéristiques physiques des réservoirs, les volumes d'eau stockés, la qualité de l'eau, les liens avec la surface ou avec d'autres nappes, les conditions de captage.

Exemples :

Aquifères sableux ou gréseux continus comportant les réserves en eau les plus importantes :

- + aquifère du bassin sédimentaire côtier occidental (Nappe du CT du Trarza) comprenant une zone à eau douce, une zone salée et une zone en principe dépourvue de ressource en eau notable dite "biseau sec" ;
- + aquifères d'une fraction du bassin sédimentaire oriental de Taoudenni (grès du continental intercalaire, grès infracambriens d'Aïoun, sables de l'Aouker) ;
- + aquifères des formations quaternaires superficielles : nappes libres des alluvions des oueds et du Fleuve Sénégal.

Aquifères discontinus de fracturation à faibles réserves hydrauliques difficiles à localiser et à mobiliser ;

- + aquifères du socle de la zone Nord (granites précambriens) ;
- + aquifères discontinus d'une fraction du bassin de Taoudenni (pélites et dolérites).

- Les nappes souterraines, soumises à des risques de dégradation naturels et artificiels, sont vulnérables :

- * **effets cumulés de la sécheresse et de l'exploitation par les pompages** qui se traduisent par une baisse de niveau, c'est-à-dire une diminution des volumes stockés et un risque de dénoyage (tarissement) à terme des ouvrages de captage et parfois par une baisse de qualité ;

Exemples :

- + cas de l'aquifère sédimentaire côtier (Nappe du "CT" du Trarza) : il illustre bien le lien existant entre le maintien de la quantité et la sauvegarde de la qualité ; la détermination des débits d'exploitation doit tenir compte de l'évolution de l'équilibre entre les eaux douces et les eaux salées ;
- + cas des nappes en aquifères discontinus de socle (ex : Arc des Mauritanides) : une grande prudence doit être accordée aux résultats d'essais de pompage de courte durée pour la détermination du débit officiel d'exploitation. et d'approvisionnement des réseaux d'adduction d'eau potable. Faute d'essai longue-durée, une diminution imprévue de la ressource du fait d'une capacité de stockage limitée de l'aquifère, peut conduire à terme à une baisse généralisée des débits extraits, à une situation de crise dans l'approvisionnement en eau de la population et éventuellement à une remise en cause d'infrastructures désormais sur dimensionnées.

- * **impact de l'occupation et de la valorisation des sols sur les volumes et la qualité de l'eau stockée dans les réservoirs souterrains mais aussi sur l'ensemble de l'environnement** (couvert végétal, faune) ; souvent les nappes d'eau souterraines apparaissent comme beaucoup plus vulnérables aux pollutions superficielles qu'on pourrait le penser a priori.

Exemples :

- + imperméabilisation des zones urbaines diminuant l'infiltration ;
- + zones de décharges ou d'habitat massif sources de pollutions (nappes libres à fortes teneurs en nitrates sous les grandes agglomérations) ;
- + zones d'aménagements agricoles où le contexte hydrogéologique peut être considérablement modifié par les drainages (rabattement des nappes libres), l'irrigation (remontées des nappes) et les traitements chimiques intensifs par engrais et pesticides (pollution des nappes sous zones cultivées par les nitrates) Les zones de périmètres irrigués de la vallée du Fleuve Sénégal illustrent bien ce cas.

b) les obligations

- **Nécessité de sauvegarder les nappes d'eau souterraines** en surveillant l'évolution des volumes d'eau stockés disponibles et en protégeant la qualité des eaux.
- **Nécessité de pérenniser la productivité des ouvrages de captage et la qualité de l'eau distribuée aux usagers.**

QUESTION 2 : COMMENT GERER LA RESSOURCE EN EAU ET LES EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION ?

Plusieurs types de mesures conjointes doivent permettre de favoriser la maîtrise de la gestion de la ressource en eau :

Un certain nombre de ces mesures seront prises dans le "Projet d'appui à la programmation et à la gestion des ressources en eau".

D'autres dépendront de la clairvoyance des structures gestionnaires, de leur volonté à s'appuyer sur les conclusions et recommandations fournies par les documents de synthèse qu'elles auront la responsabilité de valoriser et d'intégrer dans la politique sectorielle :

a) Définir clairement les rôles et responsabilités de l'Etat et des usagers

Cette définition de rôles concernera les ressources en eau et les infrastructures hydrauliques. Elle sera consignée dans une licence d'exploitation

- **L'Etat, maître d'ouvrage, gardera sous sa tutelle**
 - * la gestion des ressources en eau ;
 - * la programmation et la gestion des investissements : conception et maîtrise d'oeuvre des travaux neufs, renouvellement des équipements lourds de longue durée de vie (sup. à 15 ans) ;
- Il doit conserver un droit de regard sur les équipements (gestion/exploitation)

- Les usagers (collectivités locales) recevront en délégation par l'Administration, la charge de gérer les infra-structures hydrauliques et avoir la possibilité de concéder leur exploitation à un partenaire privé. L'exploitation sera basée sur des relations contractuelles.

b) Mettre en place des outils juridiques de gestion

Code de l'Eau sur le droit et la police des eaux (propriété des équipements, arbitrage et règlement des conflits, politique de tarification, statuts associatifs, etc.).

c) Sensibiliser les différents acteurs privés et publics de leurs intérêts et devoirs communs vis à vis de la ressource en eau et des équipements

Réunions d'information, campagnes de sensibilisation (utilisation des médias), séminaires, etc.

d) Améliorer progressivement la connaissance des aquifères

(études, modèles), parallèlement à un renforcement des moyens d'intervention des structures administratives concernées ;

e) Mettre en place des outils techniques d'aide à la prévision et à la décision

- * réseau de mesure et de surveillance de la ressource (piézométrie, qualité,...) ;
- * système de gestion informatisée des données hydrauliques (banque de données et système d'information géographique) ;
- * modèles numériques de simulation et scénarios d'exploitation.

Nota bene : l'exploitation "en vraie grandeur" d'une nappe est la meilleure méthode de déterminer les potentialités en eau, sous réserve d'observer et d'analyser les phénomènes résultants :

"La production d'eau doit être accompagnée d'une production d'information" recommandant le colloque de Paris en 1990.

Exemple : Des champs de captage comme Idini, Ténadi, Bénichab ou Boulanouar doivent être exploités sous contrôle piézométrique des nappes, sous peine de manquer gravement d'informations lorsqu'il s'agit de proposer des scénarios d'exploitation et de prévoir d'éventuelles solutions de recharge en temps opportun sans préjudices pour les usagers.

Les outils de gestion mis en place dans le cadre du "Projet d'appui à la programmation et à la gestion des ressources en eau" ne pourront être réellement opérationnels et valorisés que grâce à la création simultanée d'un réseau d'échange permanent d'informations entre intervenants du secteur Eau ; celui-ci permettra une actualisation périodique de la base de données garante de sa représentativité et de sa fiabilité (voir alinéa c).

f) Exploiter prudemment les aquifères, en modulant l'exploitation en fonction de leurs caractéristiques propres

programmation secteur par secteur définissant des "limites à ne pas dépasser" (débit optimum de pompage, abaissement piézométrique maximum, prise en compte des réserves régulatrices dans le cas de nappes libres, ou de la stratégie d'exploitation adoptée lorsque les nappes ne sont pas renouvelables ("nappes fossiles") et donc épuisables à plus ou moins long terme (cas de la Nappe du Trarza captée pour l'alimentation en eau de NOUAKCHOTT) ;

g) Gérer de façon globale les potentialités en eau d'une zone donnée

à l'échelle d'unités hydrogéologiques (aquifères) et hydrologiques (eaux de surface), en intégrant les évolutions hydrauliques dues à l'impact cumulé des prélèvements : ce sera l'objet des schémas directeurs d'exploitation des ressources en eau intégrant l'ensemble des éléments de l'environnement naturel et humain. Ce type de gestion a pour objet de sécuriser l'approvisionnement en eau en mettant à disposition des solutions compensatoires en cas de défaillance momentanée d'une ressource ; on pourra attribuer si possible une vocation spécifique à chaque ressource en fonction des utilisations (besoins humains, pastoraux, agricoles, industriels, ...) ;

h) Mettre en oeuvre des mesures de sauvegarde ou de reconstitution des nappes

(dispositifs d'infiltration, barrages hydrauliques, etc.).

QUESTION 3 : QUI SONT LES DIFFERENTS INTERVENANTS DU SECTEUR HYDRAULIQUE ET QUELS SONT LEURS BESOINS EN INFORMATION ?

Nous avons différencié a priori six types d'intervenants, toutefois la question mériterait une meilleure analyse :

a) les services publics gestionnaires de la ressource en eau

Deux services publics s'occupent de l'exploitation des mêmes réservoirs souterrains sous l'égide du Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie : La DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE et la SONELEC.

Une gestion cohérente et équilibrée des ressources en eau implique de mieux coordonner les actions de ces deux structures complémentaires (qui oeuvrent

actuellement de façon trop indépendante) pour la collecte des données, les études et la planification.

Il apparaît nécessaire de réunir périodiquement des groupes de travail composés de responsables des deux institutions, avec si nécessaire occasionnellement des représentants de exploitants/distributeurs.

Ces deux services publics sont à la fois fournisseurs d'information (données brutes ou synthétisées) et collecteurs d'information auprès d'autres producteurs :

b) les bureaux d'études, les entreprises et les ONG intervenant directement dans la réalisation d'études sur les ressources en eau ou l'exécution d'ouvrages de captage

Ils interviennent en général sur des projets bien circonscrits, utilisent les données existantes ou recueillent des données de base. Ce sont des fournisseurs de données brutes (données de forages et puits : cuttings, essais de pompage, diagraphies, ..) et/ou de données élaborées (coupes lithologiques, synthèses hydrogéologiques, modèles,...)

- + bureaux d'étude : BETGP, GEOCONSULT, PHY,...
- + entreprises de forages : FORIM, SAFOR, SAS, TECNOFOR, ..
- + ONG : AFVP, FLM, SOS SAHEL, ..

c) les institutions de recherche

L'Université de Nouakchott, l'Institut Supérieur Scientifique, comme les précédents ce sont des fournisseurs de données brutes et élaborées. Ils s'en différencient par la capacité de fourniture de données originales à caractère scientifique (exemple : données isotopiques permettant de dater les eaux, d'estimer les taux de recharge, de localiser les aires d'alimentation, etc informations fort utiles pour la gestion).

d) les autres structures publiques et privées intervenant dans le secteur Eau, les partenaires extérieurs

Autres départements ministériels (Développement Rural, Santé, Plan, Aménagement du territoire, ..), entreprises (infrastructures de surface), ONG et partenaires extérieurs (bailleurs de fonds) impliqués directement ou indirectement dans le secteur Eau : pour l'exécution de leurs programmes de développement, le montage ou la réalisation de projets, ils ont besoin de données diverses, ponctuelles ou générales sur les points d'eau et les nappes d'eau souterraines. Ce sont en général des utilisateurs de données synthétisées.

e) les exploitants de forages et de puits

ils extraient l'eau des nappes pour couvrir des besoins individuels ou collectifs villageois, urbains, agricoles, pastoraux, industriels : exploitants privés (jardins), comités de gestion de l'eau, éleveurs, industries et centres miniers, etc. Leur problème tient à la conservation des débits extraits assurant la couverture de leurs besoins ou de ceux des usagers qu'ils desservent.

Ils veulent des informations sur l'influence des phénomènes naturels et artificiels (sécheresse, multiplication de points d'eau) sur l'évolution des nappes d'eau souterraines et sur le bon fonctionnement des matériels d'exhaure.

Exemple : accroissement anormal de la baisse de niveau d'une nappe à cause d'une surexploitation locale, avec risque de dénoyage des pompes, de tarissement de puits ou de dégradation de la qualité de l'eau.

Ils ont aussi besoin de conseils (ex : modalités d'exploitation des ouvrages hydrauliques).

Les gros exploitants pourront avoir besoin d'informations plus abondantes apportées par des études et des modélisations.

f) les usagers

Les groupes d'usagers ont besoin d'informations sous forme de conseils particuliers, d'éducation et de formation : campagnes de sensibilisation pour l'appropriation des équipements, éducation sanitaire par le canal scolaire, formation d'opérateurs ruraux, etc.

Nota bene :

- la tarification de l'eau ou la taxation (gros exploitants) peuvent être des mesures aptes à favoriser l'économie et la préservation de la ressource en eau sur le long terme.
- la Direction de l'Hydraulique, qui s'apprête à mettre en place un système de gestion informatisée de données, devra recenser l'ensemble des intervenants du secteur Eau, fournisseurs ou demandeurs d'information brute ou synthétisée, afin de mieux valoriser et développer l'outil mis en place et favoriser l'actualisation périodique de la base grâce au transfert systématique d'information.

ANNEXE

Afin de donner un aperçu de l'importance du problème de collecte, de traitement et de valorisation de données auquel nous sommes confrontés, nous avons recensé ci-après l'ensemble des informations que le Service des Etudes et de la Planification devra gérer pour assurer sa fonction de structure d'appui à la décision.

I - DONNEES GENERALES ADMINISTRATIVES SUR LES LOCALITES, LES POINTS D'EAU ET LES PROJETS

1. Nom du point d'eau
2. N° IRH
3. Indices de classement et géographique
4. Nom de la localité (village, agglomération)
5. Nom des unités administratives (wilaya, moughataa,...)
6. Limites des unités administratives
7. Coordonnées (longitude, latitude)
8. Altitude (m)
9. Nom de la carte topographique de référence (1/200 000)
10. Désignation du projet et du financement
11. Maître d'oeuvre, bureau d'étude contrôleur, entreprise, atelier
12. Dates de début et de fin de travaux (réception)

II - CONNAISSANCE DES RESSOURCES EN EAU

II.1 - EAUX METEORIQUES (CLIMATOLOGIE)

II.1.1 - Données essentielles

1. Pluviométrie, P (mm)
2. Evapotranspiration, ETP (mm)
3. Ensoleillement, (heure/mois)
4. Vitesse vent (m/s)

II.1.2 - Données annexes

5. Température, T (°C),
6. Humidité relative, Hr (%)

II.1.3 - Produits

- carte de la pluie efficace, eau utile R+I, approche de l'infiltration
- carte de courbes isohyètes
- Moyennes pluviométriques mensuelles, annuelles
- Moyennes pluviométriques mobiles
- cartes sur l'ensoleillement et la vitesse des vents

II.2 - EAUX DE SURFACE (HYDROLOGIE)

II.2.1 - Données essentielles sur les cours d'eau

1. Débit moyen (m³/s)
2. Débit maximum (m³/s)
3. Lane d'eau ruisselée (mm)
4. Conductivité -salinité-, C (micro-siemens/cm)

II.2.2 - Données essentielles sur les retenues naturelles (mares) et artificielles

5. Volume d'eau stocké (m³)
6. Conductivité -salinité-, C (micro-siemens/cm)

II.2.3 - Produits

- carte du "chevelu" hydrographique, avec localisation des stations hydrométriques, mares naturelles et retenues artificielles, zones basses et cuvettes à nappe affleurante à subaffleurante
- module mensuel, annuel (m³/s, m³/an)

II.3 - EAUX SOUTERRAINES (HYDROGEOLOGIE)**II.3.1 - Données essentielles sur les aquifères et les nappes d'eau souterraines**

1. Géologie ;
2. Hydrogéologie (localisation des aquifères) ;
3. Toit aquifère, altitude (m) ;
4. Toit aquifère, profondeur /sol (m) ;
5. Mur aquifère, altitude (m) ;
6. Mur aquifère, profondeur /sol (m) ;
7. Epaisseur aquifère (m) ;
8. Granulométrie aquifère (sable) .
9. Transmissivité aquifère (m^2/s) ;
10. Coefficient d'emmagasinement (nappe captive) ou porosité utile (nappe libre), capacité de stockage (%) ;
11. Niveau piézométrique, altitude (m) ;
12. Niveau piézométrique, profondeur/sol (m) ;
13. Débit d'exploitation nappe (m^3/h) ,
14. Débit spécifique nappe ($m^3/h/m$) ;
15. Infiltration, taux de recharge (mm/an , m^3/s , m^3/km^2) ;
16. Réserve renouvelable nappe (m^3/an) ;
17. Réserve non renouvelable nappe (m^3) ;
18. Résidu sec (mg/l) ;
19. Conductivité (micro-siemens/cm) ;
20. pH ;
21. Anions et cations courants : Ca, Mg, Na, K, Fe, Cl, SO_4 , HCO_3 , CO_3 , NO_3

II.3.2 - Données annexes

- bactériologie ;
- température, etc

II.3.3 - Produits

- carte géologique ;
- carte de répartition géographique des aquifères (limites latérales) ;
- cartes des toits, murs et épaisseurs des aquifères (géométrie, limites verticales) ;
- carte de répartition granulométrique des formations aquifères sableuses (prévision d'équipements : crépines) ;
- cartes de transmissivité, coefficient d'emmagasinement (ou porosité utile) ;
- cartes piézométriques ;
- carte de profondeur de l'eau par rapport au sol (nappes libres) ;
- carte de débit d'exploitation des nappes et carte de débit spécifique des nappes ;
- carte de résidu sec ;
- carte de conductivité ;
- carte de PH ;
- carte de chlorures, nitrates, fer, etc

III - CONNAISSANCE DES BESOINS EN EAU**III.1 - BESOINS EN EAU POTABLE DES AGGLOMERATIONS****III.1.1 - Données essentielles**

1. Valeur population localités rurales (hb)
2. Valeur population centres semi-urbains ou urbains (hb)
3. Taux d'évolution annuel de la population en milieu rural et semi-urban
4. Normes officielles de satisfaction :
 - * besoins en $l/j/hb$ en milieu rural (localités de population inf. à 1 500/2 000 hb)
 - * besoins en $l/j/hb$ en milieu semi-urban ou urbain (localités de population sup à 1 500/2 000 hb)
5. Consommation en eau villes principales (domestique, industrielle, services publics) et centres miniers
 - * état actuel (m^3/j)
 - * projection sur futur (m^3/j)

III.1.2 - Produits

- carte des besoins ponctuels en eau par localités
- carte des besoins en eau par unités administratives
- carte des besoins en eau des grands centres urbains (différenciation des besoins domestiques, industriels et publics), etc.

III.2 - BESOINS EN EAU AGRICOLES

III.2.1 - Données essentielles

- 1 Pédologie : différenciation des types de sols dans une optique agricole ;
2. Aptitude des sols à l'irrigation ;
- 3 Aptitude des eaux à l'irrigation ;
4. Localisation et superficie des zones aménageables (ha) ;
5. Localisation et superficie des terres cultivables alluvionnaires ,
6. Localisation et superficie des cultures irriguées (ha) ,
7. Localisation et superficie des cultures pluviales (ha) ;
8. Localisation et superficie des cultures de contre-saison (ha) ;
9. Localisation et superficie des aménagements irrigués par les eaux de surface (ha) ;
10. Erosion des sols ;
11. Besoins en eau par type d'activité (m³).

III.2.2 - Produits :

Exemples : toutes cartes concernant les éléments précédents

III.3 - BESOINS EN EAU PASTORAUX

III.3.1 - Données essentielles

1. Valeur du cheptel par type : bovin, camelin, ovin, caprin, asin, équin ;
2. Valeur globale du cheptel en UBT ;
3. Norme officielle de satisfaction par type de bétail (l/j/unité) ;
4. Taux d'évolution annuel du cheptel par type ;
5. Disponible fourrager saisonnier (ha/UBT) . différenciation de zones bonnes, moyennes, mauvaises et nulles du point de vue fourrager ; utilisation des données satellitaires ;
6. Localisation des points d'eau pastoraux : puits et forages motorisés ;
7. Aire d'influence des points d'eau

III.3.2 - Produits (exemples)

- carte du cheptel par type et par unité administrative ;
- carte du cheptel en UBT par unité administrative ;
- carte des stations de pompage pastorales ;
- cartes du disponible fourrager en saison sèche, en saison humide ;
- cartes des aires d'influence des points d'eau pastoraux.

III.4 - BESOINS EN EAU INDUSTRIELS

Voir besoins en eau des agglomérations

IV - CONNAISSANCE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES

Données essentielles : information sur les puits traditionnels et modernes, les forages, les dispositifs d'exhaure et les réseaux d'adduction d'eau

1. Type de point d'eau (forage d'exploitation, piézomètre, puits cimenté moderne, puits traditionnel, etc.) ;
- 2 Finalité du point d'eau (AEP, agricole, pastoral, etc) ;
- 3 Localisation du point d'eau (voir données générales parag I) .
4. Profondeur des ouvrages d'exploitation (m) : puits, forages ;
5. Débit moyen d'exploitation des ouvrages (m³/h) ;
6. Débit moyen d'exploitation des ouvrages équipés (m³/h) ;
7. Débit spécifique des ouvrages (m³/h/m) ;
8. Localisation des forages et puits secs ou à débit insuffisant pour l'exploitation ;
9. Localisation des forages et puits ensablés ;
10. Localisation des puits à réhabiliter par type de défektivité ;
11. Type d'exhaure : thermique, solaire, éolien, animal, manuel ;
12. Localisation des réseaux AEP par type d'énergie de pompage (thermique, solaire, éolien) ;
- 13 Localisation des pompes en panne par type

Nota bene : des informations beaucoup plus détaillées sur les infrastructures seront gérées par les Services spécialisés (Maintenance, Hydraulique Urbaine, Infrastructures Hydrauliques, Puits) à l'aide de systèmes informatisés spécifiques.

Produits (exemple) :

- carte de répartition des points d'eau par type et par unité administrative ;
- carte de répartition des points d'eau par type et par aquifère ;
- carte de répartition des forages et des puits modernes en fonction de leur profondeur et de leur débit ;
- carte de répartition des forages secs et peu productifs ;
- carte de localisation des pompes en panne, etc.(voir IV.1) ;
- carte sur l'origine de l'eau distribuée dans les localités (eau de surface, aquifères), etc

V - CONFRONTATION DES BESOINS, RESSOURCES ET EQUIPEMENTS / PROGRAMMATION ET PLANIFICATION

Nous passerons en revue ci-après quelques types de traitements cartographiques courants qui pourront être réalisés par le Service Etude et Planification de la Direction de l'Hydraulique.

V.1 - EAUX METEORIOQUES, RUISSELLEMENT SUPERFICIEL

- Comparaison entre hauteur de pluie annuelle et superficie des cultures pluviales et de contre-saison ;
- Comparaison entre densité de population et pluviosité ;
- Comparaison entre densité du cheptel, disponible fourrager et pluviosité.

V.2 - EAUX SOUTERRAINES**V.2.1 - Eau potable**

- **Hydraulique villageoise** : analyse de la satisfaction des besoins en eau, différenciation des localités par taille de population et satisfaction ou non satisfaction des besoins, identification des localités nécessitées ;
- **Equipement** : confrontation de la répartition des granulométries en formations sableuses, des débits spécifiques de la nappe et de la qualité de l'eau et prévisions d'équipements (ouvertures et longueur des crépines, matériaux utilisés) ;
- **Exploitabilité des aquifères** : analyse des aquifères par croisement de plusieurs critères (profondeur du niveau d'eau, profondeur des ouvrages d'exploitation, débit d'exploitation, qualité physico-chimique de l'eau) ;
- **Gestion de la ressource en eau et planification** : comparaison entre les besoins annuels globaux par unités administratives, ressource renouvelable des nappes et volumes d'eau de surface

V.2.2 - Eau agricole

- **Irrigation et eaux de surface** : comparaison entre les surfaces disponibles pour l'irrigation et le stock d'eau superficielle (mares naturelles, retenues artificielles,...) ;
- **Irrigation et eau souterraine** :
 - * comparaison entre les terres irrigables et la profondeur de la nappe par rapport au sol (localisation des zones facilement irrigables à partir d'une nappe à faible profondeur) ;
 - * comparaison entre la surface des terres irrigables et les débits extraits des forages ;
 - * comparaison entre la nature pédologique des sols des terres cultivables, l'aptitude de l'eau à l'irrigation, la profondeur de l'eau par rapport au sol, etc

V.2.3 - Eau pastorale

- comparaison entre l'aire d'influence des points d'eau et la qualité des pâturages (disponible fourrager saisonnier en ha/UBT) ;
- localisation des zones déficitaires en équipements hydrauliques pastoraux.

V.2.4 - Eau industrielle

- Estimation du taux de croissance des besoins et localisation ; identification de la ressource apte à couvrir ces besoins.

V.3 - INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES

- * Localisation des villages ou zones déficitaires en équipements, cibles des futurs projets ; programmation des types d'équipements les plus adaptés
- * Approvisionnement en eau des localités de plus de 1.500/2.000 habitants : localisation des réseaux AEP programmés par type, localisation des localités non programmées.

MISE EN PLACE D'UN SYSTEME INFORMATIQUE DE PROGRAMMATION ET DE SUIVI DE L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

Meilhac, A., S. El Magnouni;

ANTEA Groupe BRGM, BP 6119, 45061 Orléans cedex 2 - France

et

Comte J.-P.

BRGM Centre Thématique Eau, 1039 rue de Pinville, 34000 Montpellier - France.

Abstract

Decision makers and analysts in charge of villages water-supply are usually dealing with questions on how large-scale programs of works related to the satisfaction of geographically dispersed water supply demands should be elaborated.

The computerized system as described in this paper, allows : (i) to store into a data base all relevant information and data concerning the present villages water-supply situation, nationwide ; (ii) to calculate water demand indicators and to analyse their statistical and geographical distribution ; (iii) to rank the villages into order of priority based on the indicator values and development policies of the country ; (iv) to aid decision-makers to prepare programs of construction and/or rehabilitation of water supply systems, and (v) to appraise the achievements presenting them in the form of statistics and maps

Résumé

En hydraulique villageoise, décideurs et techniciens sont souvent confrontés au problème de savoir comment mettre en place des programmes de travaux permettant de satisfaire des besoins à la fois importants et géographiquement dispersés. Le système proposé ici permet (1) de stocker en base de donnée les informations essentielles sur les villages et points d'eau d'un pays, (2) de calculer des indicateurs de demande en eau et de les analyser statistiquement et cartographiquement, (3) de hiérarchiser les villages d'une région selon un ordre qui dépend de la valeur des indicateurs et de la politique de développement du pays, (4) d'aider à la mise en place de programmes de création ou de réhabilitation de points d'eau et (5) d'évaluer les réalisations en les présentant sous forme de résultats statistiques et cartographiques.

1 - LE PROBLÈME

La mise en oeuvre des travaux de réhabilitation et d'équipement des points d'eau destinés à satisfaire les besoins en eau de boisson du milieu rural est une tâche énorme tant par l'ampleur des travaux à réaliser (des milliers de points d'eau) que par le coût en milliards de (milliards de FF) et la durée de ces travaux (plusieurs décennies).

Compte tenu de ces considérations, il serait tout à fait illusoire de penser mettre en place une programmation et un échéancier détaillés des équipements. En effet, à la différence d'un grand projet classique, bien localisé dans l'espace et dans le temps et ne pouvant démarrer qu'après avoir reçu un financement complet, ces travaux sont :

- dispersés sur l'ensemble d'un pays ou d'une vaste région ;
- étalés sur une longue durée ;
- financés progressivement selon des sources diverses pouvant avoir des champs d'application thématiques (ex . programme sécheresse) ou localisés dans une région particulière.

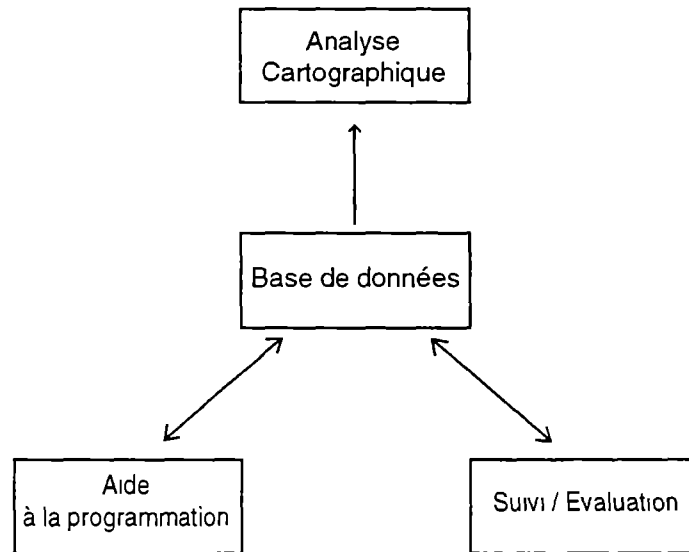
En conséquence, plutôt que d'imaginer un plan directeur figé et immuable, valable au moment de sa conception mais devenant rapidement obsolète, il convient de mettre en place une démarche et un outil qui permette à tout moment aux responsables :

- d'obtenir une image claire de la situation de l'AEP du milieu rural selon trois niveaux d'échelle : national, régional et local ;
- de procéder à un classement des villages selon la priorité d'intervention ;
- de profiter de toute opportunité de financement pour faire réaliser les travaux sur les villages les plus prioritaires ;
- d'assurer un suivi annuel des travaux réalisés, en terme de coût, de nombre de villages ou de population desservie ;
- d'évaluer éventuellement la fiabilité des équipements installés afin de procéder aux rectifications nécessaires pour les travaux futurs.

Le système présenté ici découle des réflexions menées au cours de différents projets d'hydraulique villageoise en Afrique et d'étude méthodologique des schémas d'aménagement et de gestion des eaux en France

2 - ARCHITECTURE DU SYSTÈME

Le système proposé doit servir d'interface entre les différents acteurs de la programmation . **les responsables**, ayant pouvoir de décision au niveau national, régional ou local, **les bailleurs de fonds nationaux ou internationaux**, étatiques ou privés, et **les techniciens** ayant la connaissance du milieu. Il peut être organisé selon le schéma suivant :



Pour être facilement accessible au plus grand nombre, ce système fonctionne sur micro-ordinateur et sous interface graphique (Windows) avec, dans la mesure du possible, des logiciels standards du marché, adaptés à la problématique posée. Dans les paragraphes qui suivent sont brièvement décrites les différentes composantes du système

3 - LA BASE DE DONNÉES

La base de données est le cœur du système, contenant aussi bien la source de l'information que le résultat des calculs. L'entité principale est la table des villages, reliée à une table des ouvrages selon un lien de type un à plusieurs, chaque village pouvant contenir plusieurs ouvrages.

Ces tables doivent contenir trois types de rubriques :

- identification (nom, code..) ;
- localisation (coordonnées, appartenance à un découpage administratif ou thématique) ;
- rubriques nécessaires au calculs des critères de programmation et de suivi des résultats.

Toute autre rubrique alourdirait inutilement le système.

Le choix des critères de programmation dépend largement du contexte physique du pays, de la volonté des décideurs, et de la politique de développement. Ils doivent permettre d'évaluer la situation de chaque village vis à vis de son approvisionnement en eau de boisson : effectif de la population, conditions sanitaires, présence d'équipements collectifs, niveau de desserte traditionnelle etc

4 - LA CARTOGRAPHIE

Ce module doit permettre de réaliser le report cartographique des objets, dans le but de procéder à des analyses thématiques, et de réaliser des cartes de présentation des résultats

Les objets cartographiques sont naturellement les rivières, les routes, les limites administratives, de bassins versants, etc., qui auront été saisis par digitalisation et/ou scannérisation de cartes. Mais ce sont les données ponctuelles (ouvrages et villages) en provenance de la base de données qui représentent la matière essentielle à traiter. Le module cartographique est alors un outil puissant d'analyse permettant de représenter ces points selon une symbologie dépendant de la valeur d'une ou plusieurs rubriques de la base. Il est ainsi possible de construire rapidement des cartes pour apporter une réponse claire et synthétique à une question posée par un décideur ou un bailleur de fonds.

L'ensemble base de données + module cartographique constitue ce qu'il convient d'appeler un système d'information géographique (ou SIG), apte à prendre en compte la variabilité spatiale des données.

5 - MODULE D'AIDE À LA DÉCISION

On se propose, dans un domaine géographique donné, de faire un classement des villages selon les indicateurs choisis et par ordre décroissant de priorité. La valeur des indicateurs est lue dans la base de données, et, après classement, le rang obtenu pour chaque village est retourné dans une rubrique prévue à cet effet dans la base.

Le problème d'aide à la décision se ramène à trouver le moyen de faire prévaloir des préférences exprimées par des décideurs pour établir une hiérarchisation des localités.

L'approche qui vient intuitivement à l'esprit est la suivante :

- chaque localité est d'abord jugée selon chaque critère, avec attribution d'une note (partielle) ;
- à chaque critère est attribué un poids ;
- pour chaque localité, un jugement global est porté par l'attribution d'une note globale, somme de toutes les notes partielles pondérée par le poids de chaque critère ;
- le classement s'effectue alors par ordre décroissant de la note globale

La méthode d'attribution d'une note globale par **somme pondérée** peut être choisie, elle a l'avantage d'être facile d'emploi et très commode à réaliser sur un tableur. Toutefois sa réalisation pratique met en évidence un certain nombre de difficultés :

- comment évaluer chaque localité par rapport à chaque critère?
- comment dire qu'un critère est "plus important" qu'un autre?
- comment dégager à partir des évaluations de chaque localité, selon tous les critères, une comparaison avec les autres localités?

Le problème majeur est l'attribution des poids, dont dépendra directement le résultat obtenu. En réalité, toutes les méthodes qui établissent une note globale s'inscrivent dans une logique compensatoire : le gain obtenu sur un critère peut "compenser" la perte sur un autre critère. Le poids ne reflète plus alors la force du critère, mais son **taux de substitution** par rapport à un autre critère.

Les problèmes de poids, d'évaluation des notes, de compensations et de robustesse du classement ne sont pas imputables à la formulation multicritère, mais à la méthode d'agrégation des critères utilisée, la **note globale** en l'occurrence.

D'autres méthodes plus performantes restent réellement multicritères et ne cherchent pas à établir une note globale pour chaque village, mais à comparer les villages dans le but d'affecter chaque village à un rang. Des développements très récents ont permis de valider leur pertinence et permettront, dans un délai raisonnable, de disposer de moyens puissants et aisés pour la mise en oeuvre de ces méthodes modernes et séduisantes.

6 - MISE EN OEUVRE D'UNE PROGRAMMATION DE TRAVAUX

Le processus de planification ou de programmation est toujours lié à un financement demandé, espéré ou obtenu pour un certain montant. Il consiste à instaurer un dialogue entre le décideur (le plus souvent un responsable administratif ou politique), le technicien et le bailleur de fonds, et pourra se dérouler selon étapes suivantes :

Etape 1 : Choix du domaine d'intervention : national, régional ou local

Etape 2 : Mise à jour des données stockées dans la base, et recalcul des différents indicateurs en fonction des dernières informations

Etape 3 : Classement des villages par ordre de priorité décroissante selon les indicateurs choisis, et calcul des coûts cumulés des travaux, du premier jusqu'au dernier village de la liste.

Etape 4 : Pour un montant de financement fixé, cette liste permet de retenir les premiers villages du classement, tant que le coût cumulé des travaux reste inférieur au montant disponible. Il s'agit à ce stade d'un premier tri, qui doit être affiné au cours des étapes ultérieures.

Etape 5 : Représentation cartographique des villages avec une symbologie variable selon le rang obtenu par le village dans le classement. A ce stade doivent apparaître clairement les villages retenus à l'étape 4 et ceux qui ne le sont pas. Cette carte, combinée avec d'autres informations cartographiques, permet alors d'affiner les choix :

- correction de trop grands déséquilibres d'intervention dans l'espace,
- prise en compte d'un village non retenu au milieu d'un groupe de villages retenus et réciproquement,
- étude d'opportunité de réaliser des adductions à partir d'un seul ouvrage pour alimenter des villages proches,
- etc.

Dans le SIG, il est alors possible de marquer et démarquer des villages, en accord avec le décideur, et de prendre ainsi en compte le caractère spatial des données.

7 - EXÉCUTION DES TRAVAUX

Le système n'a pas vocation d'assurer le suivi des travaux. Le plus souvent, cette tâche est décentralisée au niveau local, et, si la complexité du programme à réaliser l'exige, peut se faire en utilisant un logiciel de gestion de projets. Par contre au fur et à mesure du déroulement des travaux, les résultats sont stockés dans les tables villages et ouvrages de la base de données afin qu'ils puissent être pris en compte pour le suivi et la mise en place de programmations futures.

8 - SUIVI DES PROGRAMMES

L'appréciation du suivi des travaux réalisés nécessite de stocker dans la table des villages de la base de données la nature des travaux réalisés, leur coût et l'année de réalisation. Il est alors possible d'établir :

- des cartes de réalisation de travaux, année par année, ou cumulées ;
- des cartes de travaux restant à réaliser ;
- des graphiques montrant l'évolution simple ou cumulée du nombre de villages traités, de la population desservie et du coût des opérations, soit par région, soit par année.

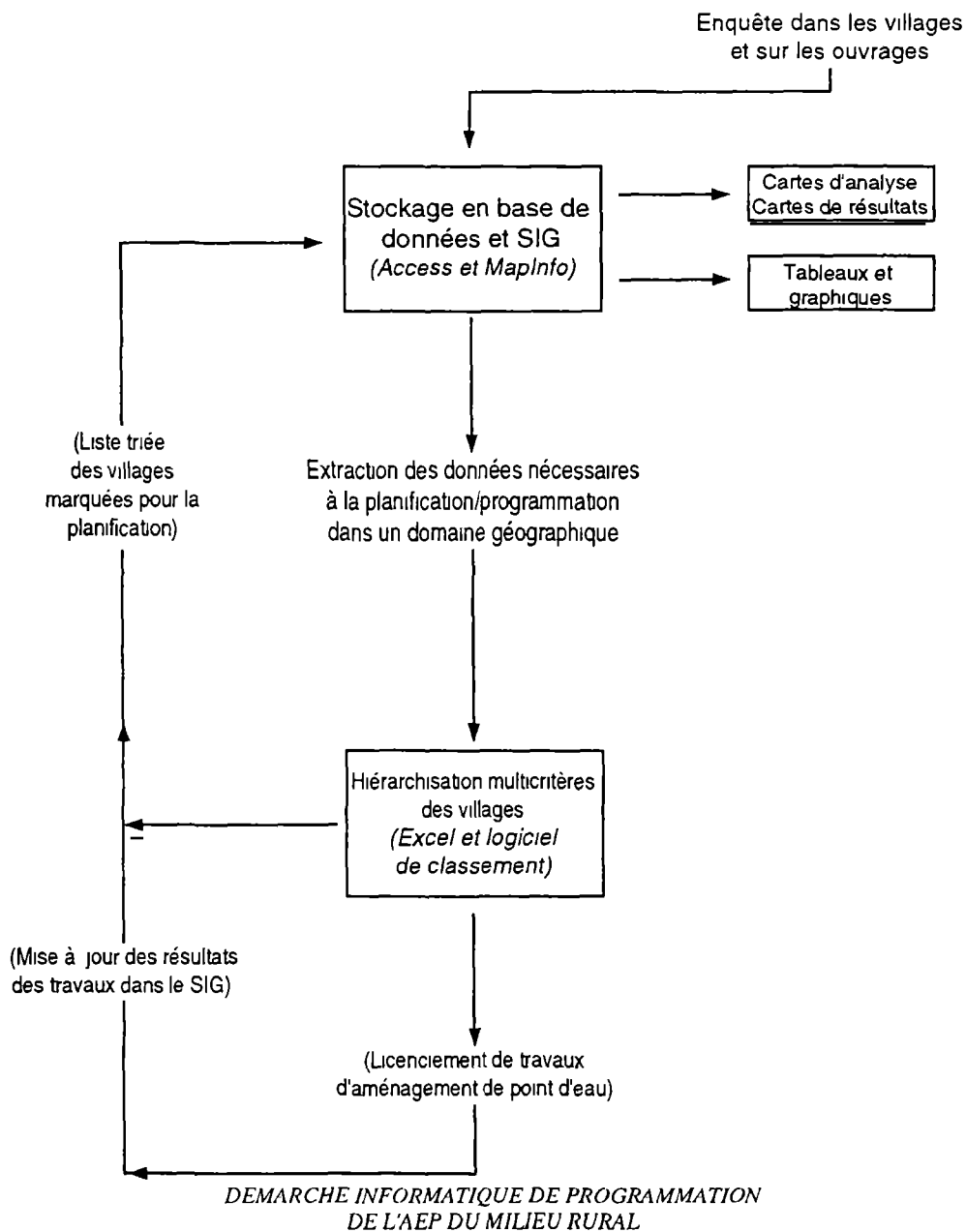
9 - MISE EN OEUVRE INFORMATIQUE

Elle peut être décrite par le schéma ci-dessous.

L'ensemble des données pouvant servir au calcul des indicateurs est archivé dans une base de données Access TM, "fonctionnant en connexion avec MapInfo TM", pour les analyses et les sorties cartographiques.

La hiérarchisation multicritère des villages se fait à partir des données contenues dans la base, avec le logiciel de classement multicritères. Les résultats de la planification devront être renvoyés dans la base de données, pour pouvoir être visualisés sous forme de cartes, tableaux et graphiques.

De même, les résultats des travaux réalisés par la suite seront intégrés dans la base, afin de permettre l'édition d'états d'avancement et la remise à jour de la planification. La mise en oeuvre d'un tel système, pour lequel la plupart des outils existent et ne nécessitent que de légères adaptations sera opérationnelle à bref délai.



GESTION ET PLANIFICATION DES RESSOURCES EN EAU AU BURKINA FASO

Schot, P. P.

IWACO B.V., Bureau d'Etudes en Eau et Environnement B.P. 8520, 3009 AM Rotterdam, Pays-Bas

Blankwaardt, B.

IWACO B.V., Bureau d'Etudes en Eau et Environnement B.P. 8520, 3009 AM Rotterdam, Pays-Bas

1. INTRODUCTION

Au Burkina Faso, pays sahélien situé au cœur de l'Afrique Occidentale (fig. 1), le secteur Eau joue un rôle central dans le développement national. Suite à la sécheresse et à l'accroissement de la population et du bétail, l'approvisionnement en eau pose de plus en plus des problèmes. Pendant les dernières décennies, des programmes d'urgence ont permis la création de plus de 20 000 points d'eau moderne pour y faire face. Ce développement explosif de l'infrastructure en eau et la baisse alarmante de la nappe phréatique observée sur quelques sites du Burkina Faso ont souligné la nécessité de gérer au mieux les ressources en eau du pays.

Convaincu qu'une gestion rationnelle des ressources en eau passe par la centralisation des expériences déjà acquises et par la mise en oeuvre d'une ligne directrice d'exploitation des ressources en eau, le gouvernement du Burkina Faso avec l'appui financier et technique du gouvernement du Royaume des Pays-Bas a, depuis 1982, jeté les bases d'un projet d'Elaboration du Plan Directeur d'Approvisionnement en Eau Potable du Burkina Faso, dénommé "Bilan d'Eau".

L'objectif principal du projet était l'élaboration d'un Plan Directeur du secteur Eau au Burkina Faso.

Le projet Bilan d'Eau a été exécuté par le Ministère de l'Eau du Burkina Faso avec l'assistance technique de IWACO, Bureau d'Etudes en Eau et Environnement néerlandais. De 1982 à 1991 le projet a été exécuté au sein de la Direction des Etudes et de la Planification (DEP) du Ministère de l'Eau. En 1991 le projet a été transféré à la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH).

Le projet consistait de trois phases de caractère spécifique.

La première phase a démarré en fin 1982 et consistait essentiellement en des inventaires et à la mise à jour des informations existantes dans le domaine des ressources en eau. Elle devait signaler les lacunes et élaborer un programme d'études pour la deuxième phase en juin 1984.

Les objectifs de la deuxième phase de 1987-1990 se résument à trois points :

- élaboration d'un Plan Directeur pour la mise en valeur des ressources en eau ; en 1989 il était décidé de limiter cette objectif à un Schéma Directeur d'Approvisionnement en Eau Potable (SDAEP) par les ressources en eau souterraine ;
- approfondissement des connaissances sur les ressources en eau ,
- renforcement des structures et moyens du Ministère de l'Eau.

Pendant la deuxième phase du projet des instruments importants ont été développés.

La troisième phase du projet de 1991-1993 visait à vulgariser et valoriser les acquis de la deuxième phase et à transférer les compétences du projet aux différentes directions et services du Ministère de l'Eau.

2. METHODOLOGIE

2.1. Etudes de base

L'élaboration d'un Plan Directeur Eau nécessite une bonne connaissance des ressources en eau. Pendant la première phase du projet il était constaté que cette connaissance était insuffisante.

C'est pourquoi des études de base ont été exécutées pendant la deuxième phase du projet pour obtenir des données concernant le fonctionnement du système hydro(géo)logique :

- études fondamentales sur quatre bassins versants représentatifs des termes du bilan hydrique ; précipitation, évapotranspiration, écoulement superficiel, recharge, écoulement souterrain ;
- établissement d'un réseau piézométrique pour suivre le comportement de la nappe dans les différents environnements climatiques et géologiques et dans les milieux urbains bien que ruraux ;
- études divers contributives ; dégradation de l'environnement, hydrochimie, télédétection, exploitation des centres secondaires par l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA).

2.2. Gestion et analyse des données

Pour gérer et analyser les données obtenues par les différentes études de base et rendre accessible les données existantes produites par d'autres projets au Burkina Faso, une banque de données a été construite, dénommée BEWACO. Dans la banque sont stockées des données de villages, de points d'eau, de retenues, de cours d'eau et de la météorologie (fig. 2).

Le projet a fait un grand effort dans la collection et le stockage des milliers de données existantes qui résultent entre autres :

- des campagnes de foration des projets d'hydraulique villageoises ,
- des réseaux météorologiques et hydrométriques nationaux ;
- de l'inventaire des retenues

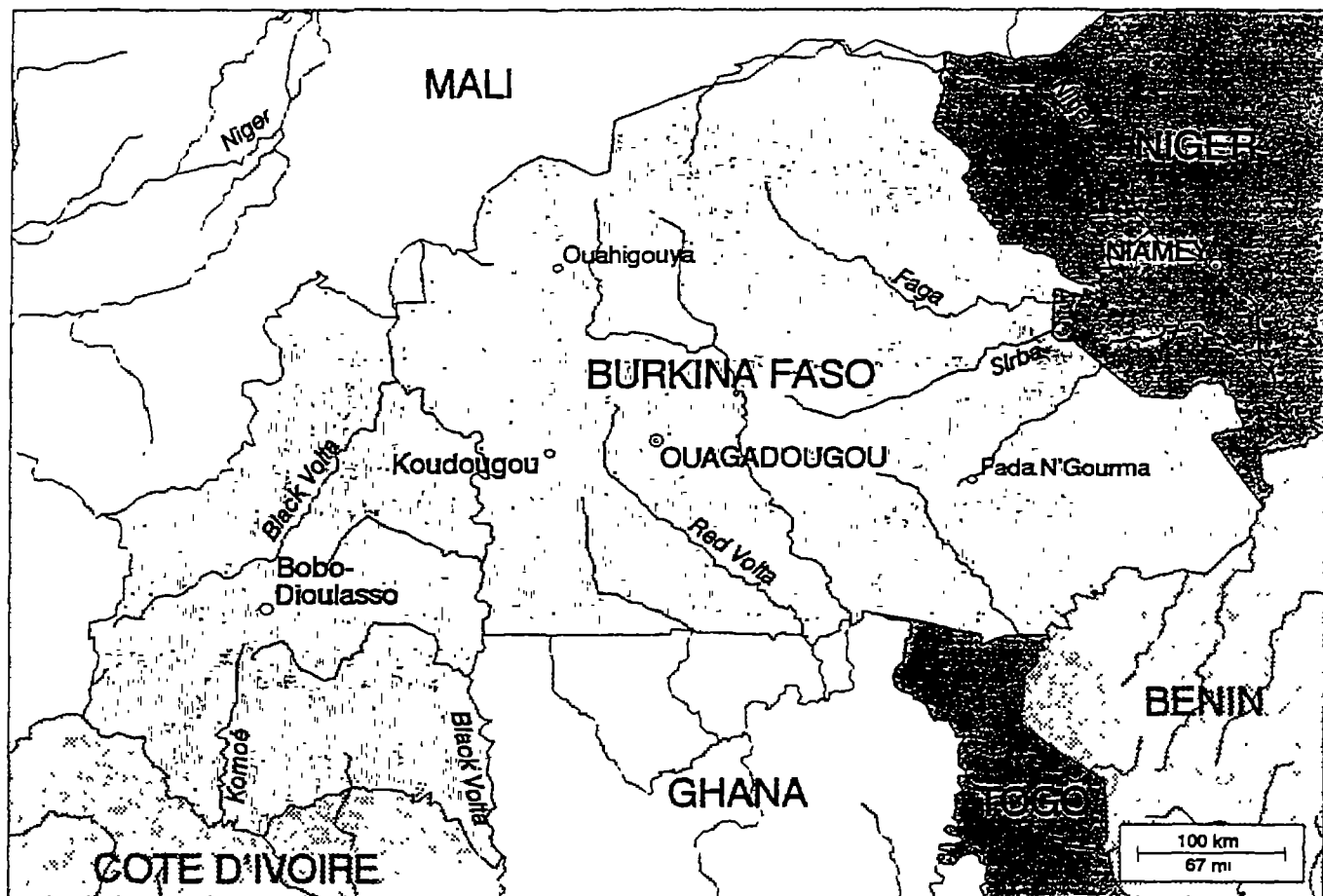
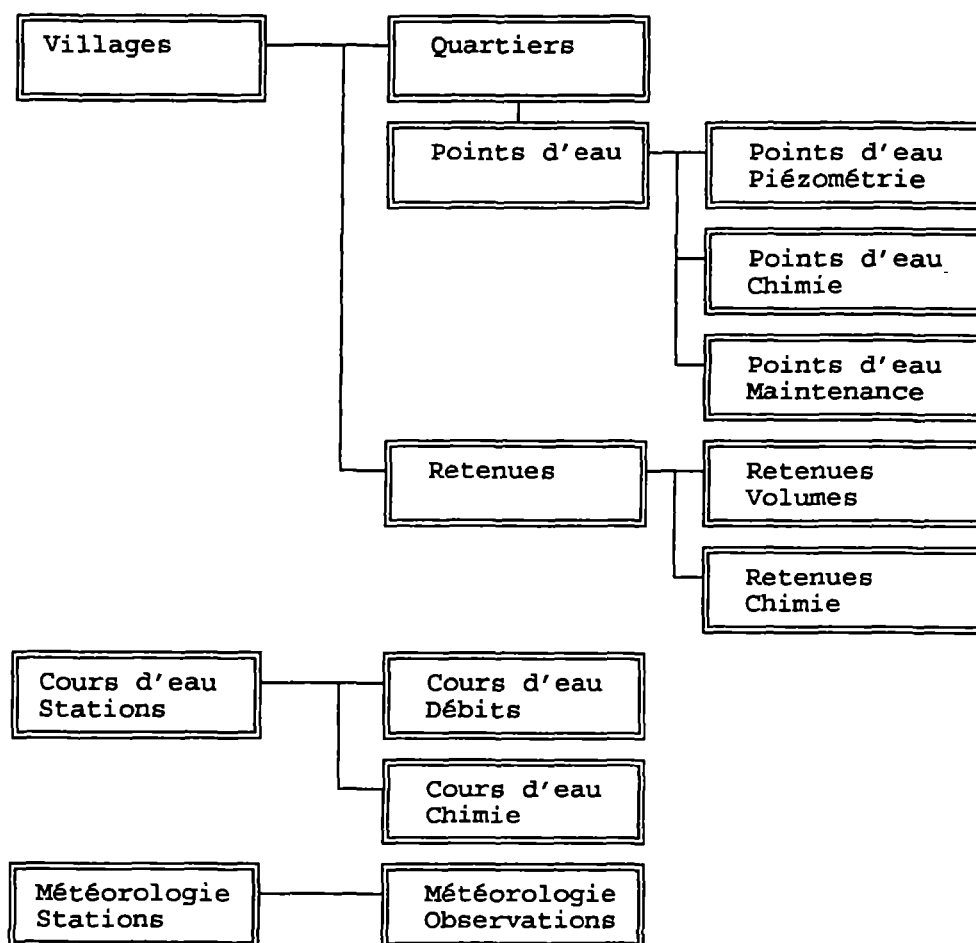


Figure 2. Structure des fichiers principaux de la banque de données BEWACO.



En plus, des mesures faites sur le terrain par le projet même ont été stockées, notamment celles collectionnées dans le cadre du réseau piézométrique

La banque de données a été reliée à un Système d'Information Géographique (ARC/INFO) pour permettre l'analyse des données sous forme de cartes. En plus, un grand nombre de cartes de base ont été digitalisées avec le S.I.G. pour permettre l'analyse des relations entre les informations des cartes de base et les données ponctuelles de BEWACO. Il s'agit des cartes géologiques, pédologiques, hydrographiques, morphologiques, des courbes de niveaux, routes, provinces, départements, etc.

2.3. Valorisation et transfert

La troisième phase du projet se concentrait sur la valorisation des acquis de la deuxième phase et le transfert des compétences du projet aux directions et services compétents du Ministère de l'Eau. Ces objectifs ont été poursuivis par :

- la formation intensive des fonctionnaires du Ministère de l'Eau pour qu'ils puissent continuer les activités indépendamment après le projet ;
- l'équipement des Directions Régionales de l'Eau (DREAU) avec la banque de données BEWACO et le logiciel de planification PLANAEF dans le cadre de la décentralisation ;
- l'établissement de la première Carte Hydrogéologique du Burkina Faso échelle 1 : 500 000 en six feuilles en couleur qui représentent un aperçu des connaissances sur les ressources en eau ;
- la création d'un réseau piézométrique national condensé et représentatif à suivre à frais minimal par la DIRH après le projet ;
- la réorganisation et le contrôle des données de l'eau de surface pour être fiables et accessibles sous forme informatisée ;
- l'établissement des rapports de synthèse des mesures des réseaux piézométriques et hydrométriques et des quatre bassins versants représentatifs expérimentaux ;
- la fourniture efficace d'information sur l'eau recherchée par les intervenants divers du secteur eau ;
- la préparation de la création d'un Centre National d'Information sur l'Eau.

3 - RESULTATS

3.1. Inventaire des ressources en eau

L'inventaire des données existantes et les études de base ont abouti à une augmentation importante des connaissances hydrogéologiques du Burkina Faso

Les études des quatre bassins versants représentatifs ont donné des informations sur les termes du bilan d'eau. L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de ca. 70-90% de la précipitation, les coefficients d'écoulement superficiel de l'ordre de 2-20% et la recharge de l'ordre de 1-15%. Ces pourcentages sont cependant seulement indicatifs à cause de leur variabilité considérable dans l'espace bien que dans le temps et dépendent des facteurs météorologiques, pédologiques, géomorphologiques, de la végétation, etc.

Le réseau piézométrique a résulté en plus de 72 000 observations piézométriques provenant de 449 points d'eau qui ont été stockées dans la banque de données BEWACO. Les observations viennent des différents projets ou ont été faites sur le terrain par le projet Bilan d'Eau même.

La série d'observations la plus longue a été faite à Ouagadougou, depuis 1978 (fig. 3). Cependant la plupart des mesures ont commencé relativement récemment, fin des années 80. Il apparaît que :

- l'exploitation des nappes par l'homme dans le milieu rural n'entraîne pas d'épuisement des nappes. En effet, la quantité exploitée n'est qu'une faible fraction de la réalimentation annuelle des nappes. Par contre, dans le milieu urbain lorsque les nappes sont intensivement exploitées, un épuisement des réserves est observé ;
- la baisse alarmante des niveaux de la nappe observée dans quelques piézomètres au début des années 80 semble surtout être liée à la sécheresse ; ces dernières années la nappe remonte de nouveau suivant l'augmentation de la pluviométrie (fig. 3) ;
- une analyse globale de toutes les observations piézométriques ne montre pas des tendances générales claires d'une baisse ou d'une hausse du niveau piézométrique au Burkina Faso pendant la dernière décennie.

Un réseau piézométrique condensé a été construit pour suivre le comportement de la nappe aux frais minimaux par les directions burkinabè après le projet. Ce réseau est représentatif pour les différents milieux météorologiques, géologiques et géomorphologiques du Burkina Faso.

L'environnement au Burkina est en voie de dégradation à cause de plusieurs facteurs combinés : les feux de brousse, l'agriculture, le surpâturage, l'urbanisation, etc. Une cartographie comparative de la région autour et nord de Ouagadougou à l'aide d'images Landsat MSS (1 : 500 000) de 1975 et 1987 a montré qu'en 1975 environ 32% de la superficie était dégradée. Pendant 12 ans ce pourcentage était remonté de vers 65%, un redoublement.

Les études sur l'interaction eau-environnement ont démontré la relation étroite entre l'état de l'environnement, et l'écoulement et l'infiltration des eaux. La perméabilité d'un sol apparaît être une grandeur plus liée à l'écologie du milieu qu'à sa nature physique au sens strict. La dégradation de la végétation favorise la formation d'une croûte imperméable à la surface du sol, ce qui a une influence négative sur les infiltrations. Une analyse des débits du Nazinon (ex Volta Rouge) et du Nakanbé (ex Volta Blanche) a bien mis en évidence le changement du comportement des bassins hydrologiques suite à la dégradation de l'environnement. Le Nakanbé drainant une zone particulièrement dégradée,

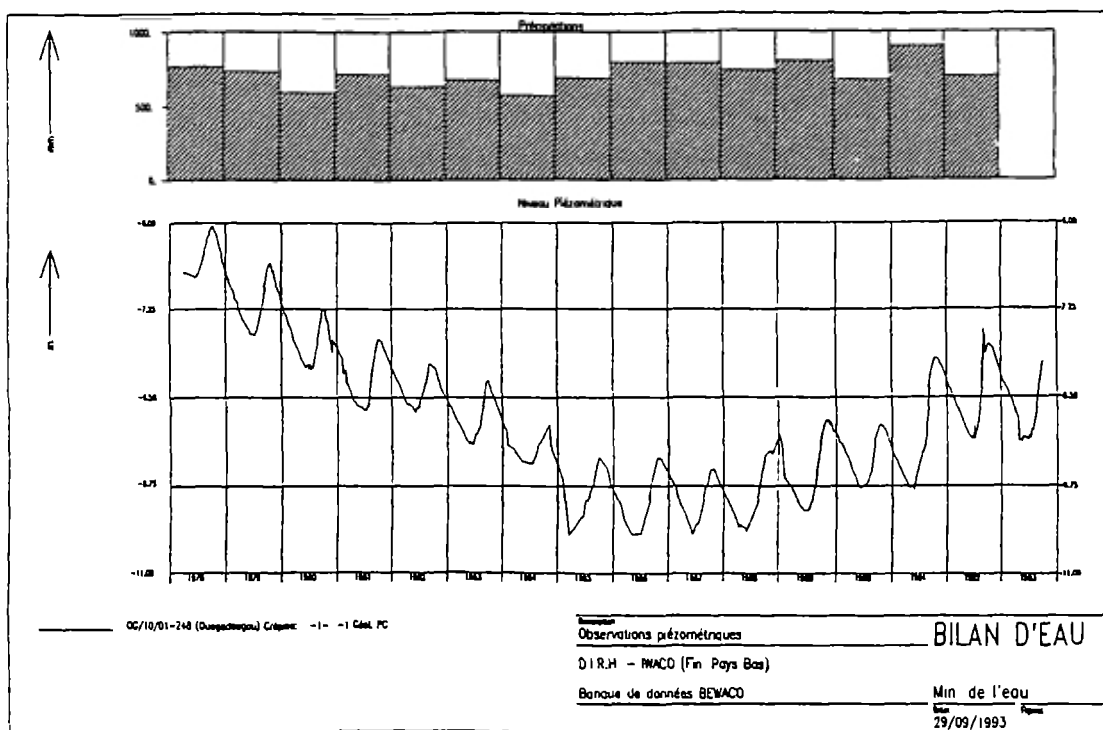
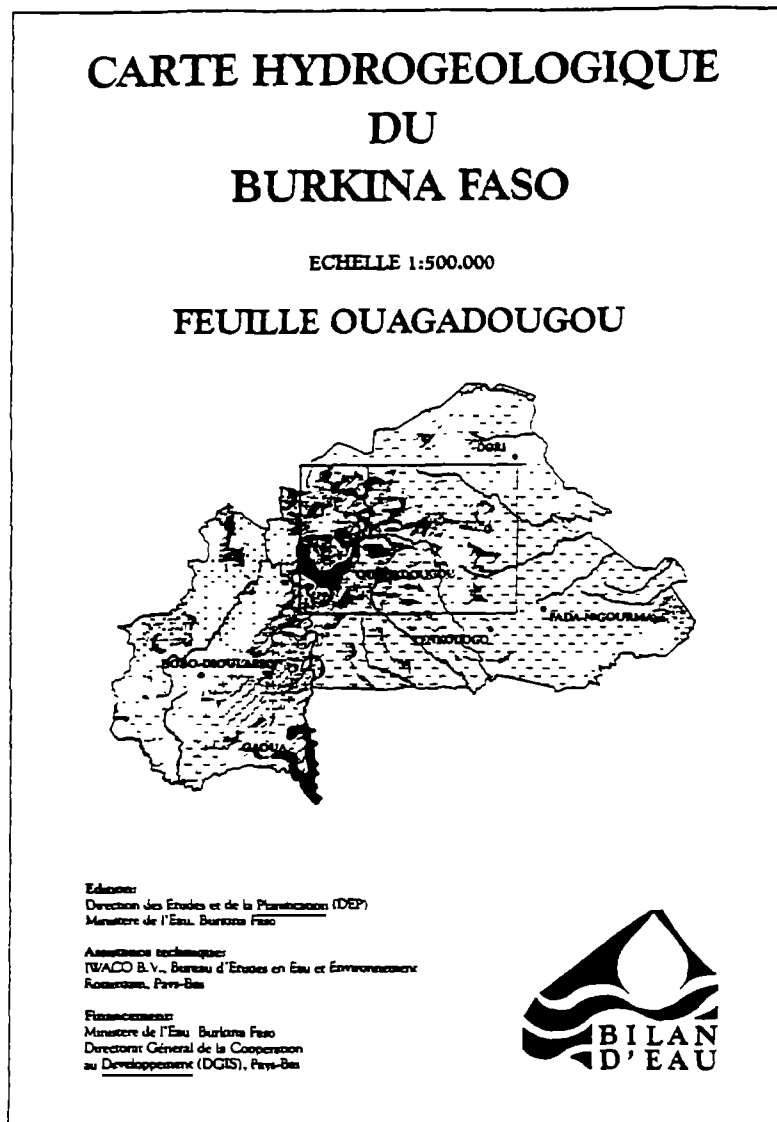


Figure 4. Nonce explicative de la Carte Hydrogéologique du Burkina Faso



comme démontré par l'étude d'images Landsat de 1975 et 1987, montre une augmentation nette des coefficients de ruissellement dans le temps, contrairement au Nazinon qui draine une zone non ou peu dégradée. L'étude conclut que la dégradation de l'environnement a des conséquences néfastes sur la disponibilité des eaux en saison sèche. Une politique de stabilisation sera indispensable pour la disponibilité de l'eau à long terme et toute planification et gestion des eaux doit prendre les aspects environnementaux en considération, surtout dans des pays comme le Burkina Faso à équilibre écologique fragile.

Les systèmes hydrogéologiques du Burkina Faso peuvent être subdivisés en deux grandes unités :

1. La région du socle, comprenant des roches cristallines et d'une métamorphose importante (Précambrien C et D). La zone altérée est en contact hydraulique avec les roches fracturées sous-jacentes. Ils forment un système aquifère bi-couche avec la zone altérée surtout capacitive et le milieu fissuré surtout conducteur. La zone altérée à porosité d'interstices peut assurer une continuité hydraulique. En milieu fissuré la continuité dépend de l'interconnexion des fissures.
2. La région sédimentaire, comprenant des roches sédimentaires et d'une métamorphose faible ou nulle (Précambrien A à récent). Les roches sédimentaires dures présentent des caractères très divers. Les formations schisteuses forment de très mauvais aquifères. Par contre les grès peuvent être des bons aquifères parfois avec une profondeur de la fracturation de 100 à 200 m. Les formations calcaire-dolomiques peuvent avoir des transmissivités très élevées de 100 à 800 m²/jour.

Les possibilités d'exploitation des eaux souterraines dépendent du type de roche (caractéristiques aquifères) et de la pluviométrie et l'état de l'environnement (caractéristiques de recharge). En général, les conditions pour l'AEP augmentent avec la profondeur de l'altération, surtout de l'altération saturée. Les altérations présentent une faible conductivité hydraulique, mais une capacité importante par leur porosité et leur extension dans l'espace. Elles jouent le rôle du réservoir. L'épaisseur de la zone altérée saturée détermine donc pour la plus grande partie, les réserves en eau du système aquifère. L'épaisseur de l'altération totale donne des renseignements utiles relatives à l'implantation et à la construction des forages. C'est à cause de ces caractéristiques importantes de la profondeur de l'altération et celle de l'altération saturée (les deux sont directement liés via la position du niveau de la nappe) qu'ils ont été utilisés comme base de la conception de la carte hydrogéologique.

3.2. Banque de données BEWACO et S.I.G.

Le système informatique BEWACO/S.I.G. a prouvé d'être d'un grand valeur pour l'approfondissement des connaissances des ressources en eau. A la fin du projet (Octobre 1993) la banque de données BEWACO contenait les données de plus de 7.000 villages, 15 000 points d'eau, 70 000 mesures du niveau piézométrique, 1.000 retenues, etc qui font que BEWACO est la banque de données la plus complète des villages et du secteur eau au Burkina Faso.

BEWACO est très facile à utiliser grâce à :

- une puissante structure de menus, qui permet de saisir, corriger ou sortir les données sans connaissance du logiciel de base ;
- une fonction 'AIDE' sous la touche F10 pour afficher un écran d'aide à chaque moment ;
- des programmes qui permettent la sortie des données sous forme de graphiques, cartes, tableaux et listes.

Les données ont été saisies de façon à pouvoir être produites par unité géographique (feuille de carte ou bassin versant) ou par unité administrative (province/département).

L'analyse des grands nombres de données de BEWACO a été possible par la présentation sur cartes avec le Système d'Information Géographique ARC/INFO. Le S.I.G. permet la combinaison de différentes cartes de base (géologie, sols, etc.) avec les données de BEWACO. C'est ainsi que le projet à établi la première Carte Hydrogéologique du Burkina Faso échelle 1 : 500 000 en six feuilles en couleur qui représentent un aperçu intégré des informations sur l'eau stockées dans BEWACO (fig. 4). En plus le projet a publié des cartes des ressources en eau souterraines et des ressources en eau de surface échelle 1 : 1 000 000 et des ressources en eau des 10 régions de planification échelle 1 : 500 000.

En dehors de l'utilisation par le projet le système BEWACO/S.I.G. est beaucoup utilisé/consulté pour la production de listings et cartes de données spécifiques recherchées par des intervenants divers du secteur eau, comme Ministères, projets, ONGs, bailleurs de fonds, etc.

3.3. Schéma Directeur de l'Approvisionnement en Eau Potable

Grâce à l'augmentation des connaissances hydrogéologiques le premier Schéma Directeur de l'Approvisionnement en Eau Potable (SDAEP) du Burkina Faso a été publié en 1991. Le SDAEP consiste en 10 rapports régionaux et un rapport national étant la synthèse des 10 régions.

Le SDAEP est en harmonie avec la politique nationale comme décrite dans le 2ème Plan Quinquennal de Développement Populaire (PQDP) 1991-1995 visant à une densité de 500 personnes par point d'eau moderne (PE MOD). La stratégie retenue du SDAEP vise à satisfaire toutes les demandes en AEP humaine en 2005, en limitant les investissements nécessaires.

Sur la base de l'infrastructure en AEP existante en 1990 et les besoins en eau potable futurs en 1995 et 2005, les capacités additionnelles en AEP à installer ont été calculées par région. Le logiciel PLANAEF a été développé pour faciliter la calcul de chaque région de façon standard pour le Burkina entier. Les calculs ont été concrétisés dans un formulation de projets de réalisation par région pour la période du PQDP de 1990-1995. Dans la programmation les

objectifs suivants pour les points d'eau modernes ont été retenus :

- un taux de desserte en 1995 d'au moins 55% dans chaque région ;
- les taux de desserte en 1995 seront au moins égaux à ceux en 1990 (pas de dégradation) ;
- la programmation reflétera l'ordre de priorité des régions vis-à-vis du délai dans l'AEP

La figure 5 montre le développement du taux de desserte autonome c'est-à-dire sans exécution de projets. Des capacités additionnelles en AEP sont nécessaires pour atteindre le taux de desserte (TdD) minimal de 55% dans les régions qui étaient déficitaires (TdD < 55%) en 1990, et de neutraliser l'accroissement de la population dans toutes les régions. La figure 6 montre les systèmes à réaliser dans la période 1992-1995

L'inventaire des ressources en eau a montré que le volume d'eau souterraine disponible au Burkina Faso est largement suffisant pour satisfaire les besoins en eau potable du milieu rural par une exploitation extensive par pompes à main. En milieu urbain des problèmes d'alimentation en eau potable peuvent être rencontrés à cause d'une exploitation intensive des nappes à réserves faibles par des pompes à grand débit

3.4. Valorisation et transfert

Le transfert des connaissances au Ministère de l'Eau a été réalisé sur la base d'un programme de formation intensive. Le groupe cible de ces interventions était les homologues du projet et le personnel associé des différents directions du Ministère de l'Eau. La formation a été donnée sous les formes suivantes :

- *Formation sur le tas* pendant l'exécution journalière de toutes les activités du projet ;
- *Ateliers* sur la gestion des ressources en eau, le Schéma Directeur AEP et le logiciel de planification PLANAEP et sur l'utilisation de la banque de données BEWACO ;
- *Cours internes* sur l'initiation aux micro-ordinateurs, BEWACO et le S.I.G. ARC/INFO ;
- *Cours externes de courte durée* au Burkina Faso et en Europe sur des aspects divers de la planification et de la gestion des ressources en eau ;
- *Bourse de longue durée* en France sur la gestion des données informatisées pour continuer les activités du système BEWACO/S I G ;
- *Etudes comparatives* en Egypte et aux Pays-Bas dans le cadre de la gestion des ressources en eau et de la gestion de la documentation au Ministère de l'Eau ;
- *Séminaires et conférences.*

Le suivi futur du réseau piézométrique du projet par la DIRH a été facilité par la création d'un réseau piézométrique national condensé et représentatif qui peut être suivi aux frais minimaux.

La valorisation des acquis de la deuxième phase a été atteinte par l'équipement des Directions Régionales de l'Eau d'une copie pour leur région de la banque de données BEWACO et du logiciel de planification PLANAEP. La structure de BEWACO a été ajustée pour mieux répondre aux besoins régionaux : les DREAU sont plutôt intéressés dans les données opérationnelles (état des pompes, stock des pièces de rechange, etc.) que dans les aspects plus scientifiques qui font surtout l'intérêt du niveau central (description des systèmes hydrogéologiques)

Les agents des DREAU ont été formés dans l'utilisation de BEWACO et PLANAEP pour qu'ils puissent indépendamment gérer et planifier les ressources en eau de leur région.

L'établissement de la Carte Hydrogéologique signifie une valorisation importante car elle présente un aperçu intégré des informations disponibles du secteur eau stockées dans la banque de données BEWACO. La carte sert surtout à la planification et l'exécution des Projets d'Hydraulique Villageoise. La carte a été vulgarisée par la distribution entre une centaine d'intervenants du secteur eau au Burkina Faso parmi lesquels des Ministères, des ONGs, des projets, des organisations internationales, des bailleurs de fonds, des institutions scientifiques et des bureaux d'études

Pour donner une idée aux utilisateurs potentiels de l'information disponible dans BEWACO, des rapports de synthèse ont été établis. Il s'agit des données piézométriques, de l'eau de surface et des bassins versants représentatifs. Sur la base de ces rapports l'utilisateur potentiel pourra décider s'il sera suffisant de consulter les données existantes présentes dans la banque de données ou s'il sera nécessaire d'entamer la collection de nouvelles données. Ainsi l'efficacité de la préparation et de l'exécution des projets sera améliorée.

Un service au tiers a été établi avec le système BEWACO/S I G. pour la production de listings et cartes de données spécifiques recherchées par des intervenants divers du secteur eau. Ces services ont été demandés très régulièrement ce qui a résulté dans l'idée de les structurer au sein du Ministère de l'Eau par la création d'un Centre National d'Information sur l'Eau (CNIE) regroupant toutes les informations sur l'eau du Burkina Faso. Ces informations sont présentes sous forme digitalisée dans le système informatique BEWACO/S.I.G. et sous forme de documents au Centre de Documentation de la DEP du Ministère de l'Eau.

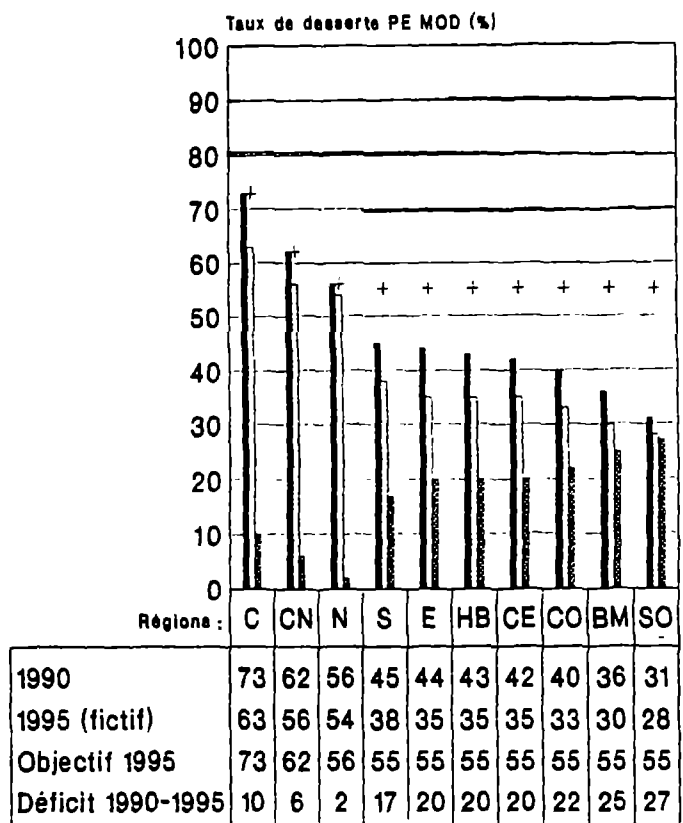
Le CNIE a été préparé par le renforcement du performance du système BEWACO/S.I.G., la réorganisation et l'informatisation du Centre de Documentation et par une étude économique de faisabilité des frais opérationnels du CNIE

4. EVALUATION

Le projet Bilan d'Eau a avancé d'un grand pas la connaissance, la gestion et la planification des ressources en eau du Burkina Faso. En même temps le projet a contribué de manière significative au renforcement institutionnel et matériel du Ministère de l'Eau

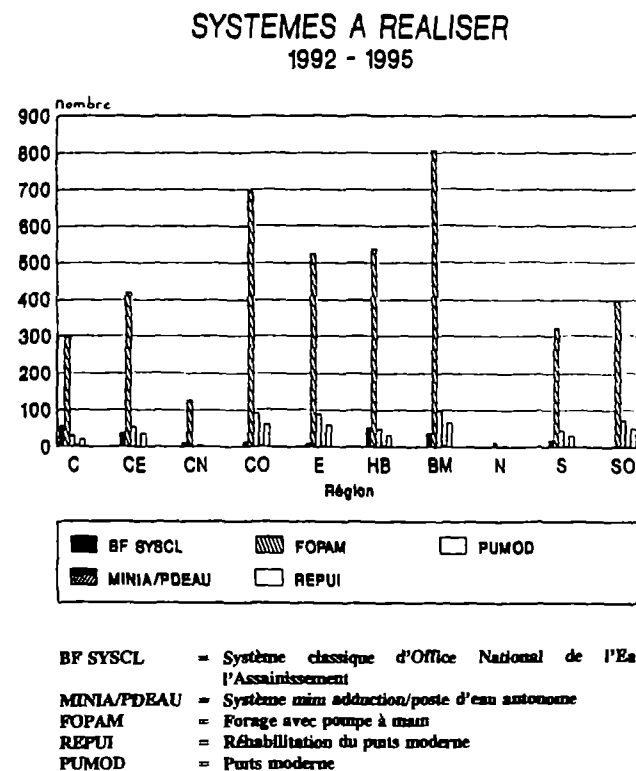
L'inventaire des données existantes et les études de base ont abouti à une augmentation importante des connaissances

Figure 5 Développement autonome (sans exécution de projets) du taux de desserte des points d'eau modernes



1990
 1995 (fictif)
 + Objectif 1995
 Déficit 1990-1995

Figure 6 Systèmes d'AEP à réaliser dans la période 1992-1995 pour satisfaire les demandes en eau potable au Burkina Faso



hydrogéologiques du Burkina Faso. Cela a résulté entre autre dans la première carte hydrogéologique du Burkina Faso échelle 1 : 500 000. La carte a pour but d'orienter les planificateurs et tous ceux qui interviennent dans l'alimentation en eau des régions rurales. Elle offre aux utilisateurs des renseignements en vue de l'implantation d'ouvrages et constitue une base solide pour l'élaboration des cartes à des échelles plus détaillées pour une gestion rationnelle des ressources en eau.

Le premier Schéma Directeur de l'Approvisionnement en Eau Potable présente la planification de l'eau potable au milieu rural et au milieu semi-urbain pour la période 1990-2005. Le SDAEP présente un aperçu de l'infrastructure en AEP en 1990, des besoins en eau aux horizons 1995 et 2005, et des capacités à installer par région en ordre de priorité.

Les dix régions de planification ont été traitées d'une façon standard. Pour mieux incorporer les caractéristiques spécifiques des différentes régions bien que les changements futurs de perception, le SDAEP devra être adapté et actualisé par un processus continu. Les cadres les plus appropriés pour cette tâche sont les Directions Régionales de l'Eau. Elles connaissent le mieux les spécificités de leur région, elles ont été équipées des instruments nécessaires (BEWACO et PLANAEF) et ont été formées dans leur utilisation. Pour performer cette tâche les DREAU doivent actualiser de façon régulière le contenu de la banque de données BEWACO de leur région. Les données collectionnées et saisies par les DREAU seront transférées au niveau central pour alimenter la version nationale de BEWACO.

Le système informatique BEWACO/S.I.G. peut être considéré comme l'acquis le plus important du projet Bilan d'Eau. Le système répond bien aux besoins et est beaucoup sollicité par des utilisateurs divers au sein et hors du Ministère de l'Eau. La disponibilité claire et transparente de l'information sur l'eau est d'un appui considérable dans l'exécution des projets. En plus l'intégration de toutes les données du secteur eau constitue une base solide pour l'établissement futur d'un Plan Directeur du secteur Eau.

Un Centre National d'Information sur l'Eau (CNIE) sera le cadre le plus approprié pour rendre opérationnel et accessible le système informatique BEWACO/S.I.G. à long terme. Il est ainsi recommandé de rechercher un financement du CNIE ce qui inclut un budget de fonctionnement pour les DREAU étant donné qu'elles sont les premiers responsables futurs de la collecte des données de base.

Liste de figures

- Figure 1 Localisation du Burkina Faso au coeur de l'Afrique Occidentale
- Figure 2 Structure des fichiers principaux de la banque de données BEWACO.
- Figure 3. La série d'observations piézométriques la plus longue de Burkina Faso (CIEH à Ouagadougou).
- Figure 4. Notice explicative de la Carte Hydrogéologique du Burkina Faso.
- Figure 5. Développement autonome (sans exécution de projets) du taux de desserte des points d'eau modernes.
- Figure 6 Systèmes d'AEP à réaliser dans la période 1992-1995 pour satisfaire les demandes en eau potable au Burkina Faso

NOUVELLES APPROCHES DE FINANCEMENT POUR LE SECTEUR DE L'HYDRAULIQUE

Direction du Plan

INTRODUCTION :

La sécheresse des deux dernières décennies gravement affecté le potentiel hydrique de la Mauritanie. Le pays recèle toutefois d'importantes réserves en eau souterraines, mais celles-ci sont inégalement réparties et les conditions de leur mobilisation sont techniquement diverses et financièrement coûteuses. A cet effet, une capacité opérationnelle stratégique est réservée par les pouvoirs publics à la Direction de l'Hydraulique pour lui permettre de réaliser les objectifs visés par le Gouvernement dans ce domaine à savoir :

- satisfaire totalement les besoins en eau de l'ensemble des populations et du cheptel ;
- préserver la qualité de l'eau .
- faire prendre en charge totalement le coût de l'eau par les bénéficiaires promouvoir l'intervention du privé dans le secteur de l'hydraulique.

Afin de satisfaire les besoins en eau potable du milieu rural, une infrastructure de 1.200 points d'eau environ a été créée au cours de la dernière décennie par l'Etat

Le taux de couverture actuel des besoins en eau potable s'élève à près de 50 %.

Le problème de la gestion des points d'eau reste toutefois posé en raison de la faible implantation du privé et d'une participation encore insuffisante des populations.

Actuellement, l'État est le principal opérateur en matière de réalisation d'équipements hydrauliques. Toutefois, les faiblesses des institutions et du fonctionnement du secteur public commencent à se faire sentir.

L'ampleur et la portée de l'interventionnisme de l'Etat sont en train d'être revues et la relation entre le secteur public et le secteur privé connaît actuellement une véritable mutation en Mauritanie.

Dans l'exposé qui suit on traitera successivement les points suivants :

- les intervenants dans le domaine de l'Hydraulique ;
- les approches de financement du secteur.

I - LES INTERVENANTS DANS LE DOMAINE DE L'HYDRAULIQUE

A. Le Ministère du Plan

Le Ministère du Plan a pour mission principale la conception de la politique économique et sociale du Gouvernement. Cette conception se concrétise par l'élaboration de plans ou de Programmes de Développement dans lesquels sont déterminées les priorités nationales et les actions propres à atteindre les objectifs fixés.

Dans ce cadre, il convient de citer à titre d'exemples les deux programmes d'ajustement entrepris par notre pays depuis 1985, il s'agit dans un premier temps du PREF (1985-1988) et dans un second temps du PCR (89-91).

Pour ce qui est du secteur de l'hydraulique, une attention particulière a été accordée à ce secteur tant au niveau du PREF qu'au niveau du PCR.

Au niveau du PREF un montant de 2 milliards d'UM a été programmé pour les projets inscrits. Sur ce montant 93 millions ont été effectivement mobilisés durant la période 1985-1988.

En ce qui concerne les projets hors PREF exécutés durant la période 1985-1988, un montant de 2,198 Milliard d'UM a été effectivement mobilisé sur 2,191 Milliards d'UM prévus.

Au niveau du PCR un montant de 2,763 Milliard d'UM a été effectivement mobilisé sur 5,130 milliards d'UM prévus durant la période soit un taux d'exécution financière de 54 %.

Le ministère du Plan, élabore le programme d'Investissement Public (PIP) du secteur en collaboration avec la Direction de l'hydraulique

Le PIP doit traduire concrètement en projets et programmes de développement, les objectifs et stratégie que le Gouvernement s'est fixé au cours d'une période considérée

Le PIP est généralement composé d'un portefeuille de projets à des stades différenciés (en cours d'exécution, enquête de financement, au stade d'identification, etc.). Cette diversité dans le stade de maturité des projets qui caractérise le PIP est de nature à poser des problèmes de programmation mais aussi de mise en œuvre.

Cependant, ces craintes doivent être tempérées par le fait qu'il existe un Budget Consolidé d'Investissement également élaboré par le Ministère du Plan et qui joue le rôle de filtre des projets et qui se veut un cadre cohérent de programmation et de suivi de l'exécution, sur une base annuelle, du PIP.

Par ailleurs, il convient de noter que le Ministère du Plan vient d'élaborer avec le concours du PNUD, un guide

d'évaluation ex-anté des projets, en vue d'améliorer la programmation du PIP. Ce guide se propose d'asseoir une méthode de sélection des projets fondée sur l'approche multi-critères.

Le Ministère du Plan s'occupe également de la recherche de financements concessionnels aux projets inscrits au PIP.

B. Le Ministère de l'hydraulique et de l'Energie

Au sein du Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie, la Direction de l'Hydraulique maître d'ouvrage des programmes d'hydraulique a trois fonctions principales :

- les études et la gestion des ressources en eaux souterraines ;
- la programmation et la maîtrise d'œuvre des projets d'hydraulique ;
- l'organisation de la maintenance des équipements d'hydraulique rurale

C. Les autres Ministères concernés par le secteur de l'hydraulique

1/ Le Ministère du Développement Rural et de l'Environnement (MDRE)

Avec ses directions de l'environnement et de l'Aménagement Rural (DEAR) et du Développement des Ressources agro-pastorales (DDRAP), le MDRE est le maître d'ouvrage des programmes d'hydraulique agricole et pastorale

La DEAR est le maître d'œuvre des projets de mise en valeur des eaux de surface (retenues colinéaires).

La DDRAP dispose d'un service d'agrométéorologie et d'hydrologie.

2/ Le Ministère de la Santé, par sa Direction de l'Hygiène et de la Projection Sanitaire et son Centre National d'Hygiène est depuis 1989 chargé de l'étude et de la mise en œuvre des actions dans le domaine de l'hygiène de l'eau et de l'assainissement.

3/ Le Ministère de l'Intérieur, par ses Directions de l'Aménagement du Territoire, du Développement Régional et de l'Administration Territoriale, a la charge :

- de suivre et orienter l'occupation du territoire,
- de réaliser de petits ouvrages hydro-agricoles,
- de la tutelle des municipalités.

D. Les communes

A l'origine, l'exploitation des équipements de distribution d'eau potable était confiée à des groupements ou à des comités de gestion. Par la suite, la réforme administrative, portant création des communes, a orienté notre administration à rétrocéder progressivement la responsabilité de l'exploitation des équipements aux communes.

II - APPROCHES DE FINANCEMENT DU SECTEUR

A. Situation actuelle

Les populations mauritaniennes, appuyées par de longues traditions, ont longtemps maîtrisé seules leur approvisionnement en eau et celui de leur cheptel. Les ouvrages étaient financés entièrement par les collectivités ou les particuliers, les usagers prenaient en charge l'entretien et le fonctionnement. C'est encore le cas lorsqu'une activité économique à l'aval, ou des ressources monétaires apportées par l'émigration, soutiennent l'initiative locale. L'exemple du millier de pompes centrifuges qui équipent les puits artisanaux des Oasis de l'Adar et du Tagant, en dehors de tout concours des pouvoirs publics, est à cet égard, particulièrement éloquent.

Mais cet équilibre de l'homme avec son milieu a été profondément affecté par la sécheresse, qui a eu pour conséquence un exode rural massif et une destruction de l'habitat et du tissu social.

C'est pourquoi l'Etat s'est trouvé dans l'obligation d'investir, avec l'aide internationale des sommes considérables dans l'équipement hydraulique et partant de s'endetter lourdement.

Les principaux partenaires étrangers dans ce domaine sont : la BID, le FAC, la CFD, LE FK DEA, L'OPEP et la BAD. Très tôt, les collectivités ont pris en charge les coûts de fonctionnement des ouvrages hydrauliques réalisés par la puissance publique. Une redevance de 10 UM a été instituée par m³ produit. Versée par l'intermédiaire du Trésor sur un compte d'affectation spécial, elle couvre une partie des coûts d'entretien et des réparations.

Cependant, dans certaines zones, l'entretien est resté entièrement à la charge de l'administration, du fait de l'inexistence de point de vente des pièces détachées, ou des difficultés de promouvoir l'installation d'artisans-réparateurs en raison d'une faible concentration d'équipements dans les zones concernées.

Les sommes affectées au service de maintenance sur le budget d'investissement de l'Etat alloué à la Direction de l'Hydraulique, représentaient en 1990, 23 Millions d'UM. En dépit de cela, le compte d'exploitation du service de la maintenance est actuellement déficitaire et ne s'équilibre que grâce aux apports extérieurs.

B. Orientations futures

Compte tenu du caractère social de l'hydraulique rurale, les recherches de financement se feront de façon à privilégier les dons et les Quasimodos.

L'amélioration de la desserte en eau potable des quelques 3500 localités représente des investissements considérables qui ne peuvent être consentis sans veiller à préserver le budget national. Les charges récurrentes engendrées par une desserte moderne ne sont pas à l'échelle des ressources de l'Etat : elles doivent donc être à la charge des usagers, directement ou

par l'intermédiaire des collectivités locales.

Dans ce cadre un décret définissant les conditions d'exploitation et de gestion des équipements d'approvisionnement en eau potable a été approuvé par le Gouvernement le 10 octobre 1993.

Ce décret prévoit la contribution des bénéficiaires au coût de l'investissement initial des ouvrages

Mais cette participation des usagers doit être en rapport avec leur capacité contributive, autrement dit le choix du type d'ouvrage doit dépendre des ressources financières des usagers. Cette approche nécessite l'association des usagers dès le stade de conception des ouvrages, d'orienter les recherches en eau en fonction du niveau de ressources financières et d'organisation possible des collectivités.

Dans ce cadre, la Direction de l'Hydraulique envisage de porter la redevance à 20 puis à 30 UM/m³, ce montant paraît supportable dans la majorité des cas, puisque les coûts d'exploitation, renouvellement inclus, seraient de l'ordre de 60 à 90 UM pour une eau vendue à plus de 100 UM/m³.

Les marges dégagées par les communes ou les collectivités permettent d'envisager qu'elles prennent en charges le renouvellement des équipements d'exhaure, sous réserve de mettre à leur disposition un système d'épargne et de crédit.

Le désengagement de l'Etat en matière d'hydraulique rurale, se traduira plus explicitement par l'application des mesures suivantes :

- 1) la rétrocession de la gestion des équipements aux collectivités locales :
 - comités des points d'eau (ou communes) pour les pompes manuelles ;
 - autorités communales, pour les systèmes mécanisés ;
 - associations pastorales pour les points d'eau pastoraux.
- 2) l'exploitation des équipements en rétrocédant :
 - aux usagers toutes les charges récurrentes pour les pompes manuelles ;
 - aux communes, les charges récurrentes des stations motorisées ; dépenses de fonctionnement (carburant, lubrifiant et salaires des opérateurs).

Une redevance, par m³ d'eau exhauré, à verser à la Direction de l'Hydraulique, pour la maintenance.

- 3) La réalisation des travaux en faisant appel aux entreprises mauritaniennes et en assurant la promotion et le développement, à l'échelle nationale des entreprises de travaux, de coopératives, de bureaux d'études et de structures de crédit mutuel.

Parallèlement aux actions ci-dessus, il conviendra de renforcer les moyens de la Direction de l'Hydraulique, pour que ses efforts soient axés en priorité vers les domaines suivants :

- programmation, gestion des ressources en eau, maîtrise d'œuvre et contrôle des activités du secteur ;
- information et organisation des collectivités, sensibilisation, animation et formation des usagers, et notamment les femmes.

CONCLUSION

A présent, les eaux souterraines en milieu rural sont encore seulement sollicitées pour l'alimentation en eau potable. Dans l'avenir, l'intérêt socio-économique doit être de plus en plus recherché en combinant l'exploitation des points d'eau à des fins humaines (approvisionnement en eau potable) et à des fins agricoles et pastorales : l'objectif est lors de couvrir les frais d'exploitation pour l'approvisionnement en eau potable par des revenus de l'agriculture ou l'élevage. La réalisation de forages à grand débit permettra d'approcher cet objectif.

Les coûts d'investissement, qui forment un facteur déterminant dans l'installation de tels systèmes, peuvent être fortement réduits si les débits nécessaires sont déjà présents.

Par ailleurs, le désengagement progressif de l'administration des travaux de réhabilitation et d'entretien des ouvrages, conformément à la politique d'ajustement structurel, devra se traduire par l'émergence du secteur privé dans le domaine de l'hydraulique rurale. C'est dans ce cadre qu'il convient de mener une étude des débouchés réels et des formes contractuelles souhaitables entre l'Etat et les privés.

Il convient aussi de promouvoir la création des métiers de l'eau, à base de professionnels, mobiliser l'épargne locale pour contribuer au financement du secteur et faciliter l'accès des collectivités au crédit pour la construction, la gestion et l'exploitation des ouvrages hydrauliques.

L'un des enseignements de politiques d'ajustement, menées ces dernières années est d'avoir démontré qu'il était possible pour l'Etat de recentrer son rôle et de promouvoir l'émergence d'autres opérateurs économiques (privés, associations professionnelles, collectivités locales...)

Ces politiques d'ajustement sont perçues comme des transitions pendant lesquelles de véritables mutations, aussi bien au niveau des structures que des processus d'intervention, vont s'opérer.

La durée de ces transitions et leur intensité dépendront pour une large part de la prise de conscience des acteurs et de leur capacité d'internalisation de ces choix.

Les nouvelles responsabilités de l'Etat (coordination et régulation de l'activité économique, réalisation d'infrastructures de base, organisations de la concertation...) exigent des besoins nouveaux en matière de financement qui sont sans commune mesure avec les possibilités de mobilisation de l'épargne interne.

LES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES CONCEPTION, GESTION ET EXPLOITATION

RÉALISATION DE RETENUES COLLINAIRES ET DE BARRAGES D'INFÉROFLUX

COMPARAISON DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES UTILISÉES POUR S'ADAPTER AU RÉGIME HYDRAULIQUE MÉDITERRANÉEN

INTÉRÊTS POUR L'AFRIQUE SAHÉLIENNE

Cova, R.

*Géologue départemental du Var, Docteur 3^{ème} cycle en hydrogéologie et géologie appliquée aux travaux publics.
Conseil Général Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt*

Résumé

Les contraintes locales ont conduit les projeteurs à concevoir des solutions techniques originales d'étanchéités et d'évacuateurs des crues sur vingt deux petits barrages à buts multiples dans le département du Var.

L'utilisation, en parement amont, d'étanchéité minces sur six ouvrages, a permis de comparer différents matériaux. La nécessité de maintenir en eau des réserves de faible capacité sur des cours d'eau à débit d'étiage nul amène à traiter les fondations et à résoudre le problème du raccordement des voiles d'injection aux étanchéités de surface.

La violence des averses orageuses d'automne et de printemps oblige à dimensionner largement les évacuateurs de crues. L'implantation de ceux-ci en rive est souvent très onéreuse et inesthétique : pour cette raison, des solutions dignes en terre déversantes ont été expérimentées.

Des évacuateurs en puits, poussés à travers la digue après sa construction apportent une autre solution à ce problème.

Si les conditions climatiques sahariennes sont plus sévères que celles du littoral méditerranéen, ces solutions peuvent sans doute y être adaptées.

En les complétant de barrages d'inferoflux ou barrages souterrains qui peuvent, en conditions favorables, créer des ressources à l'abri de l'évaporation et des pollutions en alimentation naturelle ou artificielle.

Summary

Local constraints have incited designers to conceive new technical solutions of watertight facings and spillways on twenty two small dams with various uses in the "Département du Var". The use of thin upstream facing on six dams allowed to compare various materials. The necessity to impound water in low capacity storage reservoirs on channels with zero-lowest water level leads to the grouting of foundations and to solve the problem of the joining of screen to surface watertightness. Because of spring and autumn storm rainfalls spillways have to be wide. Their setting on banks is often very expensive and unesthetic, therefore spilling earth dikes have been experimented. Drop inlet spillways driven through the dike after its building may be considered. The importance of the underflow on arid and semi arid areas is pointed out. Cette note réactualise une communication faite par l'auteur en collaboration avec A.CASSARD, Ingénieur des Travaux Publics, à la conférence régionale européenne de la commission internationale sur l'irrigation et le drainage organisé par la FAO à Rome en Mai 1977. En ce qui concerne les barrages d'inferoflux, elle reprend des données développées par René GUIRAUD, Faculté des sciences d'Avignon : "Les barrages d'inferoflux Leur intérêt pour l'Afrique sahélienne et Sahélienne The sahel Forum on the State-of-the-Art of Hydrologie and Hydrogéologie in the arid and semi-arid areas of Africa. Ouagadougou, feb. 89 - M.Demissie and G.E. Stout Edition 321 329." Depuis 1969, la Direction Départementale de l'Agriculture du Var a été amenée à assurer l'étude et la direction des travaux de vingt deux petits barrages à buts forestier, touristique ou d'irrigation

Les contraintes locales liées :

- à des structures géologiques souvent complexes ;
- à des régimes hydrologiques fortement contrastés et parfois mal connus ;
- au manque fréquent de terre ou d'enrochement convenable à proximité des sites économiquement intéressants ;
- à la nécessité de faire intervenir de petites entreprises non spécialisées ;
- à l'obligation de construire, durant les quelques mois d'étiage, des ouvrages qui ne comportent pas de dérivation provisoire autres que les conduites de vidange ;
- à des exigences financières sévères pour l'étude et la réalisation ;

ont amené à concevoir des solutions techniques originales au niveau des étanchéités et de l'évacuation des crues.

Pour proportionner au mieux les études à l'échelle des projets et limiter les coûts de réalisation, la méthode de travail la plus efficace paraît être une confrontation constante des différents techniciens intéressés. Une collaboration permanente, notamment entre l'ingénieur chargé du projet et le géologue, dans les phases d'approche, de conception et de construction, permet de valoriser au mieux les études et d'adapter, en cours même des travaux, les ouvrages aux conditions géologiques des sites.

1. - LES SOLUTIONS APPORTÉES AUX PROBLÈMES D'ÉTANCHÉITÉ

1.1. Étanchéité minces

Sur six barrages, l'utilisation en parement amont d'étanchéité minces a permis de comparer les textiles imprégnés de bitume "in situ", les chapes multicouches préfabriquées, le butylcaoutchouc et les dalles de béton minces. Mise à part ces dernières, ces matériaux de perméabilité et résistance mécanique semblables, sont sensibles au poinçonnement et aux chocs. (Cf. Figure 1).



FIGURE 1

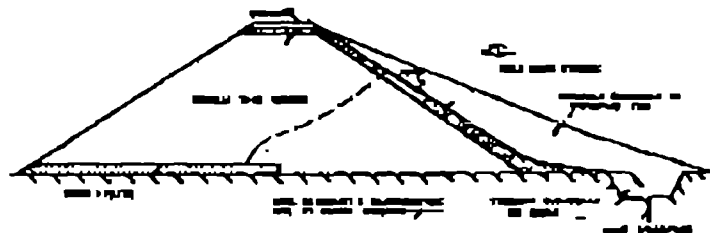


FIGURE 2

Un accident survenu sur une membrane revêtant le talus amont d'une digue de 14 m de hauteur, nous a conduit à modifier la disposition de ces voiles.

En effet, en cas de fuite, même minime, à travers le masque, du fait du fort gradient qu'implique la présence du drain placé habituellement sous l'étanchéité, des phénomènes du renard peuvent prendre naissance et déchirer la membrane par affaissement du support. (Cf. Figure 2).

Il semble préférable de considérer ces membranes comme des écrans créant une perte de charge artificielle entre l'amont et l'aval et de drainer l'ouvrage en pied comme une digue classique (Cf. Figure 3).



Une recharge de matériaux perméables fins destinée à :

- protéger la chape des rayons UV et des chocs,
- colmater les fuites éventuelles,
- lester le voile en cas de vidange rapide, est nécessaire

1.2. Étanchéité de fondations

La faible capacité des réserves établies le plus souvent sur des cours d'eau à débit d'étiage nul durant trois mois en moyenne, fait que des fuites, mêmes réduites, peuvent provoquer une vidange grave des retenues. Aussi, la réalisation de fondations totalement étanches constitue une des préoccupations essentielles alors même que les budgets d'études et de construction sont limités.

L'expérience montre que le fait de réduire les études préalables en n'effectuant pas notamment de sondages de reconnaissance et d'essais de perméabilité, entraîne le plus souvent des travaux de reprise dont le coût est hors de proportion avec l'économie réalisée

Ainsi, sur vingt deux retenues collinaires, les études ont montré la nécessité de réaliser des voiles d'injection sur dix ouvrages. L'étanchéité de douze barrages a pu être assurée à l'aide de tranchées parafouilles. Mais sur trois ouvrages dont les sites n'ont donné lieu qu'à des études géologiques sommaires, des travaux de reprise ont été nécessaires.

Toutefois, la surveillance de l'évolution, dans le temps, des fuites peut apporter un élément d'information important sur leur localisation et les traitements ultérieurs à effectuer.

Ainsi, au barrage des Bîmes décrit plus loin, les relevés de débit de fuites par rapport au niveau d'eau dans la retenue, font apparaître l'existence de deux régimes d'écoulement (Cf. Figure 4).

- fuites variant de 0,5 à 2,5 l/s pour un plan d'eau situé entre les cotes 4,50 à 8 mètres,
- fuites inférieures à 0,5 l/s pour un plan d'eau au-dessous de la cote 4,50.

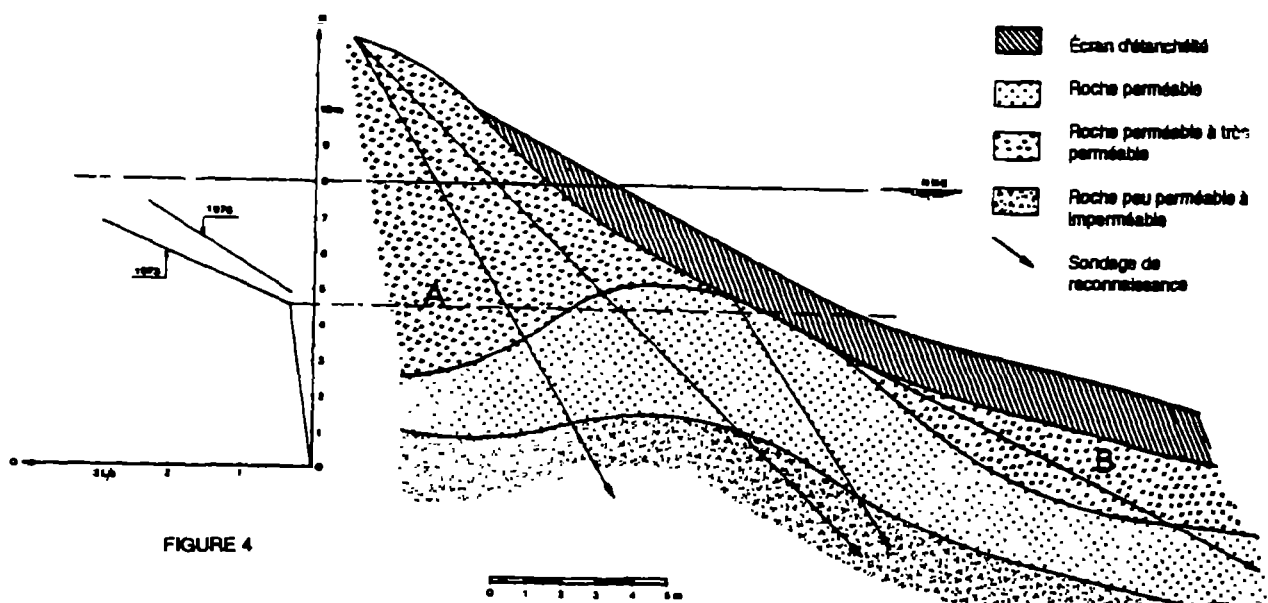


FIGURE 4

FIGURE 4

Quatre sondages forés dans la rive suspecte ont confirmé l'existence de zones à forte perméabilité en haut de rive (A) et en thalweg (B). Le régime de fuites montre que le contournement en haut de rive dans la zone A est responsable de la vidange rapide, alors que la zone B, bien qu'aussi perméable, ne permet pas de cheminement important, probablement du fait de l'absence d'exutoire possible à l'aval du barrage. Un essai d'injection de coulis ciment-bentonite sur les deux sondages situés en haut de rive, a provoqué une baisse du débit de fuite de l'ordre de 40% et a montré que l'étanchement de la fondation pouvait se limiter à cette zone, soit 50 mètres carrés de voile, en évitant ainsi un traitement complet de la section. La réduction des fuites à un débit inférieur à 0,6 l/s devient compatible avec la capacité de la retenue. La réalisation d'une tranchée en pied amont de digue descendue jusqu'à la roche saine et imperméable, et remplie de matériaux argileux compactés constitue généralement la solution la mieux adaptée à l'échelle des projets. Le traitement des fondations par injection adapté à chaque cas particulier en fonction du résultat des études préalables et des données fournies en cours de chantier, est envisageable même pour de petits ouvrages. Sur sept barrages ayant nécessité un tel traitement, le coût des injections et du drainage de la fondation est resté inférieur à 15% du coût total de la réalisation.

1.3. Raccordement des étanchéités de surface et de fondation

Deux types de techniques ont été testés :

- * Injection préalable du rocher à parur du terrain naturel. Creusement d'une tranchée pour éliminer la partie superficielle où les injections sont inefficaces. Remplissage de la tranchée à l'aide de matériaux imperméables prolongeant le noyau argileux de la digue ou permettant l'ancrage du voile d'étanchéité ;
- * Injection de collage et de traitement du rocher au travers d'un mur d'ancrage en béton ou d'un parafouille en argile compactée sur lequel se raccorde l'étanchéité de surface (Cf. Figures 5 et 6).

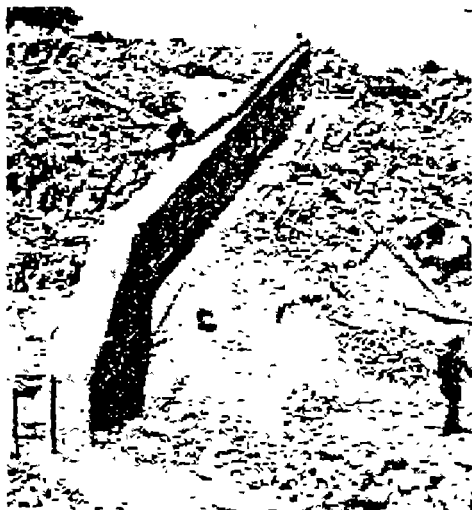


FIGURE 5



FIGURE 8

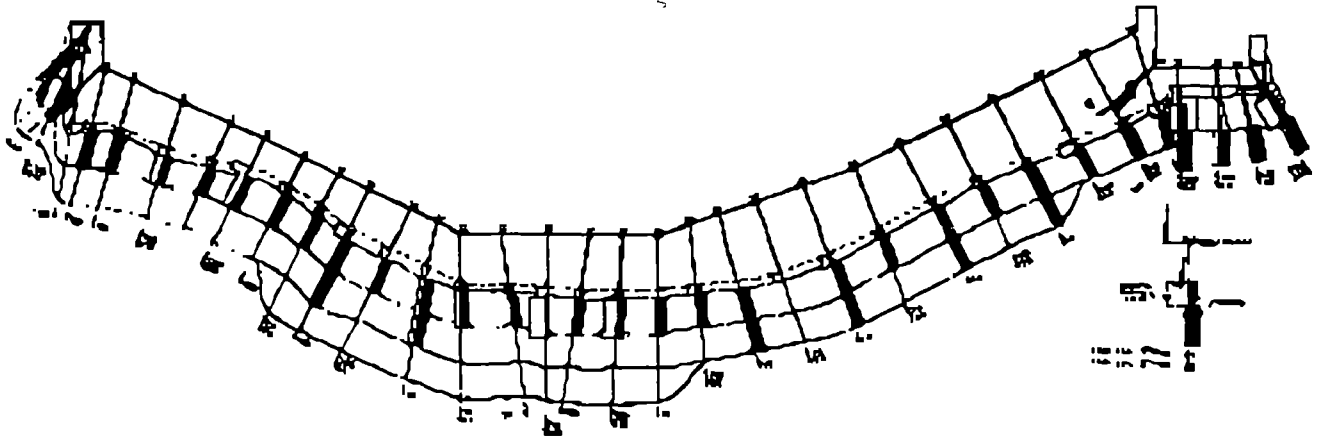


FIGURE 6

Ces deux techniques paraissent préférables aux injections à partir de la crête de l'ouvrage car elles limitent le coût des injections en permettant une surveillance des résurgences de coulis et une réduction des longueurs de forage.

2. - LE PROBLÈME DE L'ÉVACUATION DES CRUES

Les ouvrages évacuateurs de crues sont le plus souvent de conception classique : évacuateur frontal simplement terrassé, évacuateur latéral en béton.

La violence des averses orageuses que l'on peut craindre durant la construction de l'ouvrage, le faible dimensionnement des dérivations provisoires, les connaissances hydrologiques insuffisantes pour définir les crues de projet et de chantier avec précision, nous ont conduit à concevoir des ouvrages déversants, souples, capables à tout instant de permettre le passage d'une crue par-dessus son arase provisoire. Ainsi le débit de protection du chantier pour lequel les dérivations sont calculées peut être nettement inférieur à celui que l'on prendrait pour une digue classique.

2.1. Ouvrage en terre armée. Barrage prototype du Vallon des Bîmes

La topographie du site rendait difficile et inesthétique l'implantation en rives de l'organe évacuateur des crues ; il était séduisant d'utiliser un nouveau matériau à l'époque pour concevoir un ouvrage souple s'accommodant de terrains de fondation médiocres et offrant le grand avantage de déverser comme un barrage en béton. Description (Cf. Figure 7). L'ouvrage est fondé moitié sur une roche micaschisteuse, moitié sur des éboulis de versant. Un drain général sur la fondation et sous l'étanchéité amont protège le corps du barrage contre une saturation totale. Le remblai constitué de matériaux issus du "ripage" des schistes à une pente amont de 2/1, une largeur en crête de 5 m et un parement aval vertical. L'étanchéité sur le parement amont est constituée par une couche de non tissé polyester imprégné de deux couches à chaud de bitume et protégée en surface par un masque de 7 cm de béton maigre.

En crête un chenal de 12 m de large prolongé par un seuil est capable d'évacuer une lame d'eau de 1,00 mètre correspondant à la crue de projet de 20 m³/s.

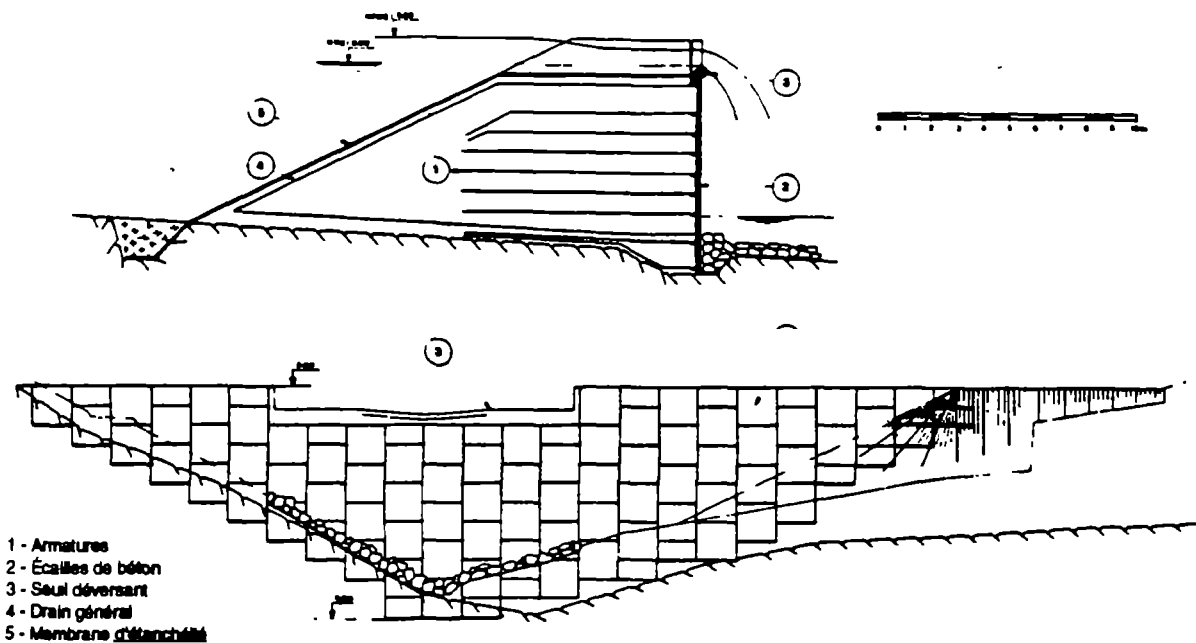


FIGURE 7

Dans le cas présent, les armatures mises en place sous le remblai sont des lanières (80 X 3 mm) de 7 m de longueur en acier galvanisé ; le revêtement de "peau" est constitué d'écaillés en béton préfabriqué de 1,5 X 1,5 m (Cf Figure 8). Depuis la mise en eau effectuée en Février 1973, le remblai n'a pas présenté de déformations supérieures au centimètre. Les relevés de piézométrie ont montré le bon fonctionnement du dispositif drainant. Une des inquiétudes sur l'application de la terre armée aux barrages est la pérennité de l'ouvrage, compte-tenu du risque de rupture des armatures par corrosion dans un remblai imbibé. Des mesures, par perte de matière, effectuées depuis 1973 sur des lanières témoins n'ont pas fait apparaître d'attaques significatives.

2.2. Digue déversante armée d'un tissu synthétique. Barrage prototype de Plaine Longue - Maraval

Poursuivant nos études sur les ouvrages déversants, il parut intéressant de concevoir un remblai, à parement vertical, dont les armatures seraient continues avec le revêtement de peau et d'utiliser un textile, récemment apparu sur le marché et doué d'une haute résistance mécanique. Il a donc été réalisé un barrage expérimental de 9 m de hauteur fondé sur des schistes et des alluvions et comportant des armatures en nappe de tissu de crins polyester (TRIX) disposées tous les 60 cm. Le matériau utilisé est un alluvion provenant de la cuvette, sa granulométrie est continue (30% de cailloux, 20% de sable, 25% de graviers, 25% silt et argile) ; la teneur en eau de l'optimum est de 12% pour $Y_d = 1,95$, son angle de frottement interne est compris entre 25° et 30° . Le textile de crins polyester qui a une résistance à la rupture en traction de 9 t/m (normes textiles), est livré en rouleaux de 7 m et 3 m de large et assemblé par recouvrement et couture sur le chantier. Le coefficient d'adhérence armature/sol a une valeur très proche de celle du frottement interne du matériau. La figure 9 précise la géométrie de l'ouvrage et la technique de mise en œuvre des différentes couches de matériau par phases successives

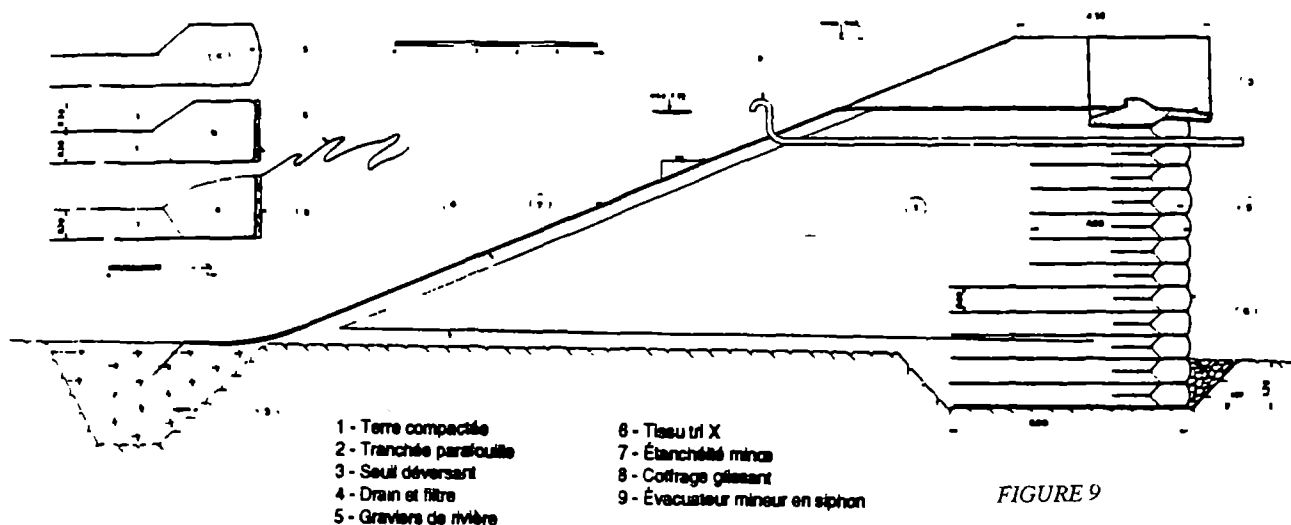


FIGURE 9

Le parement vertical est constitué par un empilement de "sacs" remplis de graviers de rivière (5.15), le tissu de "peau" est imprégné de résine de polyester stratifié qui le préserve de l'action des ultra-violets et des déchirures volontaires.

En crête, un chenal trapézoïdal de 16 m au plafond prolongé par un seuil de mise en vitesse en béton préfabriqué permet d'évacuer une lame de 1,5 m correspondant à la crue de projet de $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette technique a permis de réduire la dérivation provisoire à la seule conduite de vidange ($\varnothing 200 \text{ mm}$). Trois crues de chantier ont submergé pendant quelques dizaines d'heures l'ouvrage en construction en saturant le remblai non encore étanché, sans créer aucun dommage.

Le parement présente des déformations qui sont dues essentiellement à des défauts de mise en œuvre ; il est intéressant de noter que le tissu de peau n'est pas le siège de tensions importantes, ce qui montre bien que les efforts de tractions maxima n'ont pas lieu au voisinage de celui-ci. L'ouvrage est en eau depuis début Janvier 1977, son comportement d'ensemble est jusqu'à présent tout à fait satisfaisant (Cf. Figure 10).



FIGURE 10

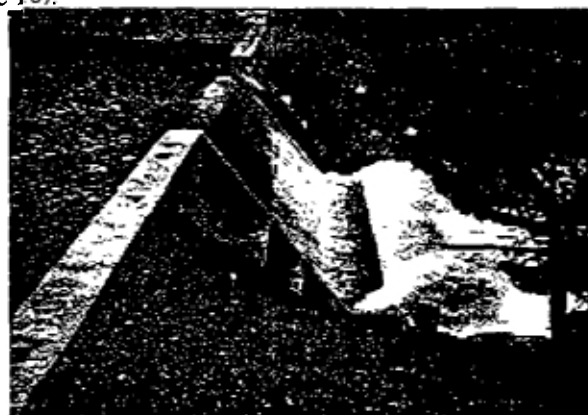


FIGURE 11

2.3. Comparaison économique des différentes solutions déversantes

En raison du caractère expérimental et de la petitesse de ces ouvrages, il est difficile de donner une grande signification aux prix de ces barrages

Le coût en francs constants (référence août 1976) ramené au mètre linéaire de parement vertical pour des digues de même hauteur (9 m) est respectivement de 8 600 et 10 800 francs pour le remblai "terre armée" et celui armé de tissu

Par comparaison pour la même hauteur, un barrage béton déversant réalisé dans des conditions identiques est revenu à 14 000 francs par mètre linéaire (Cf Figure 11)

3 - ÉVACUATEUR EN PUIS PRÉFABRIQUÉ DU BARRAGE DU BOURGUET

L'évacuation des crues par un ouvrage en puits est une solution qui peut être intéressante pour les petits barrages. Cependant leur réalisation est délicate et leur coût est élevé compte tenu des formes de révolution qu'ils impliquent

Il a été construit en 1978 un évacuateur de ce type qui permet le passage de la crue de projet ($25 \text{ m}^3/\text{s}$) à travers une digue en matériaux meubles de 15 m de hauteur

La solution retenue est composée d'une galerie préfabriquée en béton armé de 1 500 mm de diamètre suivant une pente de 21% et d'un organe métallique associant déversoir circulaire et puits de transition (Cf. Figure 12).

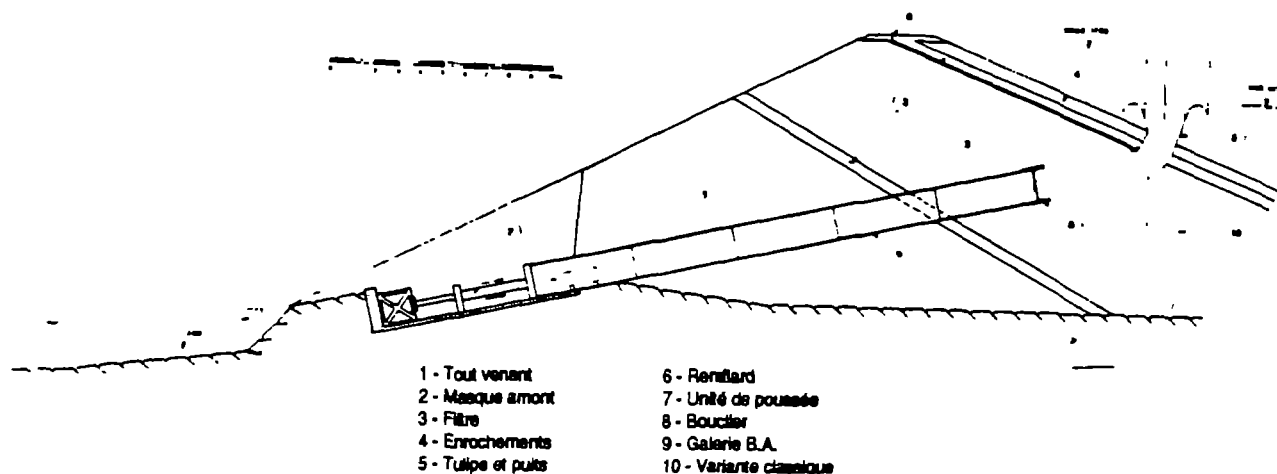


FIGURE 12

La galerie est réalisée par fonçage, dans le corps de digue, de conduites en béton armé de 5 m de longueur à partir d'une culée et au moyen de vérins hydrauliques (Cf. Figure 13) La conduite de tête est équipée d'un bouclier permettant la pénétration et l'orientation de l'ouvrage. En fin de travaux, il est procédé à l'injection d'un coulis de ciment afin de remplir l'espace annulaire.



FIGURE 13

Les intérêts de cette solution économique, eu égard aux puits classiques, sont multiples :

- la construction du puits est indépendante du chantier de terrassement ;
- le remblai n'est pas remanié par la mise en place de la conduite ;
- les matériaux préfabriqués sont contrôlés en usine ;
- le puits ne pose pas de problème de fondation ;
- le rendement hydraulique est amélioré par la diminution des pertes de charges.

Il faut toutefois noter qu'un tel dispositif ne peut servir de dérivation pendant le chantier.

Ces différentes solutions techniques originales ont fait leurs preuves avec des durées de surveillance sur 25 ans pour les plus anciennes, 14 ans pour les plus récentes.

4 - LES BARRAGES D'INFÉROFLUX

Dans différentes publications, Monsieur le Professeur R. GUIRAUD de l'Université d'Avignon, décrit le principe et les avantages des barrages d'inféroflux, les réalisations de ce type construites en Afrique depuis la dernière guerre mondiale et les publications s'y rapportant

Rappelons les principaux avantages décrits par l'auteur, de ce type d'ouvrage permettant

- la constitution d'une accumulation d'eaux souterraines dans des vallées alluviales existantes ou fossiles ;
- la réduction des pertes par évaporation par rapport aux plans d'eau de surface ;
- la potabilisation des eaux assurée par leur transfert en alluvions sableuses ;
- le coût de construction peu important et d'entretien négligeable

5 - JUMELAGE DES DEUX TECHNIQUES

En Europe, le géologue se préoccupe dans la zone de projet, de situer l'emplacement du barrage en fonction :

- des matériaux disponibles sur place qui conditionnent souvent le type d'ouvrage ;
- de la topographie permettant le meilleur rendement entre le volume de l'ouvrage par rapport à la capacité ainsi créée ;
- de la nature des fondations et appuis du barrage.

En ce qui concerne l'étanchéité sous l'ouvrage, sa préoccupation peut être variable et les études à engager pour les résoudre, plus ou moins importantes selon la situation hydrologique.

Sur un cours d'eau permanent, tant que les fuites de contournement ne dépassent pas le débit d'étiage et dans la mesure où ces pertes ne risquent pas de compromettre la stabilité du barrage, le traitement du sous-sol n'est pas obligatoire.

Par contre, si comme sur le littoral méditerranéen on a affaire à des ruissellements intermittents et des retenues non réalimentées, l'étanchéité sous l'ouvrage doit être totalement efficace notamment si le barrage est du type de ceux présentés de faible capacité où des fuites mêmes minimes peuvent assécher la cuvette avant la période de besoins en eau. Pour ces raisons, le géologue examine et engage des travaux d'études pour définir les conditions d'étanchéité du site de l'ouvrage et de la cuvette, alors que le projecteur s'intéresse à la capacité utilisable de l'aménagement.

L'eau stockée en sous-sol de la cuvette et en rives par l'effet même de la coupure étanche au niveau du parafoinille, n'est pas prise en compte dans la ressource

Dans le cas de l'Afrique sahélienne où les déficits pluviométriques sont plus graves, les aménagements illustrés par les figures 14 et 15 comportent un barrage aérien destiné à emmagasiner au maximum les pluies à fréquence annuelle sinon pluriannuelles provenant du bassin versant. Et ce, non seulement pour l'usage direct de l'eau de surface, mais également en complément de l'inféroflux existant, dans les alluvions sous-jacentes, si elles sont suffisamment développées ; grâce au barrage souterrain.

Deux situations sont à distinguer :

• **Barrage plein.** Utilisation directe gravitaire grâce à une conduite de fond permettant des irrigations et l'abreuvement des troupeaux en aval, éventuellement des cultures de bordure du plan d'eau au fur et à mesure de sa baisse.

• **Barrage vide.** Utilisation de l'eau stockée en souterrain par pompage sur la nappe par forage ou puits.

Dans les deux cas, l'ouvrage destiné à alimenter la population ne devra être captant qu'à sa base où se trouve d'ailleurs le plus souvent les venues d'eau les plus importantes au contact du bed-rock.

Par contre, l'espace annulaire entre forage et colonne de captage pleine sera rendu étanche par injection de ciment et de bentonite.

De même en fonction des résultats de sondages d'études et d'essai de perméabilité, le géologue doit préciser les distances à respecter entre puits ou forages d'infiltration et puits ou forages de captage afin qu'une filtration naturelle puisse s'opérer dans les alluvions.

Le type d'ouvrage le mieux adapté à de telles réalisations nous paraît être le barrage en terre déversant armé de géotextile type "Plaine Longue - Maraval" (figure 10), parce que :

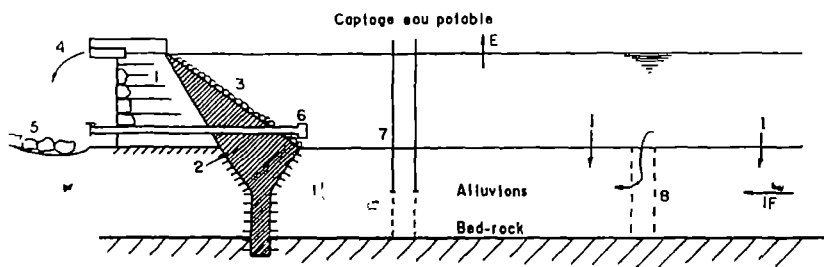
- il a fait ses preuves depuis sa construction il y a 20 ans ;
- depuis cette époque la gamme des géotextiles s'est considérablement étendue, pour répondre à toutes les situations. Les principaux produits disponibles sur le marché ont fait l'objet de tests de contrôle notamment par le CEMAGREF ;
- que ce type d'ouvrage est peu exigeant en qualité de matériaux ;
- que son volume de digue est réduit par rapport à un barrage en terre classique ;
- que le béton à mettre en œuvre se limite au radier et aux bajoyers de l'évacuateur frontal.

L'étanchéité schématisée dans la figure 14 consiste en un noyau argileux incliné prolongeant le remplissage de la tranchée d'ancrage réalisée en partie au bulldozer, en partie à la pelle mécanique en fin de saison sèche.

D'autres techniques peuvent être imaginées notamment en utilisant des membranes étanches préfabriquées

Enfin les techniques d'injection ou de palplanches peuvent être envisagées mais nécessitent l'intervention d'entreprises spécialisées. La réussite de ce type d'aménagement tient essentiellement à l'efficacité du travail effectué en sous-sol dont les défauts éventuels seront difficilement réparables. C'est pourquoi le niveau d'études géologiques doit être relativement poussé.

Fig.N°14 **SCHEMA DE PRINCIPE**
 Coupe dans l'axe d'écoulement
 SITUATION BARRAGE DEVERSANT



- | | |
|---|------------------------|
| 1 Terre compactée armée de géotextiles | E Evaporation directe |
| 2 Noyau incliné prolongeant le parapente | I Infiltration |
| 3 Rip rap | IF Inféoflux |
| 4 Seuil déversant | ETP Evapotranspiration |
| 5 Enracinement de protection | --- toit de nappe |
| 6 Prise d'eau brute pour irrigation | |
| 7 Puits ou forage cuvelage étanche | |
| 8 Puits ou forage cuvelage crépiné | |
| 9 Cultures annuelles dans le fond de cuvette de retenue | |

SITUATION BARRAGE SEC

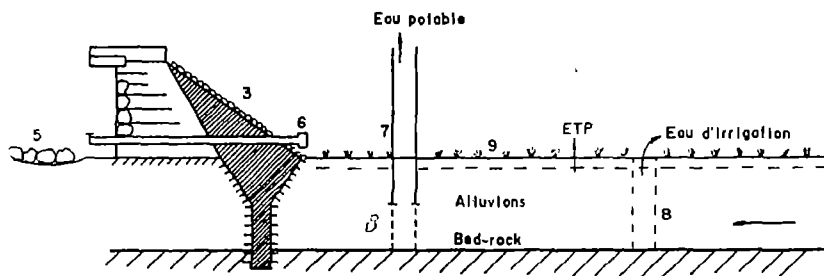
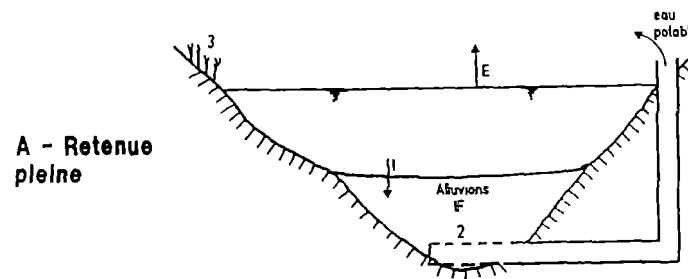
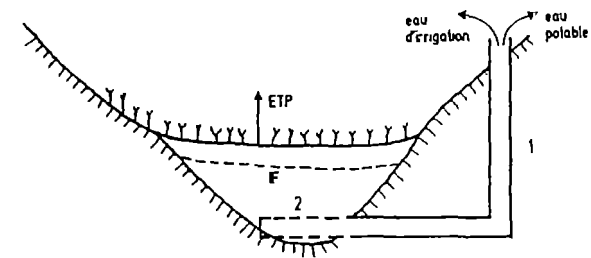


Fig.N°15 **SCHEMA DE PRINCIPE**
 COUPE TRANSVERSALE A LA VALLEE
 HYPOTHESE CAPTAGE EN RIVE



- 1 Puits en rive
- 2 Galerie captante en fond de surcreusement
- 3 Culture en rive devant la berge du plan d'eau

B - Retenue vide



Enfin, si la cuvette tend à se combler par apports solides lors des crues, il y aura certes une perte de volume disponible en eau de surface, mais augmentation d'épaisseur de l'aquifère d'inféoflux capté par pompage

La figure 15 illustre la solution du puits creusé en rive et rejoignant le fond de l'ancien thalweg remblayé soit par galeries soit par forages horizontaux

Dans les deux cas, l'étanchéité du cuvelage doit être assurée dans la partie haute par injection de collage pour éviter une contamination par des eaux de surface.

6. - CONCLUSIONS : ÉTUDES À ENTREPRENDRE

Un inventaire des sites susceptibles de répondre à un besoin en qualité et quantité définies par le maître d'ouvrage, amènera le maître d'œuvre à rechercher les sites :

- ayant un bassin versant suffisant pour répondre aux besoins et stocker la totalité des apports superficiels ;
- comportant un resserrement topographique pour limiter l'importance de la digue et fermant une cuvette suffisamment alluvionnée

Lorsqu'un site d'étude est choisi, restent à définir :

- la disponibilité et la qualité des matériaux existants sur place pour construire la digue ;
- l'épaisseur, le développement, la granulométrie et porosité utile des matériaux de remplissage de la cuvette pour quantifier les possibilités de stockage d'eaux souterraines ainsi que le type de barrage d'inféoflux à adopter pour répondre aux conditions locales

Les techniques de prospections géophysiques classiques sismiques et électriques contrôlées par sondages mécaniques, prélèvements d'échantillons, essais de perméabilité ; devront être mises en œuvre

Le choix d'implantation des ouvrages de prises d'eau doit être également étudié pour renforcer la salubrité des usages de l'eau

Notons enfin que si une disponibilité d'eau brute existe à proximité (grandes adductions), des aménagements de ce type peuvent être envisagés pour assurer le stockage et la potabilisation des eaux et alimenter des populations locales.

LES BARRAGES EN TERRE EN MAURITANIE FACTEUR STRATEGIQUE DU DEVELOPPEMENT RURAL ET DIFFICULTES REELLES DE MAITRISE DE LA CONCEPTION

Cazottes, F.

Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural

1 - LES BARRAGES ET LES BESOINS CÉRÉALIERS DE LA MAURITANIE

On recense sur l'ensemble du territoire Mauritanien plus de 350 barrages représentant un potentiel de près de 50 000 ha de surfaces cultivables en décrue contrôlée.

Ces barrages sont, pour la plus part des cas, en terre compactée d'une hauteur inférieure à 8 m et de longueur très variable (quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres).

Pour situer le rôle majeur que joue ce potentiel de cultures derrière barrages, il est nécessaire de le situer par rapport à la production et par rapport à la consommation céréaliers de la Mauritanie.

Entre 1977, date du dernier recensement officiel, et l'an 2000 l'Office National des Statistiques estime que la population va doubler (cf. Graphique 1) pour passer de moins de 1 340 000 habitants à près de 2 700 000 habitants.

Par voie de conséquence, les besoins en céréales pour la consommation nationale (estimée à près de 165 kg/hab) vont augmenter dans des proportions quasiment identiques.

Cette augmentation inexorable de la population s'accompagne en outre de deux autres phénomènes dans lesquels, les barrages, en tant que facteur de développement rural ont un rôle à jouer :

- a) la sédentarisation de la population (cf. Graphique 2) ;
- b) une forte concentration de cette population autour des capitales régionales et surtout de Nouakchott ainsi que de Nouadhibou alors que la répartition de la population entre les diverses Wilayas reste sensiblement la même (cf Graphique 3)

Sur les six dernières saisons nous pouvons constater que, derrière barrages, la superficie cultivée représentait entre 12 % et 29% de la superficie globale cultivée en Mauritanie (cf Graphique 4) et que la production céréalière varie dans les mêmes proportions par rapport à la production globale (cf Graphique 5)

Compte tenu de ces différents constats, la politique de réhabilitation et de construction des barrages est devenue un des axes majeurs de l'action du Gouvernement Mauritanien visant à atteindre le double objectif de la sécurisation de la production vivrière et du maintien des populations sur leurs terres.

C'est ainsi que le rythme des investissements dans ce domaine particulier de l'aménagement rural est en constante progression et représente, à l'heure actuelle, en moyenne, plus de 300 000 000 UM/an (soit plus de 14 M FF).

2 - LA MAÎTRISE D'OEUVRE DES BARRAGES

Depuis la restructuration du Ministère du Développement Rural et de l'Environnement (Décret n°22-93 du 03/03/93) les missions de conception et de contrôle des barrages ont été confirmées à la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural.

A ce titre, la Direction assure la presque totalité des missions de conception, de suivi et de contrôle des travaux dont la réalisation est confiée, après appel d'offres, aux entreprises du secteur privé mauritanien.

Ces missions appellent donc, au sein de l'Administration Mauritanienne, des compétences affirmées dans différents secteurs techniques et dans le domaine de l'ingénierie publique en particulier.

3 - LA CONCEPTION DES BARRAGES

L'hydrologie est le secteur technique incontournable dans le processus de conception des barrages en terre, et en Mauritanie, c'est, sans contexte l'aspect le plus délicat.

En effet, la Mauritanie se situe toujours dans les limites des domaines de validité des différentes méthodes traditionnellement appliquées en Afrique de l'Ouest pour estimer les potentialités de remplissage d'un bassin versant ou bien le débit de la crue de projet

3.1- DONNÉES HYDROLOGIQUES DISPONIBLES

Si l'on peut rassembler des séries de données relativement importantes (plus de 50 années d'observation) en matière de pluviométrie sur au moins 25 stations, il est, par contre, beaucoup plus rare d'avoir des résultats issus d'observations de bassins versants permettant d'établir des corrélations fiables entre la pluie, le ruissellement et le débit.

De 1958 à 1968, différentes études ont été menées par l'ORSTOM (cf. références documentaires 1 à 7) nous donnant de

précieuses indications (dans certaines régions uniquement) qui, à ce jour, ne peuvent avoir qu'une signification qualitative car le caractère évolutif de certains paramètres ont influencé de manière notable le comportement et la réponse de certains bassins versants

Certaines études, dites monographiques, guère plus récentes (années 70) ne nous apportent pas d'informations plus précises dans ce domaine, si ce n'est l'état des ouvrages visités au moment de l'étude, sans qu'il soit toujours possible de faire la liaison entre leur état de dégradation et un phénomène climatique particulier

L'hydrologie de la vallée du fleuve a été, quant à elle, beaucoup plus étudiée avant barrages, mais elle n'apporte pas d'indication précieuse à la conception des barrages, qui, pour la majeure partie sont aménagés au nord de l'isohyète 200 mm.

3.2- MÉTHODES D'ESTIMATION DES CRUES APPLICABLES EN MAURITANIE

3.2.1) Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins versants en Afrique de l'Ouest et Centrale (Puech et Chabi- Gonné - CIEH - 1984).

Les auteurs concluent que la qualité de l'estimation de leur méthode dépend de la zone géographique et en ce qui concerne le Sénégal et la Mauritanie l'insuffisance des données n'a conduit qu'à des régressions de qualité douteuse.

Sur les 162 bassins versants sur lesquels est basée la méthode, seule -ment 8 ont été étudiés en Mauritanie dont 5 entre les isohyètes 400 mm et 800 mm (Guidimakha - Wilaya où ne se situent qu'une minorité des barrages). Les 3 autres bassins versants semblent avoir été pris dans le Tagant.

3.2.2) Fonctions de Production

L'estimation du débit de la crue à partir d'une fonction de production fait partie des méthodes dites d'hydrologie analytique basée sur l'étude fine du passage des précipitations aux débits.

De nombreux paramètres liés à la fois au phénomène climatologique de la pluie et à la structure du bassin versant étudié font intervenir dans ce processus de transformation de la pluie au débit et obligent à faire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices.

Pour passer de la pluie au débit on procède en deux étapes

1° étape : on passe de la pluie à la quantité d'eau ruisselée par une **fonction dite de production** ;

2° étape : on passe du ruissellement au débit par une **fonction dite de transfert**.

Les fonctions de production font appel à la connaissance du hyétogramme des averses ainsi qu'à la capacité d'absorption des différents types de sols constituant le bassin versant. Or, en Mauritanie, le premier paramètre n'a fait l'objet d'aucune recherche depuis près de trente ans et le second n'a jamais été étudié.

Quant aux fonctions dites de transfert, la plus connue reste celle de l'hydrogramme unitaire et cette fonction apparaît aujourd'hui comme un modèle conceptuel construit à partir d'une image de la réalité plutôt qu'à partir de bases physiques indiscutables.

3.2.3) Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique occidentale (Rodier - Auvray - ORSTOM - 1965)

Cette méthode décrite par les auteurs comme étant "basée sur l'observation de 90 bassins versants répartis sur l'ensemble de l'Afrique Noire d'expression Française" (dont 3 dans le TAGANT et 1 dans le BRAKNA pour toute la Mauritanie) part du principe que la crue décennale est provoquée par une pluie de fréquence décennale.

Le débit maximum de la crue est déduit du débit moyen à partir d'un coefficient dont le calcul des valeurs sur les bassins expérimentaux étudiés a mis en évidence une importante dispersion.

Même s'il est distingué le cas des régimes sahéliens et subdésertiques des zones à régimes tropicaux, il n'en demeure pas moins que les cas étudiés à titre expérimental, en Mauritanie, pour l'élaboration de cette méthode s'éloignent relativement des abaques

Cependant, la fréquence des accidents observés, jusqu'à présent, sur les barrages dimensionnés et réhabilités selon cette méthode, en Mauritanie, n'est pas plus élevée que sur d'autres sites.

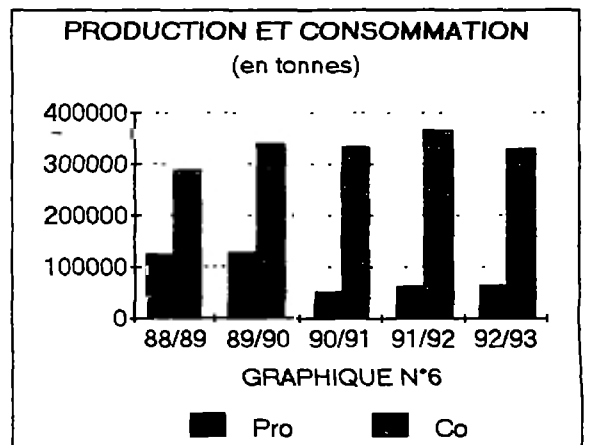
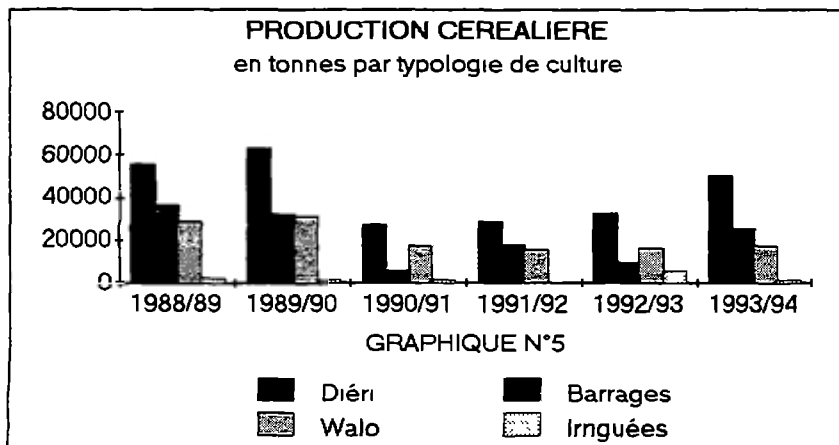
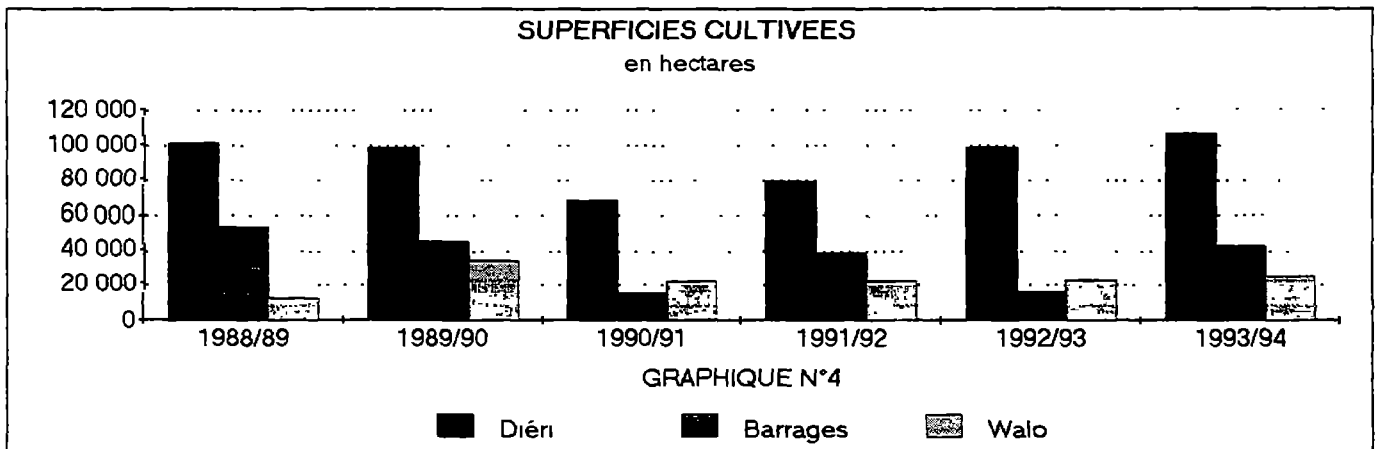
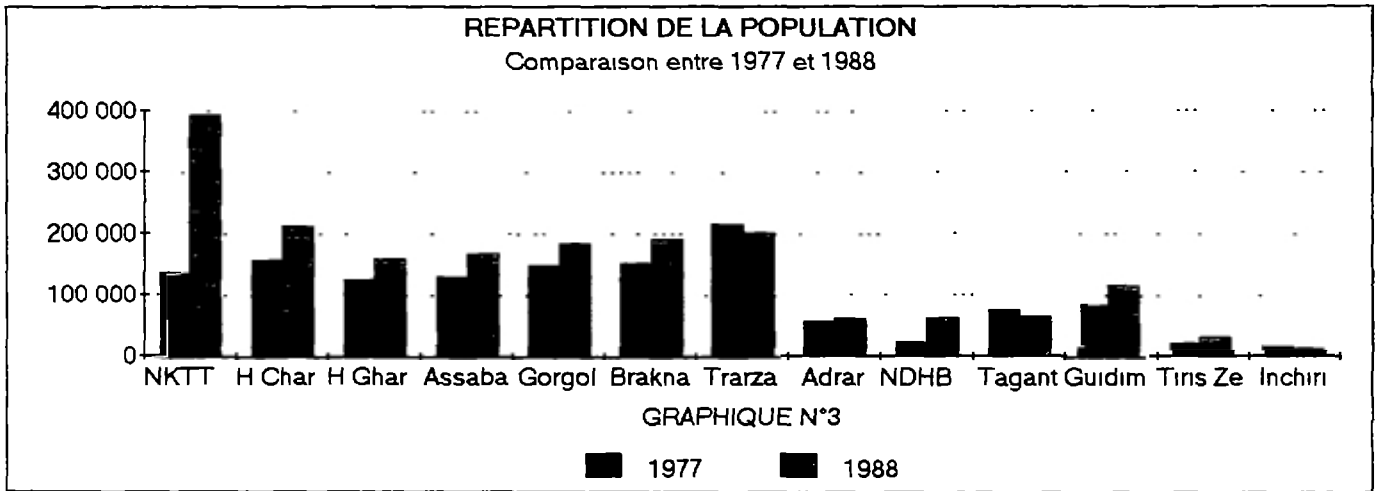
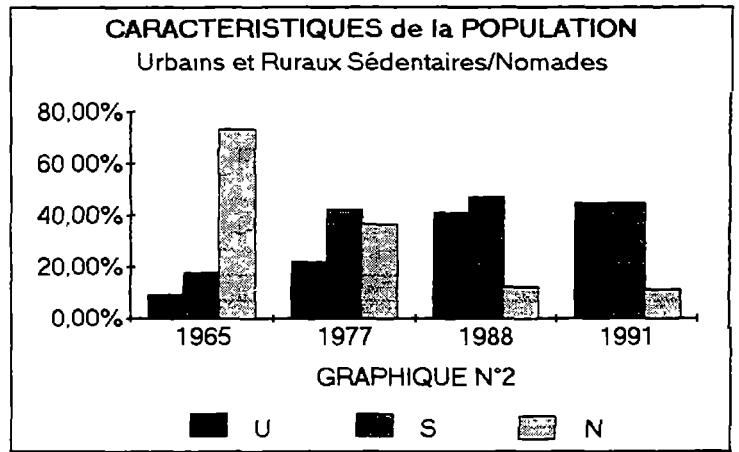
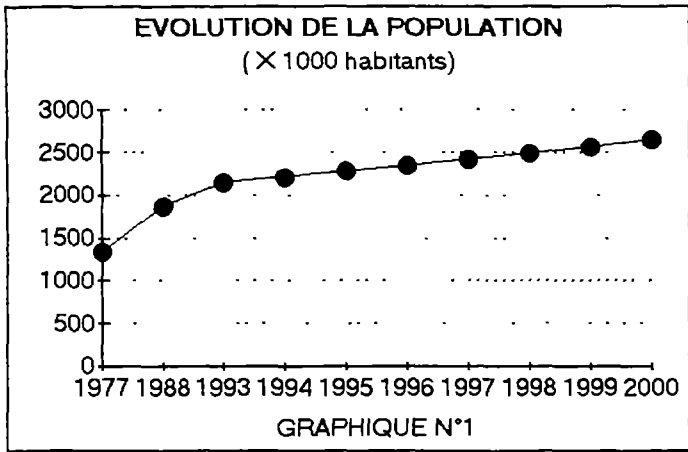
Mais, pour conclure de manière catégorique sur la validité actuelle de cette méthode, il faudrait s'assurer que l'intensité des pluies exceptionnelles et la réponse des bassins versants n'a pas fondamentalement changé depuis 1965.

4 - CONCLUSION

Les barrages en terre en Mauritanie ont une importance capitale à jouer dans le déficit de l'autosuffisance alimentaire sur la majeure partie du territoire

Mais l'état des connaissances et des méthodes classiques dans le domaine de l'hydrologie notamment se révèle insuffisant ou tout du moins presque toujours inadapté.

C'est la raison pour laquelle la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural fonde des espoirs sur les résultats que peuvent apporter de nouvelles méthodes comme celles exposées par Christian Puech et Olivier Delahaye (8) (apport de la télédétection à la détermination des débits de crue) ainsi que sur les ouvertures et les apports scientifiques de ce colloque.



EVOLUTION DE LA
POPULATION(Source Office National
des Statistiques)

(Tableau 1 - Graph 1)

Année Habitants x
10001977 1339
1988 1864
1993 2147CARACTERISTIQUES DE
LA POPULATION

(en pourcentage)

(Tableau
2 - Graph
2)1995 2277
1996 2346
1997 2418

Urbains

1965 1977 1988 1991
9,10% 21,60 41,00% 44,60
%

1998 2493

Ruraux Sédent

17,60% 42,00 47,00% 44,50
%

1999 2570

Ruraux Nomades

73,30% 36,40 12,00% 10,90
%

2000 2650

REPARTITION
GEOGRAPHIQUE DE LA
POPULATION(Source
ONS)

WILAYA	1977	1988	1977	1988
Nouakchott	134 704	393 325	10,06%	21,10%
H. Charghui	156 721	212 203	11,71%	11,38%
H. Gharbi	124 194	159 296	9,28%	8,54%
Assaba	129 162	167 123	9,65%	8,96%
Gorgol	149 432	184 359	11,16%	9,89%
Brakna	152 353	192 157	11,38%	10,31%
Trarza	216 008	202 596	16,13%	10,87%
Adrar	55 354	61 043	4,13%	3,27%
Nouadhibou	23 526	63 030	1,76%	3,38%
Tagant	74 980	64 908	5,60%	3,48%
Gudimakha	83 231	116 436	6,22%	6,25%
Tiris Zemour	22 554	33 147	1,68%	1,78%
Inchiri	17 611	14 613	1,32%	0,78%
TOTAL	1 338	1 864	100,00%	100,00%
RIM	830	236		

SUPERFICIES
CULTIVEES EN
CEREALESCampagnes
d'Hivernages(Tableau 4
- Graph.
4)

	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94
Pluviales						
Diéri	101 248	98 791	68 367	79 632	98 651	107 000
Barrages	53 978	45 140	15 535	38 650	16 200	43 000
Walo	12 438	34 467	22 320	22 037	22 900	25 000
TOT. PLUV	187 664	178 398	106 222	140 319	137 751	175 000
Irriguées						
Céréales Tradi	1 220	524	731		2 785	952
Paddy Sonader	4 220	4 692	7 714	6 591	2 889	7 488
Paddy Privés	7 150	8 140	5 995	5 202	4 750	9 612
Paddy M'Pourné	730	806	806	804	800	1 016
TOT. IRRIGUE	13 320	14 162	15 246	12 597	11 224	19 068
SURF. TOTALE	200 984	192 560	121 468	152 916	148 975	194 068

**PRODUCTION
DE CEREALES**

 (Par typologie
de culture)

en tonnes brutes

 (Tableau
5 - Graph.
5)

	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94
Diéri	55932	63310	27455	28815	32836	50290
Barrages	36488	32011	5627	18116	9720	25155
Walo	28679	31058	17448	15494	16210	17500
Irriguées	2440	1048	1462		5570	1428
TOT.	123539	127427	51992	62425	64336	94373

CEREALES

Paddy Sonader	19575	21314	30352	19773	10728	25460
Paddy Privés	28600	30932	19184	13941	11875	30276
Paddy M'Pouné	2774	2821	2821	2412	2010	2235
TOT. IRRIGUE	50949	55067	52357	36126	24613	57971
TOT. CEREALE	174488	182494	104349	98551	88949	152344
S						
Contre Saison						
Traditionnelles			3466	2789	2748	
Paddy			15104	5552	4746	
ST. Contre Saison			18570	8341	7494	

PRODUCTION ET CONSOMMATION

(Tableau 6 - Graph 6)

	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93
CONSO	287739	340524	332854	36686	32960
CEREALES				9	0

REFERENCES DOCUMENTAIRES

Bulletin de liaison du CIEH N°90, octobre 92.

Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale République Islamique de Mauritanie - Brunet Moret - Documents cartographiques - ORSTOM avril 1968.

Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale République Islamique de Mauritanie - Brunet Moret - ORSTOM juin 1964

Etude hydrologique des Oueds Ghorfa et Niordé et des Oualos en amont de Kaédi. Rapport définitif (1964-1966) G. Jacon et H. Camus. ORSTOM 1967.

Etudes hydrologiques des petits bassins versants d'Afrique Occidentale - Rapport préliminaire sur les résultats de la campagne de 1959 - J. Rodier - ORSTOM juin 1960.

Hydrologie du massif de l'Afollé. Campagne 1960 - Marcel Roche ORSTOM décembre 1960

Laboratoire Commun de Télédétection LCT CEMAGREF/ENGREF Communication présentée aux 4èmes journées scientifiques du réseau de télédétection de l'UREF, "Télédétection appliquée à la cartographie thématique et topographique" Montréal-Oct. 1991.

Rapport provisoire sur les résultats de la campagne hydrologique dans le BRAKNA et le TAGANT en 1958 - ORSTOM. Décembre 1958.

Rapport sur les résultats de la campagne hydrologique dans le TAGANT et le BRAKNA en 1958 M. Y. Brunet Moret - ORSTOM avril 1959.

FONCIER ET IRRIGATION DANS LE DELTA MAURITANIEN

Bérard , P-M.

BDPA - SCET -Agr

Résumé

Les éléments de la présente communication sont extraits d'une étude intitulée "Schéma d'Aménagement de l'Espace Rural dans le Delta du Fleuve Sénégal" réalisée en 1992 par BDPA-SCETAGRI pour le Ministère du Développement Rural et de l'Environnement. L'objectif de cette étude était de proposer des modalités de gestion de l'espace rural tenant compte non seulement des ressources en eau et en sol, mais aussi du contexte social et réglementaire régissant le foncier. La zone du Delta (de Rosso à Diama), a vu le développement remarquable d'une agriculture irriguée moderne dont les investissements ont été intégralement réalisés par les capitaux privés. C'est ainsi qu'environ 13 500 ha ont été aménagés depuis 1973.

Toutefois, cette mise en valeur réalisée dans une optique de rentabilité à court terme, présente trois types de contraintes :

- un risque de dégradation de l'équilibre écologique (salure des terres, déforestation) ,
- un risque social né de la concurrence entre ayants droits traditionnels et agriculteurs modernes (souvent extérieurs à la région) ,
- une gestion sensible des demandes de compensation foncière en faveur des exploitants installés sur les emprises des ouvrages de protection (Digue Rive Droite).

C'est pourquoi, la mise en oeuvre des investissements publics prévus pour les infrastructures hydrauliques doit s'accompagner d'une politique foncière dynamique face à la demande du secteur privé, politique qui devra prendre en compte les trois préoccupations suivantes :

- optimiser l'utilisation de l'espace et des ressources en eau et en sol ,
- sécuriser les exploitations tout en imposant des règles minimum de mise en valeur et de respect de l'environnement .
- privilégier le développement et l'emploi local.

Ainsi, la politique foncière ne doit pas se limiter au simple enregistrement des parcelles, mais être un outil de gestion de l'espace à long terme. La dynamique actuelle de l'agriculture dans le Trarza s'y prête et il faut saisir l'opportunité de la forte demande de régularisation et de reconnaissance foncière par les exploitants pour la mettre en place.

1 - LE CADRE GÉNÉRAL

Les éléments de la présente communication sont extraits d'une étude réalisée sur financement CFD par BDPA-SCETAGRI en 1992 pour le Ministère du Développement Rural et de l'Environnement (Cellule de Planification), étude intitulée "Schéma d'Aménagement de l'Espace Rural dans le Delta du Fleuve Sénégal".

Cette étude couvre l'aire géographique de la vallée du fleuve en rive gauche depuis Rosso à l'amont jusqu'au barrage de Diama à l'aval. L'objectif en était de proposer des modalités de gestion de l'espace rural en tenant compte non seulement des ressources en eau et en sol, mais aussi du contexte social et réglementaire régissant le foncier.

En effet, si un schéma d'aménagement hydraulique de la rive droite du Delta existait, par contre il était nécessaire de le confronter au développement des superficies aménagées et de définir :

- les types d'utilisation de l'espace (plan d'eau, walo, périmètres irrigués, forêts, réserve foncière pour les villages, etc.) en fonction des nouvelles conditions hydrauliques du fleuve et des ouvrages à prévoir (digues, chenaux, etc.) ,
- les modalités concrètes d'attribution et d'exploitation des terres irrigables

La présente communication se limite à ce seul deuxième point, c'est à dire aux aspects liant la situation foncière actuelle des zones irrigables et son évolution, aux aspects conceptuels du schéma d'organisation de l'espace rural.

1.1 Le contexte géographique

Une coupe transversale de la plaine montre la succession suivante des zones .

- **le bourrelet de berge**, ou *fondé*, où se trouve implantée la digue rive droite, de Rosso à Diama ;
- **une zone alternant des mares**, plus ou moins permanentes, des axes d'écoulement des eaux (chenaux défluent) et des levées de terres où se concentrent les exploitations irriguées. Il n'y a pas, contrairement à l'amont de Rosso, de zone de culture de décrue (*walo*) : les dépressions mondables sont le domaine de pâturages extensifs fréquentés par les troupeaux à certaines périodes .
- **le dieri ou zone dunaire**, limite la plaine alluviale. Dans la partie aval du delta, des zones de *dieri* sont cernées par des dépressions alluviales (Toundou Ziré, Toundou Biret), d'autres, les dunes côtières, forment la limite occidentale qui sépare le delta de l'océan.

1.2 Les contraintes physiques de l'aménagement de l'espace

L'ensemble du Delta est sous l'influence du barrage de Diama. La réalisation de la digue rive droite a autorisé la mise en eau de Diama à sa cote objectif de 1,50 m, ce qui a permis de mettre en eau les cuvettes d'inondation du Delta.

Donc, tout se passe comme si une crue s'était produite au mois de Mars 1992, mais la différence fondamentale est que

l'eau va désormais rester dans le fleuve de façon permanente entre les cotes 1,5 et 1,80 m.

Cette présence permanente d'un plan d'eau dominant l'essentiel des terres de *Walo* impose une gestion spécifique des ouvrages de prise sur cette digue pour recréer les conditions de marnage favorable aux pâturages traditionnels de décrue. Le schéma hydraulique d'irrigation et de drainage prend en compte les possibilités de drainage des terres de la façon suivante :

- **en-dessous de la cote + 0,75 m**, les chenaux défluent et les mares résiduelles (environ 6 800 ha) ne sont pas drainables gravitairement.
- **entre la cote 0,75 et 1,25 m**, les terres sont mondables (environ 25 600 ha) à partir des ouvrages situés sur la Digue pour réaliser une alternance inondation-exondation favorisant la repousse des pâturages naturels. Après aménagement, ces zones seront drainées pour éviter une accumulation des sels et améliorer l'exondation des terres.
- **au-dessus de la cote 1,25 m**, se trouvent les terres potentiellement irrigables classées en deux catégories, qui correspondent aux phases d'aménagement, selon que des infrastructures collectives d'amenée de l'eau sont ou non nécessaires :
 - * Environ 10 800 ha sans aménagements particuliers, en utilisant les axes hydrauliques naturels,
 - * Environ 2 700 ha supplémentaires qui nécessitent la réalisation d'infrastructures hydrauliques en irrigation et drainage

De plus, il est proposé de créer des "réserves foncières villageoises" (3 400 ha), emprises dont on propose le gel foncier temporaire pour permettre de faire face, au cours du développement de la région, à divers besoins en terres, actuellement encore inexprimés.

2 - LA SITUATION FONCIÈRE ACTUELLE

2.1 L'enquête foncière

La situation foncière de la zone est caractérisée par un développement remarquable des périmètres irrigués "spontanés". L'enquête foncière du Trarza ouest, réalisée en 1991 par le bureau **AFRECOM** a identifié 369 parcelles (hors ferme de M'Pourié), correspondant à une surface brute aménagée d'environ 13 500 ha, soit une moyenne de 36,6 ha et une médiane de 24 ha.

Outre l'enquête foncière, les études faites donnent les éléments suivants :

- bien que l'agriculture soit la source principale des revenus, 32 % des ménages enquêtés ne possèdent pas de parcelle et 10,6 % n'ont qu'entre 0,5 et 0,9 ha ; cependant 48 % possèdent plus d'un hectare. Près des 2/3 des ménages se disent propriétaires, mais le quart d'entre eux ne connaît pas son statut foncier.
- la demande de terres exprimée est importante puisque plus de la moitié (54 %) des ménages souhaite obtenir entre 1 et 2 hectares ; près de 20 % demandent plus de 3 ha, sans que l'on puisse déterminer d'ailleurs si cette demande correspondrait réellement à une capacité de mise en valeur.

Avant l'installation des "Irriguants" dans la zone, les villageois autochtones ne pratiquaient pas l'irrigation des *fondé* ; de même les terres de *walo* ne faisaient généralement pas l'objet de cultures de décrue, leur affectation étant essentiellement pastorale. Il y avait place pour une occupation importante de "terres vacantes" par des investisseurs, implicitement soutenus par la puissance publique. La zone est donc caractérisée par l'importance des terres aménagées spontanément depuis quelques années par des privés. Ces zones irrigables sont situées sur les bourrelets de berge du fleuve Sénégal et de ses principaux défluent.

Les aménagements ont été intégralement réalisés et financés par des investisseurs privés, soit individuellement (privés) soit sous forme collective en Groupement Pré-coopératif Agricole (GPA). Aucun investissement public (Sonader) n'a été réalisé dans le Delta. Les parcelles exploitées en GPA sont au nombre de 71 pour 3 614 ha aménagés, soit 19 % du nombre de parcelles et 27 % des surfaces aménagées. La comparaison des histogrammes des parcelles GPA et privées, montre que les premières sont légèrement plus grandes que les secondes :

- Surfaces	GPA	Privés
- Surface moyenne :	50,9 ha	33,1 ha
- Surface médiane :	36,0 ha	22,4 ha

Le type d'aménagement réalisé est "classique" : l'exploitant installe un groupe motopompe diesel (GMP) qui alimente un canal principal à partir d'une ressource en eau (fleuve ou défluent). Le canal (environ 1 000 m de longueur) alimente des casiers situés de part et d'autre de son axe. Le mode de réalisation de ces aménagements est extrêmement "rustique" (mais, par contre, très économique) : pas ou peu de compactage, nivellement grossier, ouvrages provisoires, pas de drainage.

De plus, il convient d'être prudent sur la notion de surface aménagée : en effet, toutes les parcelles sont loin d'être fonctionnelles et l'on peut constater une volonté des exploitants de "marquer" le terrain par des aménagements très sommaires qui, même inexploités, sont ainsi répertoriés par les enquêtes comme "surface aménagée".

Les enquêtes par exploitation ont porté sur un nombre significatif d'exploitations (55 % des 13 490 ha "aménagés"). Elles ont permis d'estimer le nombre d'actifs agricoles par type d'exploitation :

	GPA	Privés
- Ha/Actif	3,8	12,5
- Actif/Exploitation	14,3	2,8

2.2 L'impact de Diama et de la Digue

Après la réalisation de la digue rive droite, la mise en eau de Diama à la cote 1,50, et l'ennoisement consécutif des dépressions de la zone, ces nouveaux agriculteurs se retrouvent amputés d'une partie des superficies qu'ils ont aménagées, donc d'une partie de leur potentiel de production. Certes, ils étaient loin de pratiquer une mise valeur intégrale des terres "aménagées" par leurs soins et certains d'entre eux, installés du côté fleuve de la digue, ne peuvent se prévaloir d'une ignorance sur les risques de submersion de leur exploitation par les crues. Cependant, il y a indiscutablement eu baisse des surfaces cultivables. Des 13 500 ha aménagés, seuls 9 400 (69 %) pourront être repris dans le cadre des aménagements : 7 900 ha en phase 1 (sans aménagement particuliers), et un peu moins de 1 500 ha en phase 2 (avec des travaux d'infrastructure). Le reste, à savoir près de 4 200 ha, n'est pas irrigable et sera donc considéré comme "hors aménagement" pour diverses raisons décomposées comme suit :

- d'une part 2 300 ha de terres non cultivables à l'avenir pour lesquelles on peut considérer que les exploitants ont subi un dommage du fait des aménagements (Diama et Digue Rive Droite) :
 - * Environ 2 000 ha partiellement ou totalement détruits par l'édification de la digue rive droite ;
 - * Environ 300 ha "noyés" par le remplissage des mares à la cote 1,25 m ;
- d'autre part 1 900 ha des terres non cultivables ou cultivables dans des conditions aléatoires à l'avenir ; mais dont le choix de localisation, de la responsabilité des exploitants, fait qu'il n'est pas considéré qu'ils auront subi un réel dommage du fait des aménagements :
 - * Environ 800 ha situés hors digue (entre la Digue et le fleuve), dont une partie n'est pas noyée par la mise en eau du fleuve à la cote 1,50 m et reste cultivable en contre-saison ;
 - * Environ 1 100 ha trop éloignés de la source d'eau pour être valablement irrigables : la tendance de certains exploitants, déjà indiquée, est de "marquer" le terrain d'aménagements sommaires ne correspondant ni aux possibilités pratiques ni parfois aux intentions de mise en culture.

2.3 Le cadre légal

Sur un plan légal, plusieurs étapes, constituant les règles communes, sont nécessaires pour acquérir une terre domaniale :

- l'**autorisation d'exploiter**, accordée pour une durée de cinq ans au terme desquels l'obtention de la concession provisoire est subordonnée à la mise en valeur de la totalité du terrain d'une part, au respect des clauses et obligations du cahier des charges d'autre part ;
- la **concession provisoire** : son obtention implique également le respect d'un cahier des charges et le maintien des terres en exploitation pendant cinq années consécutives ;
- la **concession définitive**, après 5 ans de concession provisoire "réussie". Chaque situation est assortie du paiement d'une redevance annuelle spécifique par hectare.

Un rapprochement des surfaces aménagées sur le terrain et des divers documents légaux indique que :

- le nombre de personnes disposant d'une Autorisation d'Exploiter n'est que de 13 (3%) ,
- un nombre plus significatif, à savoir 216 (59%), dispose soit d'un Récépissé de dépôt de demande soit d'un autre document plus ou moins valable qui pourrait éventuellement être pris en considération pour leur permettre de se mettre en règle vis à vis de la législation ,
- par contre, 140 exploitants (38%) ne disposent d'aucun document justificatif.

Ces quelques chiffres (remis dans le contexte traditionnel) montrent que les exploitants de la zone qui ont financé eux mêmes leurs aménagements sont très sensibilisés à l'aspect légal du titre foncier.

De plus, la comparaison des superficies officiellement attribuées (13 600 ha) et de celles effectivement aménagées sur le terrain (8 900 ha) donne un ratio de 66% ce qui démontre que les demandes sont faites pour de grandes superficies destinées souvent à "marquer le terrain" plus qu'à l'exploiter compte tenu des moyens réels des agriculteurs.

3 - LES PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENT DU FONCIER

La réalisation d'aménagements hydroagricoles par la puissance publique doit se faire en tenant compte du statut foncier des exploitations. *A contrario*, les exploitants doivent se plier à un certain nombre de règles qui permettent de valoriser au mieux, non seulement les investissements publics consentis, mais aussi et surtout les ressources en eau et en sols. Les propositions faites dans l'étude portent sur les aspects suivants :

- un bilan des surfaces aménageables et des demandes de terre pour établir des règles de gestion de l'espace rural et donc des attributions foncières au niveau de l'ensemble de la zone ,
- des recommandations sur les surfaces à attribuer par exploitation ;
- un cahier des charges minimum à respecter par les exploitants pour la mise en valeur des terres irriguées ,
- des "conseils" pour la régularisation du statut foncier des exploitations actuelles

3.1 Le bilan des surfaces aménageables et des demandes de terre

La situation foncière du Delta est en pleine évolution du fait d'une part de la demande de terre des "privés", et d'autre part des conséquences des aménagements (digue). Dans l'état actuel la zone est pratiquement arrivée à saturation seuls 2 100 ha sont libres d'occupation sur un total irrigable en première phase de 13 500 ha environ (soit un ratio de 10%).

Le bilan de l'emploi agricole montre un déficit de 500 emplois familiaux sur un total d'environ 3 100 familles agricoles (soit un ratio de 16%)

Toute nouvelle attribution de terre doit donc être faite en tenant compte des besoins des populations résidentes et de la reconstitution des exploitations détruites par les travaux de la Digue selon les principes suivants :

- **en première priorité**, les GPA qui ont subi des pertes de superficies du fait des aménagements (parcelles noyées, emprise de la digue rive droite) .
- **en seconde priorité**, création d'exploitations villageoises, (GPA), pour les populations autochtones, ne disposant pas encore de revenus agricoles .
- **en troisième priorité**, compensation des pertes en superficies des privés du fait des aménagements.

En première phase, la ré attribution des "terres libres irrigables" selon ces critères fait ainsi ressortir que les GPA recevront 1 140 ha et les privés 980 ha Le bilan de l'emploi agricole est positif à condition de pratiquer une politique volontariste de création de jardins familiaux dans la zone aval (N'TIALLACK) du fait de l'absence de terres rizicultivables.

En deuxième phase, la réalisation d'infrastructures collectives d'irrigation et de drainage permettra de disposer d'environ 1 100 ha irrigables à attribuer : 300 pour les GPA et 800 ha pour les privés

3.2 Les surfaces à attribuer par exploitation

Le schéma hydraulique prend comme hypothèse la réalisation du minimum de canaux d'irrigation pour la desserte des parcelles, ceci afin de minimiser les coûts généraux de l'aménagement supportés par la Puissance Publique. Il en résulte que les dimensions (longueur et largeur) des parcelles doivent se situer dans une fourchette qui satisfasse simultanément :

- l'accès à la ressource en eau du plus grand nombre d'agriculteurs (largeur faible de la parcelle) ;
- des modalités d'irrigation efficaces (longueur/profondeur de la parcelle comprise entre 800 et 1 500 m selon la pente du terrain le long de l'axe du canal) ;
- une mécanisation de la préparation des terres minimisant la place perdue dans les parcelles (minimum de tournière, donc largeur suffisante de la parcelle).

La taille moyenne des parcelles, telle qu'elle résulte de l'analyse statistique de la situation actuelle, montre une dimension médiane de 24 ha Néanmoins, 50 % des superficies aménagées par les privés et les GPA concernent des exploitations ou parcelles de plus de 57 ha Ces distorsions peuvent expliquer en partie pourquoi la mise en culture n'est réalisée que sur une partie de ces surfaces. Il y a donc intérêt, à n'accorder d'autorisation d'exploiter que dans des conditions précises et pour des superficies raisonnables comprises dans une fourchette comprise entre 20 et 50 hectares, se situant ainsi dans le même ordre de grandeur que les situations actuellement rencontrées sur le terrain et évitant les exploitations trop grandes, génératrices de gaspillage en ressources en sols

3.3 Les spécificités des périmètres villageois

Pour les périmètres villageois (GPA), l'objectif est de satisfaire les besoins en terres des résidents des villages environnants. Les terres sont ainsi concédées à des groupements de type précoopératifs, la demande de concession est donc faite au nom de l'entité mais les autorisations d'exploiter resteront individuelles et chaque attributaire devra avoir sa parcelle bornée. La demande devra satisfaire à la fourchette globale de superficie suggérée plus haut et constater que chacun des membres du GPA disposera d'une superficie minimale lui assurant, ainsi qu'à sa famille, des revenus agricoles correspondant à la moyenne de la zone, (au moins 1,5 ha). Afin que la défaillance éventuelle d'un membre du GPA ne compromette pas le processus allant de l'autorisation d'exploiter à la concession définitive pour tous les autres membres, il conviendra de prévoir les modalités de cession, par un membre du GPA à un autre membre du même GPA, de son autorisation d'exploiter ou de sa concession provisoire Le reprenneur ne pourra cependant pas prétendre accroître la superficie totale de ses parcelles à plus de 9 hectares

3.4 Le cahier des charges

L'attribution de terre irrigable par la puissance publique doit entraîner en contre partie pour l'exploitant le respect d'un certain nombre de règles simples de mise en valeur. Le cahier des charges joint à l'autorisation d'exploiter devrait normalement stipuler :

- les dimensions de la parcelle attribuée :
 - * longueur à ne pas dépasser pour ne pas retrouver les aberrations constatées dans les "aménagements" spontanés des privés ;
 - * largeur en bordure de l'axe d'irrigation ;
- l'obligation de mise en valeur (pourcentage minimum de la surface nette à préciser) ;
- les obligations d'aménagement de la parcelle :
 - * réalisation éventuelle de drains ;
 - * localisation, type et modalités de mise en place de brise-vent ;
 - * respect de la végétation arborée existante ou reconstitution du patrimoine arboré détruit par un aménagement inconsideré ;
 - * pistes internes (largeur) ;
 - * distances à respecter entre la parcelle et le bord de l'axe du chenal collectif d'irrigation ou de drainage ;
 - * autres emprises externes à respecter

L'attributaire a cinq ans pour satisfaire à l'ensemble des obligations souscrites. Dans le cas où ces engagements auraient été entièrement réalisés avant le délai de cinq ans, l'attributaire devrait avoir la possibilité d'en demander la vérification à l'autorité compétente afin de faire valoir son droit au dépôt d'une demande de concession provisoire. La même procédure est nécessaire pour l'obtention de la concession définitive. Le passage de l'autorisation d'exploiter à la concession provisoire doit être l'occasion de renforcer les clauses du cahier des charges, s'il y a lieu, en matière de drainage, ou de brise-vent, ou tout autre clause susceptible d'améliorer la gestion des ressources de l'environnement. Au moment de la transformation de la concession provisoire en concession définitive, les brise-vent devront avoir au moins trois ans, et avoir été réalisés dans les règles de l'art, manquants remplacés. Un attributaire qui n'aurait pas respecté cette dernière obligation mais qui aurait mis en valeur la totalité de sa parcelle (surface nette définie au cahier des charges) durant une période constatée de 5 ans, pourra bénéficier de la prolongation de la concession provisoire, autant de fois que nécessaire pour satisfaire aux conditions d'accès à la concession définitive.

3.5 La régularisation de la situation actuelle

La situation foncière actuelle doit être régularisée : 34% des surfaces aménagées ne disposent d'aucun titre et pour celles qui sont plus ou moins enregistrées, les surfaces réellement aménagées ne correspondent pas à celles qui leur ont été attribuées. La législation établit (circulaire 023 du 28 août 1990) un régime dérogatoire qui permet aux exploitants de se mettre en règle vis à vis de législation actuelle. Les titulaires d'un acte d'autorisation d'exploiter dûment enregistré ou d'une demande enregistrée de concession provisoire peuvent demander une concession provisoire (pour la seule surface réellement mise en valeur), avec, comme date d'effet, la date de l'accord d'autorisation d'exploiter. Les autres exploitants qui ne peuvent présenter d'acte administratif auront à solliciter une autorisation d'exploiter actualisée, et éventuellement une concession provisoire selon les formes prévues par la réglementation. Dans tous les cas, l'administration compétente aura à instruire pour chaque demande un dossier précis établissant :

- les caractéristiques et surfaces des parcelles "aménagées" antérieurement ;
- les pertes de surface subies en raison de la création de la digue rive droite et de son emprise, ainsi que des zones désormais inondées à l'extérieur de la digue (cuvettes à vocation pastorale ou de surface d'évaporation) ;
- l'état de la mise en valeur continue réalisée par l'exploitant et, d'une manière générale ;
- si les autres conditions prévues par la législation peuvent être considérées comme satisfaites.

Compte tenu de la relative rareté des ressources en terres qui apparaît dans le schéma des structures et du besoin de plein emploi de la zone, il conviendrait que les "superficies attribuées" antérieurement, très supérieures aux superficies "aménagées", ne puissent en aucun cas permettre à un demandeur d'être bénéficiaire d'une superficie supérieure à celle qu'il a réellement "aménagée".

4 - CONCLUSION

La zone du Delta a vu depuis dix ans le développement remarquable d'une agriculture irriguée moderne dont les investissements ont été intégralement réalisés par les capitaux privés. Toutefois, la mise en valeur de ces terres se fait souvent sans précaution (exploitation minière des sols) et au moindre coût, l'objectif étant de rentabiliser l'investissement à court terme. Il y a donc un risque pour l'équilibre écologique de la zone (salure des terres, déforestation). De plus, les exploitations ont été surtout développées par des investisseurs privés extérieurs à la zone, il y a lieu de veiller à l'équilibre social et à réserver des terres aux populations locales si l'on veut éviter une aggravation de l'exode rural. Enfin, la réalisation de la Digue rive droite a stérilisé d'importantes surfaces aménagées en bordure du fleuve et il convient de compenser ces pertes de terre. Pour toutes ces raisons, il est recommandé d'associer les investissements publics qui sont prévus au niveau des infrastructures hydrauliques à une politique foncière dynamique et mettre à profit la demande par les "privés" de titre foncier pour :

- optimiser l'utilisation de l'espace et des ressources en eau et en sol ;
- sécuriser les exploitations et imposer des règles minimum de mise en valeur et de respect de l'environnement ;
- privilégier le développement et l'emploi local.

Ainsi, la politique foncière ne doit pas se limiter au simple enregistrement des parcelles, mais être **un outil de gestion de l'espace à long terme**. La dynamique actuelle de l'agriculture dans le Trarza s'y prête et il faut saisir l'opportunité de la forte demande de régularisation et de reconnaissance foncière par les exploitants pour la mettre en place.

ANNEXE 1

HISTOGRAMMES DES SURFACES AMENAGEES
Ensemble des périmètres

NOMBRE cumulé	Limite de la classe ha	Surf. aménagée cumulée	% surface cumulée
37	8.8	216	2
74	12.0	610	5
111	16.8	149	9
148	24.0	1840	14
185	24.0	2658	20
222	28.8	3634	27
259	38.0	4880	36
296	57.0	6496	48
333	76.4	8777	65
369	329.2	13490	100

Les 369 parcelles identifiées correspondent à une surface brute aménagée d'environ 13 500 ha, soit une moyenne de 36,6 ha. La taille médiane des parcelles est en fait de 24 ha, c'est à dire que 50% des parcelles ont moins de 24 ha. De même, 50 % des surfaces aménagées concernent des parcelles inférieures à 57 ha.

HISTOGRAMMES DES SURFACES AMENAGEES
Périmètres GPA

NOMBE cumulé	Limite de la classe ha	Surf. aménagée cumulée	% surface cumulée
8	13.2	70	2
15	18.8	185	5
22	21.2	327	9
29	28.8	504	14
36	36.0	732	20
43	45.2	1019	28
50	55.6	1365	38
57	75.6	1841	51
64	104.0	2481	69
71	248.4	3614	100

Les parcelles exploitées en GPA sont au nombre de 71 pour 3 614 ha aménagés, soit 19 % du nombre de parcelles et 27 % et des surfaces aménagées.

Périmètres privés

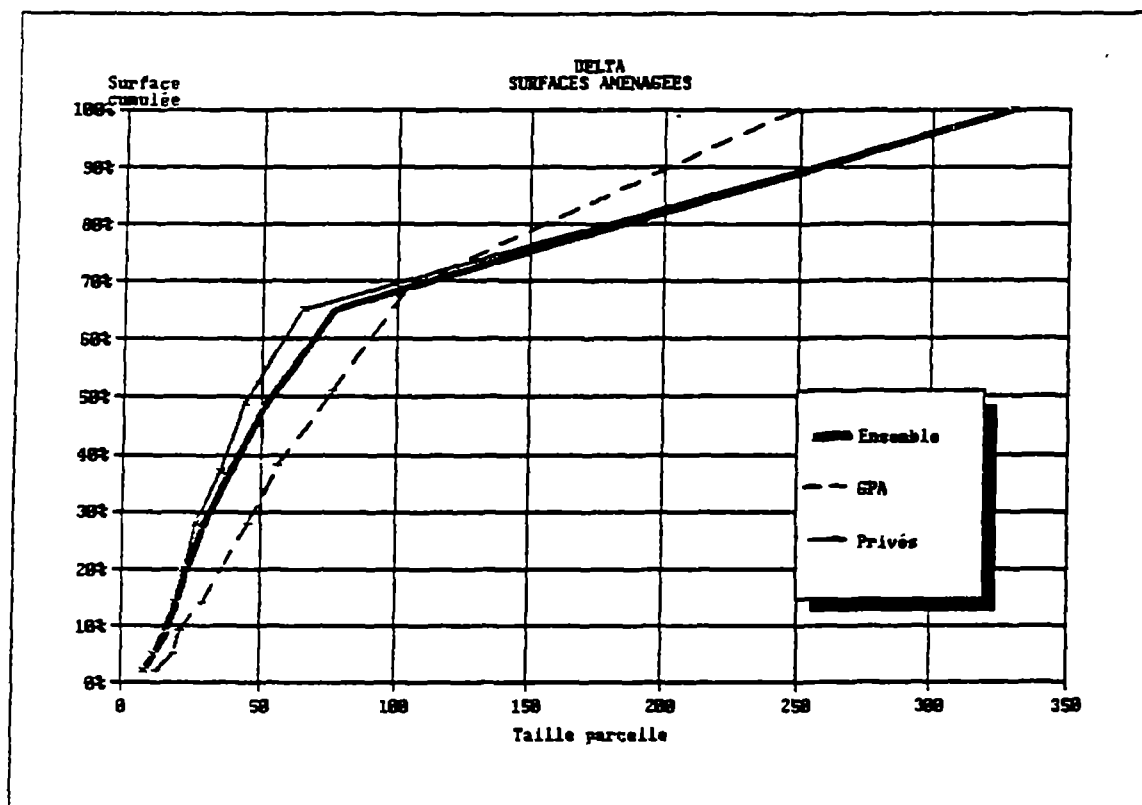
NOMBRE	Surface parcelle	Surf. aménagée	% surface
cumulé	ha	cumulée	cumulée
30	8.4	168	2
60	11.6	470	5
90	15.2	874	9
120	19.2	1396	14
149	22.4	2006	20
179	26.4	2736	28
209	35.2	3635	37
239	44.0	4809	49
269	64.8	6447	65
298	329.2	9876	100

La comparaison des histogrammes des parcelles GPA et privées, montre que les premières sont légèrement plus grandes que les secondes :

- Surface moyenne : 50,9 ha contre 33,1 ha,
- Surface médiane : 36,0 ha contre 22,4 ha.

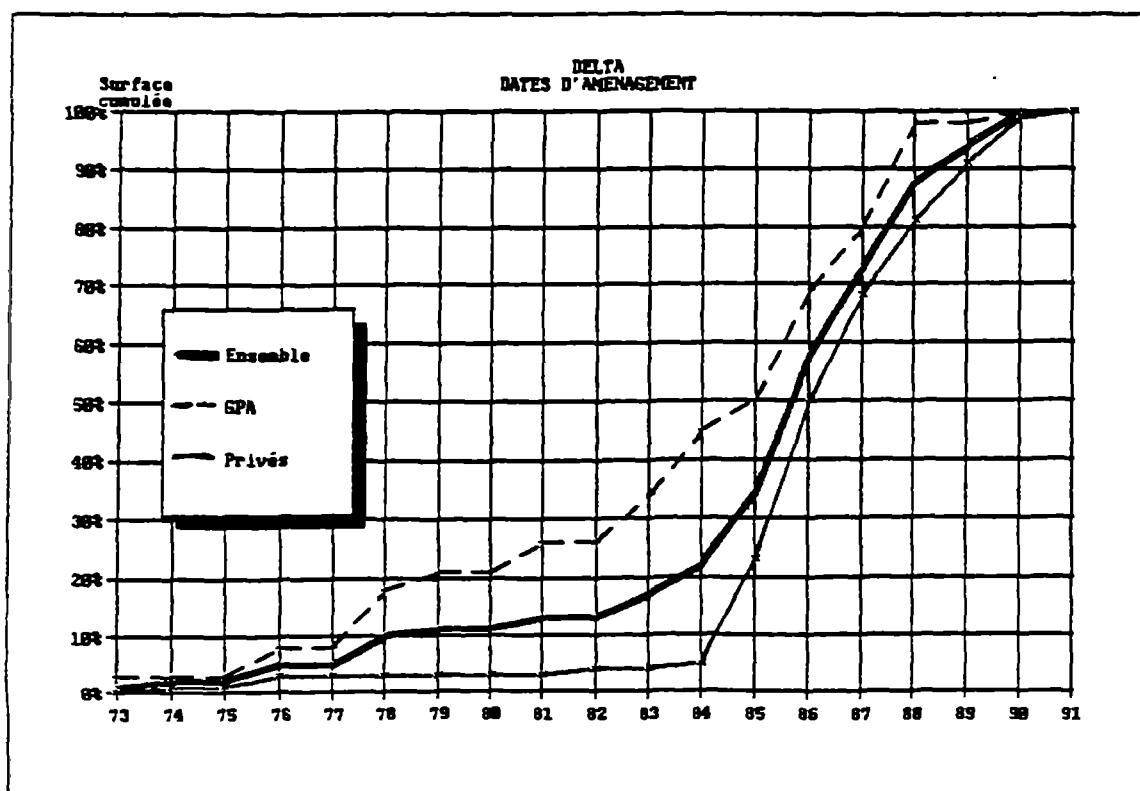
ANNEXE 1

HISTOGRAMMES DES SURFACES AMENAGEES



Les 369 parcelles identifiées correspondent à une surface brute aménagée d'environ 13 500 ha, soit une moyenne de 36,6 ha. La taille médiane des parcelles est en fait de 24 ha, c'est à dire que 50% des parcelles ont moins de 24 ha. De même, 50 % des surfaces aménagées concernent des parcelles inférieures à 57 ha.

HISTOGRAMMES DES DATES D'AMENAGEMENT



ANNEXE 2
HISTOGRAMMES DES DATES D'AMENAGEMENT
Ensemble des périmètres

ANNEE	Nombre cumulé	Surf. Aménagée % cumulée	Surface cumulée
73	1	104.0	1
74	2	144.0	2
75	2	144.0	2
76	4	376.0	5
77	4	376.0	5
78	10	705.0	10
79	13	787.0	11
80	13	787.0	11
81	14	928.4	13
82	16	983.8	13
83	19	1245.8	17
84	24	1623.6	22
85	42	2541.0	34
86	78	4276.4	58
87	107	5409.8	73
88	135	6502.2	88
89	160	6951.4	94
90	175	7352.2	100
91	178	7379.8	100

Pour les 178 parcelles (Soit 48% des parcelles et 55% des surfaces) dont les dates d'aménagement sont connues, la date médiane d'aménagement est 86/87.

En fait, on constate une "explosion" des surfaces aménagées à partir de 1985. Ce phénomène est à mettre en rapport avec la mise en eau du barrage de Diama qui, en empêchant la remontée de la langue salée, a permis la mise en place de deux cycles de culture.

HISTOGRAMMES DES DATES D'AMENAGEMENT

ANNEXE 3

Statut foncier actuel

Statut	Nombre	%	Surface Aménagée	%	Surface attribuée	% Amé/Attri
AETPR	13	4%	788	6%	1186	66%
RECEP	179	49%	6694	50%	10448	64%
Autre	37	10%	1419	11%	1939	73%
Sous Total	229	62%	8901	66%	13573	66%
Aucun	140	38%	4589	34%		
Total	369	100%	13490	100%	13573	

- AETPR *Autorisation d'Exploiter*
- RECEP *Récépissé de dépôt de demande*
- Autre *Autre document justificatif*
- Aucun *Aucun document justificatif*

CONCEPTION ET GESTION DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES. SPECIFICITES ET MODES DE GESTION DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES EN MAURITANIE

Hamedi Ould Mohamed Lemine,
Chef Service Hydraulique Urbaine - Direction de l'Hydraulique.
Mohamed Mactar Ould Mohamed,
Chef Service Infrastructures Hydrauliques.
Sidi Mohamed Ould Taleb Amar, et
Chef Service Maintenance.
Jemal Ould Yaha,
Chef Bureau Puits.

PRÉAMBULE

A travers le présent exposé, nous essaierons de faire ressortir, autant que cela sera possible, les spécificités et les contraintes de la conception et de l'exploitation des infrastructures hydrauliques en Mauritanie et, mieux, de susciter un débat autour de cette question qui nous permettra sans doute d'améliorer sinon de parfaire nos procédés et nos méthodes en la matière.

1 - LE PUIITS EN MAURITANIE

Le nomadisme qui a caractérisé notre pays pendant plusieurs siècles imposait le puits comme seule source d'approvisionnement en eau en dehors des mares et cours d'eau naturels peu nombreux dans un contexte sahélien caractérisé par un réseau hydrographique pauvre et une faible pluviométrie.

Le colonisateur et l'Etat par la suite ont entrepris la modernisation de ce type d'ouvrage par l'introduction de nouvelles techniques de fonçage des puits. Techniques qui se sont d'ailleurs avérées facilement maîtrisables par les puisatiers locaux et qui ne diffèrent guère de celles pratiquées dans la sous-région.

Si le puits constitue un ouvrage dont les charges de fonctionnement sont quasiment nulles, il requiert au contraire d'importants moyens pour les besoins d'entretien et de réhabilitations. Ceci est à tout le moins le cas du puits pastoral.

En effet, sous l'influence conjuguée des vents chargés de sable et des conditions d'exploitation peu optimales le puits en Mauritanie s'ensable très rapidement. Les usagers, qui le feraient dès qu'il s'agit de leur propres puisards ou *oglat*, ne procèdent que très rarement au curage du puits public quant il en a besoin. Il est évident qu'une telle situation compromet davantage la potabilité de l'eau des puits. L'Etat quant à lui, face à l'importance numérique et la dispersion des puits, ne peut répondre que de façon très isolée et insuffisante aux exigences de l'entretien.

Par ailleurs, le colmatage des massifs filtrants, les effets de renard, la détérioration des ouvrages captants et des superstructures et surtout l'abaissement des nappes consécutif à la sécheresse persistante que connaît notre pays sont autant de causes qui imposent un effort considérable en matière de réhabilitation des puits. L'introduction récente du puits-citerne a permis d'améliorer les conditions d'hygiène et de réduire les besoins en réhabilitation, mais l'impact de cette technique est tout à fait réduit car n'étant applicable que dans les zones où la reconnaissance mécanique est nécessaire et en présence d'une nappe captive. Toujours est-il, que le puits continue d'être bien adapté à une demande spécifique et particulièrement en milieu pastoral. Mais surtout, cet ouvrage demeure très sollicité par les populations rurales qui ne s'adaptent que très difficilement au forage là où existe le choix entre ces deux types d'ouvrages.

2 - LE FORAGE

Le forage a été introduit dans le pays de façon massive depuis trois décennies. Il l'a été pour satisfaire une demande quantitativement plus importante et qualitativement plus exigeante et ce à la suite de la prolifération des centres urbains et gros villages qui a résulté de la dernière sécheresse mais aussi pour répondre au besoin de modernisation des systèmes d'approvisionnement en eau en Mauritanie. Aussi, le choix s'est porté sur le forage peu profond à faible diamètre exécuté, selon le contexte géologique, suivant la méthode *Rotary* ou la méthode *Marteau Fond de Trou*.

Les quelques forages profonds qui ont été exécutés dans certaines zones du pays visaient essentiellement un but scientifique. Par ailleurs, les méthodes de foration réputées être peu coûteuses, ayant fait leur preuve dans certains pays de la sous-région, et pouvant être vulgarisées au niveau local dans la zone de la vallée du fleuve, demeurent quasiment inconnues en Mauritanie ce qui serait dû, entre autres, à l'insuffisance des connaissances acquises à ce sujet.

Il s'agissait là de l'expérience de la Direction de l'Hydraulique qui a, à sa charge, la responsabilité de l'approvisionnement en eau des zones rurales et semi-urbaines du pays, alors que la SONELEC et la SNIM (ex MIFERMA) ont chacune leur propre expérience issue de la nature de leur besoin et du cadre hydrogéologique restreint qui leur est offert.

3 - LES SYSTÈMES D'EXHAURE ET DE DISTRIBUTION : CONCEPTION ET EXPLOITATION

Aussi important qu'il peut être en soi, le forage trouve son intérêt matériel plutôt au niveau du type d'exploitation auquel il est soumis. C'est dire que promouvoir le forage en tant que moyen d'approvisionnement en eau potable passe

par la conception rationnelle des équipements d'exhaure, de transport, de stockage et de distribution de l'eau et par une meilleure prise en compte des conditions d'exploitation et de gestion de ces équipements. La stratégie du Département en matière d'approvisionnement en eau préconisait, à terme, de doter les villages peuplés de 200 à 500 habitants d'une pompe manuelle, ceux dont la population varie entre 500 à 2000 habitants d'une station de pompage motorisée et les localités de 2000 à 5000 habitants d'un mini-réseau d'alimentation en eau potable avec bornes fontaines.

Indépendamment du fait que le contexte hydrogéologique, la rareté des financements et la rigidité de leurs conditions ne sont pas pour faciliter l'application systématique de la politique visant à atteindre ces objectifs, le constat qui se dresse à mis parcours fait état de l'incohérence parfois notoire entre les besoins réels et la conception des infrastructures hydrauliques d'une part, ainsi que de l'inadaptation et de l'inefficacité des modes d'exploitation et de gestion de ces infrastructures d'autre part. A cet égard, l'approche retenue ici consiste à présenter parallèlement la conception et la gestion des infrastructures hydrauliques pour mieux faire ressortir l'intérêt qu'il y a à prendre en compte l'interdépendance qui existe entre ces deux étapes pour tout projet d'approvisionnement en eau potable.

3.1. La pompe à motricité humaine : constat et perspectives

Au cours des premiers projets qui ont permis de mettre en place un nombre important de pompes à motricité humaine, plusieurs erreurs ont été commises tant au niveau du choix des villages qu'au niveau de la définition et de l'application d'une politique viable pour l'après-projet. C'est ainsi que s'agissant de l'éligibilité des villages, ni le choix des bénéficiaires, ni l'existence d'autres ouvrages, ni l'enclavement des localités n'ont été sérieusement pris en compte comme critères de sélection. Et pire, ces projets n'ont pas réussi à mettre en place des circuits de distribution et de commercialisation de pièces de rechange ou à former des artisans réparateurs compétents et en nombre suffisant.

Il en est résulté une fréquence importante des pannes de ces équipements ; pannes ayant amené l'administration à organiser à plusieurs reprises des campagnes de réparation de pompes, aidée à cela par ses partenaires étrangers.

Le projet d'Hydraulique Villageoise et Pastorale dans le Guidimaka qui a su tirer les leçons de cette situation a atteint des résultats très satisfaisants. Ceci a été possible en associant les bénéficiaires au choix de leur ouvrage (pompe ou puits), en identifiant et en encadrant des artisans réparateurs et un dépositaire régional de pièces de rechange et mieux en imposant une participation financière à l'investissement comme préalable à l'éligibilité des localités demandeuses.

Un autre projet, à savoir le projet CEA0 II dont les études sont en cours de réalisation, a adopté une politique similaire et se propose, en plus, de lancer une consultation internationale pour sélectionner la (ou les) marque(s) de pompes les mieux adaptée(s) au contexte du projet.

Certes, cela est rassurant pour l'avenir de la pompe à motricité humaine en Mauritanie qui pourrait ainsi retrouver la place qu'elle mérite en tant qu'équipement fournissant une eau saine dont le coût d'investissement, les frais de fonctionnement et de maintenance sont faibles. Mais de là, à améliorer l'image de la pompe manuelle auprès des populations rurales, il reste encore beaucoup de chemin à faire. En effet, pour atteindre un tel objectif, il est indispensable de revaloriser irréversiblement le parc existant de pompes à motricité humaine. A cet effet, la Direction de l'Hydraulique se propose de financer, en s'appuyant sur ses partenaires étrangers et en réorientant une partie des pièces de rechange fournies dans le cadre des projets, un fonds de roulement en pièces détachées qui serait commercialisé par des opérateurs privés accessible aux usagers. L'argent ainsi collecté sera versé à la Direction et servira à réapprovisionner le stock des pièces de rechange. L'objectif à terme est de convaincre ces opérateurs de la rentabilité de cette activité pour qu'ils puissent, eux mêmes, entretenir le circuit de distribution de ces pièces de rechange. Autant cette approche caractérisée par une forte implication de l'administration dans cette activité paraît contradictoire avec la politique de l'Etat visant à rétrocéder les charges récurrentes aux bénéficiaires, autant elle constitue un impératif à la réussite de cette même politique.

3.2. La station de pompage : historique, normes et contraintes

Pour satisfaire les besoins en eau des localités importantes et centres administratifs non couverts par les services de la SONELEC, la Direction de l'Hydraulique a entrepris depuis le début des années 80 de mettre en place des stations de pompage motorisées et des mini-réseaux d'AEP. Le projet "36 Forages" qui a été à l'origine de cette politique et qui fût par la suite transformé en Service de Maintenance au sein de cette Direction a réalisé un certain nombre de stations de pompage se résumant essentiellement à une pompe à axe vertical, un système de renvoi d'angle et un moteur.

Ce type d'équipement fût rapidement abandonné par les projets qui suivront en faveur des stations de pompage utilisant des équipements électromécaniques (groupe, électropompe immergée, coffret électrique) et prévoyant un système de stockage et de distribution sommaire. Pour des débits d'exploitation allant de 5 à 30 m³, la puissance installée des pompes variait entre 2,5 et 6,5 kW et celle des groupes entre 7,5 et 42 kVA. Les réseaux se limitaient à une réserve de 15 m³, une à deux bornes fontaines et un abreuvoir, tous installés à proximité du forage. Pour les mini-réseaux, les installations sont souvent dimensionnées sur la base d'une norme de 20 à 25 l/hab.j et pour satisfaire des besoins estimés à 2 décennies après la réalisation des projets. L'exploitation des réseaux existants a montré que de telles normes ne correspondent pas à la réalité du pays qui, il faut le reconnaître, diffère sensiblement des autres pays du Sahel sur ce plan. Ainsi il est possible de dégager approximativement trois modes de vie en milieu semi-urbain mauritanien auxquels correspondraient 3 normes de consommation :

- la zone de l'Adrar Tagant : La surcharge des réseaux observée à Tidjikja, Aoujeft, Chinguetti, etc., et la saturation de ces réseaux en branchements individuels font état - toutes proportions gardées - de l'existence d'une société hautement consommatrice en eau pour laquelle la norme minimale serait de 30 l/hab.J ; ceci est

lié au stade de sédentarisation atteint par les populations de cette zone ;

- la zone du sud-est du Centre et de l'ouest : Dans ces régions, les localités desservies sont en général le résultat des récents mouvements migratoires dus à la sécheresse, et les besoins domestiques en eau ne diffèrent que faiblement de ceux des populations nomades. Ainsi, pour les réseaux réalisés récemment à Tiguent, R'Kiz et Aghchorguitt, la consommation moyenne au bout de sept mois d'exploitation est de 5 l/hab.J. ce qui met en cause la rentabilité de ces équipements. L'absence de branchements individuels n'est certainement pas étrangère à ce phénomène, dans une société qui a l'habitude de s'assurer la corvée de l'eau indirectement par des métayers de l'eau qui continuent de s'approvisionner au puits pour réaliser la meilleure marge bénéficiaire. A cet égard, l'option pour la borne fontaine comme ouvrage principal de distribution est à reconsidérer pour les projets à venir. La demande pour la réalisation de branchements individuels est très importante et sa satisfaction serait le seul moyen de parvenir aux objectifs visés par le projet ;
- la zone de la Vallée du Fleuve : Dans cette zone, la structure sociale et les modes de vie sont similaires à ceux qu'on rencontre dans les autres pays du Sahel. De ce fait, les normes de consommation utilisées pour l'estimation des besoins (25 l/hab.J.) se confirment généralement et le choix de la borne fontaine est bien adapté au contexte local.

4. LA GESTION ET L'EXPLOITATION DES ÉQUIPEMENTS : CADRE DU NOUVEAU DÉCRET

Dans une zone comme dans l'autre la pérennité des équipements et du service public ne saurait être assurée que par la mise en place d'une politique rigoureuse de gestion et de maintenance.

La Direction de l'Hydraulique, qui en a pris conscience, a créé, dès la réalisation des premiers équipements, en son sein un service de Maintenance doté des moyens logistiques, matériels et personnels lui permettant d'assurer la maintenance des ces équipements. Progressivement, cinq bases régionales de maintenance ont été créées.

Si jusqu'à présent, les frais de maintenance et de renouvellement des équipements ont été à la charge de l'Etat, ceux du fonctionnement ont été progressivement rétrocédés aux bénéficiaires.

C'est ainsi que l'exploitation fût confiée à des comités de gestion villageois dans un premier temps, puis aux communes, considérées dès leur création, comme étant les mieux indiquées pour cette mission.

Une taxe de dix UM par m³, payable à la Direction de l'Hydraulique, a été instaurée en guise de participation des bénéficiaires aux frais de maintenance et de renouvellement que continuait de supporter l'Etat.

Néanmoins, le taux de recouvrement pendant les cinq dernières années n'a pas atteint 30% et, paradoxalement, les conditions d'exploitation des équipements étaient généralement insatisfaisantes. Ce qui serait dû, entre autres, à l'inaptitude morale, matérielle et institutionnelle de ces structures à cette mission.

Pour redresser cette situation, la Direction de l'Hydraulique a entamé de façon informelle, dans la région du Brakna, un processus de privatisation de la gestion de ces équipements qui a donné des résultats encourageant.

Mais de façon plus générale, des études et une réflexion approfondie ont été engagées pour parvenir à une répartition plus équitable du coût de l'eau entre les bénéficiaires et l'Etat et pour assurer la pérennité des équipements.

Toutes ont été concordantes, quant à la nécessité d'une libéralisation plus soutenue de la gestion de l'ensemble des équipements d'approvisionnement en eau potable.

Il fallait dès lors remplir le vide institutionnel qui empêchait l'Etat de confier cette mission à une structure autre que les communes. C'est en cela que réside l'objet principal du décret approuvé récemment.

Ce décret a été conçu souple pour permettre à l'administration de choisir le mode de gestion le plus adapté à chaque cas spécifique dans une gamme allant de la régie à la gestion privée.

Il prévoit la prise en charge par les bénéficiaires de tous les frais inhérents au fonctionnement à la maintenance et au renouvellement des équipements à durée de vie limitée (électromécanique, robinetterie...). Le renouvellement des conduites et ouvrages de stockages continuera d'être supporté par l'Etat, faute de pouvoir être inclus dans le prix de l'eau. En plus, le prix de l'eau sera fixé, désormais, au cas par cas par l'Administration qui s'organisera pour assurer un suivi technique et financier rapproché de l'exploitation des équipements.

Un cahier des charges, actuellement en cours d'élaboration, permettra de définir de façon plus détaillée la mission et les obligations des concessionnaires.

Cette politique est aujourd'hui à l'essai au niveau des centres de Tiguent, R'Kiz, Aghchorguitt et Maghama. Les prix appliqués varient de 150 à 165 UM, alors qu'auparavant ils ne dépassaient pas 120 UM. Il n'est pas exclu de réviser à la baisse ces prix pour les rendre plus compatibles avec les faibles revenus des populations dans la mesure où cela ne compromet pas la réussite de la politique engagée.

Il est estimé que cette approche pourra être généralisée à moyen terme à l'ensemble du parc d'équipements motorisés grâce à l'émergence éventuelle d'un certain nombre de structures privées spécialisées dans le domaine de la gestion et de la maintenance.

Les équipements à énergie renouvelable (solaire, éolienne...) seront gérés dans les mêmes conditions, mais dans ce cas la maintenance sera assurée impérativement par les représentants agréés par les constructeurs.

GESTION ET EXPLOITATION DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES EN MILIEU RURAL

Sidi Mohamed Ould Taleb Amar

*Direction de l'hydraulique
Chef du Service de la Maintenance*

Depuis la fin des années soixante dix, notre pays s'est doté d'un réseau d'infrastructures hydrauliques moderne constitué de forages, de contrepuits et de puits à grand diamètre. La plupart de ces points d'eau, en particulier les forages, sont munis de moyens d'exhaure composés de pompes motorisées et de pompes à motricité humaine.

Le service de la Maintenance assure l'entretien et la réparation de 153 stations de pompage motorisées et de 375 pompes à motricité humaine réparties sur l'ensemble du territoire national, l'organisation de missions périodiques d'entretien, de grosses réparations et de renouvellement à terme des équipements.

L'application de ces mesures se heurte, néanmoins à plusieurs obstacles dont notamment l'enclavement et l'éloignement de la plupart des points d'eau équipés de moyens d'exhaure.

L'état embryonnaire de réseau national de distribution des pièces détachées est dû à la diversité des marques de groupes électrogènes installés sur les stations de pompage motorisé et aux difficultés de mise en place au niveau des collectivités bénéficiaires des stations de pompage d'une caisse bloquée pour le fonctionnement et l'approvisionnement en pièce d'usure.

<u>MARQUE</u>	<u>NOMBRES DE STATIONS DE POMPAGE</u>
VM	46
Lombardini	45
Lister	29
Pekins	29
Viva	04

L'ensemble de ces facteurs a fait que des pannes consécutives de tout ordre et a engendré des coûts très élevés de réparation. En ce qui concerne les stations de pompage à motricité humaine avec pompes Vergnet, il n'existe pas de réseau opérationnel de distribution de pièces détachées, la maintenance de ces pompes est assurée grâce à des dons venant de l'extérieur.

Des projets de construction d'ouvrages hydrauliques en voie de réalisation ainsi que de nouveaux projets qui démarreront dans un avenir très proche, augmenteront sans nul doute et de façon significative notre parc de points d'eau moderne équipé de ces moyens d'exhaure. Afin de pérenniser l'investissement et d'assurer à nos populations un approvisionnement en eau de qualité et en quantité suffisante, il s'avère nécessaire de concentrer les efforts sur la maintenance de ces infrastructures.

1° - La gestion et la maintenance de stations de pompage

La gestion et l'exploitation des stations de pompage dotées d'équipements motorisés (Groupe électrogène, pompe immergée, château d'eau et accessoires) est désormais confiée et dans bien des cas à des collectivités dans les villages ou aux communes rurales concernées par contrat, c'est-à-dire par signature d'un protocole d'accord entre le Ministère de l'hydraulique et de l'Energie et celle-ci, et ce conformément à plusieurs circulaires ministérielles dont celle en date du 29 mars 1989 redéfinissant les responsabilités en matière de gestion des stations de pompage ; l'idée maîtresse du contenu de cette circulaire, est la responsabilité accrue des populations dans la gestion des ouvrages hydrauliques.

D'une façon générale, les collectivités bénéficiaires des points d'eau équipés ne se montrent pas opposées, dès à présent à contribuer financièrement au fonctionnement du système, en payant les carburants et les lubrifiants, sachant qu'au départ les investissements et les charges récurrentes étaient entièrement supportées par l'administration qui par la suite et avec l'augmentation du nombre de stations de pompage décida de rétrocéder les charges de fonctionnement et d'entretien courant aux utilisateurs et d'instituer parallèlement une redevance de 10 Ouguiya/m³ pompée pour couvrir une partie des coûts de maintenance. Le taux de recouvrement de cette redevance est demeuré très faible (de l'ordre de 20%) en dépit des recettes souvent importantes générées par la vente de l'eau et généralement utilisées à d'autres fins par les gérants des dites stations. Mais la question qui se pose est de les voir aussi prendre en charge les frais récurrents de maintenance ainsi que le renouvellement du matériel d'exhaure.

A titre rapproché, l'entretien, les réparations et l'approvisionnement en pièces détachées continueront à être assurés par l'administration, parce que, cela nécessite une maîtrise des connaissances techniques, dont le transfert aux Groupe-cibles n'a pas encore été acquis à ce jour

Il est à noter toutefois, que la prise en charge financière et technique de l'ensemble de la station de pompage motorisée par les seuls utilisateurs n'apparaît pas comme une solution immédiatement généralisable, contrairement aux stations de pompage solaires et éoliennes qui sont entièrement à la charge des bénéficiaires dont l'installation est récente dans notre pays et les Projets intervenant dans ces domaines comportent un volet spécifique à leur maintenance.

Dans le cadre de la stratégie à long terme, préconisée par le Département de l'Hydraulique en matière d'approvisionnement en eau potable qui vise un désengagement définitif de l'Administration dans le domaine de maintenance des stations de pompage motorisées, d'où la nécessité de favoriser la prise en charge par les utilisateurs de la gestion et des coûts de l'entretien et de la maintenance des moyens d'exhaure, c'est dans ce contexte que notre département a préparé et introduit une communication d'un projet de décret en Conseil de Ministres, qui a été adopté le 10 novembre 1993 portant définition des conditions de gestion et d'exploitation des équipements d'approvisionnement en eau potable.

Par ailleurs, le Département est en train de mettre en place les mesures d'accompagnement nécessaires afin d'assurer le succès d'une telle politique (cahier des charges, textes d'application etc.).

2°)- Stratégie actuelle d'exploitation des ouvrages hydrauliques

Il apparaît de plus en plus clair que dans l'objectif d'une prise en charge pleine et entière de la gestion de ces ouvrages par les utilisateurs, le Département cherche à assurer la dynamique, l'organisation et les moyens de transfert de responsabilité et de compétence que cela suppose (compétence technique, compétence en gestion, attitude collective, organisation) par des actions permanentes de sensibilisation et d'animation des populations bénéficiaires, des points d'eau équipés de moyens d'exhaure. C'est dans ce cadre que le projet dénommé sous-programme de l'Hydraulique Rurale financé par le PNUD, qui doit démarrer en principe incessamment, est venu à point nommé pour relever ces défis et permettra d'atteindre les objectifs ci-après .

- a) la promotion des circuits privés de distribution des pièces détachées pour les différents moyens d'exhaure ;
- b) la sensibilisation, l'animation et la formation des collectivités bénéficiaires des points d'eau modernes à la gestion et à la prise en charge des coûts de la Maintenance et des moyens d'exhaure ;
- c) la formation d'artisans réparateurs de pompes à motricité humaine ainsi que d'opérateurs mécaniciens des stations de pompage motorisés ;
- d) la valorisation de l'eau pompée par la formation des populations rurales notamment les femmes aux pratiques culturelles des périmètres maraîchers et de protection de l'environnement.

Ce projet comporte deux phases :

- une première au niveau d'une zone pilote et qui couvre 3 Wilaya dans le Sud-Est du pays à savoir les deux hodhs et l'Assaba (le projet sera installé à la Base Aioun) pendant une durée de 24 mois ;
- une deuxième phase qui sera étendue à l'échelle nationale dont la durée sera définie ultérieurement.

La stratégie du projet, propose un système participatif pouvant contribuer à la résolution des problèmes actuels.

CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES EN MILIEU RURAL A PARTIR D'UN PROJET REALISE DANS LE GUIDIMAKHA

Mohamed El Moctar Ould Mohamed, Mohamed Ould Tourad
Cellule de Suivi du PHVPG

et

Leroux Bernard
Cellule de Suivi du PHVPG

A - SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ENVIRONNEMENT

La présente note porte sur une zone située en première approximation entre les parallèles 14°50' et 16° et entre les méridiens 11°40' et 12°50'. Ainsi définie, cette zone d'une superficie de 14 000 km² environ et peuplée de 90 000 habitants correspond au point de vue administratif à la Wilaya du Guidimakha et à deux moughataa du Gorgol (Maghama et M'Bout).

Au plan climatique, cette région est soumise à un climat Sahelo-Soudanien et se trouve être la plus arrosée de la Mauritanie. Les isohyètes 600 mm (période 1930/1960) et 400 mm (période 1968/1984) qui suivent pratiquement le parallèle du lieu passent à SELIBABY

Au point de vue géologique, la plus grande partie du Guidimakha appartient à la chaîne des Mauritanides. Les terrains rencontrés plus ou moins métamorphisés et plissés comprennent des schistes, des quartzites, des granites et des formations volcano-sédimentaires.

Les ressources aquifères, en dehors de l'hivernage qui s'étale sur une période de 3 à 4 mois, sont essentiellement souterraines et liées à la fracturation de roches. Celles retenues dans les alluvions peu épaisses et de nature limoneuses en général, ne sont pas pérennes pour la plupart et ne peuvent être exploitées avec profit que par des puisards.

B - LES REALISATIONS DU PROJET D'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE ET PASTORALE DU GUIDIMAKHA

Ce Projet d'Hydraulique Villageoise et Pastorale, financé par un prêt de la CFD et une subvention du FAC, a été identifié en 1984 et est entré dans une phase active en 1988. L'année 95 devrait voir l'achèvement des derniers puits.

Notons que le Bureau BURGEAP a joué un rôle primordial dans cette opération aux niveaux de son identification, de sa faisabilité et de sa réalisation. Il faut mentionner également l'AFVP pour son action dans la formation des puisatiers et artisans.

1 - LES OPTIONS DE BASE

Le Projet d'Hydraulique Villageoise et Pastorale du Guidimakha repose sur un dialogue avec les Collectivités. Ainsi :

- les Collectivités ont pu accepter ou refuser les investigations et le point d'eau proposé ; en cas d'accord, les Collectivités ont choisi le type des installations à mettre en place, à savoir : forages exploités par pompes à motricité humaine ou forages exploités par contre-puits ou forages exploités par pompes solaires ;
- les Collectivités ont participé financièrement au coût des investissements ;
- les Collectivités ont pris en charge la maintenance des moyens d'exhaure (cette maintenance est assurée par les soins d'artisans locaux formés par le projet. Ces derniers s'approvisionnent chez un commerçant dépositaire établi à SELIBABY qui lui-même se fournit chez un importateur fixé à NOUAKCHOTT)

Le Projet repose aussi sur un dialogue avec les puisatiers traditionnels ce qui a conduit à la création d'une entreprise de construction de puits intégrée dans le tissu économique de SELIBABY. En effet, pour valoriser la compétence des puisatiers qui avaient été approchés, le projet a réuni une douzaine d'entre eux, les a familiarisés avec des techniques modernes, les a regroupés au sein d'une Coopérative, les a pourvus de matériel mécanisé et leur a confié le soin de réaliser les contre-puits programmés.

2 - BILAN DE REALISATIONS AU 01/03/1994

- Villages programmés après enquête lors de l'étude de faisabilité (liste initiale) : 03 unités
- Villages de la liste initiale restant programmés à l'issue des premières opérations d'animation : 68 unités (-36%) ;
- Villages et sites (pastoraux ou maraîchers) ayant fait l'objet d'enquêtes au démarrage du Projet (liste finale) : 232 unités ;
- Villages ayant refusé les conditions du Projet : 69 unités (29,7%) ;
- Villages ou sites ayant fait l'objet de recherches et de travaux : 168+4 unités ;

- Villages ou sites où aucune solution n'a été mise en évidence après investigations par les méthodes géophysiques et l'exécution de forages de reconnaissance : 46+2 unités (27,9%) ;
- Villages ou sites pour lesquels le Projet a mis en évidence une solution pour améliorer l'alimentation en eau : 122+2 unités ;
- Forages exécutés (marché Entreprise et sous-traitance à la DH de 36 forages villageois et de 2 forages profonds) : 326+2 unités ;
- Forages considérés comme exploitables : 161 (49%) ,
- Forages négatifs : 152+2 unités ;
- Piézomètres (forages à très faible débit) : 13 unités ;
- Forages programmés pour être équipés de pompes à motricité humaine : 71 unités ;
- Forages effectivement équipés de pompes à motricité humaine : 69 unités ;
- Contre-puits et puits programmés à l'issue de l'exécution des forages : 83+2 unités ;
- Contre-puits et puits devant être réalisés à l'achèvement du Projet : 79 unités ,
- Contre-puits et puits actuellement terminés : 54 unités ;
- Contre-puits en cours : 23 unités ;
- Contre-puits restant à entreprendre : 2 unités ;
- Réseaux d'adduction d'eau alimentés par pompes solaires achevés : 5 unités.

De l'ensemble des opérations de sélection/animation et des travaux exécutés, on retiendra que :

- le Projet a poussé très loin ses investigations pour connaître les besoins en eau de la population puisque la plupart des villages du Guidimakha ont fait l'objet d'enquêtes ou de prises de contact
- même si l'on tient compte des importantes réalisations du Projet, on doit constater que la plupart des villages de la zone ne sont pas alimentés en eau d'une manière satisfaisante, soit sur le plan quantitatif, soit sur le plan qualitatif, soit sur les deux plans à la fois.
- la mise en évidence de débits, même modestes, a été impossible dans 28 % environ des villages ou des sites inscrits sur la liste finale et ceci, malgré l'importance des moyens mobilisés. Cette absence de ressources est particulièrement regrettable pour quelques gros villages qui réunissaient les conditions pour recevoir avec profit un réseau d'adduction alimenté par pompe solaire. Dans un avenir proche, il faudra donc, reprendre des prospections hydrogéologiques dans des secteurs relativement éloignés de quelques gros villages et envisager la mise en place de réseaux d'adduction d'eau
- dans plusieurs cas, on a mis des forages en exploitation par contre-puits alors qu'ils étaient à la limite extrême de l'exploitabilité. Ceci entraîne actuellement des difficultés de compréhension entre les villageois et le Projet
- dans de très nombreux cas, les niveaux statiques observés lors des essais de pompage sur les forages n'ont jamais été retrouvés ultérieurement. Ceci montre la précarité des ressources en eau souterraine de cette région pourtant relativement arrosée chaque année. Il faudrait à ce sujet relancer effectivement la lutte contre le déboisement et l'érosion et faire du suivi de l'évolution des niveaux piézométriques une priorité pour les prochaines années
- étant donné le déficit dans le renouvellement des ressources enregistrées lors du Projet, il y aurait lieu d'attacher une importance particulière aux relevés piézométriques qui seront faits cette année après un hivernage 93 exceptionnel.
- l'agressivité des eaux d'un grand nombre de forages crée un risque important pour la pérennité des pompes à motricité humaine de conception classique (tubages d'exhaure et tringlerie en acier galvanisé). Elle montre la nécessité d'exécuter des analyses chimiques complètes sur chacun des forages et de diversifier dans une certaine mesure les types de pompe en fonction des caractéristiques des eaux, des débits disponibles et de l'isolement du site
- le contrôle de la verticalité des forages est un facteur à considérer avec beaucoup d'attention en particulier si l'on envisage d'exploiter les forages par contre-puits

C - INCIDENCES DU PROJET

Le Projet d'Hydraulique Villageoise et Pastorale du Guidimakha a eu un impact certain sur un nombre important de ressortissants de la Région. En effet :

- au niveau des localités, plus de 200 d'entre elles ont eu l'occasion de s'exprimer librement, sur l'opportunité de faire un investissement communautaire. Dans l'affirmative, elles ont pu choisir librement le type d'installations, donner un avis sur l'emplacement des forages et assumer les conséquences de leur décision en participant financièrement aux travaux et en s'engageant à assurer l'entretien. La contribution financière demandée qui est de 55 000 UM pour un forage/pompe devient très lourde pour un puits puisqu'en plus de ce versement, le village doit fournir des manoeuvres, assurer l'approvisionnement en sable, graviers et eau et nourrir l'équipe de puisatiers pendant la durée des travaux. Cette question de la participation financière devrait être réexaminée à l'occasion de l'identification de nouveaux projets car les populations les plus défavorisées sont lourdement pénalisées par rapport à celles qui bénéficient de revenus monétaires venant de l'Extérieur. Les opérations d'animation ont été efficaces pour expliquer aux populations les enjeux du projet et pour collecter les participations financières mais elles ont été insuffisantes pour changer la mentalité des bénéficiaires en ce qui concerne la nécessité de prévenir les pannes des pompes manuelles en procédant aux

petits entretiens courants et la nécessité d'assurer la propreté aux abords des nouveaux points d'eau. De même, il semble bien qu'aucun village ne dispose d'une caisse régulièrement approvisionnée pour faire face, le cas échéant, à l'achat de pièces de rechange et au renouvellement de la pompe :

- au niveau des localités bénéficiant d'un réseau de distribution et d'une pompe solaire, des systèmes de gestion ont été établis mais leur mise en service est trop récente pour qu'on puisse émettre un jugement sur leur fonctionnement. Ce que l'on peut affirmer c'est qu'il existe des compétences réelles dans chacune des cinq localités équipées par le projet pour que les adductions puissent fonctionner correctement dans la mesure où les uns et les autres feront preuve d'esprit civique. Par ailleurs, il y a lieu de remarquer que pour trois des localités, les ressources exploitées actuellement se révéleront insuffisantes dans un avenir proche si ce mode d'alimentation en eau connaît un certain succès auprès des populations (il s'agit de SELIBABY, OULD YENGE et WOUMPOU) ;
- au niveau des puisatiers traditionnels, des contacts ont été établis dès le démarrage du projet et une douzaine de puisatiers se sont regroupés au sein d'une structure de type "Coopérative". Elle ne pourra survivre toutefois que dans la mesure où elle continuera de recevoir l'appui d'un animateur dynamique en attendant de se découvrir un véritable chef d'entreprise. Pour l'instant, l'animateur devra contrôler la gestion des finances, celle des matériels, établir les prix, faciliter les négociations avec les "clients" et rappeler sans cesse aux puisatiers qu'ils sont tenus de respecter des normes de qualité.

Créer une Coopérative de puisatiers pouvait sembler une tâche relativement aisée à partir du moment où l'on disposait d'artisans issus pour la plupart d'un même village et pratiquant déjà hors des circuits administratifs. Ce que l'on n'a pas suffisamment pris en considération, c'est que dans le Guidimakha et dans une grande partie de la Mauritanie, 60 à 70 % des terrains se traitent au marteau pneumatique et à l'explosif. Par ailleurs, comme il s'agit de réaliser des puits permanents, il y a lieu de les poursuivre sur une hauteur suffisante sous le niveau piézométrique ce qui implique l'utilisation d'électropompes et de pompes pneumatiques.

La mise en oeuvre de ces matériels mécanisés signifie que l'on puisse faire appel à un personnel compétent pour assurer la maintenance et que l'on soit en mesure de maîtriser le problème de l'approvisionnement en pièces détachées et en matières explosives.

- Au niveau des artisans, sept d'entre eux, répartis d'une manière équilibrée dans les zones où des pompes devaient être installées ont été formés aux techniques du montage, démontage et réparation des Pompes SEEE et équipés de l'outillage nécessaire. Ces artisans interviennent uniquement à la demande des villageois. Le prix des prestations fait l'objet de négociations laborieuses dans la plupart des cas. A notre connaissance, les litiges portent souvent sur le coût des déplacements. En Mai 1993, un test portant sur 42 % des installations a montré que 20 % des pompes étaient en panne. Jusqu'à présent, le retard apporté à la réparation des pompes était dû dans la plupart des cas à des facteurs humains. A ces difficultés s'en ajoutent d'autres liées au renouvellement du stock initial de pièces détachées qui est désormais épuisé. Ces dernières difficultés résultent surtout de la faible rentabilité de la vente des pièces et du petit nombre de pompes installées en Mauritanie.
- Sur un plan plus général, on note que le Projet a injecté plusieurs dizaines de millions d'ouguiyas dans le circuit économique de SELIBABY et que la Coopérative a été l'un des principaux employeurs de la région au cours des dernières années.

D - CONCLUSIONS

Le Projet d'Hydraulique Villageoise et Pastorale du Guidimakha est un projet pilote par sa conception et certains de ses objectifs. Aussi se pose désormais la question de savoir s'il doit être reconduit dans d'autres régions et à l'occasion de nouveaux financements.

A cette question, on serait tenté de répondre par la négative si on considère les coûts, la lenteur de l'exécution du volet puits, la fragilité des structures mises en place (Coopérative, réseau chargé de la maintenance des pompes) et la nécessité de mécaniser la construction des puits.

En fait, de ce Projet, il faut retenir pour l'avenir le dialogue qui a été entretenu avec les villageois pour l'implantation des forages, les modes d'exploitation et la participation financière. Ce dialogue doit cependant être approfondi puisque l'entretien courant des pompes, qui est indispensable à la prévention des pannes et à la pérennité des installations, n'a pas été assimilé par les bénéficiaires.

La participation financière des populations aux investissements est également à maintenir. Mais pour les puits, il ne faut pas lier son montant à la durée d'exécution des travaux.

La création de Coopératives dans d'autres régions n'est pas à renouveler sous la forme qui a été expérimentée. Ceci étant dit la Coopérative de SELIBABY existe et est reconnue en tant qu'Entreprise. Il y a donc lieu de l'aider à se consolider et à se doter d'un "leader".

Par ailleurs, dans l'optique de favoriser le développement régional et comme il existe dans toutes les Wilayas un marché permanent pour la réalisation de puits de qualité à des prix raisonnables, il y aurait lieu de faciliter la création d'une section "puits" au sein de petites Entreprises (de maçonnerie par exemple) qui font déjà preuve de dynamisme et de compétence.

CONCEPTION D'INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES EN MILIEU RURAL ; EXEMPLE : PROJET ELEVAGE II

Mohamed Ould Moctar Ould Mohamed

Chef du volet Hydraulique Pastorale

A - LA PRESENTE NOTE PORTE SUR LE VOLET HYDRAULIQUE PASTORALE DU PROJET ELEVAGE II.

Ce volet concerne 17 Associations Pastorales expérimentales dans les régions de l'ADRAR (A.P. Medah), le TRARZA (A.P. de Keur Macène, Rosso Nord et de Mederdra), le GORGOL (A.P. de Monguel), l'ASSABA (A.P. de Barkéol Est et Barkéol Ouest), HODH EL GHARBI (A.P. d'Aioun Est) et le HOHD EL CHARGUI (A.P. de Timbedra Est, Timbedra Ouest, Amourj, Djiguéni, Adel Bagrou et de Bassikounou)

Sur le plan climatique, on a essentiellement un climat désertique au Nord où la pluviométrie ne dépasse pas 50 mm/an à un climat plus ou moins sahélo-soudanien au sud-est où la pluviométrie peut atteindre 600 mm

Au point de vue géologique on distingue trois zones distinctes :

- au nord qui appartient à la bordure nord de la chaîne des Mauritanides ;
- au centre le bassin sénégalo-mauritanien ;
- et le sud domine le bassin de Taoudeni

Les terrains rencontrés sont de roches quartzitiques, les petits grès et les sables éocènes du Trarza.

Les ressources aquifères sont essentiellement souterraines et liées à la fracturation des roches sauf dans le Trarza où on est en présence d'une nappe continue

Chaque Association Pastorale a bénéficié de la réfection de 4 puits existants et d'un puits neuf.

B - REALISATION DU VOLET

Ce volet a été identifié en 1987 et n'a démarré effectivement qu'en 1992.

1. Choix des ouvrages

- le type d'ouvrage a été choisi par l'Association Pastorale ;
- le choix des sites a été fait en accord avec le Bureau de l'Association Pastorale ;
- les différentes associations ont signé un protocole d'accord qui définit le mode de leur participation financière au coût des Investissements.

Cette participation s'élève à 10 % du coût des ouvrages et peut-être donnée sous forme de : manœuvres, matériels ou en espèce.

Les Associations s'engagent à prendre en charge la maintenance de leur ouvrage

Chaque Association Pastorale a désigné un comité de point d'eau composé de 3 membres. Ce comité est chargé de gérer les points d'eau de l'Association

2. Bilan des réalisations

- les études hydrogéologiques et géophysiques ont été effectuées par le Bureau d'Etudes GEO-CONSULT ;
- 19 sondages de reconnaissance ont été exécutés dans 15 Associations Pastorales.

ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES PETITS CENTRES RURAUX AU NIGER PROPOSITIONS POUR LA CONCEPTION D'ADDUCTIONS D'EAU "MINIMALES"

Mairey, G.

Assistant technique Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement - Niger.

Le Niger compte aujourd'hui 156 adductions d'eau, à énergie solaire ou thermique, installées dans des communautés rurales de 2 500 habitants en moyenne. Outre leur faible puissance (production : 30 m³/j, coût : 35 000 000 F cfa), elles se différencient des adductions d'eau urbaines par leur mode de gestion qui incombe en totalité aux communautés villageoises.

56 aep rurales sont financées et 140 sont programmées pour 1998. On estime à 750 le nombre de villages pouvant prétendre à ce type d'équipement.

Les adductions rurales ont connu un essor important à compter de 1986. Des disparités marquantes dans les équipements (quantité d'eau par personne dans le rapport de 1 à 3 au stade de la conception, participation très variable demandées aux populations concernées) montre qu'un effort de normalisation reste à faire.

A cet effet le Niger prévoit d'élaborer une politique sectorielle.

La présente note est une contribution à son établissement. Elle aborde plus particulièrement le dimensionnement des installations et l'implication villageoise, considérées ici comme les éléments fondamentaux d'une bonne maintenance des adductions auto-gérées.

I - PRELIMINAIRES

Bien souvent les mini-aep ont été conçues en partant du principe que les bénéficiaires seraient dans l'impossibilité, faute de moyens techniques et financiers, de faire face à un accroissement de la demande en eau. De ce fait les ouvrages ont été surdimensionnés par rapport aux besoins solvables du moment.

Mais, en construisant aujourd'hui des équipements conçus pour fonctionner sans modifications importantes durant de nombreuses années, on a créé *des adductions d'eau onéreuses et figées échappant au quotidien villageois*.

Dès lors, il devient difficile de mener à bien l'objectif d'un dispositif de maintenance auto-entretenu reposant directement, contrairement aux adductions urbaines, sur les bénéficiaires eux-mêmes.

La démarche proposée ici va à l'opposé de celle généralement pratiquée :

Elle consiste à prendre comme base de réflexion l'équipement minimal que l'Etat cherche à fournir aux communautés rurales susceptibles d'être équipées de ces adductions d'eau.

L'enjeu :

Les aep rurales, en nombre croissant, représentent aujourd'hui un investissement de l'ordre de 18 000 Fcfa/personne.

Avec un coût moyen d'investissement, hors forage, de 35 000 000 Fcfa par installation, on prend la dimension de l'enjeu que constituent la maintenance et le renouvellement des mini-aep : si l'objectif de l'horizon 2000 était atteint, le remplacement des 750 installations, à prévoir pour les années 2010, représenterait approximativement 25 milliards de Fcfa.

Par ailleurs, la dévaluation du franc Cfa risque de contribuer à augmenter le coût du m³ d'eau "mécanisée" et ainsi à en faire diminuer la demande. Les ouvrages traditionnels, déjà concurrents des points modernes, vont connaître un regain d'intérêt. *Une gestion au plus juste des mini-aep s'impose maintenant davantage, avec des ouvrages moins ambitieux et un emploi plus axé sur l'eau de boisson.*

II - NORMES PROPOSEES POUR LE DIMENSIONNEMENT ET L'EQUIPEMENT DES MINI-AEP

L'Etat propose à toute collectivité, capable d'en assurer la gestion, un dispositif minimal d'exhaure et de distribution fournissant 8 l/p/j d'eau potable en surface.

Les équipements complémentaires sont à la charge des collectivités.

2.1 - Quelle quantité d'eau retenir ?

On parle ici de l'eau destinée à la boisson, aux besoins ménagers et aux petits animaux.

On peut distinguer :

- l'eau "des besoins normatifs" :

c'est un chiffre moyen servant à la programmation des points d'eau modernes : puits cimentés et forages.

Au Niger l'objectif fixé est de fournir à chaque personne un minimum de 25 l/p/j ;

- l'eau "consommée"
Elle englobe les prélèvements dans les points d'eau modernes et traditionnels La quantité d'eau consommée et sa répartition entre les points d'eau varient suivant les communautés, les individus, les équipements hydrauliques, les saisons ;
- l'eau "payée".
L'eau "payée" concerne essentiellement le point d'eau moderne, elle est une partie de l'eau consommée Les recettes doivent permettre le fonctionnement et le renouvellement de l'installation. Son prix, calculé à partir de consommations présumées, est proposé aux villageois suite à une étude socio-économique ; Ce sont les bénéficiaires qui fixent le prix ;
- l'eau "subventionnée".
Actuellement, l'Etat subventionne la totalité de l'investissement conçu en fonction de la quantité d'eau qui sera payée (ou présumée comme telle). La décision pour le dimensionnement des ouvrages résulte d'études socio-économiques dans laquelle la marge d'erreur est nécessairement élevée (le rapprochement entre l'économie traditionnelle du village et la gestion de la mini-aep n'est pas des plus faciles).

Ainsi on s'aperçoit sur les relevés de consommation effectués par des projets que l'eau consommée se situe actuellement entre 8 et 18 l/p/j. Dès lors, quelle quantité prendre dans la conception des mini-aep, chacune constituant un cas particulier ? : Il est proposé de retenir 8 l/p/j - quantité consommée par un individu adulte en saison chaude - comme la quantité d'eau potable que l'Etat cherche à assurer en surface à toute personne appartenant à une communauté rurale, capable d'entretenir son point d'eau Suite au nouveau contexte économique, ce chiffre répond également à la préoccupation de recentrer l'utilisation de la mini-aep sur l'eau de boisson que l'on peut accepter de payer plus chère que celle de l'ouvrage traditionnel employée à d'autres fins (ménage, animaux) .

2.2 Les éléments de confort d'une mini-aep

Par éléments de confort, on entend les dispositions prises pour approcher l'eau du consommateur, la pression, le débit. Les équipements actuels font souvent doubler, voir tripler le prix de l'investissements de base (exhaure et stockage).

On peut citer quelques exemples :

- *Les bornes-fontaines.* La multiplication des bornes-fontaines entraîne, outre le coût propre de ces équipements, des dépenses supplémentaires en canalisations et par suite en énergie. Est-il fondamental, actuellement, d'avoir une borne fontaine à moins de 300 m de chaque habitant, alors que dans d'autres collectivités on doit faire de très longues distances pour tirer l'eau d'un puits? Ne vaut-il pas mieux faire travailler des porteurs d'eau, intégrés à la vie du village, plutôt que d'effectuer des dépenses en canalisations ?
- *Les châteaux d'eau.* Leur construction grève lourdement le coût de l'aep et augmente les charges de fonctionnement Cet ouvrage, pas toujours indispensable, offre la possibilité à un petit nombre d'effectuer des branchements particuliers qui, contrairement aux réseaux urbains, ne feront pas l'objet d'une tarification adaptée.

2.3 Proposition d'installation type, subventionnée par l'Etat

L'Etat prend en charge un équipement minimum comprenant :

- le captage ;
- le dispositif d'exhaure sur la base de 8 l/p/j ;
- un dispositif de stockage et de distribution comprenant uniquement un *réservoir au sol* équipé de robinets de distribution (1 réservoir/2 000 personnes).

Sur la base de cet équipement minimal, la communauté villageoise pourra solliciter des *améliorations* -augmentation de la production d'eau; rapprochement de la distribution - *mais les investissements supplémentaires seront à sa charge.* Des subventions partielles pourraient être envisagées ne serait-ce que pour limiter la disparité entre l'eau des fontaines des réseaux urbains à 85 Fcfa le m³ et l'eau des mini-aep à 500 Fcfa le m³ (sur la base des aep actuelles)

III - CONDITIONNALITES DE MISE EN OEUVRE DE CETTE POLITIQUE

Cette stratégie d'un équipement minimal suppose la mise en place par l'Etat d'un environnement adapté :

- un statut juridique du point d'eau ;
- une forte implication villageoise (choix, transparence des décisions, participation) ;
- la mise au point de techniques évolutives adaptées aux possibilités des communautés ;
- la mise en place d'outils financiers (pour mémoire) ;
- appui au secteur privé pour le développement de la maintenance (p m.)

3.1 Le statut juridique du point d'eau.

On peut proposer :

- le forage appartient à l'Etat (qui prend à sa charge son renouvellement) ;
- le moyen d'exhaure et le génie civil sont concédés à la collectivité (qui assure son fonctionnement, son entretien et son renouvellement avec éventuellement augmentation de puissance)

La définition juridique de la mini-aep rurale pourrait être approchée à partir des dispositions constructives et de son mode de gestion. L'interdiction de branchements particuliers (qui conduit à une augmentation de la puissance installée et à une gestion plus complexe) devrait être adoptée

L'accroissement des besoins de la communauté (besoins en eau potable, besoins industriels, agricoles ...) la conduisant à demander (lors de la conception ou ultérieurement) des installations plus puissantes marquerait la limite technique de la gestion villageoise (directe ou autre) et le début de la gestion type communauté urbaine

3.2 L'implication villageoise.

Dans la démarche proposée, il est demandé aux villages de faire des choix et de prendre des décisions qui auront des implications financières et techniques engageant leur avenir. Les communautés doivent être sensibilisées et formées, elles doivent disposer d'une *capacité de négociation* et recevoir un minimum de formation à cet effet. La participation, au sens habituel en hydraulique rurale c'est à dire financière (quand elle existe) et physique, n'est plus suffisante. A tous les stades de la vie de la mini-aep, il doit y avoir recherche de l'implication de la communauté villageoise conduisant à des prises de décision par elle. Elle doit être effective dès le **début de l'étude de génie civil**. Une **participation financière initiale préalable à tout démarrage de travaux** devrait être exigée pour :

- amener le village à montrer sa capacité d'organisation et de mobilisation de l'argent :
- concrétiser le contrat qui sera passé entre le village et l'organisme responsable de l'opération.

Une pratique courante au Niger est de faire payer cette participation à l'entrepreneur, ceci ne paraît pas répondre à l'objectif de susciter des débats au sein de la communauté.

Une participation de 5% à l'investissement, éventuellement versée dans la caisse maintenance du village, est proposée, soit environ 350 Fcfa/personne

La **participation physique** doit être également exigée pour donner un sentiment d'appropriation de l'aep par le village.

On remarquera que plus l'installation est complexe et onéreuse et plus la participation villageoise devient symbolique

3.3 CONCEPTION DE MINI-AEP EVOLUTIVES

3.3.1 Investissement fourni par l'Etat : 12 à 17 millions Fcfa.

La capacité financière du village à entretenir sa mini-aep doit servir de base pour déterminer le niveau d'investissement.

Sur la base de 250 Fcfa/m³ et d'une consommation minimale de 8 l/p/j, les recettes d'une communauté de 2 000 habitants seront d'environ 1 500 000 Fcfa par an.

Ce montant correspond à l'ordre de grandeur des charges récurrentes (fonctionnement et renouvellement hors forage) d'installations valant 12 000 000 Fcfa pour du thermique ou 17 000 000 Fcfa pour du solaire.

3.3.2 Des constructions à la portée technique et financière des communautés.

Dimensionnement minimal et recherche d'une forte implication villageoise à tous les stades de la conception et de la vie de la mini-aep conduisent à rechercher *des dispositifs à la portée technique et financière des communautés*. Emploi important de main d'oeuvre villageoise, recyclage de l'argent à l'intérieur de la communauté, sont des facteurs de réduction des coûts et surtout d'intégration de la mini-aep dans la vie du village.

Pour le génie civil ne peut-on rechercher des dispositions constructives réalisables au niveau du village ou de la région plutôt que construire des modèles réduits d'adductions d'eau urbaines ? quelques exemples :

- l'abri du groupe (maçonnerie, banco ?).
- le château d'eau :

L'entretien et l'augmentation de la capacité des châteaux d'eau échappent totalement aux villages. Si l'on accepte de se contenter de systèmes de distribution simples, peu gourmands en pression, il sera très souvent possible de construire un réservoir au sol en maçonnerie avec une couverture en tôle. Si besoin est, la surélévation peut être faite au moyen d'un remblai de terre (peu onéreux, emploi important de main d'œuvre). Ce réservoir, ne sera plus un monstre au dessus du village, mais un ouvrage dont l'entretien et l'extension seront accessibles à la communauté ;

- la fontaine peut être directement installée sur le réservoir ;

De cette façon on peut se passer de compteurs de distribution qui créent des pertes de charge et se colmatent : L'unité de comptage pour le fontainier pourrait alors être un remplissage d'un réservoir ;

- les canalisations de distribution et les accessoires devraient "coller" le plus possible au marché local : disponibilité et faible coût deviennent plus important que la qualité ;
- l'intérêt d'un clapet anti-retour, pour des refoulements courts, n'est pas évident surtout pour le solaire où toute perte de charge se traduit par des panneaux photovoltaïques supplémentaires.

De nouvelles conceptions, la recherche de matériaux et de dispositions constructives mieux adaptées au contexte villageois et régional, restent à faire pour diminuer les coûts et impliquer davantage les populations bénéficiaires :

- des extensions, dont les limites restent à préciser, doivent être rendues possibles pour satisfaire à la demande villageoise ;
- le thermique est plus adapté que le solaire à des systèmes évolutifs.

Concernant l'adaptation de l'offre à la demande, le thermique permet une continuité (on augmente la durée de pompage) alors que le solaire impose de procéder par paliers (installation de nouveaux panneaux, quand cela est possible...).

3.4 La mise en place d'outils financiers.

La politique d'implication villageoise doit nécessairement être accompagnée de la mise en place d'outils financiers : Epargne et possibilités d'emprunt

On notera que le solaire implique des placements de très longues durées (renouvellement des panneaux tous les 15 ans)

IV - INTERET DES PROPOSITIONS.

Les propositions formulées dans le présent document cherchent à répondre aux préoccupations mentionnées dans la rubrique "Politique et stratégies" du Programme quinquennal 94-98 établi par la Direction des Infrastructures Hydrauliques.

Ce programme mentionne, concernant l'approvisionnement en eau potable, la nécessité d'une approche consistant à assurer " *un minimum pour tous, plutôt qu'un maximum pour quelques uns*".

Les stratégies définies par le document DIH sont reprises ci-après en caractères gras italique.

4.1 - Une meilleure répartition des investissements de l'Etat.

"Accorder un rang de priorité élevé à l'extension des services au bénéfice des populations à bas revenus"

- Avec le même budget, le nombre de collectivités équipées est multiplié par deux.
- Une diminution des disparités d'équipement entre les villages disposant de pompes à motricité humaine et ceux, actuellement privilégiés, pouvant bénéficier de mini-aep "confortables".

L'investissement est de 6000 Fcfa par personne pour les PMH, il est estimé à 7 500 pour une aep minimale contre 18 000 Fcfa avec la conception actuelle.

4.2 - Les aep minimales : Des aspects positifs pour la maintenance.

**"Assurer le fonctionnement et l'entretien des systèmes à tous les niveaux par les bénéficiaires"
Faire des collectivités les principales initiatrices des projets et programmes et les mettre dans les conditions leur permettant d'assurer ce rôle".**

Les villageois vivent au quotidien avec leur adduction d'eau et sont incités à l'entretenir et à la développer :

- ils y sont contrainsts car elle a été dimensionnée au plus juste ;
- ils se sentent impliqués car ils ont participé à sa conception dans un cadre budgétaire limité et ont reçu une formation appropriée.

"Promouvoir des techniques adaptées peu coûteuses ainsi que l'adoption des méthodes d'exploitation et d'entretien adéquates"

- la conception technique des aep minimales les met davantage à la portée des collectivités (Emploi pour des artisans, recyclage de l'argent dans le village) L'investissement réduit (moins d'équipements et moins de HMT par exemple) diminue les charges récurrentes.
- le nombre de mini-aep étant doublé à investissement égal, le seuil de rentabilité des réseaux de maintenance est plus rapidement atteint.

Documents consultés :

Programme d'hydraulique 1994 - 1998 . Direction des Infrastructures Hydrauliques - Niger.

Alimentation en eau potable des petits centres ruraux, l'expérience du Niger.

Oct. 93 par ZIBO ZAKARA et CHARLES DI LUCA

ANNEXE

Constat : des différences importantes dans la conception des mini-aep.

Le département de Dosso fournit des exemples intéressants :

Sous l'égide du même maître d'oeuvre et avec la même agence d'exécution (C.E/CFD et C.E /Pays bas), on trouve des mini-aep ayant des caractéristiques très différentes :

	Koygolo (solaire) (C.E./CFD)	Beye Beye (thermique) (C.E./PB)
Population actuelle	4 000 Personnes	2.200 p
Niveau statique	16.50 m	31.0 m
Bases de calcul		
eau fournie pour les personnes	10 l/p/j	25 l/p/j
autre (bétail, constructions)	non	oui (correspond à 15 l/p en plus)
extension possible (sans modif)	non	oui (calcul effectué pour une population de 3140 p en 2003)

Caractéristiques des mini-aep

	Solaire 1800 wc	Groupe 15 kva + pompe 5 kw
Exhaure	25 m	45 m
HMT	25 m	45 m
Eau fournie (maxi possible)	40 m ³ /j	125 m ³ /j
Château d'eau	20 m ³	40 m ³
Nombre de borne-fontaine	2 BF	5 BF

Coût des mini-aep. (en millions Fcfa)

Exhaure	13,8 (avec clôture)	6,5 (avec abri et pièces dét.)
Stockage et distribution	11,9	17,6
Formation - suivi	<u>2,3</u>	<u>2,5</u>
Total	28,0	26,6

Implication villageoise

Etude socio-économique	Insignifiante	oui
implication à la conception	néant	oui
Participation finan. avant travaux	néant	500 Fcfa/famille
Participation physique	oui	oui
Position des B.F.	non	oui

Observations :

Le Programme régional solaire, qui intervient dans le même département, applique également des normes différentes des deux projets précédents (la consommation d'eau prise en compte, est de l'ordre de 25 l/p/j).

Koygolo (projet C.E./CFD) : le chiffre de consommation de 10 l/p/j résulte moins d'une analyse approfondie que de la nécessité de faire rentrer du solaire dans un budget déterminé, basé au départ sur du thermique et une consommation de 25 l/p/j.

Béyé béyé (projet C.E./Pays-bas) : Aep non encore réalisée. Mais l'étude très détaillée qui reflète bien la conception des fonctionnaires en la matière, a été effectuée par la DDH/Dosso sur la base de la note de calcul de Krüger pour la réalisation d'une première tranche de 3 mini-aep thermiques et sur l'expérience acquise durant une année de fonctionnement de ces 3 adductions.

En ramenant ces chiffres à la population d'aujourd'hui, les disparités apparaissent davantage :

	Koygolo (solaire)	Béyé Béyé (thermique)
Base de consommation	10 l/p/j	25 l/p/j
Eau potable disponible (pas nécessairement consommée)	10 l/p/j	60 l/p/j
Investissement	7 000 Fcfa/p	12 000 Fcfa/p
Château d'eau (capacité par pers.)	5 l/p	18 l/p
Borne fontaine	1 pour 2 000 personnes	1 pour 440 p.
Coût de fonctionnement	nul	important
Coût d'extension (si accroissement demande en eau)	important	nul
Coût de renouvellement	très élevé (tous les 12 ans ?)	moyen (tous les 6 ans)

On constate donc une grande disparité :

- dans la consommation de base (elle varie de 1 à 2,5) ;
- dans la capacité des installations (elle varie de 1 à 6) ;
- dans le confort de la distribution de cette eau (le nombre de BF /2000 p varie de 1 à 4) ;
- dans l'investissement par habitant (il est 70% plus élevé à Béyé Béyé - si Koygolo était équipé en thermique, la différence serait de 200 à 300%) ;
- dans l'investissement en matériel d'exhaure : il est dix fois plus cher pour le solaire (13800 Fcfa/parM³ d'eau relevé de un mètre) que pour le thermique (1155 Fcfa/M³xM) ;
- dans l'implication villageoise (condition essentielle pour la maintenance) ;
- dans les possibilités d'extension (pour Koygolo, l'augmentation de la production, dont le besoin pourrait rapidement se faire sentir, coûtera cher - Pour Béyé, production et capacité sont prévues pour les besoins dans 10 ans. On notera que pour Béyé, le système d'exhaure va être 2 fois plus puissant que nécessaire pendant les 5 à 6 premières années, à ce moment-là ne faudra-t-il pas changer le matériel ?) ;
- dans la gestion de l'installation (solaire et thermique).

Ces différences importantes posent des problèmes au niveau des populations qui voient des installations et des participations différentes d'un village à l'autre (comme au temps des débuts des PMH, mais avec des incidences financières 20 à 30 fois plus importantes...) On constate également un surdimensionnement des installations : Bornes-fontaines non utilisées parce que situées à côté d'un puits. Poste de fontainier non rémunérateur (et donc abandonné) parce que les clients sont en nombre insuffisant ..

PROGRAMME REGIONAL SOLAIRE CILSS-CCE : MISE EN ŒUVRE, ETAT D'AVANCEMENT ET PERSPECTIVES

CILSS

Résumé

Le programme Régional d'Utilisation de l'Energie Solaire Photovoltaïque (PRS) dans les Pays du Sahel a pour objet de mettre en valeur la seule ressource naturelle abondante au Sahel : l'énergie solaire. Le Programme vise à introduire à grande échelle, dans le milieu rural, des équipements photovoltaïques ayant déjà fait preuve de leur fiabilité et préparer ainsi l'amorce d'un véritable marché privé spontané. Ce papier se propose de donner les grandes lignes directrices du PRS, son organisation et sa mise en oeuvre à travers les pays du CILSS

1 - PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1.1 Le CILSS

Créé le 12 Septembre 1973 à Ouagadougou par six pays durement éprouvés par la sécheresse de 1968 à 1974, le CILSS compte actuellement Neuf pays membres : Burkina-Faso, Cap-Vert, Gambie, Guinée-Bissau, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal et Tchad.

Le CILSS est dirigé par un secrétariat exécutif dont le siège est à Ouagadougou, capitale du Burkina Faso. Il comprend en outre deux Institutions spécialisées (l'Institut du Sahel (2) basé à Bamako au MALI et le Centre Agrhymet (1) basé à Niamey au (NIGER) et est appuyé par une structure de concertation qu'est le Club du Sahel basé à Paris à l'OCDE.

Mandat du CILSS

Le CILSS a pour mandat :

- 1 d'étudier l'ensemble des problèmes qui font obstacle à la réalisation de l'autosuffisance alimentaire et à la recherche d'un nouvel équilibre écologique au Sahel, afin de mieux définir les politiques régionale adéquates d'intervention ;
- 2 de promouvoir la réalisation d'actions d'intérêt sous-régional et régional tendant à renforcer les efforts communs de lutte contre la sécheresse et la désertification et assurer le suivi de ces actions.

1.2 Environnement Socio-économique du SAHEL

Les neuf pays membres du CILSS constituent une bande de territoires bordant le sud du Sahara sur une largeur de 200 à 500 km du nord au sud et sur une longueur d'environ 4 500 km d'est (le TCHAD) en ouest (les Iles du Cap-Vert) La population actuelle du Sahel est estimée à environ 44 millions d'habitants avec un taux de croissance moyen de 2,6% par an.

Les pays du Sahel se caractérisent par une population à plus de 75 % rurale répartie dans près de 67 000 villages

Nombre de points d'eau : 27 000

Superficie totale : 5,4 Millions de km² dont 2,8% sont cultivées

PIB : variable entre 50 000 F cfa et 250 000 F cfa.

1.3 Objectif du PRS

1.3.1 Objectifs globaux

Globalement le PRS doit contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations rurales par la mise à leur disposition de quantités plus importantes d'eau (développement d'activités rémunératrices : irrigation, élevage, etc.) et l'amélioration globale de leur cadre de vie (électrification et froid sanitaire)

Les finalités du Programme sont doubles :

- à court terme : amélioration des conditions de vie et de la sécurité alimentaire en milieu rural ;
- à long terme : promotion de nouveaux systèmes de production plus en rapport avec les exigences de préservation de l'environnement et renforcement de la capacité des populations rurales à s'organiser pour surmonter les contraintes du milieu.

1.3.2 Objectifs spécifiques

Le programme concerne les neuf pays du CILSS : CAP VERT, BURKINA-FASO, GAMBIE, GUINEE, MALI, MAURITANIE, NIGER, SENEGAL, TCHAD, et devrait toucher près d'un million de ruraux :

- pour la fourniture de l'eau potable, il s'agira de valoriser 30 à 40 % de forages existant actuellement avec des débits supérieurs à 5 m³/h ;

- pour les besoins de l'irrigation, permettre l'exploitation de près de 300 ha de cultures maraîchères et de 1 000 ha de vergers ;
- banaliser l'utilisation communautaire de l'énergie solaire photovoltaïque notamment : l'éclairage rural, le froid sanitaire, la promotion de petites unités rurales de recharge d'accumulateurs créant ainsi des emplois en milieu rural

2 - CONTENU DU PROGRAMME

2.1 Contenu quantitatif

Le programme concerne la fourniture et l'installation de 829 équipements de pompage solaire et 538 équipements d'usage communautaire répartis en trois lots correspondant chacun à un marché.

Pays	Pc(KWc)	SPI	SPS	SC
Cap-Vert	67	40	1	37
Gambie	99	50	0	57
Guinée-Bissau	55	42	0	40
Mauritanie	119	61	47	39
Sénégal	200	61	28	166
Burkina-Faso	211	111	52	55
Mali	279	141	28	40
Niger	124	73	32	39
Tchad	104	62	0	65
Total	1257	641	188	538

Tableau 1 Répartition des équipements

2.2 Spécifications Techniques des Fournitures

Conditions climatiques de référence

Les systèmes fournis sont dimensionnés pour un climat sahélien et pour un ensoleillement de 6 KWh/M²/jour avec une distribution correspondant à profil de journée type telle que décrite ci-dessous :

Tableau 2. Journée-Type PRS

heure solaire(h)	Ensoleillement (W/M ²)
de 6 à 7 et de 17 à 18	66
de 7 à 8 et de 16 à 17	240
de 8 à 9 et de 15 à 16	437
de 9 à 10 et de 14 à 15	627
de 10 à 11 et de 13 à 14	775
de 11 à 12 et de 12 à 13	855

Les équipements retenus dans le cadre du PRS sont scindés en deux catégories :

2.2.1 Système de Pompage

Comprenant les pompes de surface (type P1 et P2) et les pompes pour installation sur forage (P3,P4, P5, P6)
Les systèmes fournis fonctionnent au fil du soleil, sans accumulateurs.

P1 Pompe de surface : 300 à 350 Wc	P1-A1	P1-B1	P1-B2 Performance moyenne : 180 M4/Jour	2m	5m	7m
P2 Pompe de surface : 600 à 650 Wc	P2-A12	P2-B1	P2-B2 Performance moyenne : 340 M4/Jour	5m		
P3 Pompe immergée : 600 à 650 Wc	P3-1	P3-2	Performance moyenne : 340 M4/Jour	20m	30m	
P4 Pompe immergée : 1350 à 1450 Wc	P4-1	P4-2	P4-3 Performance moyenne : 820 M4/Jour	20m	30m	45m
P5 Pompe immergée : 2300 à 2500 Wc	P5-1	P5-2	P5-3 Performance moyenne : 1340 M4/Jour	20m	30m	45m
P6 Pompe immergée : 3700 à 3900 Wc	P6-1	P6-2	P6-3 Performance moyenne : 2050 M4/Jour	20m	45m	75m

Tableau 3 Spécification technique des pompes systèmes de Pompage

2.2.2 Systèmes communautaires

Comprenant les systèmes d'Eclairage (E), de Réfrigération (R), de Chargeurs de batteries et d'accus (C))

Type	Appli- cation	Puissance								
E1	Eclairage 3 points lumineux	40-50 Wc E2	Eclairage 8 points lumineux	135-150 Wc R	Froid sanitaire (vaccins)	245-300 Wc C1	Charge d'accus Cd-Ni R20	90-100 Wc C2	Charge de batteries au Pb	135-200 Wc

Tableau 4 Descriptif Systèmes Communautaires

2.3 Montage Financier du PRS

Le Programme Régional Solaire (PRS) (Projet 6100 20 94 216 - REG/6116) est d'un coût global de 34 000 000 Ecus financés par le FED sous forme de subvention non remboursable.

La prise en charge globale du projet se répartit comme suit et fait intervenir d'une part les fonds du programme, les programmes nationaux de chacun des pays et les utilisateurs :

Fonds du Programme :

- le paiement pour la fourniture et l'installation de 829 équipements de pompage et 542 équipements d'usage communautaire ;
- les actions régionales de coordination et d'appui aux états :
 - * identification, animation/sensibilisation, formation des agents des maîtres d'oeuvre nationaux, la gestion des marchés
 - * monitoring sur une dizaine de sites

Les programmes nationaux

- Prennent en charge : les forages, les réservoirs, canalisations et système de distribution d'eau en aval des pompes solaires installées.
- Le suivi et l'exécution sur le terrain du programme
- Les usagers

Prennent en charge la maintenance et le renouvellement des équipements.

2.4 Eléments de Coûts du PRS

Le tableau 5. ci-dessous montre les prix moyens du watt-crête sur les 3 marchés du PRS ainsi que le coût moyen des contrats de maintenance par type de système.

Globalement dans le cadre du PRS les coûts moyens sur les 3 lots sont :

- Coût Wc système rendu capital : 4 929 F cfa soit 14,00 Ecus
- Coût Wc système installé : 6 973 F cfa soit 20,00 Ecus

En moyenne le prix de l'installation sur site représente une valeur comprise entre 29% et 34% du coût du système installé.

Pour appréhender ces coûts , il faut remarquer que d'une part si la taille du programme est favorable à l'obtention de bons prix, les conditions des marchés telles que le maintien des prix pour une durée de 4 ans, l'échelonnement des commandes sur la même période etc.. induisent sûrement un coût financier supplémentaire.

LOT	Type	PRIX Wc	PRIX Wc	Mainte- nance		Coût & Fret	Instal- lation	Système								
	P3	7 683	3.579	228.670	P4	5.625	2 281	272.325	P5	4.762	1.500	284.825	P6	4.218	1.310	303 785
	P3	5.006	1.745	237.025	P4	4 022	1.385	290 500	P5	4.070	1 106	320.500	P6	3 914	1.052	347.420
	P3	5 376	3.095	238.600	P4	4.238	2.100	257.000	P5	4.322	1.633	290 425	P6	4 127	1.308	288.450

Tableau 5. Eléments de coûts du PRS

3 - DÉMARCHE DU PRS

Les quatre points ci-dessous constituent les principes de base sur lesquelles le PRS est bâti :

(a) Le service après-vente

Le fournisseur des équipements photovoltaïques a sous sa responsabilité, dans chacun des états, un représentant chargé du SAV.

Le représentant est une société stable de droit local.

Toutes les notifications relatives à l'exécution du marché sont adressées par l'administration à ce représentant.

Le représentant doit être à même de fournir des pièces et constituants de rechange, et d'assurer la garantie et l'entretien des équipements. Notamment les interventions de dépannage doivent s'effectuer dans un délai de 48 heures.

Le fournisseur, met à la disposition de son représentant un stock minimum de pièces de rechange. L'existence de ce stock peut être contrôlée à tout moment par l'administration ;

(b) La Prise en charge des frais récurrents

Pour une pérennité du PRS, il est nécessaire que les charges de renouvellement des équipements puissent être couvertes par les bénéficiaires ; notamment pour les coûts récurrents ci-dessous :

- les frais de fonctionnement : Salaires gardiens et fontaniers ;
- les frais d'entretien et de réparation : Coût du contrat de SAV ;
- les frais de renouvellement : pour l'onduleur et l'électropompe ;

(c) La participation initiale

Dès l'instruction du programme, le principe d'une contribution financière initiale significative a été défini comme l'un des fondements de la stratégie d'intervention du P.R.S. . une telle participation est en effet un moyen très efficace de développer un sentiment de propriété, et de s'assurer, avant même l'installation de l'équipement, à la fois de la motivation réelle de la collectivité bénéficiaire et de sa capacité financière à assumer l'entretien ultérieur.

Vue du point de vue du fournisseur, ou de son représentant, la contribution initiale des usagers constitue une garantie du paiement ultérieur de l'entretien ;

(d) La zone de concentration

L'installation des équipements dans une même zone facilite la mise en place d'un SAV opérationnel à des coûts qui soient accessibles aux populations rurales. De manière générale, la zone de concentration retenue dans les différents pays est la zone d'action des programmes d'hydraulique Gême FED. Tenant compte des spécificités de chaque pays, d'autres zones de concentration sont admises

4 - La mise en oeuvre du PRS

L'étendue géographique du programme a amené à adopter une mise en oeuvre décentralisée qui confère un rôle précis à l'ensemble des partenaires du programme.

Le CILSS : assure la coordination régionale du programme :

- * Information et formation des Maîtres d'oeuvre Nationaux ;
- * Gestion des 3 marchés de fourniture ;
- * Lancement études régionales ;
- * Mise au point de procédures standard pour l'exécution du PRS.

Dans chaque état : les directions de l'hydraulique sont les maîtres d'oeuvre nationaux du programme et désignent un fonctionnaire chargé de l'exécution sur le terrain

Les attributaires : Fournissent les équipements et mettent en place le SAV.

Les représentants des Attributaires : Assurent dans chaque pays l'installation des équipements et l'exécution du SAV.

Les Comités de Point d'eau : Dans chaque village assurent la gestion et la conduite de l'équipement et prennent en charge les frais récurrents

4.1 Etudes d'identification

Les études d'identifications menées au niveau régional ont pour objet :

- de trouver les programmes d'accueil ;
- d'identifier les ressources financières ;
- de collecter les données hydrogéologiques ;
- de dresser une liste de sites potentiels ;

L'identification définitive est menée au niveau national et n'intervient qu'à l'issue de la campagne d'animation-sensibilisation.

4.2 Les études de dispositif financier

Les études des dispositifs financiers menées dans chaque pays ont pour objet :

- établir les critères de viabilité du pompage photovoltaïque ;
- proposer des schémas de gestion et de valorisations des ressources monétaires ;
- d'identifier les partenaires financiers : banques, coopératives rurales, etc.

Ces études du dispositif financier permettent de fixer le montant des ressources indispensables qui doivent être annuellement dégagés pour couvrir les trois postes de charges récurrentes que sont : le coût du contrat d'entretien, l'épargne de renouvellement, la participation initiale.

4.2.1 Les schémas de dispositif financier

L'entretien des équipements peut reposer sur 3 types de relations entre usagers et représentant national du fournisseur : le contrat en garantie totale, le contrat d'entretien hors pièces, l'intervention à la demande.

L'analyse des avantages et inconvénients de ces divers systèmes a amené le PRS à opter pour la garantie totale.

Le contrat d'entretien en garantie totale : le fournisseur, contre paiement d'une prime forfaitaire généralement annuelle, garantit pour une durée de 5 ans le fonctionnement permanent de l'équipement. Il fait son affaire des déplacements, de la main-d'oeuvre et des pièces de rechange. C'est la formule retenue lors de l'appel d'offres.

4.2.2 Conditions de viabilité du dispositif financier

L'équipement mis en place doit permettre de dégager les ressources monétaires pour faire face aux conditions de prise en charge imposées par le PRS :

(a) La vente de l'eau :

Dans la majeure partie des cas il est établi que la vente de 30 à 50 % de l'eau sur la base de 5 FCFA la bassine d'eau (125 F cfa le M³), permet de couvrir les charges récurrentes ;

(b) Cotisations ou participation volontaire

Ce système n'est acceptable que si les dispositions sont prises pour s'assurer que les collectivités bénéficiaires vont s'acquitter de leurs engagements (cotisations par famille).

Dans certains cas, des participations volontaires de quelques privilégiés ou encore les immigrants ressortissant du village prennent en charge les frais récurrents dans un acte de solidarité. Ce mode de cotisation n'est pas viable à long terme ;

(c) Rôle de la contribution initiale

Le montant de la participation initiale, imposée avant l'acquisition de l'équipement est au moins égale au coût du contrat annuel d'entretien et au maximum plafonné à 10% de la valeur CF de l'installation

Ce montant est versé dans un compte au près d'une banque de la place (taux de rémunération 6 et 10%)

Par rapport au SAV, la contribution initiale des usagers constitue une garantie du paiement ultérieur de l'entretien.

Dans tous les cas, la valorisation de la contribution initiale peut être réalisée de plusieurs manières :

- garantir le paiement de la première annuité du contrat d'entretien.
- reversée dans le compte d'épargne renouvellement de la collectivité
- servir à la mise en place d'un fonds de garantie inter-villageois, destinés à garantir des prêts octroyés par un établissement bancaire à la collectivité ;

4.3 L'animation - sensibilisation

Les actions d'animation visent à concevoir et à réaliser avec les futurs utilisateurs un véritable projet autour de chaque équipement et comprennent :

- Les actions d'information sur le PRS : avantages et contraintes ;
- Prise de décision par la collectivité ;
- Organisation et formation de la collectivité : comité de point d'eau, ouverture de comptes et versement de la participation initiale ;

4.4 Procédures techniques et administratives unifiées.

Vu la diversité des intervenants et des actions à mener, la mise en place de procédures standard a été une priorité pour la coordination régionale du PRS ;

4.4.1 Les procédures techniques :

Il s'agit de la méthode de dimensionnement des pompes et de la méthode de réception provisoire sur site de pompes.

- Méthode dimensionnement des pompes : Pour les systèmes de pompage, une méthode de dimensionnement graphique standard a été établie. Elle est basée sur les données fournisseurs et/ou constructeurs. Ces données sont validées par les essais de type lors des procédures d'adjudication.
- Procédure de réception provisoire sur site : Cette étape de contrôle n'est qu'un complément à l'ensemble des autres dispositions de contrôle en amont du projet. Et compte tenu de l'optique de banalisation, une procédure légère mais fiable de réception sur site a été retenue comme pour tous les pays. Le matériel nécessaire pour cette procédure a été mis à la disposition de chaque état

4.4.2 Procédures administratives

Lettres de commandes Pour chaque pays à partir du moment que des sites sont définitivement retenus, le maître d'oeuvre national établit une commande du matériel correspondant.

Un modèle de lettre de commande type avec une procédure de visa uniforme pour

tous les pays a été définie. Chaque lettre de commande comprend : fiches de sites, fiches de dimensionnement, fiches de récapitulation financière de la commande etc.

Gestion des marchés : La coordination a également élaboré des fiches et une méthode de gestion uniforme des avances, des cautions et mains levées de caution.

5. ÉTAT D'AVANCEMENT DE L'EXÉCUTION DU PRS

5.1 Actions de coordination régionale

5.1.1 Procédures unifiées pour tous les états

Trois sessions de formation ont permis d'aboutir à la maîtrise des procédures : sessions de formation de Dakar, Bamako (en 1991) et à Ouagadougou (en Juin 1992)

A l'occasion de la session de formation de Ouagadougou des améliorations et consolidations ont été apportées dans les procédures suivantes :

- méthodes de dimensionnement des pompes immergées, par l'introduction notamment de la "méthode graphique" de dimensionnement ;
- circuit de préparation des lettres de commande ;
- procès-verbal de réception provisoire ;
- vérification des paiements mensuels.

5.1.2. Système de gestion de bases de données

Ce système de gestion au niveau régional a pour finalité :

- la validation technique et financière des commandes ;
- servir de tableaux de bord pour le suivi de l'exécution ;
- suivre et gérer les paiements et les mains-levées.

5.2 Etat d'exécution des Commandes

(a) Lot N°1 -Marché 001/91 CILSS-SIEMENS

Au total 9 lettres de commandes seront émises sur ce lot : 106 pompes et 120 systèmes communautaires soit (40% de la puissance crête du lot).

L'exécution du marché N°001/91 est globalement insuffisante, . Il faut également tenir compte du fait que ce marché n'a pu véritablement démarrer qu'en avril 1992.

(b) Lot N°2 -Marché 002/91 CILSS-PHOTOWATT-TOTAL

Au total 5 lettres de commande sont exécutées, soit 82 pompes immergées et 33 systèmes communautaires représentant 36% de la puissance crête du marché

Il faut rappeler que la Burkina-Faso et le Mali sont les 2 pays ayant, le plus gros volume d'équipements alloués.

(c) Lot N°3 Marché 003/91 CILSS-PHOTOWATT-TOTAL

Au total 88 pompes et 52 systèmes communautaires sont installées à la fin de l'année 1993, ce qui constitue 64% de la puissance crête du lot.

L'exécution du marché N°003/91 est globalement satisfaisante

6. CONCLUSIONS

6.1 Difficultés rencontrées

Dans la majorité des cas, les diagnostics des projets solaires PV en milieu rural Sahélien ont très souvent relevé la notion de "conditions non réunies" pour la réussite de ces projets ; parmi les causes de défaillance des projets que l'on retrouve systématiquement dans ces analyses on peut citer :

- la non implication des populations concernées ;
- la non adaptabilité des technologies introduites ou des procédés mis en place aux habitudes socio-culturelles des populations bénéficiaires ;
- enfin, le degré de sophistication de la technologie introduite par rapport à l'environnement technologique en milieu rural africain (problème de maintenance, pièces détachées, de SAV, .).

Autant de concepts que le PRS dans sa démarche tente d'intégrer.

Il est encore trop tôt de tirer des conclusions cependant, nous pouvons déjà citer les problèmes majeurs qui ont été identifiés :

6.1.1 Les systèmes communautaires

Ils représentent 5% du PRS, cependant leur importance est bien en rapport avec celle accordée aux systèmes de pompage car à court terme c'est probablement ce type d'application qui aura la plus large diffusion au Sahel.

Le faible taux de mise en oeuvre s'explique par :

- les maîtres d'oeuvre nationaux qui sont en général les directions de l'hydraulique privilégient d'avantage les systèmes de pompage mettant ainsi les systèmes communautaires en seconde priorité.
- les intervenants ne se limitent pas aux seuls maîtres d'oeuvre nationaux car la collaboration d'autres partenaires est nécessaire (Ministère de la santé, ONG, etc.) et implique une action de coordination qui n'est pas toujours facile à mettre en oeuvre.

En 1993 et au début de l'année 1994, le nombre de systèmes commandé a subi une nette progression et le taux d'exécution pour ces systèmes se situe aux environs de 38% ;

6.1.2 Pompes immergées

Les difficultés de mise en oeuvre se situent essentiellement au niveau de la disponibilité des financements des programmes d'accueil. Au démarrage du programme, le 6è FED était déjà en cours d'exécution et dans la majorité des pays il n'était pas programmé la prise en charge des infrastructures annexes du PRS. Ce problème de financement affecte la mise en oeuvre sur un double plan :

- les cellules PRS manquent de moyens pour les actions d'animation -sensibilisation ;
- les infrastructures d'accueil sont inexistantes (forage, stockage d'eau, réseaux d'adduction, etc.).

Ce problème de financement a été résolu dans la majorité des pays grâce à la collaboration active des Délégations de la CCE ;

6.1.3 Pompes de surface

Aucune pompe de surface n'est commandée à la date du 31/12/1993. Ce constat suffit pour montrer le manque d'intérêt des pays pour ce type d'équipement. La principale raison de cette situation est d'ordre économique : la rentabilité des pompes de surface prévues dans le cadre du PRS n'est pas évidente.

7. PERSPECTIVES D'AVENIR

Pour l'heure, il s'agira pour le CILSS, de tout mettre en oeuvre afin que l'ensemble des équipements prévus au programme soient installés dans les délais contractuels (31/12/94 pour les pays des Lots 2 et 3 et au 31/03/95 pour le pays du lot 1).

Cependant, même s'il est encore trop tôt de tirer des conclusions, il n'en demeure pas moins que d'ores et déjà l'expérience de terrain acquise permet :

- de définir une configuration type des systèmes de pompage solaires au Sahel en fonction de chaque zone hydrogéologique ;
- de formuler les conditions de viabilité de la gestion villageoise des points d'eau équipés de pompes solaires ;
- de définir une stratégie régionale viable de l'approvisionnement en eau des populations rurales Sahéliennes ;
- de formuler des recommandations à l'attention des décideurs politiques des Etats Sahéliens pour la mise en oeuvre de mesures incitatives (fiscales et législatives) aptes à sous-tendre la dissémination du solaire au Sahel ;
- de formuler et définir le cadre d'intervention approprié pour le lancement d'une PHASE 2 du programme qui permette de consolider et approfondir l'expérience acquise dans la phase actuelle notamment pour la valorisation de l'épargne villageoise et le développement d'activités porteuses d'emplois.

Il reste évident que les résultats attendus du programme, notamment ceux issus des actions de Monitoring, de suivi socio-économiques des points d'eau et des études "Condition de diffusion des équipements P.V au Sahel" et "Condition de valorisation de l'épargne générée par la gestion des points d'eau du PRS", permettront au CILSS de réaliser les points ci-dessus.

- (1) Spécialisée dans la recherche des variétés adoptées aux conditions pluvio-climatiques actuelles.
- (2) Spécialisée dans le suivi de l'évolution agro-climatique et des ressources naturelles du Sahel : eau, couvert végétal.. .
- (3) Après la résolution du problème de changement de Modules introduit en juin 1991 par Siemens, soit trois semaines après la notification du marché à cet attributaire.

UNE OPÉRATION PILOTE D'ALIMENTATION EN EAU À FAIBLE COÛT DANS UN CENTRE SECONDAIRE DU BÉNIN

Collignon, B.

Hydrogéologue, consultant pour l'AFVP, BP 207, F 91311, Monthléry.

Résumé

Guene est un centre secondaire du nord du Bénin (3 500 habitants). Auparavant, son alimentation en eau potable était assurée par une dizaine de puits publics plus ou moins salubres. Afin d'améliorer la qualité du service, nous avons proposé aux habitants de travailler à l'installation d'une petite adduction avec 12 bornes-fontaines. Le projet a été accepté par toute la population qui a financé 15 % de l'investissement (coût total : 50 000 US \$, soit 15 \$ / habitant, un ratio comparable à celui de l'hydraulique villageoise). La gestion de l'adduction est confiée à une association regroupant les usagers, totalement indépendante de la commune. Cette association a confié l'exploitation technique à un artisan local, rémunéré à proportion de la production du réseau. Les charges récurrentes sont couvertes par une redevance annuelle (1 US \$/hab, y compris le renouvellement du matériel). Les redevances sont rassemblées au niveau des bornes-fontaines dont les utilisateurs sont solidairement responsables.

MOTS-CLES

Alimentation en eau potable - gestion municipale - centres secondaires - coût de l'eau - charges récurrentes - Bénin

Abstract

Guene is a small city in the North of Benin (3500 inhab.). Previously, the water supply was made by ten public wells, more or less clean. In order to improve the quality of the water supply, we proposed to the people to construct a small water network with 12 fountains. The project has been adopted by the whole population who contributed with 15 % of the financial expense (total cost : 50 000 US \$ or 15 \$ / inhab., similar to what the village water supply costs). The supply system is managed by an association grouping the users. It is completely independent of the Commune. This association committed the technical exploitation to a private machinist. He is paid according to the water production. The recurrent expenses are paid by an annual fee collected by the fountain chief.

Key Words

Drinking water supply - municipal administration - small cities - water price - recurrent costs - Benin

1 - ORIGINE DU PROJET

L'AFVP est engagée depuis deux ans dans plusieurs opérations pilotes dans le domaine de l'alimentation en eau des petites villes (au Cameroun, Bénin, Rwanda, Mali). Au Bénin, un projet pilote concerne le bourg rural de Guéné (province du Borgou). Celui-ci est à la fois trop petit (3 500 habitants) pour intéresser la société nationale de distribution d'eau (la SBEE) et suffisamment grand pour pouvoir supporter les charges de gestion d'une petite adduction. Le choix de cette agglomération a été aussi guidé par le fait que l'AFVP y menait un programme d'hydraulique villageoise depuis 8 ans. Ce programme avait permis de couvrir la plus grande partie des besoins en eau des villages de cette région. La demande prioritaire est ainsi devenue celle des centres secondaires, trop grands pour être alimentés en eau sur le modèle de l'hydraulique villageoise. De plus, le travail réalisé dans la région nous avait permis d'identifier de bons artisans, pivots de la maintenance des futurs ouvrages.

La coopération française a accepté de financer le projet dans le cadre d'un FAC d'intérêt général "environnement urbain".

2 - PROBLÉMATIQUE

L'approvisionnement en eau des centres secondaires constitue un enjeu important, car leur population croît rapidement, plus vite que celle des campagnes environnantes. Les problèmes de santé publique y prennent donc une acuité d'autant plus forte que ces centres ne bénéficient généralement pas des infrastructures collectives qui existent dans les grandes villes.

Un développement harmonieux de ces centres aurait un impact très important en termes d'aménagement du territoire. Ils constituent un facteur de développement rural en offrant services et commerces aux campagnes environnantes. Ils peuvent limiter l'exode vers la capitale des jeunes ruraux à la recherche de travail non agricole.

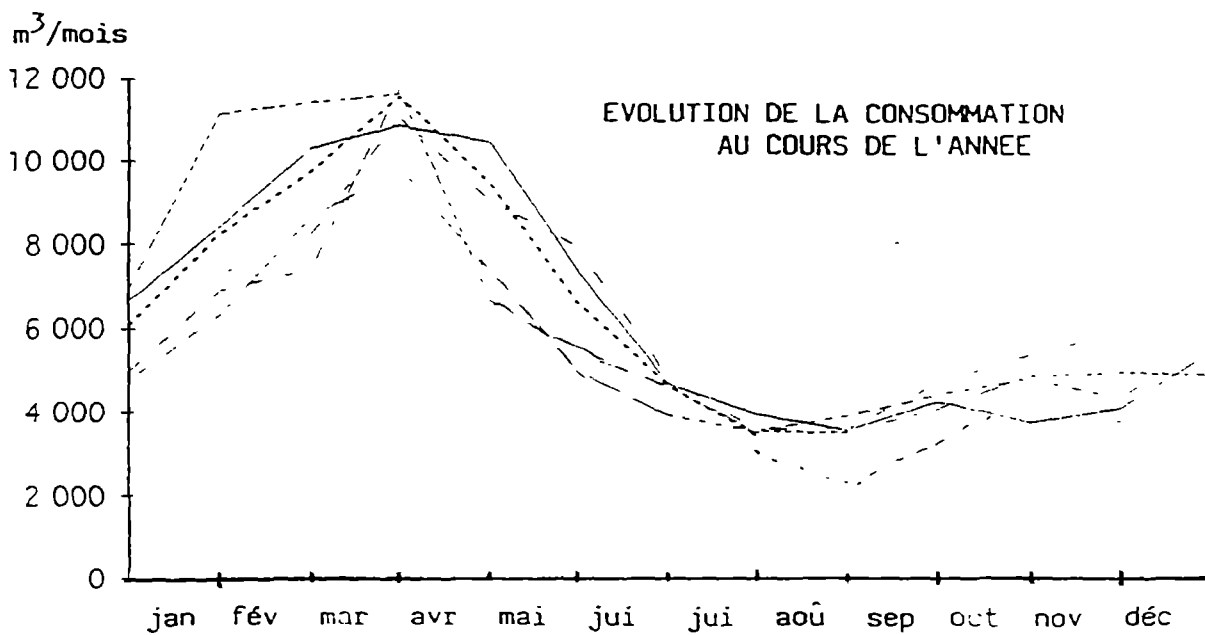
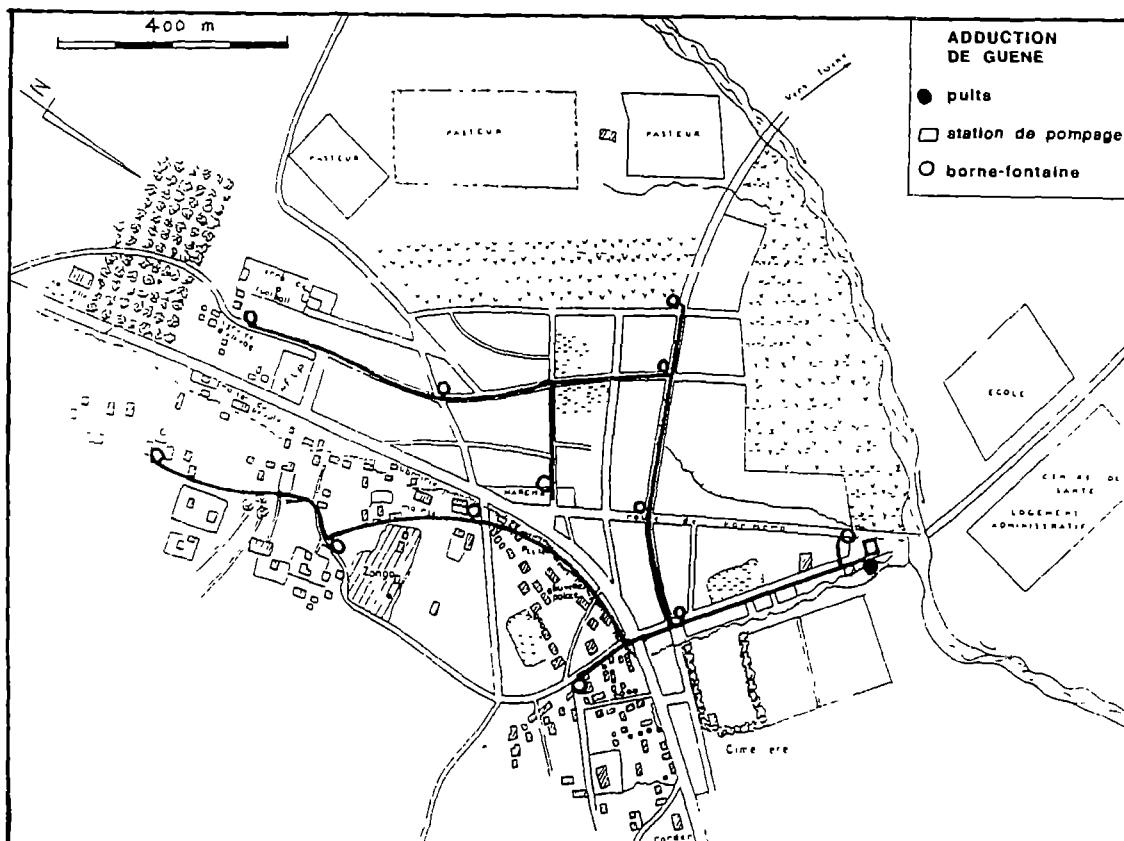
Mais l'alimentation en eau de ces centres pose des problèmes nouveaux dont les solutions ne sont ni celles de l'hydraulique villageoise, ni celles de la grosse hydraulique urbaine. Les revenus moyens des usagers y sont plus limités que dans les grandes villes. De plus, on n'y trouve pas cette classe aisée de consommateurs qui permet de "rentabiliser" les réseaux de distribution dans certaines grandes villes (expatriés, industries, commerçants).

Il faut donc impérativement mettre au point des solutions techniques moins coûteuses que celles appliquées dans les grandes villes, tant du point de vue des investissements initiaux que de celui des charges récurrentes.

Le problème n'est pas insoluble, puisque ces populations ne recherchent pas un standard de distribution aussi élevé que celui proposé dans les quartiers aisés des grandes villes.

Nous avons donc travaillé sur l'hypothèse d'une distribution simplifiée :

- pas de branchements privés, mais des bornes-fontaines collectives ;



- une dotation individuelle en eau potable réduite à 10 l/j par habitant, associée à des ouvrages peu coûteux (puits traditionnels) qui fournissent l'eau nécessaire pour la lessive, la vaisselle, le bain ;
- des bornes ouvertes seulement le matin et le soir (pour réduire les charges de personnel) ;
- favoriser des formes de gestion non monétarisées (entretien des abords, contrôle de qualité, gestion assurée par des associations d'usagers bénévoles).

3 - LE MODÈLE TECHNIQUE PROPOSÉ

Le modèle technique a été élaboré avec le souci constant de réduire aussi bien les charges d'investissement que les charges récurrentes. Dans ce cas-ci, l'investissement est de 350 000 FF (dont un quart de charges d'étude, de suivi de chantier et d'évaluation), soit 100 FF (17 US \$) par usager. Ces coûts sont tout-à-fait comparables à ceux que l'on observe en hydraulique villageoise (où les charges d'investissement sont de 60 à 150 FF par habitant).

a) Une ressource en eau bien connue

Pour alimenter le réseau, on prélève l'eau dans un point d'eau bien connu, dont la pérennité est attestée par une longue exploitation : il s'agit d'un puits financé par la CCE en 1972. Il capte la nappe phréatique (aquifère libre) située dans les grès argileux du Continental terminal. Pour améliorer son débit instantané et permettre des durées de pompage plus longues, nous avons simplement surcreusé ce puits de 7 m, ce qui lui donne une mise en eau totale de 13 m.

b) Simplifier l'exploitation du réseau

Les stations de traitement constituent un des maillons faibles des systèmes d'AEP. Nous voulions donc éviter cette difficulté dans le cadre d'un projet-pilote. On a donc choisi une ressource en eau souterraine, naturellement potable, sans chloration. L'eau pompée est d'excellente qualité bactériologique et il ne sera donc pas nécessaire de la traiter pour la rendre potable.

Plus tard, quand la régie de l'eau de Guéné aura acquis une certaine expérience, il lui sera toujours possible d'ajouter un système de chloration au niveau de la station de pompage. Cela compliquera un peu l'exploitation et augmentera les charges récurrentes. C'est pourquoi nous lui conseillons de ne pas le faire avant deux ans, et au terme d'une petite étude économique.

ADDUCTION D'EAU DE GUENE CENTRE SECONDAIRE DU BENIN COUTS ETUDE/CONSTRUCTION	MATERIEL	MAIN - D'ŒUVRE FF	SUIVI et LOGISTIQUE FF	TOTAL	
	FF			FF	US \$
1 STATION DE POMPAGE	127 300 F	5 000 F	10 000 F	142 300 F	24 119
surcreusement puits et cabine	1 000 F	5 000 F	2 000 F	8 000 F	1 356
pompe	46 200 F		3 000 F	49 200 F	8 339
groupe électrogène	80 100 F		5 000 F	85 100 F	14 424
2 RESEAU DE DISTRIBUTION	52 000 F	4 200 F	20 000 F	76 200 F	12 915
conduite PVC	36 000 F	4 200 F	15 000 F	55 200 F	9 356
accessoires	16 000 F		5 000 F	21 000 F	3 559
3 BORNES FONTAINES	9 000 F	3 600 F	5 000 F	17 600 F	2 983
génie civil	4 800 F	3 600 F	3 000 F	11 400 F	1 932
robinetterie et accessoires	4 200 F		2 000 F	6 200 F	1 051
4 STRUCTURES DE GESTION	46 600 F	0 F	5 300 F	51 900 F	8 797
réserves carburant, lubrifiant	2 000 F			2 000 F	339
stock de pièces détachées	20 000 F		2 000 F	22 000 F	3 729
petit outillage	7 500 F		300 F	7 800 F	1 322
imprimés, papeterie	500 F			500 F	85
magasin de stockage	16 600 F		3 000 F	19 600 F	3 322
5 ETUDE DU PROJET				20 000 F	3 390
6 FORMATION / EDUCATION SANITAIRE				10 000 F	1 695
7 EVALUATION				32 000 F	5 424
TOTAL GENERAL	234 900 F	12 800 F	40 300 F	350 000 F	59 322

Tableau 1 - Coût adduction

c) Des charges récurrentes stables, une équipe de maintenance locale

Le gasoil a été adopté comme énergie de pompage, avec un système couplant un groupe électrogène et une pompe immergée. Pourquoi choisir une énergie fossile, plutôt que l'énergie "à la mode", le solaire ?

Le choix du diesel est justifié par des raisons de maintenance. On recherchait un système pouvant être entretenu par un mécanicien de Guéné et dont les pièces détachées se trouvent sur le marché local. A Guéné, on a adopté un groupe Lister Peter dont la durée de vie est estimée à 15 000 heures, soit 10 à 20 années de fonctionnement. Les pièces détachées de ce type de moteur très courant en Afrique sont faciles à trouver.

Par contre, les systèmes de pompage solaires (photo-voltaïques) font appel à des réparateurs spécialisés. Il n'existe qu'une société d'électromécanique qui fasse l'entretien de ces systèmes au Bénin, il s'agit d'ENERDAS. Cette société est basée à Cotonou et nous avons déjà fait l'expérience ailleurs de la difficulté qu'il y avait à la mobiliser pour des entretiens loin de Cotonou.

Le groupe électrogène introduit des charges récurrentes non négligeables (carburant, lubrifiant, filtres,...). Mais ces charges ont un niveau relativement stable au cours du temps (il faut payer le gasoil chaque mois). Pour cette raison, la régie des usagers pourra plus facilement y faire face qu'aux dépenses de maintenance d'un système solaire, qui sont pratiquement imprévisibles.

d) Garantir la fourniture en eau chaque jour

Pour "fidéliser" les usagers, il est très important qu'ils trouvent l'eau à la borne-fontaine chaque jour, y compris pendant l'entretien ou la réparation du groupe électrogène. Pour cette raison, on a doublé l'intégralité du système de pompage (groupe électrogène, armoire de commande, pompe immergée). Ainsi, la continuité du service pourra être assurée, même pendant de longues réparations.

e) Une forte densité de points d'eau

Plusieurs études ont démontré que la distance "usager/borne-fontaine" était un facteur déterminant dans la consommation d'eau et donc dans l'hygiène familiale. Plus les usagers sont proches de la borne-fontaine, plus ils consomment d'eau. Il a donc été décidé d'installer 12 bornes-fontaines, soit une pour 250 habitants, ce qui est un ratio très élevé pour le nord Bénin. Ainsi, la distance moyenne "usager / borne-fontaine" est inférieure à 100 m.

f) Chaque quartier reçoit la même dotation en eau

Quand un système de distribution d'eau complexe est mal équilibré en pression, certains quartiers se retrouvent parfois sans eau. On a voulu éviter cela à tout prix, pour que la régie de l'eau n'ait pas de conflits entre les quartiers à arbitrer. Dans ce but, chaque borne-fontaine sert elle-même de réservoir affecté à un quartier bien délimité.

Le principe de distribution est simple : lors du pompage, les bornes se remplissent toutes, assez rapidement (en une heure environ). Chaque quartier dispose alors d'une dotation unitaire (environ 1 500 l) qu'il utilise (ou gaspille) sous sa seule responsabilité. Une fuite non réparée au niveau d'une borne ne peut vider l'ensemble du réseau. Elle ne privera d'eau que les usagers de cette borne. Ceux-ci seront donc directement intéressés au bon état de la borne qu'ils utilisent. Si certaines bornes se révèlent à l'expérience trop sollicitées (trop d'usagers), il sera toujours possible d'en aménager d'autres, en installant un collier de prise en charge sur la conduite existante. De tels travaux sont à la portée des artisans et pourront être financés par la régie.

Un autre intérêt de ces micro-réservoirs, c'est qu'ils sont simples à construire. On n'a pas besoin de faire appel à une grosse entreprise de travaux publics extérieure à la sous-préfecture. Ce sont des maçons qui les ont fait, en utilisant les moules de coffrage utilisés par les puisatiers de la région. Le coût de revient de telles bornes est réduit : environ 1 000 FF (170 US \$).

g) Une exploitation modulable au cours de l'année

Le fonctionnement du réseau se fait selon le rythme suivant : remplissage en une heure de l'ensemble des bornes-fontaines (30 m³) suivi d'une exploitation libre pendant 2 à 8 heures. La demande en eau peut varier assez fort au cours de l'année. Elle connaît notamment une pointe en saison sèche. L'exploitant du réseau pourra répondre assez facilement à cette demande fluctuante. Il lui suffit d'augmenter le nombre de cycles de remplissage quotidiens. 2 remplissages par jour assureraient une dotation en eau de 10 l/jour par habitant. La régie de l'eau pourra très bien décider d'augmenter ce rythme (passer à 3 ou 4 remplissages quotidiens). Qu'elle n'oublie pas cependant que le montant des charges récurrentes sera pratiquement proportionnel à la durée quotidienne de pompage.

h) Pas de branchements privés

Faut-il accepter des branchements privés ou non ? La question a été mainte fois posée, aussi bien par les notables de Guéné que par la SBEE. Nous avons adopté un réseau sans branchements privés, pour faciliter la gestion du réseau et pour garantir le mieux possible l'alimentation en eau de la majorité des habitants.

Dans deux ans, la régie de l'eau pourra décider d'installer des branchements privés, quand elle aura une bonne expérience de la gestion du système et qu'elle disposera de données précises sur les charges d'exploitation.

4 - LE MODÈLE DE GESTION PROPOSÉ

Le projet proposait la gestion du réseau de distribution d'eau par une régie locale, représentant les usagers. Ce mode de gestion associative est une innovation au Bénin où, à part dans quelques projets pilotes, les adductions sont gérées par une société nationale très centralisée, la SBEE. Au travers de cette expérience de gestion locale, nous essayons de déterminer la capacité des populations des centres secondaires à s'organiser pour assurer de manière décentralisée la gestion d'un certain nombre de services publics. En effet, seule des solutions décentralisées permettent de réduire les charges de gestion à un niveau supportable pour la population de ces centres. Les usagers constituent une association officiellement déclarée. Cette association joue le rôle d'une régie de l'eau. Elle gère le réseau de distribution d'eau, en totale indépendance par rapport à la commune et la SBEE. Elle possède son propre compte en banque, passe contrat avec un exploitant privé et gère le système de redevance. La municipalité n'intervient que pour arbitrer les conflits éventuels (le maire ayant un rôle de juge de paix au Bénin) et pour garantir le service public.

RESEAU D'ALIMENTATION EN EAU DE GUENE (BENIN) CHARGES MENSUELLES DE FONCTIONNEMENT (pour 10 l / jour et habitant)

	quantité	unité	coût unitaire FRF	COUT MENSUEL	
				FRF	US \$
1 CARBURANTS ET LUBRIFIANTS				642 F	109
carburant	180	l / mois	3	522 F	88
lubrifiants	4	l / mois	30	120 F	20
2 PERSONNEL				433 F	73
pompiste, réparateur	1	mois	300	300 F	51
12 collecteurs	0,083333	année	1 600	133 F	23
4 membres du bureau	4	mois	10	40 F	7
3 CHARGES ADMINISTRATIVES				20 F	3
imprimés	1	forfait	20	20 F	3
4 REPARATIONS				226 F	38
génie civil	0,04%	par mois	35 000	14 F	2
conduites	0,03%	par mois	40 000	12 F	2
robinetterie et accessoires	1,00%	par mois	20 000	200 F	34
5 PROVISION POUR RENOUVELLEMENT DU MATERIEL				315 F	53
pompes	0,40%	par mois	18 000	72 F	12
groupe électrogène	0,60%	par mois	40 500	243 F	41
TOTAL GENERAL				1 636 F	277
Soit une charge annuelle totale de				19 636 F	3 328
ou encore une charge annuelle pour chaque famille de				39 FF	7 US \$

Tableau 2 Les charges récurrentes

a) Une redevance annuelle par famille

Le système de distribution d'eau le plus fréquent en Afrique est la vente d'eau à l'unité (par bassine, seau ou jerrican). Ce système a l'avantage de permettre des rentrées d'argent régulières et de lier directement paiement et fourniture d'eau (on limite ainsi le gaspillage). Mais ce système a deux inconvénients majeurs :

- il obligerait la régie à engager un vendeur d'eau pour chaque borne-fontaine, soit 12 personnes dans le cas de Guéné ; ceci entraînerait 150 % de charges récurrentes supplémentaires et il faudrait donc augmenter considérablement le prix de l'eau ;
- de nombreuses familles ne disposent pas en permanence de l'argent nécessaire pour payer l'eau et elles se détourneront alors de l'adduction pour retourner aux puits traditionnels, ainsi qu'on le constate dans la plupart des villes d'Afrique : dans ce cas, le service "eau potable" est réservé à la population aisée et n'a guère d'impact en termes de santé publique ;
- de nombreuses familles délaissent les bornes-fontaines payantes pendant la saison des pluies, pour se tourner vers des points d'eau gratuits, mais de qualité médiocre (citernes, marigots, puits non maçonnés,...) (figure 2). Ce comportement réduit fortement l'impact du service "eau potable" sur la santé publique.

Pour cette raison, nous avons proposé à la régie un système différent, déjà testé par l'AFVP au Rwanda. Les usagers ne

paient pas l'eau à la bassine, mais souscrivent un abonnement annuel. Ce système est plus simple à mettre en oeuvre, il demande moins de personnel et il s'adapte mieux aux disponibilités monétaires des usagers : ceux-ci n'ont pas chaque jour sous la main les quelques francs nécessaires pour payer l'eau, mais ils peuvent réunir une somme plus importante une fois par an (après la récolte du coton). Les charges récurrentes annuelles sont d'environ 40 FF/famille, y compris la constitution d'une provision pour le renouvellement intégral de la station de pompage (7 US \$). est-ce négligeable ? Non, puisque l'on s'adresse à une population dont le revenu annuel moyen est de l'ordre de 1 000 US \$ / an et par famille. Ce niveau de prélèvement est cependant 5 fois plus faible que celui qui est pratiqué pour la vente d'eau à l'unité dans les villes béninoises. Le montant des redevances annuelles est déterminé par l'assemblée générale. Il doit couvrir les charges récurrentes (rémunérations, carburant, réparations du réseau) et l'amortissement du matériel de pompage. Le montant annoncé aux usagers a été bien accepté car il est quand même considérablement plus faible que ce qui est demandé dans les autres villes.

b) Les redevances sont rassemblées au niveau des bornes-fontaines

Afin d'accroître la responsabilité collective des usagers, les redevances sont collectées au niveau de chaque borne-fontaine. Il faut faire un recensement détaillé des familles utilisatrices de chaque borne, afin de calculer le montant que chaque représentant de borne doit collecter. Ensuite, les familles utilisatrices (30 à 40 par borne) déterminent le mode de paiement (par imposable, par famille, ...). Elles peuvent aussi décider d'exonérer les familles indigentes, à charge pour le quartier de compenser ce manque à gagner pour la régie. Ce système de répartition collective de la redevance fonctionne bien au Rwanda. C'est pratiquement la seule solution pour que les familles les plus pauvres aient accès à l'eau potable. Pour ce travail de collecte un peu fastidieux, les représentants de bornes-fontaines devraient être rémunérés. Au Rwanda et au Burundi, ils le sont sous la forme d'un pourcentage de la recette (ce qui les incite à bien faire leur travail). Cette ristourne pourrait être de 5 ou 10 %. La question est encore débattue au sein de la régie de Guéné. Se posera alors la question de la rémunération des membres du comité eux-mêmes. Ce sera à son Assemblée générale de prendre une décision à ce sujet.

c) La structure de la régie

Les représentants de bornes-fontaines et d'autres personnes choisies par la population constituent une Assemblée générale souveraine. Elle détermine le niveau de cotisation, les gros investissements, les termes du contrat passé avec l'exploitant. Cette assemblée élit un bureau exécutif (qui organise l'engagement des dépenses, le suivi comptable, le suivi du travail de l'exploitant).

d) Une comptabilité totalement indépendante de celle de la commune

La régie tient sa propre comptabilité et elle a ouvert un compte en banque qui lui est propre. Cette indépendance financière est indispensable pour qu'elle puisse équilibrer ses comptes et réaliser des provisions pour les futures réparations.

e) Un contrat d'exploitation passé avec un artisan privé

La régie s'occupe des tâches de gestion, de perception des redevances, de planification des travaux. Par contre, elle sous-traite à un artisan toutes les tâches techniques :

- gestion du stock de gasoil ;
- entretien et mise en marche du groupe ;
- réparations sur le réseau ;
- diagnostic des grosses pannes justifiant de faire appel à une entreprise spécialisée.

Celui-ci est intéressé à la bonne marche de l'adduction par une rémunération directement liée à son bon fonctionnement.

5 - EVALUATION DES RÉSULTATS

a) Mobilisation de l'épargne locale

La mobilisation des usagers a été très efficace pour réunir la participation financière exigée par le projet, malgré son niveau relativement élevé (20 000 FF).

b) Mobilisation de la main d'oeuvre bénévole ("investissement humain").

Par contre, la mobilisation des jeunes sur le chantier a été décevante, comme on le constate souvent en milieu urbain. Par contraste avec le milieu rural, les structures claniques et familiales ne sont pas assez fortes pour mobiliser efficacement la population dans des travaux collectifs. Il ne faut donc pas compter sur une telle mobilisation pour réduire les coûts monétaires de construction.

c) Qualification des artisans locaux

Les artisans locaux mobilisés par le projet ont démontré leur compétence (plombiers, maçon, mécanicien). Ils devraient pouvoir entretenir le réseau de manière totalement autonome par la suite. L'intérêt de cette maintenance locale est son coût réduit et la grande disponibilité des artisans locaux.

d) Le comité de gestion

Le comité de gestion se montre très sensible aux problèmes de gestion (il est d'accord par exemple de constituer des

provision pour le renouvellement du matériel,...). Mais sera-t-il efficace pour autant ? Sa structure actuelle reflète surtout la structure clanique de Guéne : le comité comprend un représentant de chacune des grandes familles de la ville (12 personnes). Cette composition ne nous semble pas bien adaptée pour gérer l'adduction. Nous avons proposé au comité d'intégrer en son sein un représentant par borne-fontaine et d'élire un bureau exécutif restreint, chargé de la gestion courante.

e) Mise en route de la gestion

Une période de rodage est indispensable, pour que les différents acteurs prennent leur place et prennent la mesure des tâches de gestion. La régie de l'eau ne deviendra autonome qu'en affrontant des difficultés réelles et des prises de décision douloureuses. Cette phase de lancement est estimée à deux ans. Pendant cette période, la régie est accompagnée par un volontaire de profil gestion.

CONCLUSIONS

- a) Il est possible de construire des systèmes d'adduction d'eau dans les centres secondaires à un coût par usager comparable à celui des aménagements réalisés en hydraulique villageoise : 100 FF par habitant.
- b) Il est souhaitable de séparer clairement les tâches de gestion de la redevance (exercées par un représentant du maître d'ouvrage : commune, régie d'usagers, ...) et celles d'exploitation technique (confiées à un exploitant privé).
- c) Il est possible de construire des systèmes dont les charges récurrentes (y compris le renouvellement du matériel) soient compatibles avec les faibles revenus des populations de ces centres secondaires : 5 FF par usager et par an, ou encore 2 FF par m³.
- d) Une manière efficace de réduire les coûts de gestion de l'adduction consiste à remplacer la traditionnelle vente de l'eau à l'unité par une redevance annuelle ou trimestrielle. Cela implique un système de distribution réduisant le gaspillage : une dotation journalière fixe par quartier. Cela implique aussi une structuration des quartiers suffisante pour que le comité de point d'eau puisse collecter les redevances et arbitrer les conflits entre usagers.
- e) La décentralisation de la gestion de telles micro-adduction est indispensable si l'on veut en réduire les charges d'exploitation. Elle est aussi un formidable moyen de promouvoir le développement de structures municipales.
- f) La gestion de la collecte des redevances peut se faire au niveau des bornes-fontaines. L'ensemble des usagers de chaque borne est solidairement responsable de son fonctionnement. Ce système stimule la pression du groupe sur les familles qui ne paient pas leur redevance. Il permet aussi au groupe de prendre en charge la part de redevance des familles les plus pauvres. C'est le même principe de responsabilité solidaire du groupe qui a assuré le succès des mutuelles d'épargne-crédit au sud du Mali.

L'AFVP EN QUELQUES MOTS

L'Association française des volontaires du progrès est une association (loi 1901) créée en 1963 à l'initiative des mouvements de jeunesse français et du Ministère de la Coopération. C'est une ONG dont l'objectif est de participer à des actions de développement dans des pays du sud. Sa particularité est de faire appel à de jeunes volontaires des pays européens qui mettent leurs compétences au service d'opérations bien ciblées. Les principaux domaines d'action de l'AFVP sont l'hydraulique, la santé publique, le développement rural, le développement local urbain et la promotion des petites entreprises. Actuellement, 500 volontaires du Progrès travaillent dans 25 pays d'Afrique et de l'Océan Indien. Les opérations de développement sont étudiées, suivies et évaluées par une centaine de cadres expérimentés, originaires d'Europe et d'Afrique.

A.F.V.P. FRANCE. BP 207. 91311. Monthéry cédex. Tél : 33. 1. 69 01 10 95. Fax : 69 80 75 34. A.F.V.P. BENIN. BP 344. COTONOU.

BIBLIOGRAPHIE

- COLLIGNON B. 1992. Programme d'adduction d'eau à Guéné, centre secondaire du Bénin. Document de projet AFVP / FAC. 30 p.
- COLLIGNON B. 1993. Un programme pilote de gestion associative de la distribution d'eau dans un centre secondaire. Rapport d'évaluation AFVP / FAC. 20 p.
- MOREL A L'HUISSIER A. 1990. Economie de la distribution d'eau aux populations urbaines à faible revenu dans les pays en développement. Thèse de doctorat (ENPC Paris). 456 p.
- PLASSARD L. 1993. Programme d'adduction d'eau à Guéné. Rapport d'exécution AFVP / FAC.
- SANON D. 1990. Etude d'approvisionnement en eau potable et identification des problèmes urbains à Guéné. Rapport de stage IFU/AFVP. 70 p.

ABREVIATIONS

AEP alimentation en eau potable ; CCE Commission de la communauté européenne, FAC Fonds d'aide à la coopération
SBEE Société béninoise d'eau et d'électricité, AFVP Association française des volontaires du progrès.

L'ÉOLIENNE DE POMPAGE : UNE SOLUTION POUR L'HYDRAULIQUE VILLAGEOISE

Arnaud, L.

GRET. Projet Alizés B.P. 5261 Nouakchott. Mauritanie

INTRODUCTION

L'éolienne est un moyen d'exhaure très peu utilisée dans les programmes d'hydraulique villageoise, on lui reproche 3 inconvénients majeurs :

- l'utilisation d'une ressource énergétique trop irrégulière le vent ;
- un manque de fiabilité ;
- un investissement élevé.

Pourtant depuis 1990 le programme Alizés mené par une ONG le Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques en collaboration avec les Directions de l'Energie et de l'Hydraulique démontre dans le Trarza que l'éolienne de pompage peut être une solution pour la satisfaction des besoins en eau des villages mauritaniens.

En effet actuellement 63 éoliennes fournissent de l'eau potable à plus de 20 000 personnes, avec un taux de fonctionnement de 95 % .

Une entreprise mauritanienne Deyloul fabrique, installe et répare les éoliennes dans toute la Mauritanie. Le coût de la maintenance est totalement pris en charge par les bénéficiaires des équipements.

Pour atteindre ces objectifs le GRET a mis en place les conditions suivantes :

- un transfert de technologie permettant de donner à une entreprise Mauritanienne les compétences de fabrication, d'installation et de maintenance des équipements ;
- un regroupement géographique des installations, 100 éoliennes pour une seule région ;
- l'établissement d'un réel partenariat avec les villages bénéficiaires qui prennent en charge au minimum 15 % du coût de l'investissement.

L'ensemble de ses résultats prouve que économiquement et techniquement l'éolienne a sa place dans les programmes d'hydraulique villageoise.

1 - UNE ÉOLIENNE MAURITANIENNE

Dans le cadre du programme Alizés , l'entreprise Deyloul a bénéficié d'un transfert de technologie qui lui a permis de fabriquer en Mauritanie l'éolienne multipale de la marque française Oasis

Les étapes du transfert de technologie ont été les suivantes :

- en 1990 fabrication du pylône ;
- en 1991 fabrication du frein, de la pale de régulation et du gouvernail ;
- en 1992 fabrication de la roue de 2,5m de diamètre ;
- en 1993 élargissement de la gamme avec la fabrication d'une roue de 3 m.

L'éolienne Deyloul est le premier moyen d'exhaure fabriqué en Mauritanie

Deyloul a déjà livré à Alizés 63 éoliennes et a vendu 13 éoliennes à des clients privés dans toute la Mauritanie.

1.1 Evaluation technique des installations

Toutes les éoliennes ont été installées par l'entreprise Deyloul.

Parallèlement au transfert de technologie, le programme Alizés réalise une formation continue du personnel de l'entreprise et un suivi technique qui permet d'adapter l'éolienne aux conditions de la Mauritanie et d'augmenter les compétences de l'équipe vis à vis des problèmes rencontrés.

Ce double objectif a permis de faire de l'éolienne Deyloul : une machine adaptée aux conditions rigoureuses de l'hydraulique villageoise : pour la quatrième année du projet il y a eu **un taux de panne sur l'éolienne de 1,26 % (soit 233 jours d'arrêt pour un total 18 437 jours).**

Le principal problème technique rencontré depuis le début du projet a été l'ensablement des puits, le captage réalisé jusqu'à présent ne permettait pas l'utilisation d'une pompe pour les puits avec un sable très fin. Malgré des débits instantanés faibles (inférieur à 1 m³/h), les puits s'ensablaient périodiquement rendant impossible l'utilisation de l'éolienne.

Grâce à amélioration de la technologie des puits par la réalisation d'un meilleur captage ,ce problème a pu être résolu. Les puits à problèmes ont été refait selon les règles de l'art

Sur l'éolienne les principales causes de pannes sont actuellement par ordre croissant :

TYPE DE PANNE	Pourcentages
corrosion	34 %
rupture de la tige de commande	30 %
rupture du piston plongeur	14 %
roulement du système bielle-manivelle	8 %
usure du cuir du piston	8 %
usure du clapet de pied	3 %
rupture du plateau manivelle	3 %

Les améliorations apportées depuis le début du projet ont été :

- la réalisation d'un nouveau frein ;
- l'utilisation d'un nouveau clapet de pied ;
- le renforcement du piston plongeur ;
- le renforcement du roulement situé dans le système bielle-manivelle ;
- la création d'un carénage protégeant le système bielle-manivelle et permettant de diminuer la périodicité des graissages ;
- l'introduction de l'inox pour lutter contre la corrosion.

1.2 Une eau disponible en quantité et en qualité

La quantité :

Le grand avantage de l'éolienne par rapport aux pompes à motricité humaine est la quantité d'eau disponible sans effort.

La quantité d'eau pompée par l'éolienne est fonction de 4 éléments :

- la vitesse du vent, à Rosso la vitesse moyenne est de 4,63 m/s ;
- le diamètre de la pompe, 3 diamètres différents existent 50,60 et 70 mm ;
- le diamètre du rotor, 2 diamètres existent les roues de 2,5 m et les roues de 3m ;
- la hauteur manométrique totale ou hmt.

La hauteur manométrique moyenne des installations Alizés actuellement réalisées est de 20 m, les extrêmes sont :

- le village de Kermour avec une hmt de 7 m ;
- le village de Bir el Veth avec une hmt de 40 m.

A 20 m de hmt le débit théorique est de $11,4 \text{ m}^3/\text{jour}$ pour une pompe de 50 mm et une roue de 2,5 m de diamètre. Le débit mesuré dans les villages munies de compteurs d'eau qui n'arrêtent jamais leurs éoliennes a été de :

- $11,8 \text{ m}^3/\text{jour}$ pour le village de Towfick pour une hmt de 21 m, une roue de 2,5m et une pompe de 60 mm ;
- $13,44 \text{ m}^3/\text{jour}$ pour le village de pk 14 pour une hmt de 15 m, une roue de 2,5 et une pompe de 70 mm.

La roue de 3 m de diamètre permet un débit théorique 40% supérieur à celui de la roue de 2,5m.

La quantité d'eau pompée (éolienne de 2,5 m à 20 m de hmt), compte tenu de l'objectif de la DIEPA de 20 litres par personne et par jour, permet de satisfaire les besoins en eau d'un village de 500 personnes.

La population moyenne des villages actuellement équipés d'éoliennes est de 356 habitants, soit des besoins en eau journaliers de $7,5 \text{ m}^3$. La plupart des villages n'utilisent pas toute l'eau pompée par l'éolienne

La qualité de l'eau

L'installation de l'éolienne et la protection du puits des pollutions extérieures améliore considérablement la qualité bactériologique de l'eau. Ni les bailleurs de fonds ni les bénéficiaires ne sont très sensibles à cet argument. Alizés est un des premiers programmes d'hydraulique villageoise qui utilise les services d'un animateur hygiène et qui pratique en collaboration avec l'Institut Supérieur Scientifique des analyses d'eau.

Les enquêtes de l'animateur hygiène ont prouvé une diminution très importante des diarrhées chez les enfants depuis l'installation de l'éolienne.

2 - LA MAINTENANCE ET LE RENOUELEMENT DES EQUIPEMENTS

Point clef de tout programme d'hydraulique villageoise, l'efficacité de la maintenance dépend de la réponse à deux questions essentielles :

- les villageois veulent-ils avoir de l'eau de meilleure qualité, en plus grande quantité en acceptant les contraintes de la prise en charge d'un coût de l'eau ?
- le réseau privé de la maintenance, artisan réparateur et importateur (fabricant dans le cas d'Alizés) tirent-ils un bénéfice suffisant des réparations et des ventes des pièces détachées ?

Si les réponses sont oui aux deux questions : les investissements mis en place par le projet auront une pérennité.

Le modèle classique du réseau de la maintenance proposé par la plupart des projets d'hydraulique villageoise est le suivant :

- un fournisseur-importateur ;
- un commerçant dépositaire ;
- un artisan réparateur ;
- un réparateur villageois.

Le schéma proposé par Alizés est différent :

- un fabricant national Deyloul ;
- une équipe régionale Deyloul de maintenance qui gère les contrats ;
- un artisan réparateur indépendant.

Le niveau technologique des villages du Trarza , le faible nombre de pannes par éoliennes et le problème de la sécurité (les interventions nécessitent de monter à 7,5 m de haut) ont fait opter pour une maintenance de professionnels : il n'y a donc pas de réparateurs villageois

Ainsi le rôle de l'équipe d'animation du projet Alizés a été simplement de :

- informer les villageois des avantages et des contraintes que représente l'investissement, pour cela 2 installations de démonstrations ont été réalisées et un séminaire d'information a été organisé, au cours duquel le montant de la participation villageoise a été décidé. Aucune liste de villages bénéficiaires n'a été préalablement établie par l'Administration. Seuls les villages volontaires et motivés ont été équipés, ce qui est la meilleure garantie de pérennité des équipements installés ;
- mettre en place avec les partenaires privés un système de maintenance rentable pour eux tout en étant le plus économique possible pour les villages : **le contrat de maintenance annuel.**

2.1 Le contrat de maintenance

L'éolienne nécessite une maintenance préventive : le graissage et des interventions pour changer des pièces d'usure. En dehors de ses interventions on comptabilise actuellement **0,9 pannes par éolienne et par an** pour un parc dont l'âge varie entre 3,5 et un an.

Le contrat de maintenance prend en compte ses contraintes ; **pour une somme forfaitaire de 36 000 UM, Deyloul garantie aux villages 3 graissages annuels, le changement de toute pièces usées et la réparation de toutes les pannes survenant pendant la durée du contrat.** Il s'agit donc d'une garantie pièces et main d'oeuvre de l'éolienne pendant un an.

Les avantages du contrat de maintenance :

- pour le village ; il donne un objectif chiffré précis du montant des cotisations à récolter par la communauté afin de garantir le bon fonctionnement de l'installation ;
- pour Deyloul ; il permet un suivi technique régulier des installations, il incite au changement préventif des pièces usées afin de prévenir les éventuelles pannes. Il permet de planifier les graissages en les regroupant.

Les villages ont compris l'intérêt du contrat puisque seuls 4 villages n'ont jamais pris de contrat de maintenance.

En février 94 il y a pour les éoliennes dont la garantie de six mois est expirée :

- 59 % des villages qui ont un contrat de maintenance ;
- 10 % qui ont déjà pris un contrat arrivé à échéance et qui doivent en souscrire un nouveau ;
- 12 % qui viennent juste de sortir de la période de garantie de 6 mois ;
- 14% de villages réfractaires qui n'ont jamais pris de contrat et qui payent les pannes au fur et à mesure.

2.2 Un moyen d'exhaure économiquement à la portée des villages mauritaniens

Le coût de l'installation Alizés pour un puits de 20 m :

- l'éolienne 504 000 um ;
- les bassins 350 000 um ;
- le puits 600 000 um ;

Soit un total de 1 454 000 um

Ce montant total ,même si il reste élevé pour beaucoup de villages, est la portée de certains villages qui réalisent des investissements plus importants (comme l'achat de voiture 4 000 000 UM ht).

Les charges de renouvellement :

	durée de vie	total investissement	annuité
éolienne	20 ans	504 000	25 200
puits	30 ans	600 000	20 000
bassins	30 ans	350 000	11 700
		TOTAL	56 900

Le coût du m³ pompé :

charges de renouvellement	56 900
contrat de maintenance	36 000
nettoyage du puits	2 500
TOTAL charges	95 400
éolienne de 2,5 m, 20 m de hmt	4 161 m ³ soit le m ³ à 23 UM

LA DISPONIBILITE DES INSTALLATIONS ALZES

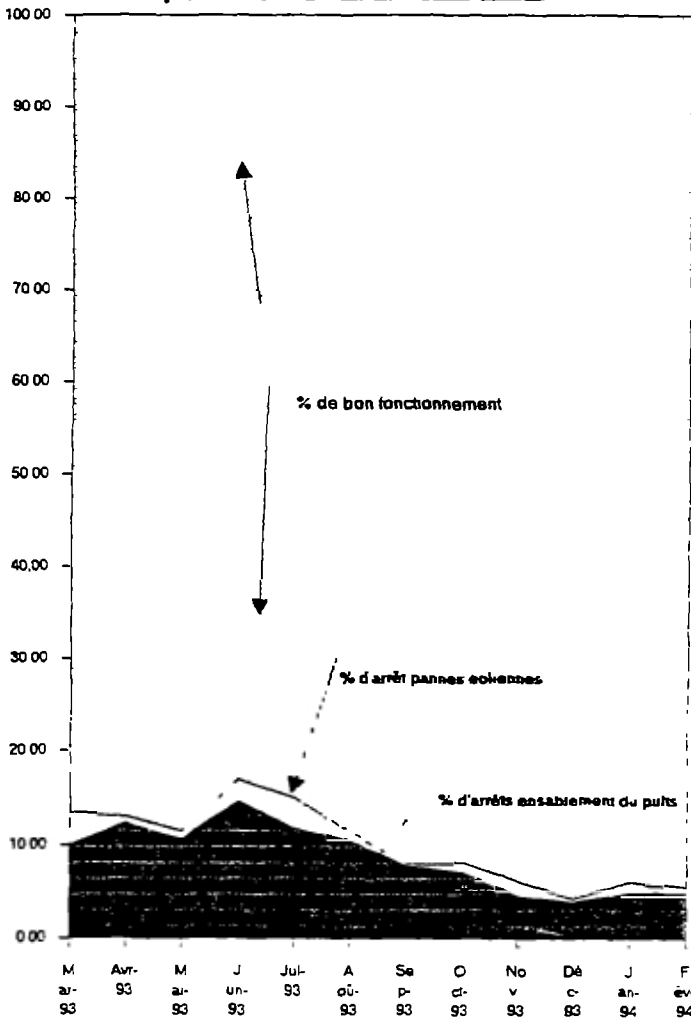


Figure 5.5 EOLIENNE DE POMPAGE OASIS

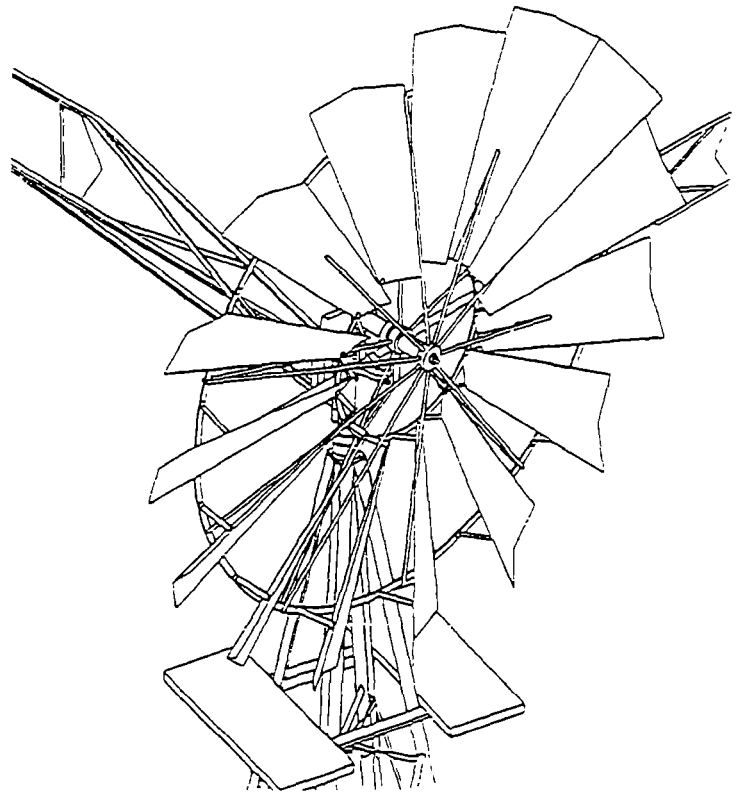
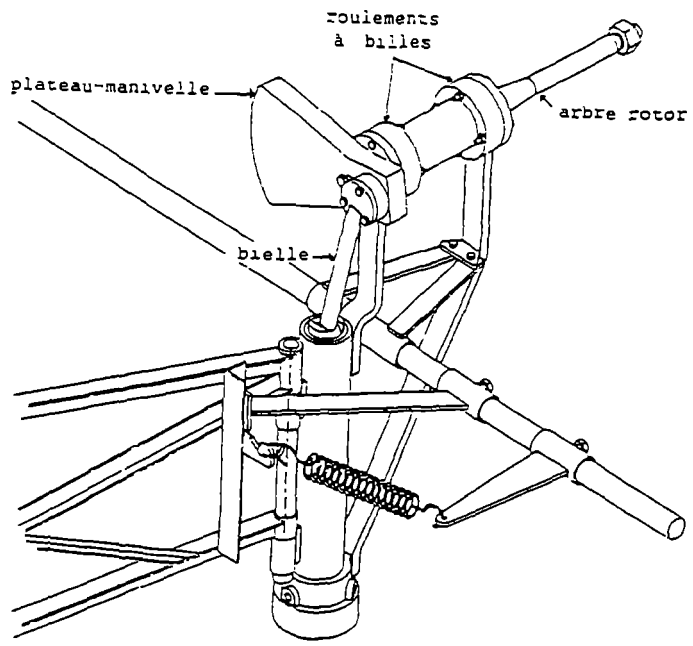


Figure 5.7 - TETE MOTRICE



Grâce à son faible coût le m³ éolien est économiquement à la portée de tous les villages mauritaniens. Les charges de renouvellement et de maintenance sont supportables par une communauté villageoise (surtout si un petit jardin valorise l'eau excédentaire).

2.3 Une mutuelle pour le renouvellement des équipements

Si la maintenance des éoliennes est bien maîtrisée comme le taux de fonctionnement le prouve, le renouvellement des investissements qui nécessite une gestion de l'épargne n'est encore pas résolu par les projets d'hydraulique villageois. Il est en effet très difficile de trouver les fonds nécessaires pour prévoir le renouvellement alors que le plus souvent les charges d'entretiens ne sont pas prises en charge.

Grâce à un prix de revient du m³ éolien abordable, il est possible d'envisager avec les villages équipés d'éoliennes le renouvellement des installations.

Une réflexion est actuellement en cours avec les villages pour définir le système qui devrait être mis en place prochainement. L'option choisie est de favoriser l'émergence d'une structure mutualiste.

Les villages ont montré un vif intérêt à cette réflexion puisque que 88 % d'entre eux sont venus spontanément participer aux quatre ateliers qui ont été organisés.

L'acceptation par une majorité de villages équipés de souscrire un contrat de maintenance avec la société Deyloul témoigne aussi de manière concrète de la volonté des communautés bénéficiaires du projet de pérenniser les installations reçues d'Alizés.

Le cahier des charges discuté avec les villages, de la structure à mettre en place, est le suivant :

- gérer une épargne provenant des villages afin de garantir le renouvellement des équipements ;
- gérer les contrats de maintenance ;
- financer des équipements supplémentaires dans des villages déjà équipés (nouvelles éoliennes, borne-fontaine, douches, petit périmètres maraîchers, arrosoir, etc.) soit l'équipement de nouveaux villages ;
- de conseiller les villages.

Pour cela l'option choisie est de favoriser la création d'une structure mutualiste, administrée et gérée par les bénéficiaires : les comités de point d'eau existants. L'installation de compteurs d'eau dans les villages permettra de faire payer l'eau : le prix du m³ envisagé se situerait entre 40 et 50 um.

Les fonds ainsi générés permettent d'entretenir et de renouveler les équipements existants mais aussi d'investir dans les villages.

Même si il faut rester très prudent sur les chances de succès d'une telle structure, la volonté affichée de beaucoup de villages de créer cette mutuelle permet d'être relativement optimiste sur ces chances de voir le jour avant la fin du programme Alizés en mars 95.

3 - PERSPECTIVES D'AVENIR

Les résultats précédemment décrits prouvent la fiabilité technique de l'éolienne, des voies d'améliorations sont encore possible : en particulier l'utilisation d'acier inoxydable permettra de supprimer 34% des pannes dues à la corrosion.

Les compétences d'installations et de fabrication sont maintenant solides au sein de l'entreprise Deyloul et donc par conséquent en Mauritanie. De nouveaux modèles d'éoliennes sont en préparation : en particulier une éolienne de 4 m de diamètre qui permettra d'avoir un débit supérieur.

Dans le Trarza le projet Alizés a déjà reçu 126 demandes, soit un an avant la fin du projet 26 demandes supplémentaires par rapport à ce que le projet pourra installer d'ici mars 95. Une prolongation est donc dorénavant souhaitable. De Rosso à Boutilimit, l'éolienne dans le Trarza a maintenant une place que les services de programmation de l'Hydraulique doivent prendre en compte.

Dans les régions des Hodhs un projet est actuellement en préparation afin d'équiper des forages d'éoliennes de 3 m de diamètre, avec une innovation par rapport au Trarza une colonne de pompage entièrement en acier inoxydable (surcoût de 120 000 UM), afin compte tenu de l'éloignement des villages d'avoir une fiabilité maximum.

Toutes ses actions vont placer la Mauritanie en tête des pays de la sous-région pour l'utilisation de l'énergie éolienne.

DESSALEMENT DES EAUX EN MAURITANIE

Ndongo, M. Ould Mayif, M., Gabla, K., Piro, J.,
ISS, BP 5026 Nouakchott, Mauritanie

et

Chamma, C.

LTE, Université de Perpignan, av Villeneuve, 66025 Perpignan cedex, France

Dans les régions arides le manque d'eau de surface conduit à exploiter les nappes aquifères. Malheureusement dans de vastes zones elles sont constituées d'eaux rendues saumâtres soit sous l'influence de l'intrusion marine (évolution du front salé) soit par contact avec des dépôts importants de sels (Sebkha).

Or le développement de ces régions et la qualité de la vie de leurs populations dépend de la mise à disposition d'une eau de qualité par transport ou par dessalement de celle existant sur place. Une vision à long terme des problèmes socio-économiques conduit à ne rejeter aucune solution. C'est dans cette optique que nous nous sommes intéressés au thème du dessalement.

Par ailleurs, du fait que notre pays dispose d'un important potentiel solaire et éolien, il sera envisagé l'étude de systèmes de dessalement utilisant ces sources d'énergie renouvelables.

Deux types de procédés ont été utilisés en Mauritanie : la distillation solaire et l'osmose inverse. Dans une première partie nous exposerons quelques résultats d'applications de ces procédés, tandis que la seconde partie sera consacrée aux possibilités de couplage de l'osmose inverse avec un aérogénérateur ou avec des panneaux solaires photovoltaïques.

1 - DISTILLATION SOLAIRE PAR EFFET DE SERRE

Trois variantes de ce type ont été construites le long de la côte nord mauritanienne :

- l'organisation humanitaire Caritas a construit cent distillateurs individuels très simples aux habitants de plusieurs villages Imraguens situés dans le Parc National du Banc d'Arguin (PNBA) ;
- le projet MAU (PNUD) a construit une installation de dessalement comprenant deux champs de distillateurs à effet de serre constitués de bassins vitrés ;
- la station du PNBA d'Iwick est actuellement alimentée en eau douce par un champ de 60 distillateurs solaires à cascades (financement de la coopération française). Sa production journalière varie entre 200 et 380 litres suivant les saisons et l'état des bacs.

Les problèmes de cette station sont liés à la maintenance aussi bien des pompes d'alimentation en eau de mer que des distillateurs eux-mêmes. Le fonctionnement optimal de ces derniers n'est atteint que si la surface des bacs reste parfaitement noire, c'est-à-dire sans aucun dépôt de sel. Pour cela un nettoyage périodique est nécessaire tandis que, d'autre part les bacs ne doivent jamais être à sec.

Ces conditions ne sont pas toujours remplies, d'autant que les pompes chargées d'alimenter les distillateurs en eau de mer ont été hors d'état par corrosion. Le dispositif utilise donc de l'eau de puits de salinité supérieure à celle de la mer (63 à plus de 100 g.l⁻¹ contre 32 g.l⁻¹). La forte salinité du puits rend la maintenance encore plus ardue et plus fréquente (surtout en cas d'assèchement des bacs).

Pour un bon suivi de l'installation il sera utile d'analyser l'eau douce produite, l'eau de mer (ou du puits) ainsi que les cristaux de sel prélevés sur les bacs.

Les deux premières variantes ont été assez vite abandonnées, soit pour des raisons d'étanchéité (vitrines fissurées ou cassées...), soit pour une baisse importante de productivité liée à une maintenance contraignante d'un matériel souvent acquis généreusement.

Le tableau suivant résume les données relatives à ces installations.

Variante du distillateur	Implantation	Année de construction	Capacité de production	Observation
Individuel	Villages imraguens	1984	3,5 à 4,5 l.j ⁻¹	abandonné
Collectif	Blawack	1983	100 l.j ⁻¹	abandonné
En cascades	Iwick	1983	200 à 400 l.j ⁻¹	opérationnel

Tableau 11 : données sur les distillateurs utilisés en Mauritanie

2 - L'OSMOSE INVERSE

La pression osmotique étant proportionnelle à la concentration d'une solution, l'osmose inverse nécessite une énergie qui augmente avec la quantité de sels dissous. C'est pourquoi le procédé s'est d'abord appliqué à des eaux saumâtres de salinité inférieure à 10 g.l⁻¹. On utilise maintenant cette technique pour dessaler de l'eau de mer, mais les productions d'eau douce sont alors moindres pour une même surface d'échange.

En Mauritanie l'osmose inverse est utilisée à Zouérate sur le site du Guelb depuis 1984 (l'unité de la SNIM traite de l'eau saumâtre) et plus récemment à Nouamghar pour dessaler l'eau de mer.

Quelques difficultés de l'unité d'osmose du Guelb

En septembre 1991 les problèmes se résumaient comme suit :

- l'eau douce avait une acidité assez marquée, résidu sec très bas. En effet son pH était d'environ 5,8, sa salinité totale de 0,19 g.l⁻¹ et son débit de 13 m³.h⁻¹ (16 m³.h⁻¹ prévu) ;
- le système de contrôle et de régulation automatique de l'installation marchait de façon douteuse ;
- l'état des filtres à charbon actif était à revoir car un dépôt anormal de boue était constaté au niveau des modules...

Les deux derniers problèmes ont pour effet l'élévation des coûts d'exploitation donc du prix de revient de l'eau douce. Il serait nécessaire d'évaluer le coût moyen mensuel de l'eau et d'étudier par ailleurs, l'influence des principaux paramètres sur le fonctionnement de l'installation.

L'exemple de Zouérate montre que l'osmose inverse contribue à la résolution du problème d'eau. L'optimisation de cette technique est nécessaire pour son utilisation à large échelle. Le caractère modulaire du procédé permet d'adapter facilement la taille de l'installation aux besoins (de 1 m³.j⁻¹ à quelques centaines de m³.j⁻¹).

Pour un bon fonctionnement, le dessalement par osmose nécessite qu'en même un personnel qualifié et des entretiens (prétraitements, filtration, réglage des débits, des températures et pressions, rinçage des modules, contrôle de la qualité de l'eau et éventuellement le contrôle de la charge des batteries). Installer un système de ce type en site isolée requiert une bonne préparation.

Malgré ces nombreuses difficultés, l'unité d'osmose satisfait les besoins en eau sociale et industrielle du Guelb.

3 - OSMOSE INVERSE ET ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les quantités d'énergie mises en jeu de l'ordre de 3 à 5 kwh.m⁻³ d'eau osmosée produite selon la salinité de l'eau permettent le couplage d'unités d'osmose avec des systèmes convertisseurs de l'énergie solaire ou éolienne. Le plus simple est l'utilisation des panneaux de photopiles ou d'aérogénérateurs pour produire l'électricité nécessaire au fonctionnement des pompes.

3.1 Osmose inverse et générateur photovoltaïque

L'osmose inverse ne nécessitant que l'énergie électrique (ou mécanique) pour assurer le fonctionnement d'une pompe HP, son association avec un générateur photovoltaïque peut connaître un avenir prometteur. Parmi les exemples de réalisation rencontrés dans la littérature, on peut citer deux unités de ce type l'une installée à Jeddah, en Arabie Saoudite (3,8 m³.j⁻¹) et l'autre au Mexique (1,5 m³.j⁻¹).

3.2 Osmose inverse couplée à un aérogénérateur

Pour de nombreuses îles ou régions en bordure de mer le manque d'eau constitue un frein au développement. Ces régions sont souvent ventées. Parmi les différents procédés actuellement opérationnels, l'osmose inverse est celui qui se prête le mieux à un couplage avec un aérogénérateur.

La bibliographie permet de citer deux exemples de réalisation de ce type ; l'une installée en Mer du Nord (9 m³.j⁻¹),

l'autre à l'île Planier au large de Marseille ($0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$).

On peut envisager le fonctionnement de telles unités au fil du soleil ou du vent sans stockage d'énergie : l'installation est mise en route dès que l'ensoleillement ou le vent est suffisant et stocker l'eau dessalée.

On peut aussi concevoir des systèmes avec un minimum de stockage d'électricité par des batteries, ce qui régularise le fonctionnement de l'unité de dessalement. Dans ce cas, un choix qui nous semble judicieux est de coupler un ensemble de panneaux de photopiles à un ou plusieurs aérogénérateurs pour charger les batteries et faire fonctionner simultanément le système d'osmose inverse : en effet cela régularise encore davantage le fonctionnement, car sur la côte mauritanienne, le soir souffle souvent un vent de mer (Alizé) et par ailleurs, les périodes de fortes nébulosités sont souvent ventées cela permet de réduire la surface de photopiles installée.

Une solution semble intéressante. L'électricité des batteries (d'origine éolienne ou photovoltaïque) peut servir également aux pompes de puisage de l'eau salée pour alimenter l'unité d'osmose et peut être utilisée éventuellement pour exhausser l'eau douce produite dans un château d'eau.

CONCLUSION

Le besoin en eau des populations Imraguens sont importants et vitaux. En les assurant, on contribue au développement des villages en leur offrant une meilleure hygiène et plus de confort ; leur activité de pêche en profiterait également.

Pour tous les distillateurs construits aucun n'est en marche actuellement (excepté celui de la station du PNBA qui tournait au ralenti). Les raisons sont souvent mal connues ; parmi elles, une mauvaise utilisation (non conforme aux prescriptions), des pièces défectueuses non remplacées (vitres, pompes, joints...) et des opérateurs non informés à une bonne maintenance.

Trois installations (dont deux d'osmose inverse) sont encore opérationnelles en Mauritanie, mais leur fonctionnement est peu maîtrisé. Actuellement, les besoins d'eau augmentent et le front salé limite les eaux douce de la nappe du Trarza. Ces considérations permettent de penser que le dessalement des eaux connaîtra un regain d'intérêt ou constituera simplement une solution pour certaines localités du pays. Il faudra donc s'y préparer.

Le développement de l'électricité photovoltaïque et surtout des aérogénérateurs faciliteront l'utilisation des procédés à membranes tels que l'osmose inverse ou l'électrodialyse

A l'état actuel des connaissances rapportées dans la bibliographie, bien que l'expérience acquise grâce aux différents prototypes dans le monde soit récente, il est possible d'avancer les propositions suivantes :

- si les besoins en eau douce sont très faibles ($\text{capacité} \leq 1 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$) la distillation solaire est bien adaptée surtout en l'absence d'une main d'oeuvre qualifiée. L'alimentation en eau des distillateurs peut être dans de nombreux cas assurée par énergie éolienne ou photovoltaïque ;
- si les besoins en eau douce sont importants ($\geq 1 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$), il est préférable de coupler les procédés de dessalement conventionnels à faible consommation d'énergie avec les énergies nouvelles (solaires ou éoliennes). Il est toutefois difficile d'évaluer le coût de telles installations. Seuls des prototypes fonctionnent actuellement et le coût d'exploitation est mal quantifié.

Un effort important, d'implication des populations bénéficiaires, du choix adéquat des matériaux de construction, de formation et de recherche doit être fait de manière à permettre aux populations nécessiteuses d'avoir accès à une eau de bonne qualité à un prix raisonnable.

BIBLIOGRAPHIE

- Gomkale, S.D. Solar desalination as a Means to provide Indian villages with drinking water, Desalination, 1988
- Maurel, A. Association des procédés de dessalement par membranes avec les énergies renouvelables, école d'été de Cadarache 1982 09 06 Cadarache : " Le soleil au service de l'approvisionnement en eau des pays arides ".
- Maurel, A. C.E.N Cadarache, Energie solaire et Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'eau et de l'assainissement, n° 430/431 Octobre-Novembre 1982.
- Maurel, A. le dessalement de l'eau de mer, la Recherche n° 120-1980.
- Maurel, A. le dessalement par énergies renouvelables, Entropie n° 96-1980.
- Ndongo, M. Rapport de mission effectuée à l'unité d'osmose du Guelb, ISS, Septembre 1991.
- Ndongo, M. Rapport de stage effectué à l'unité d'osmose du Guelb, SONELEC, 1984.
- Ould Sayver, M. Rapport de mission sur les distillateurs solaires des villages Imraguens, CARITAS Mauritanie, 1984.
- Projet de recherche sur le dessalement des eaux saumâtres et marines, Rapport de mission effectuée sur le littoral de l'Atlantique (Villages Imragens), ISS, Décembre 1991
- Theunynck, S. Distillation solaire de l'eau de mer dans les villages pêcheurs-Déshydratation solaire artisanale du gypse de nouakchott en plâtre, Rapport du Projet MAU-Nouakchott, Avril 1983.
- Warfel, C.G. and all., Technico economic study of autonomus wind driven reverse osmosis desalination systems, Solar & Wind Tecnology, 1988.

UTILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES POUR L'EXHAURE DE L'EAU EN MAURITANIE. COMPARAISON D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE ET D'UN SYSTEME EOLIEN

Adell A., Barbet A. et Mohamed Lemine Ould Fagel

I.S.S. BP 5026 Nouakchott, Mauritanie

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années - si on excepte l'année 93 - les déficits pluviométriques accumulés sur l'ensemble du territoire mauritanien, ont fait qu'il existe des problèmes importants dans la fourniture de l'eau tant au niveau des usages domestiques et industriels dans certaines zones urbaines qu'au niveau des utilisations agro-pastorales en zones rurales.

Par ailleurs l'approvisionnement énergétique du pays, totalement dépendant de l'étranger en ce qui concerne les énergies fossiles rend chaque jour plus difficile à gérer la fuite de devises qu'il occasionne. En outre, l'utilisation du bois et du charbon de bois dont le total représente près de 60% de toute l'énergie consommée, a accéléré en ces périodes de sécheresse le phénomène de déforestation conduisant à la désertification de zones toujours plus grandes du pays.

L'utilisation des énergies renouvelables pour l'exhaure de l'eau présente donc un double intérêt : d'une part apporter des solutions nouvelles au problème de la fourniture de l'eau dans les zones défavorisées et d'autre part abaisser la facture pétrolière du pays. Après avoir dressé un rapide inventaire des potentialités des gisements solaire et éolien en Mauritanie, on présente deux études de cas concernant deux systèmes de pompage hydraulique, un système photovoltaïque et un système éolien. Notre propos n'est pas de mettre en concurrence deux filières technologiques dont nous pensons que toutes deux ont leur place dans le développement de la Mauritanie, mais plutôt de faire ressortir les qualités et les inconvénients de chacun afin de mieux cerner leur domaine respectif d'utilisation et les meilleures conditions de leur fonctionnement. Les deux études de cas correspondent à des résultats de fonctionnement sur le terrain de deux pompes appartenant respectivement au projet "P.R.S." et au projet "Alizé" dont on vous a parlé par ailleurs dans ce colloque.

I. LES GISEMENTS SOLAIRE ET EOLIEN

La situation géographique de la Mauritanie, située en zone tropicale sahélienne entre les méridiens 5° et 17°W et les parallèles 14° et 28° N et longée sur 650 km par l'océan Atlantique, fait que le climat est de type tropical désertique chaud et sec pour plus de 80% du territoire, avec une zone un peu plus humide et tempérée sur la bordure littorale. L'ensoleillement y est partout abondant et régulier, perturbé seulement quelquefois par des brumes sèches et des vents de sable locaux. La position du pays à la limite nord atteinte par le front intertropical (FIT) et la proximité de la côte océane atteinte par des courants froids durant une partie de l'année, engendrent l'existence de vents puissants et permanents toute l'année dont la force va en décroissant de l'ouest à l'est et du nord au sud.

Il existe donc en Mauritanie un potentiel important des gisements solaire et éolien, supérieur aux moyennes mondiales et qui situe la Mauritanie en bonne position parmi les pays de la sous-région.

1) Energie solaire

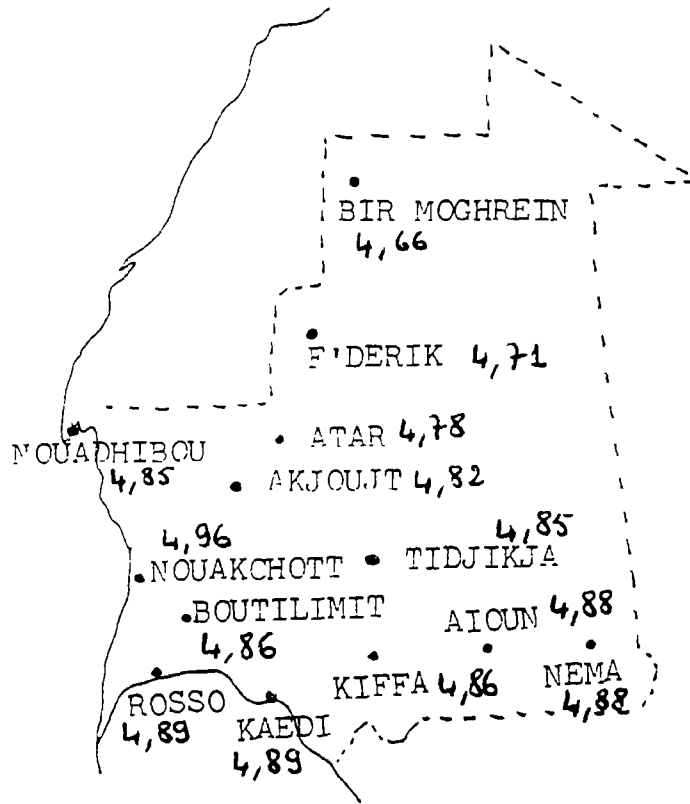
Les données météorologiques concernant le rayonnement global sont insuffisantes pour permettre une couverture du territoire pendant une longue période. On dispose pour les principales villes du pays de mesures régulières, effectuées par l'ASECNA, de la durée d'insolation effective, ainsi que d'un certain nombre d'autres données météorologiques portant sur des périodes limitées. Au vu de ces données il ressort une grande uniformité de la valeur des paramètres affectant l'irradiation solaire au sol (humidité relative, nébulosité, trouble atmosphérique) ; ceci surtout pendant la très longue saison sèche (voir fig. 1 et 2),

Sur la carte N°1 qui donne l'irradiation journalière moyenne des principales villes, on constate une grande homogénéité de ces valeurs sur tout le territoire. La moyenne annuelle de l'irradiation journalière est supérieure à 4,85 kWh/m²/jour au sud d'une ligne Choum-Atar-Oualata, qui comporte l'essentiel des zones habitées. Cette valeur est nettement supérieure à la moyenne mondiale des zones habitées qui se situe aux alentours de 4 kWh/m²/jour. En outre l'énergie solaire en Mauritanie se caractérise par une grande régularité au cours de l'année. Les écarts saison la plus favorisé et saison la moins favorisé sont de l'ordre de 30%. A Nouakchott par exemple on note un maximum de 15,9 kWh/m²/jour pour les mois de juin, juillet, août et un minimum de 3,8 en novembre et décembre. L'énergie solaire peut par conséquent être utilisée de façon continue toute l'année dans des conditions de dimensionnement quasi optimales.

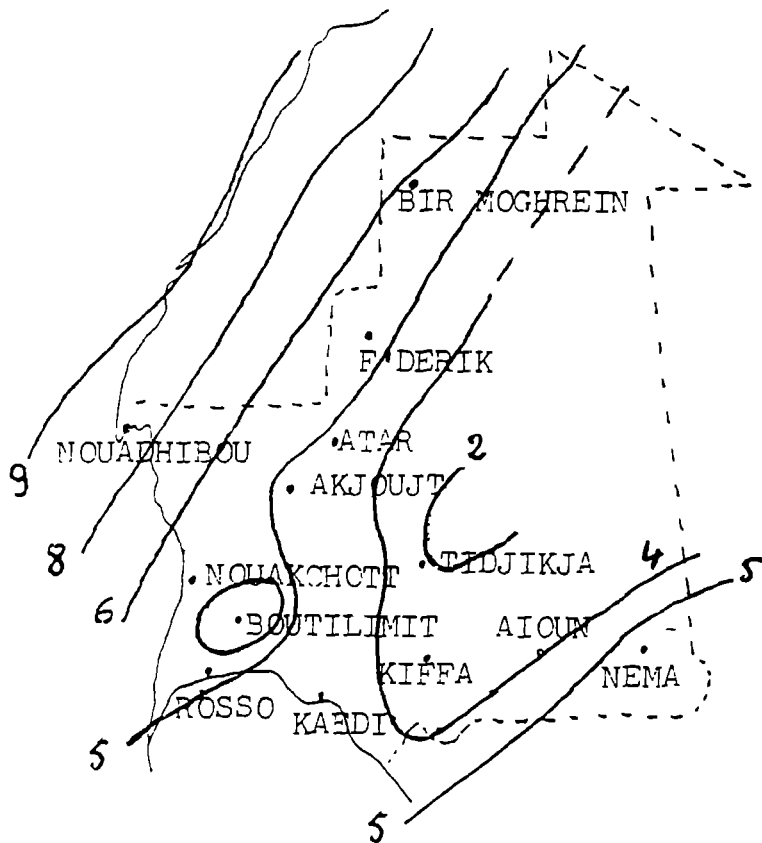
2) Energie Eolienne

La Mauritanie est soumise à 3 régimes de vents dominants :

- l'alizé maritime (nord-ouest) qui souffle toute l'année ;
- l'harmattan (nord-est) en saison sèche ;
- la mousson (sud) liée à la position du FIT à la saison humide.



Carte N° 1 : Rayonnement global au sol en kWh.m⁻²jour⁻¹



Carte N° 2 : Vitesse moyenne annuelle du vent en m.s⁻¹

L'évaluation du potentiel éolien de la Mauritanie repose sur les données fournies par l'ASECNA, qui concernent 12 stations installées aux abords des principaux aéroports du pays. Ces stations fournissent les vitesses mensuelles moyennes et permettent de dresser la carte des vents en Mauritanie (carte N°2).

En ce qui concerne l'énergie éolienne qui peut être récupérée, elle est fonction du système éolien particulier, mais pour les machines d'utilisation la plus courante, cette énergie peut être considérée comme proportionnelle au cube de la vitesse du vent, selon la théorie de Betz. On distingue 3 valeurs particulières de la vitesse du vent : la vitesse minimale au-dessous de laquelle le système éolien ne peut pas démarrer (2 à 3 m/s pour les éoliennes de type lent installées en Mauritanie) ; la vitesse maximale au-delà de laquelle il y a risque de destruction du système mécanique de l'éolienne (7 m/s en Mauritanie) ; la vitesse nominale qui est la vitesse prévue pour fournir la puissance maximale de la machine (3,5 m/s pour les éoliennes de Mauritanie). L'application de la théorie de Betz à la courbe de répartition en temps pour les différentes classes de vitesse, conduit à la carte des énergies éoliennes maximales disponibles annuellement dans le pays (carte N°3). La Mauritanie peut être divisée en trois zones de différents potentiels éoliens :

- la zone côtière où le potentiel éolien est important (parfois supérieur à 8 m/s). Cette zone déborde sur la partie nord-ouest du Trarza-Zemmour ;
- la zone du Trarza, de l'Inchiri et du Brakna, où le potentiel s'affaiblit selon une double direction nord-sud et ouest-est. On note une remontée dans l'extrême sud-est des Hodh ;
- le centre du pays Tagant-Adrar-Assaba où le relief accidenté réduit le potentiel éolien à des valeurs relativement peu élevées (2 à 3 m/s).

Pour les deux premières régions, la force des vents et leur régularité permet d'espérer une utilisation intéressante des systèmes éoliens. Elles situent le pays au tout premier plan des pays de la sous-région. La période de l'année la plus favorable semble aller du mois de février au mois de juin.

II. LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE

1) Présentation Technique

Dans le modèle le plus courant du pompage photovoltaïque le système se compose d'un générateur photovoltaïque de courant continu couplé par un système de régulation électronique à un onduleur électrique permettant d'obtenir un courant alternatif qui alimente un moteur électrique entraînant une pompe hydraulique. Quelques modèles utilisent des moteurs à courant continu. Trois types de couplage sont possibles entre le moteur et la pompe :

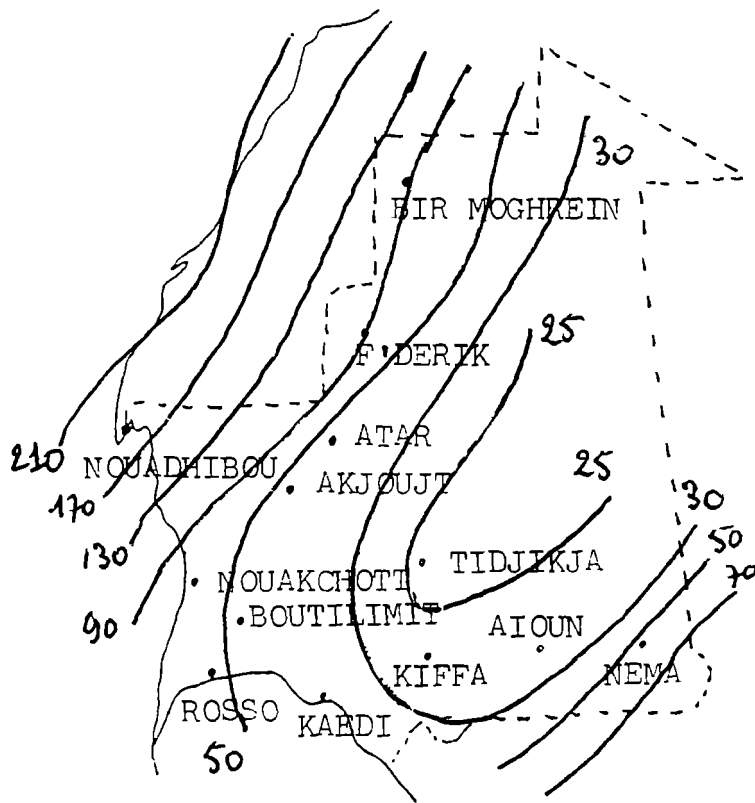
- les pompes à arbre long avec un moteur en surface et une pompe immergée. On peut alors utiliser des moteurs industriels de série de coût peut-être élevé et d'entretien facile, mais l'inconvénient majeur réside dans la fragilité mécanique au niveau de l'arbre ;
- les pompes de surface, avec le moteur et la pompe situés au sol. Moteurs et pompes peuvent être de série ; on peut obtenir de forts débits, mais la hauteur d'aspiration est limitée à 6 ou 7 m, pour une H.M.T. (hauteur manométrique totale = hauteur dynamique de pompage + pertes de charge) d'environ 10 m ;
- les pompes immergées avec le groupe motopompe placé dans le puits et alimenté par un câble électrique d'amène de courant. Il y a une fragilité relative du groupe motopompe qui demande le plus souvent un usinage spécifique et donne des rendements peu élevés aux faibles puissances. Toutefois l'évolution actuelle des fabrications tend à généraliser l'utilisation de la filière motopompe immergée qui permet des hauteurs de pompage importantes en évitant la fragilité mécanique des arbres longs.

Les caractéristiques techniques (débits et hauteur de pompage) accessibles aux différents systèmes de pompage sont indiquées sur la figure 3. La filière la plus fréquemment adoptée en Mauritanie, notamment dans le cadre du projet P.R.S (programme régional solaire de la C.E.E.) est celle du groupe motopompe immergé (voir schéma N°1) à courant alternatif sans batterie de stockage, fonctionnant à fréquence variable.

2) Etude Economique d'un Cas Particulier

La pompe étudiée a été implantée à Tantane dans le sud du pays, dans le cadre du projet P.R.S. Elle est en fonctionnement continu depuis le 6 juin 1992. C'est un système de type motopompe immergée, prévu pour fournir 30 m³/jour dans les conditions météorologiques du site, pour une H.M.T. de 54 m et une hauteur de pompage de 46 m. Le générateur solaire, fabriqué par Siemens, se compose de 54 panneaux photovoltaïques au silicium monocristallin de 0,98 x 0,46 m, fournissant une puissance maximale de 2,7 kw. L'onduleur, fabriqué également par Siemens fournit un courant triphasé de 220 V, à un moteur de type asynchrone de puissance 2,2 kw, fabriqué par K.S.B. Le moteur entraîne une pompe à piston, fabriquée également par K.S.B. de débit optimal 7 m³/jour. Le poids de l'ensemble moteur-pompe est de 16 kg. L'intérêt du moteur asynchrone est qu'il autorise l'utilisation d'un courant de fréquence variable (de 1 à 100 Hz en sortie d'onduleur) permettant de conserver un certain débit à la pompe même lors d'une diminution importante de l'éclairement solaire au niveau des panneaux. Une vue d'ensemble de l'installation est donnée par le schéma N°2. La moyenne des débits journaliers réels se situe à 26 m.

Le coût (1993) du projet (coût global transport et aménagements inclus) s'élève à 8,4 millions d'U.M. Ce coût se décompose en : prix d'équipement 5,8 millions, prix d'installation (montage, forage, génie civil) 2,3 millions et prix de superstructures (stockage, clôtures, aménagements) 0,3 millions. Le calcul du coût de revient du m³ d'eau repose sur plusieurs hypothèses. On supposera que les frais d'entretien, de gardiennage et de petites réparations sont assumés par la



Carte N° 3 : Energie éolienne maximale annuelle en kWh.m^{-2}

collectivité utilisatrice. Dans l'hypothèse basse, on considère que l'amortissement du système se fait sur une période de 15 ans (en fait le générateur photovoltaïque est donné pour une durée de vie de 20 ans et le moteur, pompe et hydraulique pour 5 ans) et on considère à 0% le taux de remboursement de l'argent. Le coût de revient s'établit à :

$$\frac{8,4 * 10^6}{15 * 26 * 365} = 59 \text{ UM}$$

Dans l'hypothèse haute, on ramène à 10 ans la durée d'amortissement et on prend un taux d'intérêt de l'argent de 7%. Le coût des annuités du projet s'établit alors à :

$$\frac{8,4 * 10^6}{7,02 * 26 * 365} = 126 \text{ UM}$$

Ainsi donc le coût de revient du m³ d'eau, pour le projet présenté, se situe dans la fourchette 60-126 UM.

III. LE POMPAGE EOLIEN

1) Présentation Technique

L'utilisation de l'énergie éolienne pour l'exhaure de l'eau à des fins domestiques et rurales date de plus d'un siècle. Cela tient au fait qu'il y a une bonne adéquation entre la puissance nécessaire pour extraire l'eau des puits à des fins limitées (quelques m par heure) et la puissance que peut fournir une éolienne de fabrication rustique. Donnons un exemple : la puissance qui doit être fournie par le vent à l'éolienne, pour l'extraire un débit volumique d'eau Q_v (en m³/h) sous une hauteur manométrique H_{mT}, est de :

$$P (kW) = \frac{Q_v * H_{mT}}{\eta}$$

où η est le rendement mécanique de l'éolienne, soit pour un débit de 2 m³/h, une H_{mT} de 20 m et un rendement de 0,2, une puissance nécessaire de 0,2 kW. Si on utilise une éolienne de type multipale, la théorie de Betz conduit à une puissance fournie à l'éolienne par le vent, de $P (kW) = 0,15 * 10^3 * D^2 * V^3$, où D est le diamètre de l'éolienne en m et V la vitesse du vent en m/s et où le coefficient de correction de performance a été pris égal à 0,15 en accord avec ce type d'éolienne. Pour un vent de vitesse nominale égale à 4 m/s, on trouve un diamètre de pales de 4,5 m permettant d'atteindre le débit de 2 m³/h. Les éoliennes de pompage sont des éoliennes à axe horizontal.

Il existe deux types d'éoliennes de pompage :

- les éoliennes rapides comportent un nombre de pales restreint (2 à 4). Le couple moteur est faible aux basses vitesses de vent ces machines atteignent des rendements intéressants pour des vitesses de vent élevées. Elles sont généralement couplées avec des pompes centrifuges qui nécessitent des couples faibles aux faibles vitesses ;
- les éoliennes lentes comportent un nombre de pales élevé. Elles peuvent être couplées avec des pompes à piston qui nécessitent un couple élevé au démarrage. L'intérêt des pompes à piston est qu'elles permettent une hauteur de refoulement importante. Le mouvement de rotation des pales est transmis au piston par un système mécanique bielle-manivelle, qui constitue souvent un point de fragilité mécanique. Ce type de pompe est en vigueur dans le projet "Alizé" qui a démarré en Mauritanie en 1990 et qui prévoit l'installation de 101 éoliennes dans la région du Trarza dans le sud du pays (voir schéma N°3).

2) Etude Economique d'un cas particulier

L'éolienne étudiée a été réalisée en Mauritanie par les établissements Deyloul. Elle a été mise en service en octobre 90 dans le cadre du projet "Alizé" au P.K.14 sur la route Nouakchott-Rosso. L'éolienne a un diamètre de 2,75 m et comporte 15 pales. La pompe est à piston simple de course 10 cm. La hauteur manométrique totale maximale est de 25 m. La vitesse de démarrage est de 2,5 m/s ; la vitesse maximum est de 7 m/s avant la mise en drapeau ; la vitesse nominale, au delà de laquelle la puissance reste constante, est de 3,5 m/s. Le rendement mécanique global de l'éolienne est de 20%. Les caractéristiques du fonctionnement relevées en 92 sont :

- volume annuel d'eau pompée : 4370 m (soit 12 m³/jour) ;
- vitesse moyenne du vent : 4,51 m/s ;
- H.M.T. : 13,8 m ;
- hauteur dynamique moyenne d'eau pompée : 11,9 m ;
- débit maximum relevé : 32 m³/jour ;
- total des heures d'arrêt (pannes, révisions, vent insuffisant, mise en drapeau pour vent trop fort ou réserves pleines) : 2066 heures soit 86 jours ;
- disponibilité de l'éolienne : 76%.

Evaluation du coût du m³ d'eau.

Le coût actuel (93) du système éolien complet avec pompe et raccordement (incluant le transport et l'installation) s'élève à 500 000 UM. Le coût du forage (15m) et des équipements annexes (bornes fontaines.) et des superstructures (clôtures, zones aménagées...) s'élève à 970 000 UM. A ces coûts s'ajoutent les coûts d'entretien annuel (2 visites minimum par an) et les coûts de réparation pour pannes (5% de l'investissement de départ en matériel). La société Deyloul a passé un contrat de maintenance qui offre une garantie totale de réparation, pour un montant de 36 000 u.m.,

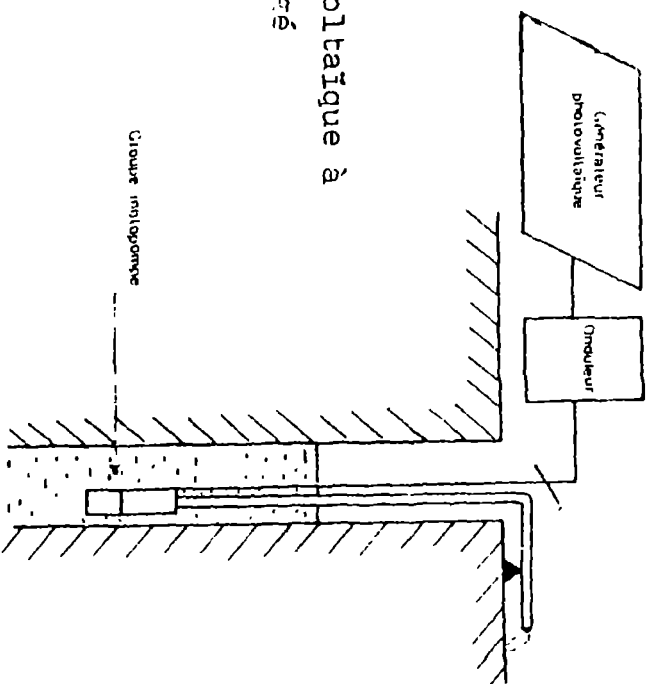


Schéma N° 1
Pompe photovoltaïque à
moteur immergé

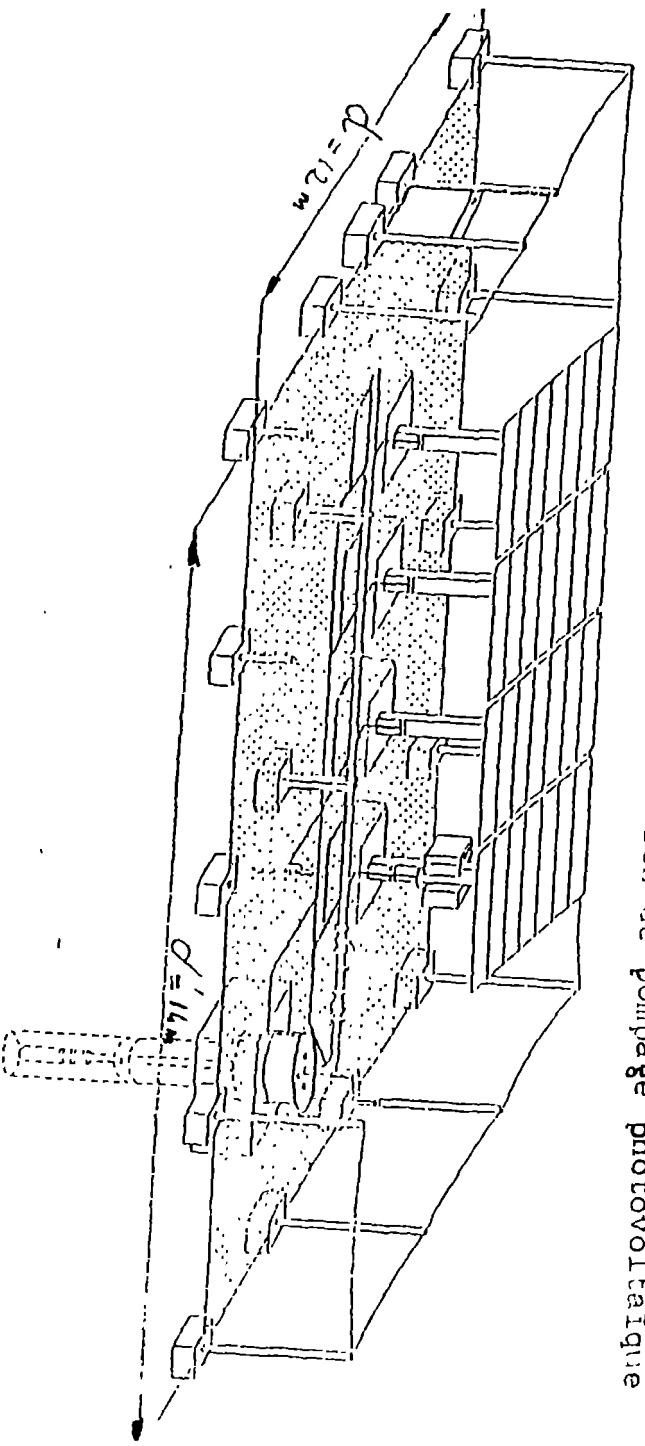


Schéma N° 2 Ensemble de l'installation de pompage photovoltaïque

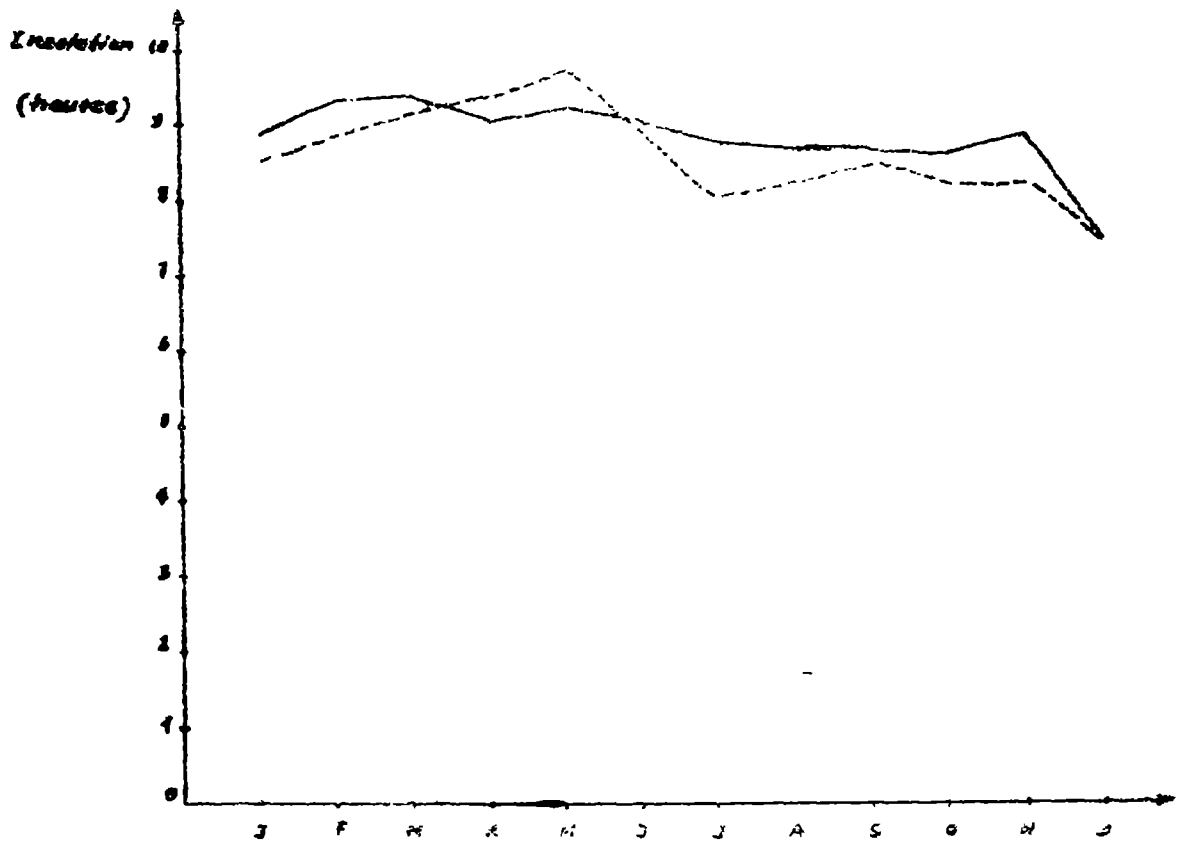
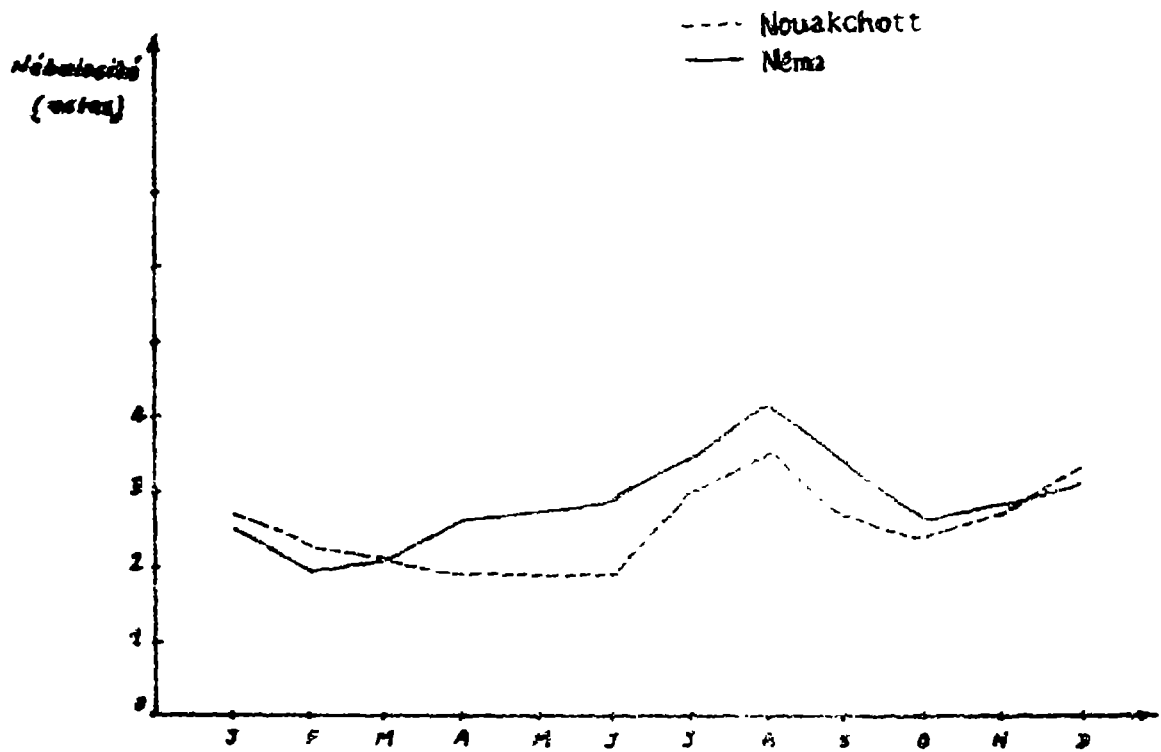
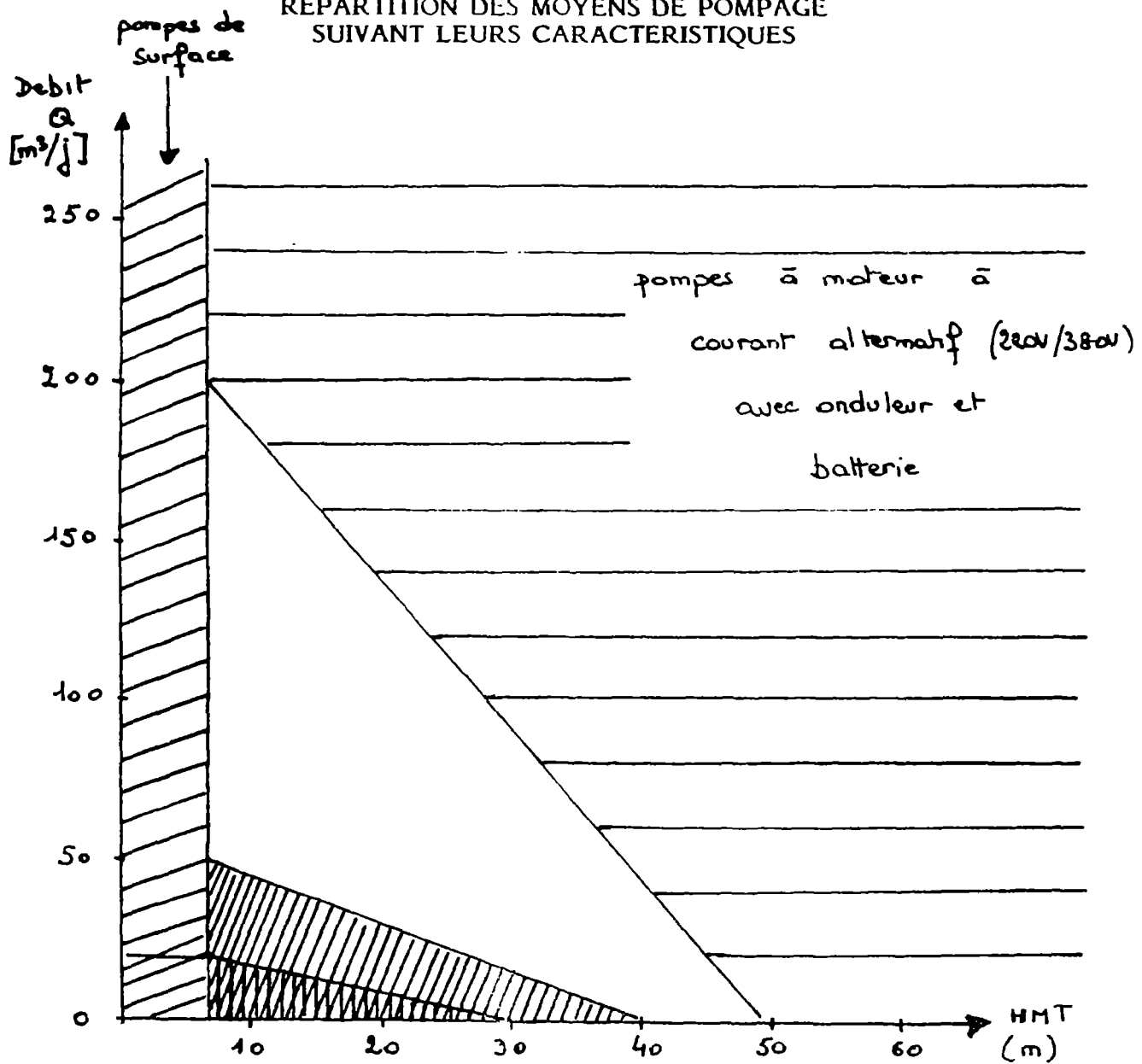


Fig. 1 et 2 - Courbes d'insolation et de la Nébulosité à Nouakchott et à Néma

Fig. 3

REPARTITION DES MOYENS DE POMPAGE SUIVANT LEURS CARACTERISTIQUES



Pompe à motricité humaine



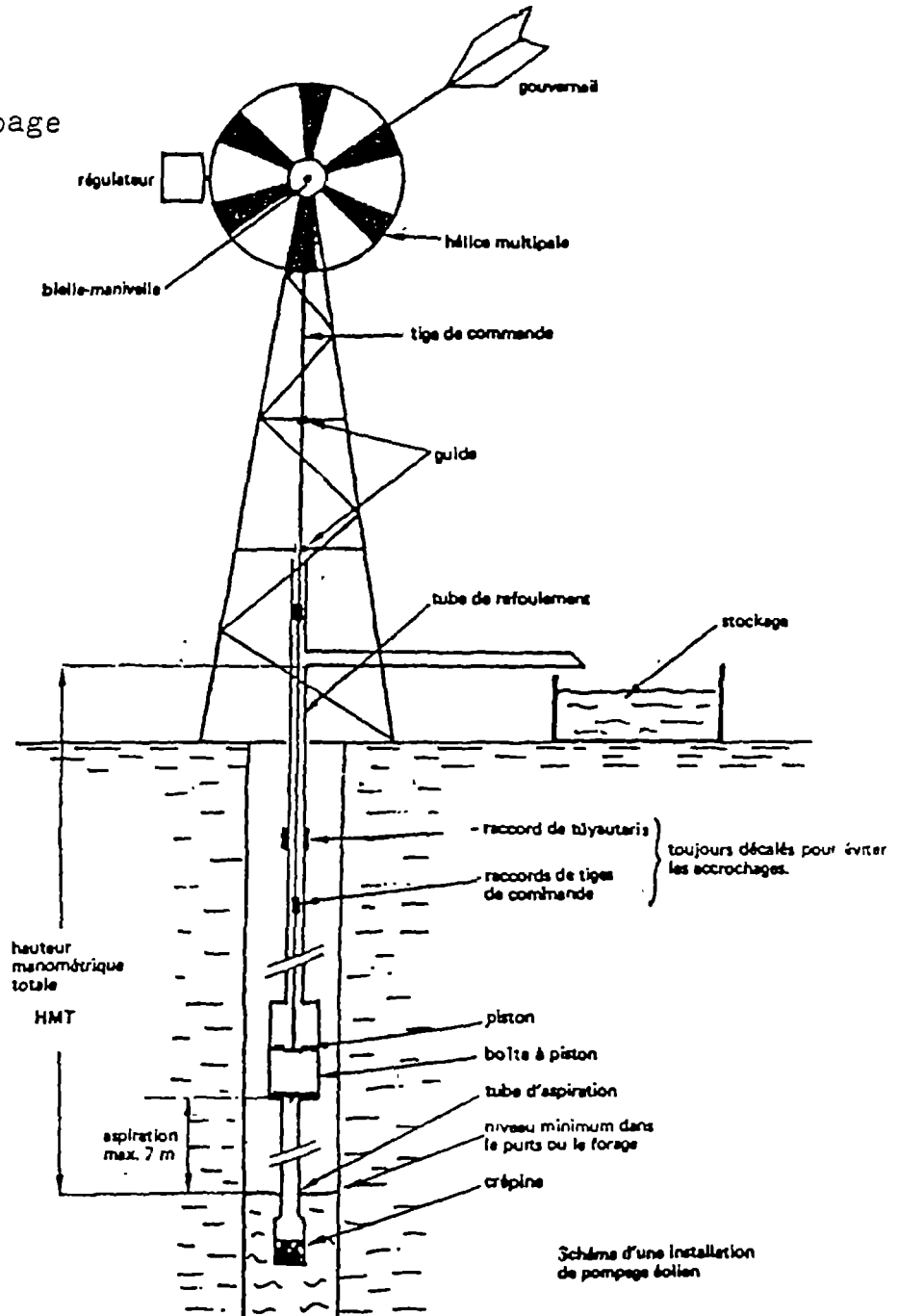
Pompe à moteur à courant continu immergé



Tous types de pompe :

- Alta XF (jusqu'à 30 m)
- immergée à courant continu
- immergée à courant alternatif basse tension
- immergée à courant alternatif (220 V/380 V) et batteries

Schéma N° 3
Installation de pompage
éolien



auquel s'ajoute une somme de 5 000 u.m annuelle pour le cuvage et l'entretien du puits.

En prenant comme hypothèse basse de calcul, une durée d'amortissement de l'ensemble des installations de 15 ans avec un taux d'intérêt à 0%, le coût du m³ d'eau est de :

$$\left\{ \frac{500\ 000 + 970\ 000}{15} + 36\ 000 + 5\ 000 \right\} / 4\ 370 = 32\ UM$$

En prenant comme hypothèse haute de calcul, une durée d'amortissement de 10 ans, avec un taux d'intérêt de 7%, le coût du m³ est :

$$\left\{ \frac{500\ 000 + 970\ 000}{7,02} + 36\ 000 + 5\ 000 \right\} / 4\ 370 = 57\ UM$$

Le coût de revient du m d'eau fourni par l'éolienne se situe dans la fourchette : 32-57 UM.

IV CONCLUSION

Nous ne reviendrons pas sur les intérêts évidents pour le pays, à chercher à diversifier ses sources d'approvisionnement énergétique en puisant dans les énergies renouvelables. La Mauritanie peut le faire car le potentiel des gisements solaire et éolien est important ; ce potentiel est nettement supérieur aux moyennes mondiales et en ce qui concerne l'énergie éolienne, place la Mauritanie en tête des pays de la sous-région. La vitesse du vent (entre 4 et 8 m/s maximum sur les régions côtières) et sa régularité (maximum entre février et juillet) sont très suffisantes pour le pompage de l'eau sur presque toute l'étendue du territoire. Le type d'éolienne adaptée au condition de vent est une éolienne lente à axe horizontal. Les conditions de travail, dans un environnement hostile (abrasion par vent de sable, chocs thermiques importants, corrosion due à des points de rosée élevés), font qu'il semble nécessaire d'utiliser des pièces mécaniques de grande qualité en matériaux nobles, afin d'éviter des déboires. Les éoliennes implantées, notamment dans le cadre du projet "Alizé", donnent satisfaction (taux de fonctionnement de 90%). Leur utilisation a apporté indéniablement une amélioration des conditions de vie des populations concernées.

Le gisement solaire est important en Mauritanie (4,9 kW/m² /jour maximum d'avril à septembre) et équitablement réparti sur tout le territoire. L'amplitude des variations saisonnières reste faible (30%). Toutefois il faut noter une proportion importante du rayonnement diffus (20 à 40%, maximum durant l'hivernage) due à la présence d'aérosols abondants. Le pompage photovoltaïque de l'eau est possible et tout à fait souhaitable en Mauritanie. Les appareils installés se sont révélés fiables et d'emploi facile. Toutefois la technologie complexe de cette filière rend les interventions de réparation sur place, délicates. Le coût de revient du m³ d'eau pompée est 2 fois plus élevé que par la voie éolienne. L'évolution des procédés de fabrication (capteurs photo voltaïques, systèmes électroniques) ainsi que la multiplication des fabrications, permettent d'espérer une diminution des coûts. Les coûts de revient du m³ d'eau fourni par les systèmes éoliens et par les systèmes photovoltaïques se situent respectivement dans les fourchettes 32-57 u.m. et 60-126 UM. Ces valeurs semblent compétitives, si on les rapproche des coûts de vente pratiqués par la SONELEC de Nouakchott pour les deux premières tranches (1993) : 66 UM et 131 UM (hors frais).

Sur le plan des performances techniques les pompes photovoltaïques sont aptes à satisfaire un cahier des charges plus contraignant que les pompes éoliennes : fort débit sous une H.M.T. élevée (ex : 20 m³/jour sous 60 m). Il est possible moyennant certaines adjonctions, d'utiliser le courant produit à d'autres fins que le pompage de l'eau.

Sur le plan de la maîtrise de la technologie, par contre, la filière éolienne a un avantage certain ; conception, réalisation et maintenance peuvent être entièrement exécutées en Mauritanie à bref délai (certaines pièces restent encore importées). Alors que la filière photovoltaïque paraît difficilement accessible dans sa totalité dans un avenir proche, bien que des progrès soient réalisés notamment au niveau des organes de commandes électroniques.

L'entretien est plus contraignant pour les systèmes éoliens qui nécessitent des révisions régulières, que pour les systèmes photovoltaïques où l'entretien se résume à un essuyage régulier des panneaux et à la surveillance de l'électronique. Compte tenu de la régularité des énergies éoliennes et solaire en Mauritanie, la constance de l'approvisionnement en eau semble assurée à l'aide d'infrastructures de stockage limitées, dans les deux cas. Seule une utilisation sur une longue période permettra de juger de la fiabilité globale de chacun des deux systèmes et de la durée de vie réelle des éléments constitutifs. Quoiqu'il en soit, l'utilisation des énergies renouvelables pour l'exhaure de l'eau en Mauritanie, nous semble être dès à présent une solution de grand intérêt, dont les coûts, la sécurité de la production et l'optimisation de l'entretien, iront en s'améliorant au fur et à mesure de la multiplication des réalisations.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDERRAHIM, Mohamed. "Approche d'évaluation du rayonnement solaire" Université de Nouakchott. (1988).
 ARNAUD, Luc. "Rapport annuel du projet Alizé" (1991-93).
 ASECNA. D.G. Nouakchott. "Etudes statistiques des vents" (1988-93).
 ASECNA. D.G. Nouakchott. "Relevés des ensoleillements" (1988-93).
 Fiches du projet P.R.S.-CILSS. (1992).
 JBILLEREY, J. "Le pompage photovoltaïque" GRET/GERES/AFME, (Décembre 1986).
 LEKHDEYIM, H. "Approche de l'évaluation des potentiels solaires et éoliens de la Mauritanie" ENSUT. Dakar. (1985).
 ODJE, Mohamed. "Approche d'évaluation de l'énergie éolienne. Université de Nouakchott. (1988).

REHABILITATION ET RENFORCEMENT DE L'ALIMENTATION EN EAU DE NOUADHIBOU

Brahim Ould Cheikh Abdallahi

Directeur Technique Eau et Assainissement, SONELEC.

et

Nabil Hasbani,

Ancien responsable des projets neufs eau/assainissement, SONELEC.

Résumé

Ne bénéficiant pas de ressources superficielles ou souterraines proches, l'eau potable distribuée à Nouadhibou / Cansado provient du champ captant de Boulanouar situé à environ 80 km au nord est de Nouadhibou.

L'adduction de 350 mm de diamètre a été posée en 1969 pour transiter en gravitaire 3 000 m³/j vers les réservoirs au sol de Nouadhibou. En by-passant les filtres à l'arrivée, la capacité gravitaire de l'adduction a atteint les 3 500 m³/j.

Au bout d'une quinzaine d'années, ce volume ne suffisait plus pour satisfaire les besoins en eau de la ville ayant une population estimée à 65 000 habitants en 1986. A cette époque, la demande en eau moyenne était estimée à 4 500 m³/j. Avec un rendement technique de 75 %, la capacité moyenne de la production correspondante était estimée à 6 000 m³/j, soit un déficit d'environ 2 500 m³/j.

Pour faire face à cette situation, la SONELEC a entrepris en 1987-1988, sur cofinancement BEL/IDA, un programme de réhabilitation et de renforcement du système d'alimentation en eau potable comprenant :

- la réhabilitation de la Centrale Electrique et du champ captant de Boulanouar et la réalisation de 4 nouveaux forages portant ainsi la capacité de production à 6 500 m³/j,
- la réhabilitation des traçons corrodés de l'adduction en utilisant du PVC armé fibre de verre,
- la réhabilitation de la station de pompage et de traitement de Nouadhibou,
- la réhabilitation et le renforcement des réseaux de distribution et des branchements fortement endommagés par les dépôts de calcaire ou la corrosion,
- et enfin la suppression de l'adduction pour porter sa capacité de 3 500 à 6 500 m³/j (les équipements de surpression ont été installés sous le château d'eau de Boulanouar).

La surpression, qui a démarré en novembre 1988, fonctionne toujours sans aucun incident majeur. Début 1989, l'adduction n'était surpressée que quelques heures par jour. Avec l'accroissement de la demande, le nombre d'heures de surpression a progressivement augmenté pour atteindre 20/24 heures et même 24/24 heures aux jours de pointe.

Avec l'augmentation de la demande en général et l'urbanisation importante de nouveaux quartiers au nord de la ville qui ont accueilli les habitants des bidonvilles (kébé) à partir de 1990, les 6 500 m³/j ne suffisent plus à satisfaire la demande en eau de la ville et tout particulièrement pendant la période chaude allant de mai à octobre.

Avant de mettre en oeuvre le projet d'extension du champ captant et le doublement de l'adduction, un **programme de travaux de première urgence** serait nécessaire. Ce programme déjà élaboré comprend :

- la réalisation / raccordement de 4 nouveaux forages à Boulanouar pour porter la production à 9 000 m³/j,
- l'installation d'une station de surpression intermédiaire à mi distance entre Boulanouar et Nouadhibou pour porter la capacité de l'adduction à 8 700 m³/j (avec cette solution la pression dans les premiers kilomètres de l'adduction ne sera pas supérieure aux valeurs de la surpression actuelle).

Les spécifications des travaux de ce programme d'urgence sont disponibles à la SONELEC, le financement reste à rechercher.

1 - SITUATION DU SYSTÈME AVANT LA RÉHABILITATION

Avant la réhabilitation de 1987-1988, l'alimentation en eau potable de la ville de Nouadhibou était caractérisée par une précarité générale qui se traduit par :

- 1°) l'insuffisance des capacités de production.
- 2°) Le mauvais état des installations de production, d'adduction et de distribution.
- 3°) Le manque de moyens d'intervention.

Le diagnostic des installations faisait apparaître à l'époque la situation suivante :

1.1. Champ captant de Boulanouar

Le champ captant comporte 10 forages dont 6 seulement étaient en état de produire, les autres forages étaient hors service pour les raisons suivantes : moteur de pompe grillé, forage ensablé, transformateur MT/BT défaillant.

L'ensemble du champ captant était alimenté en énergie à partir d'une centrale électrique comprenant 2 groupes électrogènes de 127 et 144 kVA installés depuis 1969. Le matériel électrique de la centrale était complètement désuet (armoires de commande notamment). Les conducteurs des lignes aériennes desservant les forages étaient sérieusement usés par les vents de sable et leur remplacement s'avérait obligatoire. Par ailleurs, une bonne partie des isolateurs était cassée et nombre de transformateurs MT/BT étaient soit HS, soit présentant des fuites d'huile importantes. Enfin, la télécommande des forages est hors d'état de fonctionner et, la mise en route et l'arrêt des forages sont commandés localement.

1.2. L'adduction

L'adduction Ø 350 mm fonte ductile non protégée extérieurement posée en 1969, longue de 84 km qui relie le réservoir de collecte du champ captant de Boulanouar au réservoir de Nouadhibou, fonctionnait en régime gravitaire. Sa capacité était de 3 000 m³/j. Cette canalisation était sur certains tronçons importants, dans un état de corrosion avancée surtout dans des zones épisodiquement inondés lors des marées, la fonte non protégée étant particulièrement vulnérable dans les sols salins.

1.3. Installations de stockage, de traitement et de pompage de la station centrale (Nouadhibou)

La station de traitement comportait une filtration sur sable hors service et un poste de stérilisation à l'Hypochlorite de Calcium également H.S. Les unités de pompage alimentées en service normal par le réseau électrique possédaient une alimentation en secours par un groupe électrogène de 72 kVA. Les équipements comprenaient :

- 2 pompes de 94 m³/h, HMT de 50 m pour Nouadhibou ;
- 2 pompes de 61 m³/h avec une HMT de 55 m pour Cansado.

1.4. RESEAUX DE DISTRIBUTION

Il existe deux réseaux de distribution alimentés chacun à partir de réservoirs spécifiques :

- celui de Nouadhibou avec 1 500 m³ de réserves en trois cuves en béton armé ;
- et celui de Cansado avec 660 m³ de réserves en deux cuves métalliques.

Ces deux réseaux totalisent un linéaire de 48,550 km avec des diamètres allant de 40 à 350 mm.

A l'époque de la réhabilitation les réseaux étaient assez récents puisque les plus anciennes conduites de Nouadhibou avaient 15 ans et celles de Cansado 23 ans. Toutefois, le problème majeur du réseau de distribution était celui de l'entartrage des conduites par le calcaire qui se produit aussi bien dans les canalisations en fonte avec revêtement intérieur en mortier de ciment que dans les canalisations en PVC. Ce phénomène dû au déséquilibre carbonique de l'eau et à la présence d'air dans les canalisations lorsqu'elles se vident est accentué par le déséquilibre entre la demande en eau et la capacité de production et d'adduction. Le problème de l'entartrage a été résolu par l'introduction d'un traitement approprié de l'eau par l'injection de Polyphosphates et de gaz carbonique.

En ce qui concerne le parc de compteurs, sur les 3 000 compteurs installés à l'époque, 1 800 environ étaient manifestement hors d'usage et le fonctionnement des autres paraissait douteux. Le remplacement de la totalité de ces appareils s'avérait donc souhaitable.

2. TRAVAUX DE REHABILITATION

Pour faire face à la situation décrite ci-avant et afin d'améliorer l'alimentation en eau de Nouadhibou, la SONELEC a engagé en 1987-1988 les travaux de réhabilitation du système AEP de grande envergure dont les plus importantes sont :

2.1. Boulanouar

- Réhabilitation de la Centrale Electrique : installation de trois groupes 3 x 215 kVA (le premier groupe a été transporté par avion),
- Réalisation de 4 nouveaux forages équipés,
- Réhabilitation du réseau électrique,
- Réhabilitation des groupes de pompage : pompe, colonne, armoire (x6)
- Installation d'une station de surpression (2 motopompes),
- Réhabilitation du château d'eau.

2.2. ADDUCTION Ø 350 mm

- Réhabilitation de 3 tronçons totalisant 8 500 mm dans les zones basses où le niveau de la nappe salée (eau de mer) était presque au niveau de la conduite. Afin d'éviter une nouvelle corrosion extérieure des tuyaux fonte ductile dans ces zones, le PVC armé de filtres de verre (PN 20) a été utilisé.

2.3. Refoulement

- Refoulement Nouadhibou : nouveau Ø 350, 1 000 mm.
- Refoulement Cansado : doublement de la conduite existante Ø 200 mm, 11 000 mm.

2.4. Station de pompage de Nouadhibou

- Remplacement de 4 électropompes de Nouadhibou et Cansado.
- Réhabilitation des coffrets / armoires de ces pompes.
- Installation d'un groupe de secours (135 kVA).
- Installation d'une station de traitement (gaz carbonique, polyphosphates, chlore)

2.5. Réseau de distribution

- Réhabilitation de 25 km de réseau et 600 branchements et fournitures pour 1 500 branchements.

2.6. Autres équipements

- Installation d'un atelier de réparation et d'étalonnage de compteurs.
- Fourniture d'outillage aux services techniques et équipements spéciaux (matériel de recherche de fuites).
- Lot de pièces de rechange destiné aux réseaux, station de pompage/traitement et au champ captant.
- Liaison Radio NOUADHIBOU-BOULANOUAR.
- Véhicules dont un chargeur et un camion grue.

2.7. Suppression de l'adduction

Les travaux de réhabilitation du système AEP de NOUADHIBOU ont permis d'élever la production d'eau de 3 500 à 6 500 m³/jour avec 10 forages en service

Ce débit a pu être transité par la mise en pression de l'adduction. La station de surpression, qui a été installée sous le château d'eau de Boulanouar comprend 2 pompes entraînées par des moteurs thermiques.

La surpression est assurée par une pompe de 270 m³/h et de 70 m de HMT (l'autre étant en secours).

L'entraînement de la pompe par un moteur diesel permet de monter graduellement en pression. La protection de la conduite est assurée par un ballon anti-bélier et par des clapets à faible inertie.

Les travaux de réhabilitation ont été achevés fin 1988. Les essais de surpression ont eu lieu en novembre 1988, la pression fût augmentée en agissant sur la vitesse du moteur (en l'augmentant de 100 t/min par palier).

Des précautions particulières ont été prises pendant les essais qui ont duré environ 48 heures : 3 équipes étaient prêtes à intervenir en cas de casse (à Boulanouar, à Nouadhibou et à mi-distance entre les deux sites), la conduite a été parcourue plusieurs fois pour s'assurer de la non ouverture de vannes, liaisons radio permanente entre Boulanouar et Nouadhibou, enregistrement et contrôle des pressions dans des points particuliers, etc.

Après avoir essayé la conduite à un débit légèrement supérieur au débit d'exploitation et en l'absence d'incident, elle fût mise en service avec un fonctionnement mixte : en gravitaire et surpressé. Le débit d'exploitation maximal a été fixé à 270 m³/h.

Le nombre d'heures de surpression par jour a rapidement augmenté pour atteindre 20/24 heures et même 24/24 heures aux jours de pointe

La surpression fonctionne toujours sans aucun incident majeur.

Ce résultat a pu être obtenu grâce à une bonne conception du système de surpression, à une bonne installation des équipements et à un contrôle rigoureux du fonctionnement de la station de surpression et de l'adduction (entretien régulier des ventouses en particulier).

3 - SITUATION ACTUELLE

Un important programme d'urbanisation de nouveaux quartiers au nord de la ville qui ont accueilli les habitants des anciens bidonvilles (Kébé) à partir de 1990 et l'augmentation de la demande en général, font que les 6500 m³/j ne suffisent plus à satisfaire la demande en eau de la ville et tout particulièrement pendant la période chaude allant de mai à octobre.

Le déficit actuel est estimé à 1 500 m³/j. Pour assurer les besoins en eau de la ville pour les quelques années à venir, et avant de mettre en oeuvre le projet d'extension du champ captant et du doublement de l'adduction, un programme de travaux de première urgence serait nécessaire.

Ce programme déjà élaboré comprend :

- la réalisation de 4 nouveaux forages à Boulanouar pour porter la production à 9 000 m³/j ;
- le raccordement hydraulique et électrique de ces forages aux réseaux du champ captant,
- le renforcement de la station de surpression existante,
- l'installation d'une station de surpression intermédiaire entre Boulanouar et Nouadhibou (PK 40 conduite) pour porter la capacité de la conduite de 6 500 à environ 8 700 m³/j.

Cette solution permet de maintenir la pression dans les premiers kilomètres de la conduite à des valeurs ne dépassant pas les valeurs de la surpression actuelle (environ 80 m).

A la sortie de la station intermédiaire, la pression sera d'environ 70 m.

Les spécifications techniques des nouveaux forages et de leur raccordement, de l'aménagement de la station existante sous le château d'eau et de l'installation de la station intermédiaire sont disponibles à la SONELEC.

Le coût estimé de ces travaux s'élève à 450 millions d'UM (environ 20 millions de FF)

Le financement reste à rechercher.

ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE NOUAKCHOTT POUR LE MOYEN ET LE LONG TERME

Nabil Hasbani

Ancien responsable des projets neufs eau/assainissement, SONELEC

et

Lafforgue, M.

SAFEGE Ingénieurs Conseils Parc de l'Île 15/27 rue du Port BP 727 - 92007 NANTERRE Cedex / France

RÉSUMÉ

La première partie de l'exposé traite de l'alimentation de Nouakchott en eau à l'horizon 2000 - 2010.

Les mises à jours de l'étude de faisabilité du renforcement de l'alimentation en eau potable de Nouakchott et de l'étude préliminaire d'une première phase de travaux, toutes deux, réalisées par SAFEGE ont ainsi permis d'estimer la production de pointe nécessaire à l'alimentation en eau de Nouakchott.

Celle-ci devrait être de 43 000 m³/j en l'an 2000 et de 67 000 m³/j en 2010.

Pour assurer cette production de pointe, un renforcement de la production actuelle de 30 000 m³/j est nécessaire.

Plusieurs solutions de renforcement de la production ont été envisagées :

- extension du champ captant actuel d'Idini ;
- déminéralisation d'eau saumâtre ;
- utilisation des eaux de surface (Fleuve Sénégal) ;
- dessalement de l'eau de mer ;
- développement du champ captant de Tenadi.

La comparaison économique des solutions "Tenadi", "Dessalement de l'eau de mer" et "exploitation des eaux du Fleuve Sénégal" montre que le coût des investissements (valeurs 1992) varie du simple au double entre les solutions "Tenadi" et "Fleuve Sénégal", la solution la plus rentable étant celle de "Tenadi".

La deuxième partie de l'exposé traite d'une façon très préliminaire de l'alimentation en eau de Nouakchott à long terme.

En l'absence de données permettant d'évaluer les besoins en eau de l'horizon 2030 et au-delà, on choisira l'hypothèse pour laquelle ces besoins atteindraient 120 000 m³/j.

Les simulations hydrogéologiques existantes ont été faites avec des prélèvements de 60 000 m³/j à Tenadi.

Pour une production étendue à 120 000 m³/j, le risque d'avancée du front salé devient très élevé ce qui nécessitera probablement le développement d'autres champs captants plus à l'est, ou la mise en oeuvre d'une ou de plusieurs autres solutions.

C'est l'évaluation de ces solutions potentielles que l'on tentera d'approcher à la faveur des données actuelles, en mettant en lumière les avantages et inconvénients de chaque schéma d'aménagement.

1 - ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE NOUAKCHOTT A L'HORIZON 2000 - 2010

La Société Nationale d'Eau et d'Electricité (SONELEC) de la République Islamique de Mauritanie a confié à SAFEGE des prestations d'Ingénieur Conseil pour une mise à jour de l'Etude de Faisabilité du renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de NOUAKCHOTT établie en Mars 1987 par le Cabinet d'Etude Marc Merlin et de l'étude préliminaire d'une première phase de travaux.

Le renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de NOUAKCHOTT constitue en effet une préoccupation majeure de la SONELEC en raison du développement urbain extrêmement rapide que connaît la capitale depuis 1980 (plus de 9 % par an). Ce développement s'avère cependant quelque peu différent de celui prévu en 1987 dans la précédente étude notamment suite à des opérations de lotissement menées par l'Administration à l'est et au sud de la ville.

Pour faire face à une forte augmentation des besoins en eau des populations et atténuer un déficit croissant, la SONELEC a dégagé en 1989 un programme d'urgence qui est actuellement en cours de réalisation.

Les travaux prévus permettront d'accroître la production de 23 000 m³/j à environ 30 000 m³/j mais seront encore loin de pouvoir satisfaire complètement les besoins des habitants compte tenu notamment de l'insuffisance du réseau de distribution.

L'Etude de faisabilité comprend :

- l'analyse démographique sociale et économique de la situation actuelle et les prévisions pour les horizons 2000 et 2010
- l'analyse de la situation actuelle de l'alimentation en eau potable et les projections des besoins en eau jusqu'en 2010
- l'analyse technico-économique des variantes envisageables pour le renforcement de la production et de la distribution et la proposition de choix d'une variante optimale.

1.1. ANALYSE DEMOGRAPHIQUE

La population de Nouakchott qui était d'environ 5000 habitants en 1960, a atteint 393 000 habitants en 1988 avec un taux d'accroissement de 21,2 % entre 1962 - 1970, de 26,4 % entre 1970 - 1977 et de 9,7 % entre 1977 - 1988.

Avec un taux de croissance de 6 % par an jusqu'en 1995, puis 5,7 % par an de 1995 à 2000 et de 4,9 % par an de 2000 à 2010, la population de Nouakchott est estimée à environ 815 000 en 2000 et à 1 316 000 en 2010.

Si on rapporte la hausse de la population de Nouakchott à la population totale du pays, on constate que la part de Nouakchott s'accroît de 24 % en 1991 à 30,9 % en 2000 et 39,6 % en 2010.

1.2. ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

1.2.1. Population raccordée (base 1991)

Les enquêtes ont montré que 100 % des habitants haut standing, 74 % des habitants moyen standing et seulement 3,5 % des habitants bas standing sont reliés au réseau. Ce dernier taux est actuellement en forte hausse grâce à la campagne de branchements sociaux en cours.

Standing d'habitat	Population raccordée	Population totale	Taux de raccordement
Haut standing	15 900 habitants	15 900 habitants	100 %
Moyen standing	58 900 habitants	79 600 habitants	74 %
Bas standing	14 000 habitants	394 100 habitants	3,5 %
Total	88 800 habitants	489 600 habitants	18 %

POPULATION RACCORDEE AU RESEAU PAR CATEGORIE D'HABITAT

1.2.2. Consommations spécifiques

L'enquête SAFEGE 91 fait ressortir que les populations non raccordées consomment en moyenne annuelle 15 l/jour/habitant, ce qui donne 3 550 m³/jour pour la population raccordée. Si l'on considère que les habitants de haut standing consomment environ 100 l/jour/habitant (soit 1 500 m³/jour) la consommation spécifique des habitants raccordés de moyen standing représente une moyenne de 28 l/jour/hab.

Ces faibles consommations spécifiques actuelles s'expliquent par la faible pression existant dans le réseau d'eau potable, ainsi que par la pénurie globale d'eau au sein de la ville.

1.2.3. Besoins réels

Les consommations spécifiques indiquées dans le tableau précédent ne reflètent pas les besoins réels des habitants qui sont nécessairement limités par la situation actuelle de pénurie. On a donc été conduit à estimer les besoins réels des habitants de Nouakchott selon notre expérience et par analogie avec les consommations spécifiques admises pour des villes comparables. Les consommations spécifiques retenues pour Nouakchott sont les suivantes :

Type d'habitat	Unité	Nouakchott
Haut standing raccordé	l/j/hab	180
Moyen standing raccordé	l/j/hab	57
Bas standing raccordé	l/j/hab	27
Non raccordé	l/j/hab	18

Les besoins de la ville de Nouakchott en 1991 par rapport aux consommations mesurées s'établissent alors comme suit :

Catégorie de consommateurs	Consommation moyenne	Besoins moyens
Habitats haut standing raccordés	1 590 m ³ /jour	2 860 m ³ /jour
Habitats moyen standing raccordés	1 550 m ³ /jour	3 360 m ³ /jour
Habitats bas standing raccordés	400 m ³ /jour	370 m ³ /jour
Habitants non raccordés	6 000 m ³ /jour	7 220 m ³ /jour
Industrie - Artisanat et Commerce	750 m ³ /jour	750 m ³ /jour
Maraîchage	650 m ³ /jour	≥ 650 m ³ /jour
Administration	3 850 m ³ /jour	3 850 m ³ /jour
Consommation totale	14 800 m ³ /jour	≥ 19 060 m ³ /jour
Production nécessaire	21 900 m ³ /jour*	28 200 m ³ /jour*

*Sur la base d'un rendement de 67,6 %

COMPARAISON DES BESOINS REELS ET DE LA CONSOMMATION ACTUELLE

On peut remarquer que la consommation actuelle est probablement inférieure d'environ 20 % aux besoins réels. La production ayant été récemment renforcée de 23 000 m³/j à 30 000 m³/j ; la nouvelle production devrait permettre à présent de satisfaire les besoins de 1993 en tenant compte des services en route entre Idini et Nouakchott évalués à 370 m³/jour.

1.3. Prévision des besoins futurs

Un calcul analytique précis de projection des besoins a été établi en distinguant chaque catégorie de consommateur avec ses spécificités :

- les consommateurs domestiques raccordés en fonction de leur standing d'habitat ;
- les consommateurs domestiques non raccordés s'approvisionnant par l'intermédiaire des bornes fontaines ;
- les consommateurs privés industriels et commerciaux ;
- les consommateurs administratifs et services publics ;
- les consommateurs maraîchers.

On précisera ici que compte tenu de la rareté de la ressource, on prévoit de réserver l'eau souterraine de bonne qualité en priorité aux besoins de la population sur tout autre usage.

Dans cette optique, l'utilisation de l'eau potable à des fins d'exploitation agricole ou maraîchère ne peut pas être encouragée à proximité de la zone urbaine. Cette disposition est cohérente avec la politique tarifaire actuelle qui ne permet normalement pas de maintenir une exploitation agricole rentable avec les tarifs en vigueur.

Les projections prévoient donc que la continuation de cette politique entraînera une réduction progressive de la consommation maraîchère jusqu'à sa disparition au-delà de l'horizon 2000.

Ceci devra nécessairement s'accompagner d'une action des autorités pour faciliter la reconversion des agriculteurs ou plutôt d'encourager leur installation dans la région du fleuve où ne se pose pas de problèmes de ressources en eau.

Les résultats des projections sont présentés dans la figure qui suit.

1.4. Renforcement de la production

1.4.1. Besoins nécessaires à la production

On rappellera ci-après les besoins de production retenus pour le dimensionnement des ouvrages.

Les besoins de production à satisfaire sont résumés dans le tableau ci-après :

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Production moyenne (m ³ /j)	28 500	29 000	29 600	30 700	32 500	34 400	35 700	37 200	38 800
Production de pointe (m ³ /j)	31 400	32 000	32 600	33 700	35 700	37 900	39 300	40 900	42 700

BESOINS DE PRODUCTION

On remarquera que la capacité de production maximale actuelle du champ captant d'Idini est de l'ordre de 33 000 m³/j (avec la mise en service en 1991 de six nouveaux forages F20 à F25 et l'arrêt recommandé des forages F5, F6 et F8) soit 30 000 m³/j en production moyenne.

Les besoins moyens devraient donc pouvoir être satisfaits jusqu'à la mise en service en 1996 du projet de renforcement. Les besoins de pointe ne pourront par contre être théoriquement couverts que jusqu'en 1994.

1.4.2. Solutions de renforcement de la production

Plusieurs solutions de renforcement de la production sont envisageables :

- a) Extension du champ captant d'Idini actuel ;
- b) Déminéralisation d'eau saumâtre ;
- c) Utilisation du fleuve Sénégal ;
- d) Dessalement de l'eau de Mer ;
- e) Développement du champ captant de Tenadi ;

On examinera ci-après l'intérêt de ces différentes solutions.

1.4.2.1. Extension du champ captant d'IDINI

Pour satisfaire les besoins prévus à l'an 2000, cette solution suppose une augmentation des prélèvements dans la zone d'Idini de 30 000 à 38 000 m³/jour (en production moyenne).

Toutes les simulations effectuées par le BRGM^[1] dans les études hydrogéologique ont clairement montré que cette solution conduirait à accélérer l'avancée du niveau salé même dans l'hypothèse où l'on arrêterait les forages des deux premières vallées pour faire une "barrière hydraulique" d'eau douce et où l'on développerait le champ captant plus à l'est à partir de la quatrième vallée.

A l'inverse, le BRGM recommande de réduire le niveau de prélèvement actuel de 30 000 à 18 100 m³/j à partir de 1996 pour préserver la ressource.

On ne peut donc pas envisager de retenir une solution entraînant la perte irrémédiable du champ captant le plus proche de Nouakchott dont l'exploitation est actuellement la solution la plus économique.

1.4.2.2. Déminéralisation d'eau saumâtre

Cette solution consisterait à réduire le niveau de prélèvement actuel de 30 000 à 18 100 m³/j comme recommandé par le BRGM et à trouver le complément nécessaire (soit 20 700 m³/j) en eau saumâtre déminéralisée sur une ou plusieurs unités de dessalement.

Toutefois, les nappes phréatiques proches de Nouakchott ne sont pas utilisables à cause de leur pollution par les rejets urbains directs sans épuration.

Une possibilité consisterait à prélever l'eau saumâtre dans la nappe du Maestrichtien située au dessous du Continental Terminal d'Idini.

Cette nappe, plus ou moins fossile, est moins bien connue que celle du Continental Terminal.

Un forage réalisé à l'est d'Idini a délivré une eau chargée à 4 g/l et la comparaison avec les mêmes horizons géologiques au nord du Sénégal laisse supposer qu'elle sera également très salée à Idini.

Une autre incertitude existe en ce qui concerne sa productivité. Il serait donc nécessaire d'effectuer une campagne de reconnaissance avec plusieurs forages profonds (300 à 400 m environ) complétée par une prospection géoélectrique pour pouvoir se prononcer sur la qualité et la quantité mobilisable.

Comptes tenu de ces incertitudes et des coûts élevés que vont entraîner l'exhaure et la déminéralisation de l'eau de cette nappe profonde, on ne peut donc pas actuellement en retenir l'utilisation.

1.4.2.3. Eaux de surface

La seule ressource importante mobilisable est le fleuve Sénégal, dont l'embouchure se situe à environ 200 km au sud de Nouakchott.

Depuis la construction du barrage de Diama en 1986 les remontées d'eau salées à l'étiage sont contenues et il a déjà été envisagé d'utiliser l'eau du fleuve comme source d'approvisionnement pour l'alimentation en eau potable de Nouakchott.

Parmi les points de prélèvement possibles, il avait été retenu les sites de El Goychitchit et de Keur Massene.

1.4.2.3.1. Site d'EL GOYCHITCHIT

Cette solution prévoyait le remplissage de la dépression de l'Affout-Es-Saheli en période de hautes eaux de fleuve. Cette dépression longe le cordon dunaire sur près de 100 km ce qui permettrait d'amener l'eau jusqu'aux abords du village d'El Goychitchit, situé à environ 110 km de la ville de Nouakchott.

L'inconvénient majeur de cette solution est la salinité importante des terrains constituant la dépression. Le lessivage de ces terrains n'est éventuellement envisageable qu'après plusieurs années de vidange et remplissage de la dépression et on ne peut actuellement pas en garantir le résultat. Cette variante doit donc être rejetée. Il est par exemple probable que les cordons dunaires et le substrat composant le fond de la Sebkhia ne forment pas une barrière étanche aux eaux salées (eau de mer et nappes phréatiques).

Par ailleurs, le transit de l'eau du fleuve Sénégal dans une dépression puis en canal à ciel ouvert soulève d'autres problèmes dont le volet sanitaire est une composante majeure :

- il n'est pas envisageable de contrôler les 200 km du trajet de l'eau et d'empêcher les riverains et le bétail de venir s'abreuver dans le canal y apportant alors diverses pollutions ;
- il est même possible que sous l'attrait de cette source d'eau qu'elles considéreront comme gratuite, des populations entières viennent s'installer sur les bords du canal, utilisent l'eau pour leur consommation, leur bétail, l'irrigation de jardins maraîchers, y fassent leur lessive et finalement en consomment la plus grosse partie en polluant fortement ce qui reste ;
- le courant d'eau de ce canal sera à faible vitesse (due à une faible pente). Il découlera probablement de ce temps de séjour allongé une eutrophisation plus ou moins forte des eaux du canal ;
- le plus, il conviendra de mettre en place des équipes de surveillance qui éviteront que de grandes quantités de sable ne viennent sous l'effet du vent obstruer le canal et détourner tout ou partie des eaux hors de leur cours ;
- enfin, ces eaux de surface devront à leur arrivée à Nouakchott subir un traitement complet et efficace avant toute distribution à la population.

Fort de tous ces éléments, on choisira de rejeter cette variante.

1.4.2.3.2. Site de KEUR MASSENE

Cette solution offre l'avantage sur la précédente de prélever directement l'eau dans le fleuve Sénégal protégé des remontées d'eau salée à son embouchure par le barrage de Diama. Elle présente l'inconvénient d'une prise d'eau située à 180 km de Nouakchott entraînant un investissement très important pour les ouvrages de transport.

Ceci conduira à rejeter cette solution à cause de son coût prohibitif par rapport aux solutions d'exploitation d'eau souterraine ou de dessalement de l'eau de mer.

1.4.2.3. Dessalement de l'eau de mer

L'installation d'une unité de dessalement d'eau de mer d'une capacité de 3 000 m³/jour sur la côte près de Nouakchott a déjà été réalisée en 1968. Cette installation a fonctionné de 1969 à 1974 et a dû être ensuite arrêtée à cause de son coût d'exploitation trop élevé et des difficultés de maintenance qu'elle entraînait. Les techniques de dessalement ont évolué depuis et il semble que les procédés par osmose inverse (R.O.) et par distillation à effets multiples soient actuellement les plus intéressants et les plus utilisés dans le monde. Ils sont parfois constitués en systèmes hybrides permettant de récupérer l'énergie de filtration sur membrane. Les investissements et les charges d'exploitation correspondant à ces procédés bien qu'ayant tendance à diminuer rapidement restent encore cependant très élevés. La maintenance des équipements nécessite de plus toujours un personnel qualifié très spécialisé.

1.4.2.4. Développement des champs captants de TENADI

Les études hydrogéologiques du BRGM^[1] ont montré la possibilité de créer, d'exploiter deux nouveaux champs captants à environ 15 km à l'est d'IDINI sur deux secteurs dénommés TENADI 1 et TENADI 2. La dernière étude réalisée a permis de tester différents scénarios de prélèvement de 1991 à 2010.

La progression des besoins à satisfaire sur cette période correspond sensiblement au scénario S4 de prélèvement dont on rappellera les différentes phases dans le tableau ci-après.

Années	Idini	Ténadi 1	Ténadi 2
1992 à 1995	30000	-	-
1996 à 2005	18100	18 800 à 41 500	-
2006 à 2010	18 100	29 400	-14 800 à 27 300

Répartition de la production moyenne entre les champs captants (selon le scénario S4 en m³/jour)

Pour satisfaire les besoins moyens prévus à l'horizon 2000, cette solution suppose la réduction d'Idini de 30 000 à 18 100 m³/jour et le développement du premier champ captant à Tenadi 1.

1.4.2.5. Comparaison économique de solutions

Compte tenu des éléments présentés précédemment, on ne retiendra pas les solutions de surexploitation d'IDINI et de prise d'eau de surface à EL GOYCHITCHIT pour les problèmes de salinité qu'elles entraînent. On ne peut pas non plus prendre en compte la solution d'exploitation d'eau saumâtre du Maestrichtien à cause des incertitudes liées à cette solution. Les dépenses d'investissement correspondantes aux trois solutions restantes peuvent être comparées à partir du tableau suivant :

Solution	Montants	
	UM/m ³	FRF/m ³
Exploitation des ressources souterraines de Ténadi	144 000	6 500
Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (R O)	185 000	8 400
Dessalement de l'eau de mer par distillation effets multiples (MED)	245000	11100
Exploitation de l'eau du fleuve Sénégal à Keur Massene	313 000	14 200

1 FF = 22 UM en 1994

COUTS APPROXIMATIFS DES INVESTISSEMENTS PAR M³ PRODUITS (en UM/m³ base 1993)

L'investissement nécessaire à la mise en oeuvre de la solution d'exploitation des ressources souterraines de Ténadi apparaît donc moins important que pour les autres solutions. La comparaison est encore plus favorable à cette solution si l'on considère les dépenses d'énergie nécessaires à la production d'un m³ d'eau potable par osmose inverse :

- Coût minimal d'énergie pour le dessalement : **85,1 UM par m³** (3,87 FRF/m³) (sans transport, ni pompage de l'eau de mer) ;
- Coût d'énergie pour l'exploitation de TENADI : **9,1 UM par m³** (0,41 FRF/m³).

Si l'on tient compte également que les frais de maintenance pour une unité de traitement par osmose inverse sont bien supérieurs à ceux d'une exploitation classique d'eau souterraine, la solution développement d'un champ captant à TENADI apparaît encore à l'heure actuelle comme la plus économique.

1.4.2.6. Aménagements à prévoir pour l'horizon 2000

Les besoins de production à satisfaire seront respectivement de 38 800 m³/j en moyenne et de 42 700 m³/j en pointe. En accord avec le scénario de prélèvement retenu dans l'étude hydrogéologique :

- a) La production moyenne d'Idini devra être réduite de 30 000 m³/j à 18 100 m³/j mais l'on conservera une partie de sa capacité de production pour pouvoir assurer la pointe.
- b) Le champ de Ténadi 1 devra assurer le complément soit 20 700 m³/j

Si l'on estime le débit unitaire moyen par forage à 50 m³/h, il sera donc nécessaire de réaliser 18 forages.

1.4.2.7. Investigations complémentaires

Il reste bien entendu que l'implantation, ainsi que le nombre et les caractéristiques exacts des forages à réaliser ne pourront être définitivement arrêtés qu'à la suite des investigations plus précises préconisées dans l'étude hydrogéologique.

2. ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE NOUAKCHOTT A LONG TERME

2.1. Prévision du futur accroissement démographique de Nouakchott

Compte tenu de la difficulté à prévoir l'évolution de la population de Nouakchott à long terme, on choisira, en première approche, un taux de croissance moyen de 3 %/an sur la période 2010-2030.

La population de Nouakchott, estimée à 1 315 000 en 2010, atteindrait alors les 1 800 000 habitants dès 2020 et 2 400 000 habitants vers 2030.

2.2. PREVISION DES BESOINS EN EAU FUTURS

Si nous retenons une dotation moyenne de 37 litres par habitant et par jour (qui correspond à l'état actuel de la demande en eau) et une production de pointe d'environ 50 l/j/ha, la production totale de pointe devrait atteindre 90 000 m³/j en 2020 et 120 000 m³/j en 2030.

2.3. RENFORCEMENT DE LA PRODUCTION

Dans l'état actuel des connaissances, le renforcement de la production nécessaire à l'approvisionnement de Nouakchott à l'horizon 2030 pourrait être obtenu à partir de l'une des trois ressources suivantes :

- eaux souterraines : il s'agit ici de créer de nouveaux champs captants à l'est d'Idini et de Tenadi ;
- eaux de surface : l'exploitation de cette ressource nécessite le transport jusqu'à Nouakchott des eaux du fleuve Sénégal puis son traitement ;
- eau de mer (ou les eaux saumâtres) : les eaux salées doivent alors subir un traitement de dessalinisation avant toute utilisation.

Chacune de ces solutions présente des avantages et des inconvénients, comme développé ci-après.

2.3.1. Développement de nouveaux champs captants

La nappe du Trarza, qui est actuellement exploitée à Idini, est une nappe fossile de grande capacité, mais dont l'exploitation est délicate. C'est en effet une nappe non renouvelable située à proximité d'un front salé qui menace fortement le champ captant actuel. Dès lors, le pompage des eaux douces qu'elle contient conduit à accroître l'avancée des eaux salées de l'océan qui bordent la nappe du Trarza, faisant peser un risque important d'accroissement de la salinisation au droit des forages d'Idini. Ainsi, mis à part une réalimentation vraisemblablement peu importante et très localisée de cette nappe par le fleuve Sénégal, les diverses études qui lui ont été consacrées, concluent que la réalimentation par infiltration des eaux de pluie peut être considérée comme nulle ou du moins très faible. Avant toute exploitation supplémentaire de cette ressource, il est donc nécessaire d'évaluer le risque d'avancée du front salé et la capacité des aquifères considérés.

A cette fin, il est préalablement nécessaire de réaliser des études hydrogéologiques détaillées et un suivi rigoureux des champs captants.

Si les conditions hydrogéologiques ne le permettent pas et ou si l'on veut considérer cette nappe comme réserve stratégique et ne pas l'épuiser, il faudra envisager de développer d'autres ressources

2.3.2. Eaux de surface

Après la construction du barrage de Diama, la langue salée ne remonte plus dans le fleuve Sénégal et le pompage de l'eau du fleuve peut être envisagé à partir d'une prise d'eau qui se situerait entre Keur Massène et Rosso. On peut d'une façon très schématique prévoir de ne pas dépasser les 60 000 m³/j à Tenadi et pomper les 60 000 m³/j restant à partir du fleuve et les traiter à Nouakchott. Pour disposer de 60 000 m³/j traités à Nouakchott, il faudrait pomper et refouler environ 65 000 m³/j du fleuve Sénégal vers Nouakchott. Le transit de ce débit peut être assuré par une conduite de 180 km, de diamètre 800 mm avec une station de surpression intermédiaire.

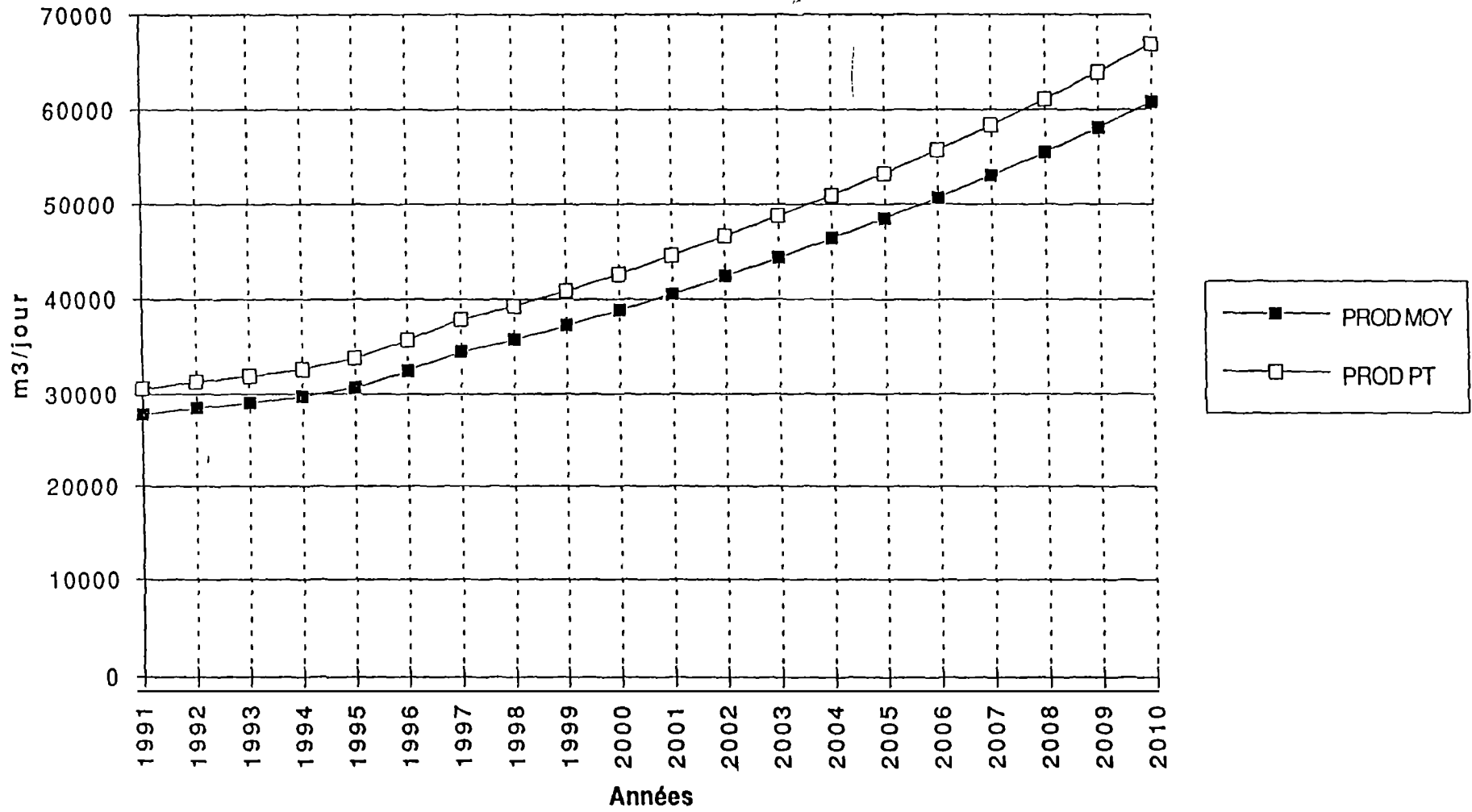
Ce schéma de production nécessite néanmoins la construction :

- d'un ouvrage de prise d'eau ;
- d'une centrale électrique ;
- d'une station de surpression intermédiaire ;
- d'une station de traitement.

Cette solution a l'avantage de ne pas présenter de difficultés techniques particulières. De plus elle ne nécessite pas une technologie compliquée. Elle conduit par contre à un prix très élevé ce qui est un inconvénient majeur. La mise en oeuvre de cette solution nécessiterait la réalisation d'études préalables détaillées portant entre autre sur :

- l'hydraulique fluviale ;
- la qualité des eaux brutes ;
- le traitement des eaux ;
- l'hydraulique urbaine (dimensionnement de l'adduction, des stations de pompage et de surpression, étude des régimes transitoires...) ;

BESOINS EN EAU POTABLE DE NOUAKCHOTT



- le génie civil (dimensionnement des réservoirs et ouvrages, études géotechniques sur les différents sites et le long du tracé de l'adduction).

2.3.3. Dessalement

Les progrès réalisés durant les vingt dernières années dans le domaine du dessalement des eaux saumâtres et de l'eau de mer permettent d'envisager un renforcement de la production par l'une des techniques existantes de dessalement :

- **Cas des eaux saumâtres** : Le procédé le plus utilisé actuellement est l'osmose inverse (R/O). Si des études hydrogéologiques détaillées concluaient à la possibilité d'exploiter la nappe du Maestrichtien située au-dessous du Continental Terminal d'Idini, et si la salinité de cette nappe était bien de l'ordre de 4 g/l, l'osmose inverse pourrait alors être envisagée.

Cette technique est assez compliquée. Par ailleurs, elle ne peut être mise en oeuvre que par un personnel très spécialisé. Elle nécessite également une maintenance très rigoureuse tout particulièrement en ce qui concerne le pré traitement.

- **Cas de l'eau de mer** : Les procédés actuellement les plus utilisés sont l'osmose inverse (qui représente 70 % des installations de dessalement d'eau de mer en construction) et les procédés de distillation (qui représentent 30 % des installations en construction).

On notera que la concurrence acharnée existant entre les différents procédés employés a conduit à une réduction massive de la consommation en énergie primaire.

Les avantages résultant de la mise en place à Nouakchott d'une usine de dessalement d'eau de mer sont les suivants :

- la présence d'une ressource illimitée.
- La proximité du site de production, de la centrale électrique, et des points de consommation.

Les inconvénients principaux de cette technique sont les suivants :

- le coût relativement élevé du mètre cube produit (amortissement des investissements et frais de fonctionnement),
- l'utilisation d'une technologie compliquée nécessitant un personnel très spécialisé,
- des besoins importants en pièces de rechange

Mais si les progrès technologiques aboutissent à réduire encore la consommation d'énergie par mètre cube produit, et si les coûts d'investissements se réduisaient quelque peu, cette solution pourrait être envisagée. Elle pourrait être développée par phases : avec par exemple la construction de modules de 10 000 m³/j dont on ferait varier le nombre en fonction de l'accroissement des besoins.

2.4. CONCLUSIONS

Il n'est pas actuellement possible de savoir quel sera le meilleur moyen pour alimenter Nouakchott en eau à l'horizon 2030. Cela dépend de l'évolution future des techniques, notamment du dessalement d'eau de mer, mais aussi et surtout d'études préalables indispensables à la prise en compte de tous les éléments nécessaires au choix de la ressource à développer.

La première étape à mettre en place pourrait être la réalisation d'une étude préliminaire de l'alimentation en eau de Nouakchott, à partir du Fleuve Sénégal, ou par dessalement des eaux saumâtres ou de l'eau de mer.

LA PRODUCTIVITE DANS LES COMPAGNIES DES EAUX ET L'INTERESSEMENT DES PERSONNELS

PRODUCTIVITE - INTERESSEMENT

Casteignau, G.

Université de Limoges

LA PRODUCTIVITÉ DANS LES SERVICES D'AEP

1 - QU'EST-CE QUE LA PRODUCTIVITE D'UNE COMPAGNIE D'EAU ?

Produire et distribuer de l'eau est une activité de Service, en ce sens les objectifs d'une Compagnie d'eau consistent donc à améliorer sans cesse le ratio suivant :

Productivité du Service =
Distribution d'eau potable * 24h sur 24 / au moindre coût de fabrication

Cette définition qui intègre la Qualité du Service est plus explicite qu'une définition strictement financière qui pourrait être la suivante : Productivité = Total des sorties valorisées de l'entreprise / total des moyens entrés dans l'entreprise
La première définition échappe aux critiques que l'on fait à la 2ème :

- la productivité n'est qu'un concept théorique ;
- trop globale, elle n'explique pas les différents éléments qui la composent : comment agréger les machines, le travail, les horaires, les tonnes de matières premières, les m³ produits?

Ces difficultés ont amené le gestionnaire à s'intéresser plus particulièrement aux facteurs de production et à évaluer la productivité : cette démarche est à la base des calculs de productivité partielle définie comme le rapport entre une production valorisée et un facteur de mise en œuvre. Le facteur essentiellement étudié est le travail d'où une confusion généralement pratiquée entre le terme de productivité et la notion de productivité du travail.

La confusion serait excusable si la productivité du travail représentait à elle seule la totalité de la productivité globale d'une entreprise. En fait ce n'est pas le cas, car :

- le facteur de travail n'est qu'un facteur de production parmi d'autres ;
- la place du facteur travail tend historiquement à diminuer notamment par rapport au facteur capital (automatisation).

Ces éléments soulignent la nécessité d'évaluer les productivités des différents facteurs de production, afin d'obtenir et d'expliquer la productivité globale de l'entreprise.

La productivité globale est alors dissociable en 6 types de productivité partielles :

$P = \text{Productivité de la production} = P \text{ de l'organisation} + P \text{ des ventes} + P \text{ du produit} + P \text{ du travail} + P \text{ du capital}$

La maximisation de chacune de ces productivités partielles couvrant l'ensemble du champ managérial, permettra la maximisation de la productivité globale.

2 - LES INSTRUMENTS A METTRE EN PLACE

La solution est simple en apparence : il faut mettre en place un programme de productivité.

Ce programme est caractérisé par un certain nombre d'axes :

- la productivité est une méthode de gestion et de management utilisable par les techniciens eux-mêmes ;
- la productivité suppose des priorités ;
- la productivité et son amélioration se planifient comme toute action dans l'Entreprise.

2.1 - La productivité méthode de gestion et de management

L'amélioration de la productivité est une philosophie de management. Elle est basée sur une décentralisation volontaire de l'autorité et des responsabilités. Cette décentralisation permet :

- un raccourcissement du délai d'application des décisions prises ;
- une implication de l'ensemble des échelons hiérarchiques.

Outre la décentralisation, un programme de productivité développera les notions suivantes :

- le profit est un objectif prioritaire, accepté par tous. Son existence est primordiale, seule sa répartition donne lieu à concertation ;
- le cadre annuel du budget est retenu comme horizon de toute action de productivité ;
- la participation des salariés tant aux décisions qu'au surplus de résultat découlant de l'application de ces décisions ;
- le fait de constamment s'améliorer : le combat de la Compagnie étant de faire mieux qu'elle même c'est à dire constamment se dépasser.

L'amélioration de la productivité est une méthode de gestion, car elle fait appel à un ensemble de techniques et de mesures des résultats. Au titre des techniques utilisées, il est nécessaire d'insister sur :

- une bonne connaissance par les salariés des techniques utilisées par l'Entreprise tant au niveau de la Production-Distribution, qu'au niveau de l'Administration ;
- une formation à la pratique de résolution de problèmes amenant chaque salarié à pouvoir analyser un problème et à suggérer des éléments de solutions même s'ils sont partiels.

2.2 - Productivité et priorités

Deux axes sont à étudier avant tout par le Directeur général afin de définir les objectifs ou les stratégies de la Compagnie :

- tout ce qui touche aux caractéristiques de la Compagnie en matière de productivité ;
- les caractéristiques d'actions mobilisatrices.

Au titre du premier axe, l'entrepreneur étudiera :

- l'historique de la productivité : quel est le savoir à améliorer tout de suite ? quelle productivité partielle peut être aisément améliorée ?
- les critères de productivité qui peuvent être immédiatement proposés sans contestation car admis par tous ;
- les domaines où la motivation du personnel est particulièrement forte, ne serait-ce que parce que les salariés souffrent également de l'état de fait ;
- les secteurs de l'entreprise où l'instauration des premiers groupes de travail serait la plus aisée ;
- les départements où la formation des salariés est la plus favorable à un processus d'amélioration de la productivité. Il est ici important de noter le rôle prépondérant que joue la maîtrise comme relais d'opinion et moteur d'une telle action ;
- la pratique des suggestions.

Les actions probables comme l'objectif global doivent posséder 4 caractéristiques :

- privilégier le court terme par rapport au long terme afin d'avoir un impact mobilisateur : les décideurs doivent pouvoir rapidement observer les conséquences de leur implication ;
- préférer les objectifs et action à fort potentiel : se mobiliser sur la diminution des fuites est plus enthousiasmant que de se mobiliser sur les économies en fournitures de bureau ;
- privilégier les actions hautement réalistes, même si elles y perdent en grandeur de vue. Des actions "au ras des pâquerettes" mais réalisables simplement auront un impact supérieur auprès des salariés que de grands projets nébuleux ;
- retenir les projets nécessitant que de faibles investissements.

Une proposition réclamant un investissement important, donc qui ne serait pas applicable immédiatement par la direction démobilisera donc le groupe de travail.

A titre d'exemple, nous citons ci-dessous une liste de mesures communément retenues comme "faisables".

PRODUCTIVITE CONCERNEE	Exemple de mesure
PRODUCTION	Planning de production automatisé, contrôle de qualité, analyse de la Maintenance.
ORGANISATION	Restructuration, théorie de la décision rationalisation administrative, développement du management.
VENTES	Organisation et formation de la Direction Commerciale, analyse de la distribution.
PRODUITS	Analyse de la valeur, développement du service, analyse de la clientèle
TRAVAIL	Développement personnel, intéressement, environnement, motivation ;
CAPITAL	Analyse des investissements, analyse de rentabilité, plan de trésorerie, budgets

3 - LA MESURE DE LA PRODUCTIVITE

Bien que l'impression de gain soit réelle pour le gestionnaire, elle ne lui suffit pas lorsqu'il faut apprécier les performances effectives. L'instrument de mesure généralement utilisé est le "ratio", rapport raisonnable entre 2 grandeurs qui varieront selon le type de productivité qu'il faut mesurer et le type de Compagnie ou le type de la

structure (direction technique régionale, atelier, équipe d'exploitation, de réseau, etc..) qui suit sa productivité qui applique le programme de productivité.

A titre d'exemple voici une batterie de ces ratios :

- ratio de la productivité de production = Capacité de production / Capacité totale de production
- ratio de productivité de l'organisation = Valeur ajoutée / Frais généraux
- ratio de productivité des ventes = Valeur ajoutée / Total des coûts de distribution
- ratio de productivité du produit = Marge brute / Coûts directs
- ratios de productivité du travail = Marge brute / Salaires directs chargés
- ratios de productivité du capital = Chiffre d'affaires / Actif

La page suivante présente des suivis de productivité rassemblés des ratios dans des tableaux de bord pour des responsables d'unités de traitement des eaux.

Bien entendu ces tableaux de bord, comme dans le cas de la conduite d'un véhicule sont à concevoir selon les objectifs recherchés, ils peuvent avoir des clignotants, des témoins de mauvais rendement, des enregistreurs de performance, etc..).

Dans la pratique chaque responsable quelque soit son niveau devrait être en charge de l'élaboration, du suivi, du contrôle, de l'interprétation de ces tableaux de bords.

On voit donc que la progression de l'information pour évaluer la productivité passe par le suivi de valeurs :

- soit absolues et qui sont des paramètres physiques (KWh, m3, heures de montage, etc..) ;
- soit relatives et qui deviennent indicateurs (ratio de productivité de la production : capacité de production / capacité totale de production ;
- ratio de productivité de la Direction régionale : Valeur ajoutée / Frais généraux ;
- ratio de productivité des ventes : factures acquittées / factures impayées ;
- ratio de productivité du travail : marge brute / Salaires directs chargés.

On conçoit donc nettement ici que seule l'analyse des situations locales permet :

- de préciser les concepts utilisés dans les ratios que l'on propose ;
- d'amener des réflexions sur l'optimisation des valeurs suivies à partir des références qui peuvent être les performances de l'année précédent, d'une autre équipe, etc.

4 - LES BENEFICES RETIRES DE LA MESURE DE LA PRODUCTIVITE EN GESTION DES RESSOURCES HUMAINES

Contrairement à ce qu'imagine la plupart des travailleurs confrontés pour la première fois à cette idée de tableaux de bord, la mesure de la productivité ne constitue pas un contrôle permanent de type "policié" mais bien plutôt le développement du bilan social de l'entreprise. Nous explicitons brièvement cette idée dans la mesure où elle sert d'argumentaire essentiel en faveur de la mesure de la productivité.

4.1 - Développement du potentiel humain de l'entreprise par :

- augmentation du niveau culturel ;
- augmentation de la capacité à agir, à affronter les difficultés, à proposer des changements ;
- augmentation de la créativité et de l'innovation

4.2 - Optimisation des résultats à court terme :

- amélioration de la qualité du produit (ex. % d'analyses hors norme dans le réseau sur le dernier mois) ;
- amélioration de la sécurité (ex. % de jours perdus par accident du travail) ;
- diminution du gaspillage (ex. économie de sulfate d'alumine par adéquation des doses injectées en fonction de la mesure de la turbidité) ;
- diminution de l'absentéisme (ex. % de jours perdus par absence injustifiée par la maladie)

4.3 - Gains économiques à long terme :

- amélioration des organisations (ex. tournées des releveurs pré programmées) ;
- des méthodes (ex. organisation des relevés et mise sur plan des attachements de travaux sur les réseaux) ;
- des équipements (ex. autonomie des équipes de branchements avec camions ateliers adaptés).

4.4 - Amélioration des conditions de travail :

- tant au niveau des conditions matérielles (environnement, sécurité) - qu'au niveau des conditions psychologiques (rapports entre les individus, les groupes de travail, rapports entre opérationnels et fonctionnels) ;

Une fois la productivité dégagée par le biais des ratios, il reste à établir le lien avec les bénéficiaires potentiels de ces gains et les acteurs fondamentaux. Les salariés doivent être les premiers à bénéficier d'une partie du gain auquel ils ont contribué par leur action et leur efficacité. Les modalités restent alors à définir :

- quelle part ?
- sous quelle forme ?

A titre de suggestion, une simulation est présentée dans ce document concernant les modalités de positionnement sur une matrice de responsabilités, une procédure d'octroi de primes basées sur les résultats évalués par suivi de ratios. Un

exemple concret est traité dans le positionnement sur une telle matrice de la population cible prioritaire - celle des Chefs de centre par exemple -. Bien entendu il s'agit là d'une simulation, tous les éléments de la méthodologie sont négociables selon le type de la Société, ses actionnaires, ses Agents, sa Direction générale. Cependant elle reste valable dans l'esprit pour l'ensemble des Sociétés de service. Outre ce bonus au plan bilan social, des retombées supplémentaires peuvent être recherchées, ainsi :

- l'accroissement des résultats ;
- accroissement de compétitivité ;
- l'amélioration de la qualité du service rendu aux abonnés ;
- l'amélioration des coûts de fabrication ;
- la constitution de réserves ;
- l'amélioration de l'environnement.

Des % de répartition sont alors établis par le Directeur général en concertation avec son staff : ce sera la règle du jeu du programme de productivité applicable aux gains, tant présents que futurs. On remarquera d'ailleurs que les critères utilisés pour distribuer les rémunérations liées à la productivité (voir simulation présentée) prennent en compte non seulement les chiffres d'affaire et les résultats de l'année n mais aussi celle de n-1. C'est à ce prix que nous assistons à une adhésion toujours grandissante des membres du personnel au programme de productivité initialisée ex nihilo.

5 - LES 8 PRINCIPES POUR FAIRE ECHOUER UN PROGRAMME DE PRODUCTIVITE !

- déléguer les responsabilités et ne pas faire participer les cadres ;
- avoir un faible soutien de la Direction générale ;
- fixer des objectifs flous, des ratios aux définitions imprécises ;
- dédaigner les sensibilisations à faire concernant la productivité ;
- s'occuper seulement de l'amélioration des paramètres physiques techniques ;
- s'impliquer aussi peu que possible au niveau de la Direction Siège ;
- ne penser qu'à court terme ;
- développer le "système D" et réinventer "le fil à couper le beurre".

Missions	Objectifs	Données & acteurs	Ratios
SUIVI DE LA GESTION TECHNIQUE & MISE EN PLACE PROGRESSIVE D'UNE "DEMARCHE QUALITE TOTALE"	amélioration qualité	analyses hors normes	Nbre analyses satisfaisantes/ Nbre analyses mensuelles
	amélioration quantité	comptages exploitation	Volume journalier produit/ Capacité de production/ jour
	amélioration productivité	comptages	Kwh/mois/m3 produits/mois
		comptages exploitation	m3 produits/mois/ Nbre d'agents
	amélioration service	cahiers d'exploitation récollections des travaux	Durée totale des coupures réseaux mois/ Durée prévue de distribution
	amélioration productivité fiabilité	récollections des travaux	Nbre de réparation mois/ nbre plombiers
		comptage magasin	Compteurs stocks/ compteurs placés/mois
amélioration planification	récollections des travaux sorties finance	retards réalisés/ délais contractuels engagements réalisés trimestriels/ engagements prévus	
SUIVI DE LA GESTION DES RESSOURCES HUMAINES & MISE EN PLACE PROGRESSIVE D'UNE "DEMARCHE QUALITE TOTALE"	bilan social	comptage mainse	jours d'absence mois/ nbre d'agents
	gestion ressources humaines	comptage mainse	Heures sup.mois/ Nbre d'agents
	gestion commerciale	comptage facturation	m3 vendus mois x (année n)/ m3 vendus mois x (année n-1)
SUIVI DES GESTIONS COMMERCIALE & FINANCIERE & MISE EN PLACE PROGRESSIVE D'UNE "DEMARCHE QUALITE TOTALE"	productivité	comptage encaissement	recettes cumulées du trimestre/ recettes prévues
	efficacité recouvrement	comptage contentieux	taux d'impayés trimestriels
	gestion trésorerie	comptage finance	dépenses mandatées du trimestre/ engagements prévus

CHRONOLOGIE DES INTERVENTIONS ET RESPONSABILITES	MISSION	Définie par la hiérarchie
	OBJECTIF	Recherché par les Cadres
	POINTS-CLES	Définis par Cadres et Maîtrise
	PARAMETRES	Relevés par l'Exécution
	INDICATEURS (CLIGNOTANTS)	Suivis par la Maîtrise idem
	RATIOS	Analysés par les Cadres
	ACTION	Tous . - Cadres = Procédures - Maîtrise = Consignes - Exécution = Actions spécialisées
<i>LOGIQUE DE LA DEMARCHE</i>		

MISSION	OBJECTIFS	POINTS-CLES	PARAMETRES	INDICATEURS OU RATIO (en %)
EXPLOITATION DU SERVICE DE PRODUCTION	Amélioration du rendement de l'Unité de production	- lavage filtres - l'adjonction des réactifs - fréquence et durée des pannes	Volume eau de lavage Taux de traitement Heures Maintenance préventive et Curative	% eau de lavage Realtions dosages / Turbidité sortie décanteurs Taux d'immobilisation Coût de non-fonctionnement
	Amélioration du rendement de la Qualité de la Production	-- Potabilité	Analyses hors normes Chlore résiduel en bout de réseau	Taux d'analyses hors normes et durée des écarts
EXPLOITATION DU SERVICE DE DISTRIBUTION	Amélioration du rendement du réseau de distribution	- les fuites - le comptage - la pression de distribution - les branchements	Volume produit Volume distribué comptabilisé Volume distribué estimé Total volume distribué Longueur du réseau	<u>Volume total distribué</u> Volume produit (Volume produit - <u>Volume distribué</u>) Longueur réseau * 365 (Indice de perte évalué en m ³ / J / km de réseau) <u>Branchements du mois</u> Nombre total abonnés
<i>CHRONOLOGIE DE LA DEMARCHE</i>				

6 - LA PRODUCTIVITE DE L'ORGANISATION

Une Compagnie des eaux est un système humain finalisé, c'est à dire un ensemble coordonné de centres d'activités (directions régionales, services eau, assainissement, etc.) poursuivant en commun des buts identiques (assurer le service aux abonnés).

La Productivité de l'organisation consiste à diriger, en les coordonnant, les efforts des agents, vers des objectifs communs en utilisant au mieux les ressources humaines et matérielles disponibles.

6.1 - Amélioration de la productivité de la Compagnie

La productivité de toute organisation repose sur le respect de 5 phases fondamentales dans le management d'une entreprise : Planifier, Organiser, Diriger, Coordonner, Contrôler.

PRINCIPE	ACTION	PRODUIT / REALISATION
1. Interrogation sur le devenir ou la stratégie à suivre	La prévision	Le Plan
2. Adéquation ou la cohérence	L'organisation	La coordination
3. L'ordre	La direction et/ou la Gestion	Le contrôle

Chacun de ces 3 principes de base s'enchaîne dans un processus d'action et débouche sur une stratégie :

6.2 - Améliorer la productivité c'est :

a - Prévoir et Planifier :

- objectifs stratégiques, commerciaux ;
- objectifs techniques, budgets et objectifs financiers.

C'est sous diverses formes que se présentent les produits de la planification (plans, budgets,..). ils servent à exprimer les plans en terme de résultats à atteindre.

b - Coordonner pour la cohérence et l'unité d'action

Coordonner implique la communication :

- pour s'assurer que les objectifs sont perçus et compris ;
- pour une adaptation rapide aux cas particuliers.

c - Contrôler pour juger, normaliser, planifier, intéresser.

Toute la partie opérationnelle repose sur le contrôle des connaissances. Il faut contrôler l'action pour mieux la connaître et la corriger le cas échéant. Dans le cadre de la planification, les responsables régionaux doivent s'engager à la fois :

- sur le volume des ressources, des moyens qu'ils veulent utiliser ;
- sur les ventes qu'ils comptent réaliser.

Ils doivent être capables, par des mesures appropriées, de définir des normes, c'est à dire des rapports entre ressources utilisées et productions réalisées.

Ces normes couvrent en fait tout le champ d'activité de la Compagnie d'eau :

- normes de productivité technique ;
- normes de productivité commerciale ;
- normes de productivité administratives et financières.

Elles doivent être réalistes et reposer sur des références éprouvées (dans d'autres Compagnies) ou sur l'expérience du passé (pour la même Compagnie).

C'est à cette condition seulement que l'engagement des responsables dans la phase de planification opérationnelle peut être crédible et pris en compte par la direction générale.

6.3 - Savoir planifier

La raison d'être de la planification c'est :

A - POURQUOI ? (EN QUOI CONSISTE-T-ELLE?)

- recherche des alternatives de développement ;
- prévoir, quantifier les devenirs ;
- programmer des activités avec objectifs et moyens.

B - COMMENT ? (DE QUOI S'AGIT-IL?)

- mettre en place un outil de réflexion stratégique (recherche de voies possibles) ;
- mettre en place un outil de décision (choix des objectifs) ;
- mettre en place un outil de programmation (engagement des moyens).

C - BUT (A QUOI SERT-ELLE?)

- faire face au progrès technologique et à l'évolution accélérée des marchés ;
- faire face à la rigidité des contraintes dues à un environnement social, au poids des charges fixes et des frais financiers. Pour améliorer la productivité chaque responsable (par exemple Directeur régional, directeur des exploitations, etc.) doit concevoir et ordonner son action dans le temps.

Ainsi les buts et les moyens de la planification seront différents selon l'horizon considéré.

HORIZONS DOMAINES	ORIENTATIONS SUR VOIES DE DEVELOPPEMENT	PLANIFICATION STRATEGIQUE	PLANIFICATION Opérationnelle
VENTES	Marché des biens et des services	Famille de services Volumes globaux	Produit individuel Quantité/Produit
APPROVISIONNE MENTS	Marché matières premières	Différentes matières Volumes globaux	Volume stock par matière
PRODUCTION	Installation	Plans d'investissement	Processus de fabrication Planification des Ressources à engage Plans de Production
PERSONNEL	Potentiel humain	Besoins de personnel par unité	Plan de personnel
FINANCES	Potentiel Financier	Modalités de financement	Trésorerie
RESULTATS	Perspectives	ROI	Compte d'exploitation

7 - APPLICATION DE LA METHODOLOGIE DE LA PRODUCTIVITE A L'ACTION COMMERCIALE D'UNE COMPAGNIE DES EAUX

7.1 - La prévision des ventes

La prévision des ventes (c'est à dire pour l'année n+1) déclenche tout le processus de la planification opérationnelle. Elle est confiée à la Direction commerciale qui assigne des objectifs de vente

- par canal de distribution (eaux urbaines, industrielles)
- par région

7.2 - L'évaluation :

Par ailleurs sont demandées des efforts et des performances en amélioration sur les exercices précédents, aussi bien en volume (quantités vendues et encaissées) qu'en qualité (taux d'impayés)

La prévision des ventes consacre sous forme d'objectif quantifié la politique commerciale de l'entreprise, à ce titre elle doit prendre en compte à la fois :

- les performances passées les plus récentes ;
- les éléments dynamiques et novateurs de la politique commerciale décidée pour le court terme (développement d'une politique de comptage par exemple en lieu et place du forfait).

8 - SAVOIR ORGANISER

8.1 - Les niveaux hiérarchiques

Quel que soit la Compagnie la productivité de l'organisation s'obtient par la mise en place :

- d'une structure adaptée à la stratégie de l'entreprise ;
- d'une décentralisation plus ou moins complète des responsabilités et d'une délégation de pouvoirs.

Les organigrammes sont très révélateurs des comportements à ce sujet. Les organigrammes de type simple (PME) sont

traditionnels dans des Compagnies issues de la mouvance du secteur public.

La structure est centralisée autour du Directeur général. Ce mode de structure entraîne fréquemment une certaine lourdeur et une certaine rigidité.

De plus elle est souvent un frein à l'expansion de l'entreprise

Le personnel d'encadrement qui, en temps normal, doit être aussi réduit que possible, est pléthorique. Les frais de fonctionnels sont alors importants et les délais de transmission de l'information très longs.

Le coefficient d'encadrement = Personnel du dernier niveau / reste du personnel de l'entreprise, donne une idée du sur-encadrement. En principe, on admet que le nombre de niveaux hiérarchiques ne devraient pas dépasser 7 et le coefficient d'encadrement devrait se situer entre 5 et 6.

En fait on constate, avec la complexité croissante des travaux et des structures décentralisées, une tendance à l'augmentation du nombre des niveaux hiérarchiques et à la diminution du coefficient d'encadrement.

8.2 - Rôle des services fonctionnels

Jusqu'à une certaine taille, les titulaires des fonctions traditionnelles de Direction générale et centrales peuvent assurer la prise en charge de l'ensemble des problèmes liés à leur mission principale :

- la gestion des ressources humaines: recrutement, formation ;
- le contrôle des performances ;
- le traitement de l'information ;

qui font partie intégrante des tâches courantes de ces titulaires.

Au delà d'une certaine taille, avec la complexité croissante des procédures, des progrès technologiques, de nouvelles fonctions prennent place dans la structure à égalité de statut avec les fonctions principales.

La rigidité de la structure classique ne répond plus aux problèmes d'organisation posés. La multiplication des centres d'activités et des centres de profit ne permet plus une cohérence et surtout une dynamique suffisante autour des fonctions traditionnelles de production et de vente.

Améliorer la productivité, c'est choisir une structure adaptée à la stratégie de l'entreprise.

8.3 - La structure départementalisée

L'entreprise est découpée en départements dans lesquels un groupe de direction possède les pouvoirs et les responsabilités d'atteindre les objectifs spécifiques.

Dans les Compagnies des eaux, la départementalisation peut s'établir par fonction (direction commerciale, technique, etc.) ou par produit (eau, assainissement) ou par secteur (directions régionales).

8.4 - Décentralisation et départementalisation

On obtient ainsi théoriquement des structures plus souples et mieux adaptées aux conditions de l'environnement.

8.4.1 - Décentraliser :

Le fait de diviser le travail opérationnel est appelé "départementalisation"; le fait de diviser le travail de direction et de gestion donc fonctionnel est appelé "décentralisation".

La décentralisation est une façon de répartir le travail de management (planification, organisation, direction et contrôle) entre les divers niveaux d'exécution en descendant le plus bas possible dans l'échelle hiérarchique.

On distingue dans les Compagnies d'eau 2 types de décentralisation :

- la décentralisation fédérative :

Il s'agit d'organiser les activités en unités autonomes possédant chacune son marché, son "produit" (eau & assainissement)

- la décentralisation fonctionnelle :

Elle établit des groupements distincts avec le maximum de responsabilités pour chaque niveau important fonctionnant de manière autonome

Décentraliser correspond à une meilleure productivité de l'organisation :

- en allégeant les circuits de décision ;
- en donnant plus de flexibilité aux structures ;
- en laissant une large part à l'initiative, à la formation ;
- en développant les modes d'adaptation à l'environnement.

8.4.2 - Déléguer:

C'est assigner à chaque individu une part du travail total avec le pouvoir nécessaire pour l'accomplir et de déterminer son degré de dépendance envers son supérieur immédiat.

Les tâches peuvent être décrites de 2 façons :

- en termes de fonction à remplir ;
- en termes d'objectifs à atteindre.

Pour réaliser une tâche l'individu doit s'assurer que les activités déléguées ont été menées à bien.

Il doit évaluer et contrôler le délégataire tout en lui laissant le maximum de liberté et d'initiative.

Déléguer c'est donc admettre qu'une personne puisse parvenir à un résultat donné par des méthodes qui lui sont propres.

9 - SAVOIR CONTROLER

Le processus de management ne peut être complet que si les activités qu'il a mises en oeuvre sont contrôlées. Sans l'étape de contrôle, la planification, l'organisation et la direction ne peuvent s'améliorer.

Cette étape permet de mesurer et d'évaluer le progrès qui se fait dans toutes les activités : c'est la mesure de la productivité de la Compagnie des eaux

9.1 - Le processus de contrôle

Il comprend 3 étapes successives :

- la mesure des performances;
- la comparaison des résultats et des standards;
- la correction éventuelle .

Il a pour but de comparer les résultats aux objectifs annoncés . Pour être pleinement efficace, la mesure de la performance doit répondre à plusieurs conditions .

9.1.1. Conditions de fonctionnement d'un système d'évaluation

La mesure des performances doit être à la fois :

- utile : à quoi bon dépenser temps et énergie, mesurer des tâches sans influence appréciable sur les résultats de l'entreprise ? (ex. faire des analyses journalières sur des paramètres jamais pris en compte dans la modification des traitements)
- complète : l'absence de quelques éléments peut fausser une analyse et l'interprétation d'une mesure . Il faut souvent introduire les éléments qualitatifs dans l'évaluation des performances . A quoi bon s'extasier sur un chiffre de production en expansion si les fuites sur le réseau augmentent chaque année un peu plus.
- fréquente : il importe avant tout, dans l'évaluation d'une performance, d'éliminer les parasites, les effets pervers de tels ou tels incidents anormaux . Il importe aussi de saisir une tendance profonde plus que des à-coups . Pour être significative, l'analyse doit être comparative grâce à sa fréquence . (ex. Le calcul des taux d'impayés se fera régulièrement, aux mêmes périodes de façon à prendre en compte les dates de facturation.
- claire : la mesure doit emprunter - autant que possible - le langage de l'action et des acteurs concernés . Ainsi les indicateurs de productivité utiliseront les vocables des techniciens lorsqu'ils concerneront la production.
- objective : les acteurs doivent se sentir concernés non seulement par l'interprétation des performances mais par le système et les critères de mesure utilisés . Il faut qu'ils puissent s'exprimer lorsqu'il s'agit de préciser les éléments qui constituent la mesure de leur performance .

La mesure des performances ne peut donc être mise en place qu'après certaine étude préalable destinée à préciser les circuits, la nature des tâches, et après des sessions d'entraînement. Cette mise en place suppose notamment :

- une analyse des circuits d'approvisionnements,
- une étude des procédés de traitement ou d'épuration auxquels correspondent des unités d'activité spécifiques et par conséquent des mesures de productivité appropriées .

Mesurer l'efficacité des ressources utilisées en termes techniques, c'est la méthode qui convient au langage du contremaître ou du chef de quart, pour dialoguer avec son équipe .

Mais de telles mesures techniques ne suffisent pas.

Il faut faire l'analyse des coûts.

9.1.2 - Prolonger la mesure technique de la productivité vers l'analyse des frais

Il s'agit :

- d'appréhender le coût monétaire des ressources utilisées : les frais d'exploitation ;
- de saisir toutes les dépenses qui viennent grever le coût d'une activité et qui ne peuvent utilement être analysées en unités physiques rapportées à la production (fournitures diverses, chauffage des locaux...)
- d'établir le prix de revient ou le coût final d'une activité nécessaire à la définition des coûts de fabrication.
- de mesurer l'incidence financière des dysfonctionnement ou des défaillances de gestion

Cette valorisation en coûts des ressources utilisées, suppose le recours à des techniques spéciales d'enregistrement des données : les centres de frais . Elle nécessite donc la mise en place d'une comptabilité analytique par unité de production. Grâce à l'analyse préalable des activités, des circuits, des processus de production et de distribution, grâce aussi à l'organigramme et au découpage des responsabilités, des centres de frais sont identifiés et servent de centres d'accueils dans lesquels sont enregistrés et analysés les frais d'exploitation

Chaque centre de frais doit se définir :

- par une activité mesurable avec une unité physique précise et valable pour tout le centre ;
- par la responsabilité d'un cadre;
- par une production également mesurable.

Tout ceci est compilé dans la description des postes et positionné sur la matrice des responsabilités (voir plus loin)

Après une analyse minutieuse, tous les frais d'exploitation incombant à un centre lui sont imputés et constituent le

"budget" du centre. Le budget est confronté périodiquement avec les dépenses réellement engagées. Cette confrontation dégage des écarts qui font l'objet d'une étude constructive entre les responsables, c'est à dire entre le chef du centre et son supérieur hiérarchique.

La même démarche est bien entendu valable pour l'examen des paramètres physiques et des ratios correspondants. La mesure des performances ou système de contrôle constitue bien un des éléments essentiels dans la recherche d'une meilleure productivité de l'organisation puisque :

- dans un premier temps, grâce à des mesures exprimées en termes techniques, la responsable du centre a déjà pu juger de l'efficacité avec laquelle il utilise la ou les principales ressources mises à sa disposition;
- dans un deuxième temps, grâce à l'analyse de son centre de frais et à la critique des "écarts", il peut embrasser l'ensemble des ressources utilisées et les coûts monétaires engagés. Il peut ainsi évaluer les "boni" financiers que son centre de frais apporte à l'entreprise. Ces "boni", en effet, se quantifient aisément par la comparaison des frais réels par rapport aux budgets. Quant au supérieur hiérarchique, il peut ainsi rendre plus objectif son dialogue avec le responsable du centre et émettre conseils et sanctions de manière à corriger la gestion du centre.

9.2 - Contrôle et processus de management

L'intégration harmonieuse du contrôle dans le processus de management est encore plus importante pour l'entreprise que le contrôle lui-même. Le tableau suivant présente les points clés, les problèmes et le contrôle des phases du processus de management. Cependant la délégation dans une Compagnie complique le problème du contrôle en entraînant souvent une perte du contrôle sur les subordonnés. D'ailleurs les dirigeants sont disposés à déléguer leurs responsabilités au maximum si cela n'entraîne aucune perte de contrôle. Le manager qui établit divers degrés de décentralisation devra appliquer des contrôles différents selon ces degrés (voir annexe). Le tableau suivant précise la nature des contrôles à effectuer. Mais comment assurer le fonctionnement harmonieux de ce système, preuve d'une bonne productivité de la Compagnie? C'est toujours, la plupart du temps, le même groupe d'agents qui est chargé de mettre en place et de faire appliquer le système de mesure et le contrôle des performances. Il s'agit des conseillers ou contrôleurs de gestion. Ce sont eux qui complètent, exploitent et interprètent les différents éléments d'information fournis par la comptabilité analytique d'exploitation (CAE). Celle-ci a pour fonction d'informer régulièrement sur la ventilation des dépenses et des revenus par secteur d'activité (centre de frais, centre de profit). Par ailleurs leur rôle principal se situe également au niveau du conseil et de l'animation des responsables hiérarchiques. Sans la participation des contremaîtres, des chefs d'équipe, des chefs de quart, des chefs comptables..., un système de mesure et de contrôle des performances ne peut être opérationnel.

PLANIFICATION	ORGANISATION	DIRECTION	CONTROLE
Objectifs	Structure	Développement et Croissance	Ratios
Ressources humaines	Délégation	Communications	Qualité
Ressources matérielles	Décentralisation	Satisfaction des besoins	Quantité
Prévisions	Allocation des tâches	Intégration et participation du personnel	Temps
Politiques	Flexibilité	Capacité de management des subordonnés	Coût

DEGRE DE DECENTRALISATION	NATURE DU CONTROLE	
	TYPES DE STANDARD	FREQUENCE DE LA MESURE
Centralisation de toutes les décisions	<ul style="list-style-type: none"> - tâches à accomplir - objectifs de quantités à atteindre - évaluation de chaque travailleur 	<ul style="list-style-type: none"> - continue pour les méthodes - quotidiennes pour les objectifs
Possibilité d'action sur les politiques, les programmes, les méthodes	<ul style="list-style-type: none"> - ratios, taux d'efficacité - objectifs à atteindre - résultat à chaque niveau d'opération 	<ul style="list-style-type: none"> - mensuelle pour les ratios et autres données - quotidienne ou hebdomadaire pour les objectifs
Décentralisation par centre de profit	<ul style="list-style-type: none"> - points clés de contrôle signalant le danger - résultat d'ensemble 	<ul style="list-style-type: none"> - mensuelle pour les points clés très importants - trimestrielle ou annuelle pour les autres résultats

10 - MESURER LA PRODUCTIVITE POSE UN PROBLEME D'AGREGATION

Le calcul d'une productivité globale des facteurs, englobant les différentes productivités partielles de chaque facteur de production, pose un problème d'agrégation. En effet, comment intégrer des heures de travail, des heures d'utilisation des installations, des quantités de matières premières achetées, etc. dans un même critère représentatif de l'ensemble des facteurs de production utilisés. Comme la production et les facteurs sont hétérogènes (produits différents, capital, travail), il est possible de les additionner tels quels. Il est donc nécessaire de passer par les coûts, de construire un système de pondération qui permette de les agréger pour en mesurer le volume global. De plus, en matière de productivité de la production, il faut rationaliser la gestion de l'entreprise : minimiser les charges en ayant un coût de revient unitaire du produit le plus faible possible.

Dans la pratique, ce système de pondération se décompose en 3 étapes :

- le choix d'une unité d'œuvre ;
- le choix d'une unité monétaire ;
- le choix d'une période de référence.

10.1 - Choix d'une unité d'oeuvre

Il s'agit de définir les ratios significatifs, c'est à dire établir l'unité d'œuvre choisie pour l'activité et le moyen utilisé correspondant. Prenons comme exemple le cas des Compagnies des Eaux assurant production et distribution.

Volumes	Unités d'oeuvre
ACTIVITES PRODUIT	<ul style="list-style-type: none"> - cubage distribué - cubage facturé - cubage encaissé - nombre de branchements réalisés - etc.,
MOYENS : FACTEURS DE PRODUCTION	<ul style="list-style-type: none"> - effectif moyen production - effectif moyen distribution - effectif moyen quittancement - salaires production.. énergie consommée production, - tonnage de chlore utilisé, - etc.

Dans de nombreux cas, la mesure directe des volumes produits, distribués, facturés, encaissés sera possible. En effet ces différentes unités d'oeuvre (ou ratios) seront parfaitement définies pour chaque secteur observé et figureront dans les tableaux de bord de la gestion de production ; ils pourront fonctionner en alerte, comme des "clignotants" observés périodiquement :

- suivi de la production en quantités / Jour
- suivi du budget matières ;
- suivi du personnel de production, de distribution, etc..
- suivi des différents frais de fabrication (eau de lavage filtre, électricité, réactifs, maintenance, etc.)

Après avoir quantifié les volumes - activités et moyens - grâce aux unités d'oeuvre, il faut valoriser ces volumes par un système de prix.

10.2 - Choix d'un système de prix

Pour la Compagnie d'eau le meilleur critère est le coût unitaire de revient du "produit" (m³ produit, distribué, facturé, encaissé, coût du branchement réalisé, etc..). Le gestionnaire peut ainsi comparer 2 unités de production-distribution à condition que celles-ci soient soumises aux mêmes contraintes. Il peut aussi comparer les performances d'une même unité sur des périodes différentes.

Déterminer un coût unitaire de revient du produit ou par "produit" est le rôle de la comptabilité analytique. Cependant pour mesurer la productivité d'une période à l'autre, il est nécessaire d'analyser l'évolution de ce coût unitaire de revient. En effet, ce coût tient compte de l'adaptation de l'entreprise au choix des facteurs de production les moins chers à qualité égale du produit ou du service rendu.

10.3 - Choix d'une période de référence

La mesure des gains de productivité se fait en comparant la situation sur 2 périodes successives

a) l'année comme période de référence:

Ce choix est utilisé lorsque les indicateurs utilisés sont basés sur l'examen des comptes de l'entreprise établis sur des bases annuelles.

Mais s'ils sont usuellement reportés, ce ne sont pas les plus utiles pour l'amélioration des productivités. En effet ils sont disponibles alors que les facteurs les ayant provoqués sont parfois modifiés. De ce fait il n'est pas toujours possible, ni pédagogique de faire saisir en quoi les paramètres ayant entraîné les variations, sont utilisables pour maîtriser les relations de cause à effet.

De même le temps banalise et moyenne les performances (une turbidité résiduelle sur l'année calée à une valeur moyenne en qualité indique mal les moments délicats où il eut fallu intervenir pour remédier aux défaillances qui ont entraîné, par exemple, les fortes turbidités ayant fait baisser la qualité moyenne sur l'année.

b) le cycle d'activité comme période de référence

La durée d'un an peut s'avérer trop longue lorsque les informations doivent être interprétées et prise en compte en temps quasi réel.

L'exemple des impayés est là pour illustrer cela. La recherche de la diminution du taux d'impayés générateur d'un plus en terme de gestion financière doit être suivi après chaque période de relevé.

c) la définition des périodes de référence appropriée

La période idéale d'analyse doit être fixée en fonction des objectifs, la plus longue possible pour ne pas entraîner une bureaucratie inutile, la plus brève selon les choix de gestion et les objectifs assignés aux unités.

Par ailleurs, il y a intérêt à appliquer l'analyse sur une succession de périodes pour maîtriser l'évolution de la productivité.

11 - QUELS OUTILS POUR AMELIORER LA PRODUCTIVITE EN PRODUCTION ?

Une amélioration de la productivité correspond :

- à une augmentation des quantités produites pour un effectif restant constant ;
- à une diminution des facteurs de production mis en oeuvre pour réaliser une activité donnée (facturation des consommations par exemple avec évaluation des consommations intermédiaires des consommations entre 2 relevés) ;
- à une augmentation de production pour un facteur de production donné (l'amélioration de la fourniture en eau par diminution des fuites).

Dans tous les cas, l'amélioration de la productivité ne correspond pas à l'accélération des cadences, à l'inverse, elle s'accommode mal de la non motivation ou de l'absentéisme des Agents.

Elle est généralement obtenue :

- sur le plan humain, par une politique d'intéressement aux résultats;
- sur le plan technique ;
- par la mise en place d'outils de gestion ;
- par le contrôle des coûts de revient.

11.1 - Outils de la gestion de production

L'amélioration de la productivité de la production consiste tout d'abord à rechercher la combinaison la plus efficace possible entre ces facteurs de production :

- travail : main-d'oeuvre ;
- capital: équipements ;
- matières: matières premières, maintenance.

D'autre part, la gestion de la production est dominée par 3 objectifs essentiels :

- garantir la qualité du service (potabilité de l'eau bactériologiquement pure, permanence de la distribution, pression suffisante, satisfaction de la demande de raccordement)
- produire en fonction de la demande,
- produire au meilleur coût.

Il existe toute une batterie de méthodes spécifiques à chaque fonction de la production pour aider à décider, suivre, contrôler le processus de production et ainsi améliorer la productivité de la Compagnie (mesure des temps de tâches, planning de production,)

11.2 Contrôle des coûts de revient

Bien que largement fondée sur des données physiques (quantités de matières, unités distribuées, facturées, heures de main-d'oeuvre), la gestion de production ne peut pas échapper à une unité de valeur essentielle : la monnaie. La gestion de la production se préoccupe de la valeur :

- pour sa propre cohérence,
- pour s'intégrer dans l'ensemble de la gestion de l'entreprise. En effet la gestion technique de la production a d'importantes conséquences financières:
- à court terme au niveau de la trésorerie ;
- à long terme au niveau des investissements.

L'aboutissement logique de la gestion technique de la production est donc la comptabilité analytique de production (CAP) qui doit être assumée par les techniciens eux-mêmes sur leurs unités et non pas par les financiers à l'issue de la publication des bilans annuels.

Le suivi des coûts de revient concerne aussi bien :

- les charges directes de production (matières et main d'oeuvre directe)
- les charges indirectes imputées aux unités après répartition en fonction des unités d'oeuvre ou par l'intermédiaire des clés de répartition.

12 - INDICATEURS CLES DE PRODUCTIVITE EN PRODUCTION

Nous avons vu précédemment toute une série de budget concernant :

- d'une part la production puis la distribution sur les différents sites d'une direction régionale par exemple;
- d'autre part, l'utilisation des moyens de production :
main d'oeuvre
matières,
équipements

correspondant à cette fabrication.

Tous ces tableaux de bord regroupent les informations nécessaires au suivi de chaque facteur de production.

Mais il est nécessaire, pour avoir une vision globale, de regrouper toutes ces informations dans un tableau de synthèse qui devient alors le tableau de bord d'un cadre en charge de la poursuite des objectifs affichés.

Ce tableau va permettre ainsi de porter un jugement sur 3 critères fondamentaux :

- la production et la distribution en quantités ;
- les temps de fabrication et de service ;
- le coût de fabrication et de distribution.

L'analyse peut porter tout d'abord sur chaque production (usine ou réseau) puis peut être faite pour la production totale, c'est à dire au niveau Centre de gestion.

Pour accroître la productivité en production, il faut combiner de la manière la plus efficace possible plusieurs facteurs de production pour la fabrication d'une ou plusieurs usines ou réseaux. L'efficacité de cette combinaison peut se mesurer par une batterie d'indicateurs clés sous forme de ratios :

- en fonction de la production ;
- en fonction de la capacité de production.

Or il y a souvent confusion dans l'esprit des dirigeants entre le taux d'utilisation de la capacité et le niveau de la production. A la limite, le niveau de production pourrait être nul avec un taux d'utilisation de la capacité maximum si la productivité était nulle. Des taux de fuites de plusieurs dizaines de % entre dans cette catégorie.

Périodes Critères	Mois n-3	Mois n-2	Variation n-3/n-2	Mois n-1	Variation n-2/n-1	Mois	Variation n/n-1
Production prévue							
Production réelle							
Temps de production prévu							
Temps de production réel							
Coût de production prévu							
Coût de production réel							

INDICATEURS D'UTILISATIONS DES MOYENS EN FONCTION D'UNE PRODUCTION

Le contrôle des moyens sera recherché par une relation mesurable entre ces moyens et le nombre d'unités produites ou vendues (m^3 , branchements, etc.). On a ainsi :

12.1 - les ratios du type Activités / Moyens :

- Moyens par quantités produites ou vendues
 - Consommation de matières / Production
 - Heures productives / Production (ou Distribution)
- Quantités produites ou vendues par quantités de moyens
 - Quantités produites / Effectif
 - Quantités produites / Heures productives
 - Valeur ajoutée / Effectif
 - Chiffre d'affaires / Investissement

La productivité se définit ainsi à tous les stades des responsabilités de l'entreprise.

Il s'agit de contrôler le développement sous ses différentes formes par rapport aux moyens mis en oeuvre.

Ceci permet également de mettre en évidence :

- soit une sous-activité
- soit au contraire une saturation.

12.2 - les Indicateurs d'utilisation des moyens en fonction de la capacité de production.

Ils rejoignent le taux d'utilisation de la capacité. Ils consistent à mesurer la part de capacité disponible effectivement utilisée :

- heures productives / Heures de présence
- heures de distribution réalisées / heures distribution possible
 - Degré d'emploi du personnel = heures productives / Heures payées
 - Taux d'emploi des équipements = production réelle / Capacité de production.

12.3 - L'analyse des écarts de la fonction de production

Les principaux écarts de la fonction de production sont :

- l'écart matières,
- l'écart sur budget,
- l'écart d'activité,
- l'écart de rendement.

12.3.1 - L'écart "matières"

L'écart global pour chaque "matière" est égal à :

$$E + (Q_p * P_p) - (Q_r * P_r)$$

où Q_p = quantités prévues

Q_r = quantités réelles

P_p = prix prévu

P_r = prix réel

Cet écart global E, se décompose en 2 écarts :

Ecart sur les quantités
 $E/Q + (Q_p - Q_r) * P_r$

Ecart sur les prix
 $E/P = (P_p - P_r) * Q_r$

Cet écart met en cause directement. Cet écart reflète les relations de les notions de rendement et de l'entreprise avec son environnement productivité puisqu'il est (fournisseurs, abonnés..) constitué par la différence entre les quantités prévues et les quantités réelles, différence valorisée au prix prévu.

12.3.2 - L'écart sur budget

Cet écart concerne le budget flexible adapté à l'activité comparée aux frais réels. C'est à dire que l'on ne fait agir l'activité réelle que sur les frais variables.

Ecart sur budget = frais fixes + frais variables - dépenses totales réelles
 où les frais variables = nombres d'heures * coût unitaire prévu à l'heure

12.3.3 - L'écart d'activité

Cet écart est dû:

- soit à une sous-activité (sous-absorption des frais fixes)
- soit à une sur-activité

Ecart d'activité = (activité réelle - activité prévue) * frais fixes / activité réelle.

12.3.3 - L'écart de rendement

Il s'agit de comparer la production réelle à la production prévue compte tenu de l'activité.

Ecart de rendement = quantités produites réelles - production prévue) * coût unitaire prévu des quantités produites.

L'écart d'activité et l'écart de rendement sont le plus souvent regroupés en un seul écart appelé écart de main d'oeuvre.

Il est également possible de considérer d'autres critères relatifs à la production :

- le temps d'activité (ou de présence)
- le temps d'emploi ou de bon fonctionnement
- le temps de marche ou de production

A partir de ces trois temps essentiels, on définit 2 taux :

- le taux normal d'emploi : $T_e = \text{temps d'emploi normal} / \text{Temps d'activité normal}$
- le taux normal rendement : $T_r = \text{temps de marche normal} / \text{temps d'emploi normal}$

Ensuite il est alors possible de mesurer les écarts techniques :

- écart d'activités;
- écart de productivité : écart d'emploi, écart de rendement (écart de marche, écart de cadence)

12.3.4 - L'écart d'activité

Il se mesure par l'intermédiaire de l'indice d'activité :

Indice d'activité = temps d'activité réelle / temps d'activité normal.

Pour un écart d'activité minimum, il faut que ce rapport s'approche le plus possible de 1

12.3.5 - L'écart de productivité :

Il se mesure par l'intermédiaire de l'indice de productivité :

Indice de productivité = temps de marche réel / temps de marche normal. Mais le temps de marche normal est rapporté au temps d'emploi réel, d'où :

Indice de productivité = temps de marche réel / temps d'activité réelle * $T_e * T_r$

12.3.6 - L'écart d'emploi

Il se mesure par l'intermédiaire de l'indice d'emploi

Indice d'emploi = temps d'emploi réel / temps d'activité réelle * T_e

12.3.7 - L'écart de rendement :

Il se mesure par l'intermédiaire de l'indice de rendement :

Indice de rendement = temps de marche réel/temps d'activité réelle* T_r

	Activité normale	Activité réelle
temps d'activité	150h	160h
temps d'emploi	135h	130h
temps de marche	120h	110h

- taux normal d'emploi $T_e = 135 / 150 = 0,9$
- taux normal de rendement $T_r = 120 / 135 = 0,88$
- indice d'activité $I_a = 160 / 150 = 1,06$
 (activité réelle > activité normale)

Indice de productivité $I_p = 110 / 160 * 0,9 * 0,88 = 0,86$

Indice d'emploi	Indice de rendement
<p>$130 / 160 * 0,9 = 0,9$ Cet écart est défavorable dans la mesure où l'indice est inférieur à 1, c'est à dire que pour un temps d'activité réelle de 160h, le temps d'emploi aurait dû être de 144 heures . $160 * Te = 160 * 0,9 = 144$ h Cet écart défavorable peut traduire un mauvais équilibrage des charges de travail qui entraîne des pertes de temps, ou peut- être un certain turnover du personnel de production</p>	<p>$110 / 160 * 0,88 = 0,78$ cet écart est également défavorable Le temps réel de marche aurait dû être de $160 * 0,88 = 140,8$h Les causes de cet écart relèvent essentiellement de la qualité, de la technicité des équipements .</p>

OBJECTIFS	POINTS CLES	INDICATEURS
<p>Atteindre les quantités produites et distribuées programmées</p>	<p>Capacité de production</p> <p>Effectifs</p> <p>Approvisionnements</p>	<p>Production réelle/ Production prévue</p> <p>Eff. année n- eff année n-1/ eff.année n-1</p> <p>rupture mois n/ rupture mois n-1</p>
<p>Obtenir un niveau de qualité optimal</p>	<p>Qualification professionnelle</p> <p>Etat des machines</p>	<p>Définition du plan de formation annuel</p> <p>Rebuts/ Quantité produite</p> <p>Heures de pannes/ heures de marche</p>
<p>Améliorer les conditions de travail</p>	<p>Ambiance de travail</p> <p>Sécurité</p>	<p>Jours d'absence/ jours ouvrables*effectifs</p> <p>taux de fréquence</p> <p>taux de gravité</p>
<p>Limiter les coûts de fabrication</p>	<p>Respect des normes de production</p> <p>Limiter les consommations</p> <p>Améliorer la fiabilité et la maintenance</p> <p>Limiter les stocks</p> <p>Diminuer les en cours</p>	<p>temps passé/ temps prévus</p> <p>Matières consommées/ Quantités produites</p> <p>Temps de marche/ Temps de présence</p> <p>Taux de rotation des stocks</p> <p>Valeurs en cours/ Valeur annuelle de production</p>

13 - SYNTHESE GENERALE DES PARAMETRES POUR LA RECHERCHE D'OPTIMALISATION DE LA PRODUCTIVITE

En conclusion on peut dire que la Productivité est souvent opposée aux facteurs d'emploi et de flexibilité, parfois on l'apparente à la bureaucratie. En effet, sa mesure nécessite le relevé de données liées au travail et aux performances, et les gains de productivité se traduisent généralement par une diminution de la création d'emplois. L'amélioration de la productivité fera que l'activité pourra progresser à effectif constant. Le point essentiel est que la productivité pèse directement sur les coûts de fabrication et de distribution et par conséquent sur les résultats de l'entreprise.

PRODUCTIVITE DU TRAVAIL

On peut se demander comment la productivité peut être améliorée ? Comment améliorer la capacité de productivité des salariés ? Il peut s'agir :

- soit de suggestions d'améliorations;
- soit d'un moindre absentéisme;
- soit d'une amélioration des qualifications;
- soit d'un climat de travail plus favorable, etc..

13.1 - Quels sont les champs à privilégier ?

Beaucoup de responsables de Services d'eau ont mis l'accent sur :

- les économies de matière, de produits, de gaspillage d'énergie. Il faut redonner à l'agent la possibilité d'être le paysan économe et non le citadin qui veut toujours du neuf, qui jette et ne répare plus.
- la qualité des services qui apparaît comme une voie plus complexe, mais essentielle au niveau de la compétitivité et de l'image de marque de l'entreprise. Elle répond à une démarche toujours croissante de l'utilisateur.
- les propositions d'améliorations proposées par la direction (surtout les investissements technologiques)

A l'exclusion des coûts de main d'oeuvre, tous les collaborateurs ont le pouvoir de diminuer les coûts de production, selon la façon dont ils prennent les produits, les fournitures, l'énergie, évitent les casses, les pertes de produits, diminuent les coûts d'entretien. Le changement des hommes conduit à des gains de productivité : ce sont les comportements positifs de production. Le personnel peut agir sur la quantité, la qualité produite et le temps de fonctionnement. L'incidence est d'autant plus forte que les équipements sont lourds. L'origine des pannes n'est pas seulement technique, elle dépend des connaissances et du savoir-faire des équipes d'entretien, mais aussi de leur motivation et de la collaboration entre fournisseurs et équipe technique. Le rendement des équipements dépend en grande partie des hommes, de leur compétence, de leur sensibilisation aux résultats, de leur intérêt au dit résultat.

On verra plus loin une suggestion d'intéressement aux résultats dans une Compagnie d'eau.

13.2 - Quelles contreparties pour les salariés ?

Les gains de productivité imputables aux changements de comportement des salariés représentent pour eux un coût physique et mental.

Les contreparties peuvent être de différents ordres. En tête viennent les contreparties financières et celles qui touchent à l'ensemble "formation-qualification-promotion-rémunération"

13.3 - Favoriser le climat de Productivité

Examiner, rajeunir le système de valeurs de l'entreprise consiste aussi à mettre en oeuvre une politique sociale d'amélioration des conditions de travail, de motivation du personnel

13.4 - Comment mesurer la productivité du travail ?

Trois problèmes particuliers sont à examiner :

- celui de la quantité de travail mis en oeuvre,
- celui de la qualité de ce travail,
- celui de la qualification et de la formation de ces personnels

Tout cela passe par une analyse soignée des postes, non pas seulement en fonction de l'existant mais aussi en fonction de ce qui serait souhaitable compte tenu de l'originalité de l'entreprise et de son environnement.

Les indicateurs de productivité, les tableaux de bord doivent alors permettre de suivre et d'évaluer l'activité de chacun, quelque soit son poste, sans exception ni pour les cadres, ni pour la direction.

La mesure de l'effet qualité doit aussi être une composante de cette évaluation.

Pour tenir compte de cet "effet qualité" il faut classer le personnel par catégories de qualification (exécution, maîtrise, cadres) en fonction de son poste réel et non des diplômes obtenus.

La matrice présentée plus loin illustre les résultats pour une Compagnie des eaux. Les variations de qualification doivent se traduire par des positionnements différents, ceux-ci ne peuvent être que partiellement influencés par l'ancienneté. Nous ne détaillerons pas plus avant ici le détail des tableaux de bord utilisables qui nécessitent une étude approfondie de la situation de l'entreprise.

Nous préférons illustrer la méthodologie par un développement qui suggère une possibilité réelle d'amélioration de la productivité par le positionnement rigoureux des agents en fonction des postes occupés et un intéressement aux gains de productivité.

LA GESTION MUNICIPALE DES SERVICES D'EAU ENTRE POLITIQUE ET OBJECTIF D'ENTREPRISE

Casteignau, G.

Université de Limoges

Résumé

Le thème du management public appliqué aux collectivités locales est progressivement en train de changer et de gagner ses lettres de noblesse après avoir été jugé secondaire pendant de nombreuses années. Cependant le consensus actuel ne doit pas faire oublier les difficultés à introduire ce genre de réforme indispensable.

Une idée semble capitale.

Le management ne s'introduit pas dans les institutions publiques locales comme dans l'entreprise, même si certaines techniques peuvent faire croire, çà et là, qu'il s'agit de la même évolution : recours aux micro-ordinateurs, usage de tableaux de bord, contrôle budgétaire, etc.

Les mairies sont des institutions particulières :

- d'un côté ce sont des entreprises chargés d'offrir des services ;
- d'un autre côté ce sont des institutions politiques ancrées dans un territoire et soumises à des échéances électorales qui régissent la pérennité de l'action.

Cette dernière dimension produit certainement quelques effets majeurs dont on doit tenir compte.

Le développement du management public dans les services urbains en général, et d'eau en particulier, ne peut être considéré seulement comme un acte technique visant à transférer les méthodes déjà appliquées dans le secteur privé.

Les organisations qui doivent être réformées ont une épaisseur variable et une faculté d'évolution dans laquelle entre en ligne de compte la dimension du territoire et l'effet du politique.

La privatisation des services peut aussi être considérée comme un effet induit de cette double caractéristique.

LA "DEMARCHE QUALITE TOTALE" DANS LES SERVICES D'EAU

Casteignau, G.
Université de Limoges

Résumé

La "qualité totale" démarche de gestion centrée sur la qualité du "produit" ou du "service" et le client, vient en force sur le devant des Services d'eau, qu'ils soient gérés en régie par les municipalités ou affermés ou concédés au secteur privé. La "démarche qualité totale" (DQT), est apparue dans les années 80, avec les cercles de qualité, elle n'a pas donné à l'époque les résultats attendus.

L'effet de mode passé, l'engouement pour la qualité est retombé.

Dès lors certains n'y ont vue qu'une approche fumeuse sans réalité concrète.

Le développement de l'assurance qualité" (par les procédures de certification et de normalisation) l'a remise en selle de même que l'exigence - qualité des consommateurs la rend indispensable.

Ce retour n'est donc pas le fruit d'une mode, mais d'une nécessité d'autant que, bien comprise, elle permet de produire mieux et moins cher, donc de réaliser les indispensables gains de productivité et d'améliorer le rapport coût/avantages, tout en améliorant, pour les consommateurs, le rapport qualité/prix.

Dans un secteur fortement sensible et primordial pour le développement que constitue le secteur des hydrauliques urbaine et rurale et concurrentiel entre gestion publique et gestion privatisée, l'intérêt de la démarche est évident.

Cependant peu de services d'eau (tant publics que privés) s'y sont vraiment attelés, certains ont fait l'effort mais ont connus des semi-échecs, voir des "bides". Il faut dire qu'il s'agit d'une bataille difficile à gagner, où la distribution de l'eau est vécu culturellement comme "un don du ciel" et doit donc être, sinon gratuite, du moins indolore financièrement car "sociale".

Certaines entreprises, en visant des objectifs trop étroits via les normes ou la certification se sont perdues dans des procédures bureaucratiques dénaturant le sens des efforts initiaux

D'autres à contrario, ont poursuivi des objectifs trop larges - en cherchant à être les meilleures partout- et se sont fait doubler par des concurrents qui, eux, se focalisaient sur un aspect spécifique (fiabilité de la distribution, maîtrise des coûts de fabrication, amélioration des productivités, etc.).

Les conséquences des retards pris par les uns et les autres dans ce domaine sont loin d'être négligeables.

D'un côté, les entreprises ou les régies sont condamnées à chercher prioritairement des gains de productivité dans la réduction immédiate des coûts et les suppressions d'emploi superflus ;

De l'autre, la qualité des services, des processus ou de la gestion reste en retrait des nouveaux standards internationaux ou des valeurs normatives professionnelles malgré de réels progrès enregistrés sur les dysfonctionnement fondamentaux.

L'EAU ET LA SANTE

QUALITÉ DE L'EAU DANS TROIS VILLES DE MAURITANIE : CHINGUETTI, NOUAKCHOTT ET KAEDI. CONSÉQUENCES MÉDICALES

Paolini, O.

Médecin. Interne des hôpitaux. Hépatogastro-entérologie. Faculté de Médecine. Université de Nice Sophia-Antipolis. Avenue de Valombrose. F 06034 Nice Cedex.

Résumé

Cette étude, réalisée dans trois villes de Mauritanie (Chinguetti, Nouakchott et Kaédi), a permis d'analyser les liens qui existent entre les conditions sanitaires de l'eau et les diverses maladies transmises par son intermédiaire.

Les premiers résultats indiquent que la diminution des risques de pollution bactériologique de l'eau de consommation, passe nécessairement par l'assainissement des différents points publics de prélèvement, qui constituent les principaux lieux de contamination.

Les contrôles sanitaires doivent s'étendre à toutes les grandes villes de ce pays.

De plus, il est indispensable de poursuivre l'effort entrepris par le gouvernement dans le développement du système de soins en accroissant l'effectif et la spécialisation du personnel médical, en augmentant le nombre d'examen paracliniques disponibles et en assurant aux couches les plus défavorisées l'accès à une couverture sanitaire efficace.

Abstract :

This study was set up in three towns in Mauritania (Chinguetti, Nouakchott, and Kaédi) in order to describe and analyse relationships between sanitary condition of water and various water-transmitted diseases.

Preliminary results show that decreasing the risks of bacteriologic pollution of drinking-water goes necessarily by improving sanitation of different public water points, which are the principal pollution points.

Sanitary checkings should be done in all big towns in this country.

In addition, it is essential to continue the government efforts in developing medical care by improving the number and education of medical staff, increasing the number of diagnostic tests available and giving access to health care to the poorest.

1 - INTRODUCTION

Dans les pays en voie de développement, les principales priorités des organisations humanitaires concernent généralement : les programmes de vaccinations, la lutte contre la dénutrition, le développement de l'alphabétisation et enfin l'accès de la population à l'eau potable.

Autant l'eau donne naissance à la vie, autant elle peut être le vecteur de transmission de maladies graves et même mortelles quand les conditions d'hygiène, relatives aux procédés de sa distribution et de son utilisation, sont insuffisantes. En Mauritanie, comme dans tous les pays des zones désertiques, l'eau est précieuse et sa qualité doit être à tout prix préservée. La rapide croissance démographique des cités et l'augmentation incessante de la pollution menacent à court et moyen termes ses qualités sanitaires.

2 - PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Dans le cadre du programme "CAMPUS", financé par le Ministère français de la coopération, l'Institut des Relations Interuniversitaires avec la Mauritanie (I.R.I.M.) de l'Université de Nice se propose de contribuer à la sécurité alimentaire dans ce pays qui compte aujourd'hui 2 154 000 habitants. L'objectif de cette étude est d'établir un cheminement logique depuis le forage de l'eau jusqu'aux maladies qui peuvent être transmises par son intermédiaire, en passant par sa distribution et les différents contrôles de qualité qui peuvent être effectués. Pour ce faire, trois villes pilotes (voir figure 1), possédant chacune un type de distribution différent ont été choisies :

- *Chinguetti*, ville du désert, puise son eau dans une nappe phréatique supposée indemne de toute pollution biologique ou chimique ;
- *Nouakchott*, capitale de la Mauritanie, en bordure de l'Océan Atlantique, est desservie par un réseau de canalisations dont le point de captage se situe à 65 km à l'est ;
- *Kaédi*, ville frontière avec le Sénégal, puise l'eau dans une nappe provenant du fleuve Sénégal.

Nous nous sommes donc rendus dans ces trois villes. Grâce à l'aide des autorités mauritaniennes, au soutien du personnel médical rencontré et à l'hospitalité de la population, nous avons pu recueillir un premier ensemble important de données permettant d'établir une estimation de base fiable.

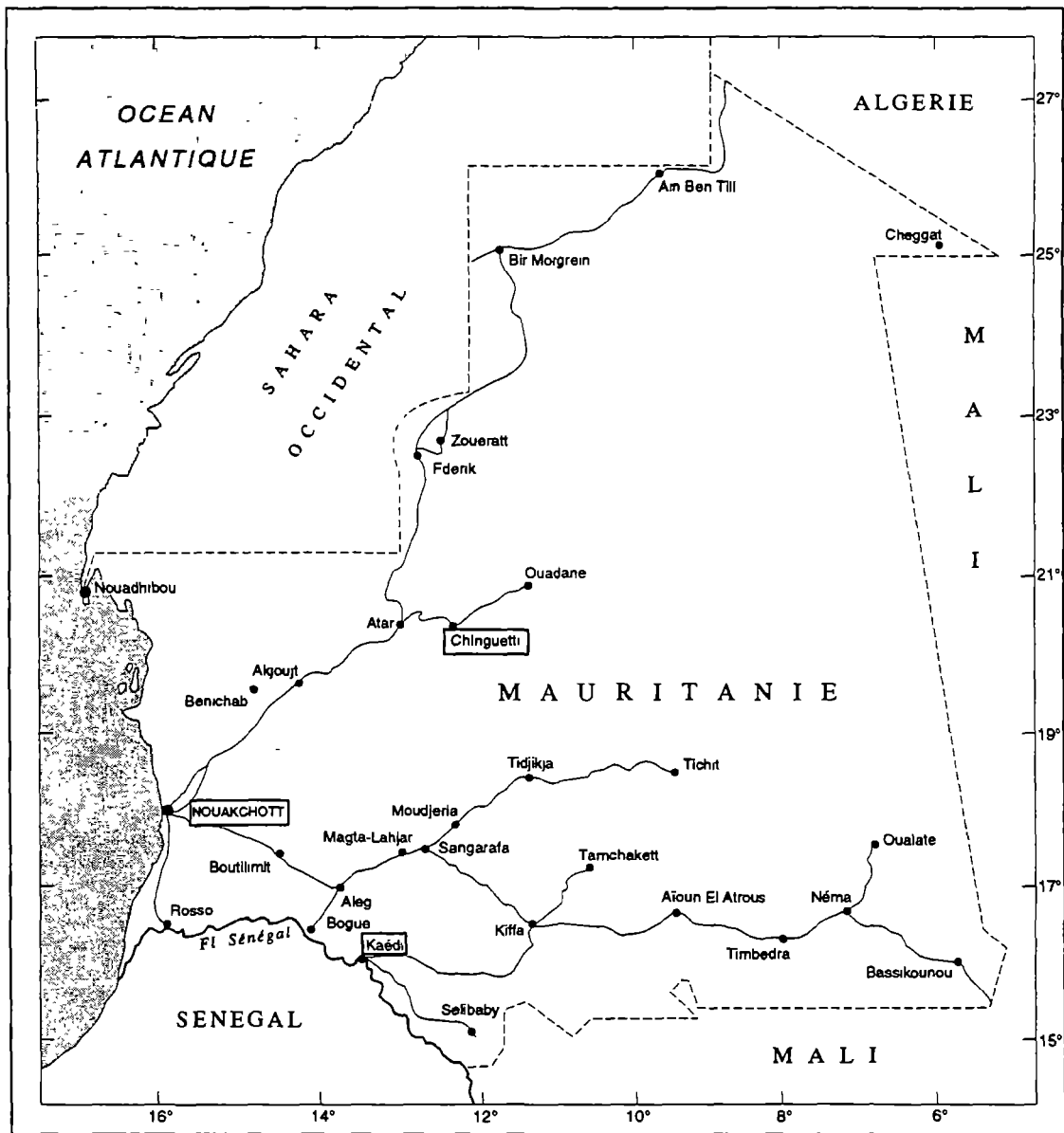


Figure 1 : Localisation des villes Chinguetti, Nouakchott et Kaédi

3. MODE DE DISTRIBUTION DE L'EAU À CHINGUETTI, NOUAKCHOTT ET KAEDI

Chinguetti. Cette cité qui compte environ 3 000 habitants, puise son eau dans une nappe phréatique au cœur du désert. Un forage principal, existant depuis 1974, alimente un château d'eau grâce à une pompe fonctionnant au Gasoil. L'eau est ensuite distribuée aux habitations par un système de canalisations en P.V.C. et en caoutchouc. La majorité des maisons possède un réservoir d'environ 1 000 à 2 000 litres qui est rempli mensuellement. Cette réserve n'assure qu'une autonomie de trois semaines. Les usagers doivent ensuite, puiser l'eau dans des puits qui sont éparpillés dans le village (photo n°1). En effet, Chinguetti compte environ une dizaine de puits collectifs (certains étant actuellement à secs comme celui qui est situé au centre du village, qui fonctionnait à l'énergie solaire). Les habitants qui ne possèdent pas de réservoir viennent quotidiennement y puiser leur eau de consommation.

Les habitants les plus riches du village disposent souvent d'un puits à l'intérieur de leur propriété, ce qui leur permet d'entreprendre quelques cultures. Environ une cinquantaine de ces puits privés sont recensés (photo n°2).

Nouakchott, capitale de la Mauritanie (700 000 habitants environ) est desservie par une société nationale : la SONELEC qui organise la distribution de l'eau provenant de la nappe d'Idini située à 65 km à l'est de la métropole. Les différents forages de cette nappe, permettent l'alimentation de deux châteaux d'eau situés au cœur de Nouakchott. L'eau est ensuite distribuée par un système de canalisations soit directement dans les maisons, soit dans des réservoirs privés destinés au public (voir figure 2). Ces dispositifs sont disposés à divers points de la ville.

Les habitants ne disposant pas d'eau courante à domicile doivent l'acheter à des distributeurs. En effet, ces vendeurs remplissent des bidons d'eau, véhiculés par des animaux, (photo n°3) et vendus ensuite aux habitants. Enfin, les plus démunis viennent eux-mêmes chercher leur eau, aux différents points disponibles dans la ville.



photo n°1 puits public de Chinguetti



photo n°2 puits privé à Chinguetti



*photo n°3 point d'eau de Nouakchott
avec les transporteurs*

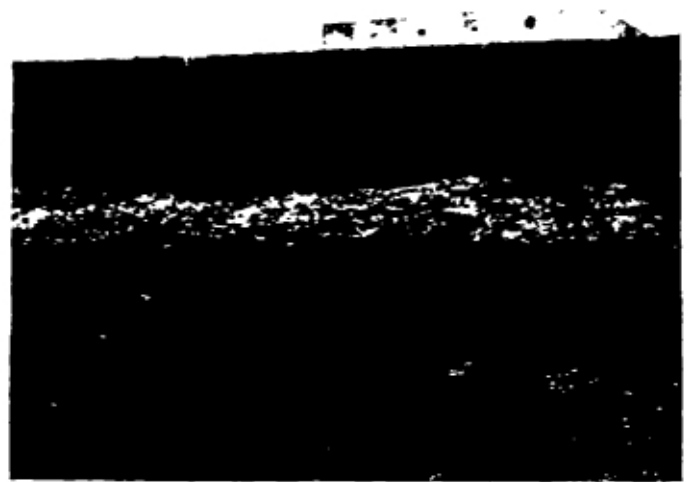


photo n°4 point d'eau insalubre de Nouakchott



photo n°5 puits de Kaedi



photo n°6 robinet d'eau cadennassé à Kaedi

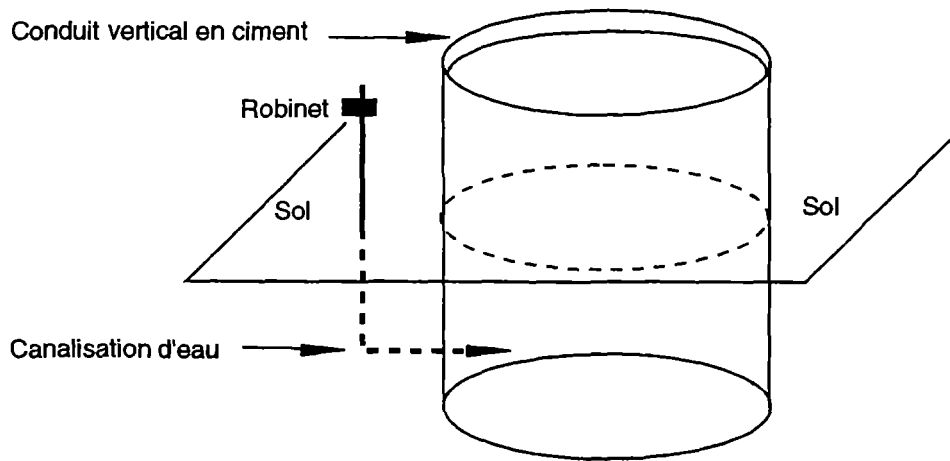


Figure 2 . Coupe d'un point d'eau public de Nouakchott

Kaédi, ville de 30 000 habitants environ est également alimentée par un système de distribution géré par la SONELEC. Il existe deux forages, proches de la ville, qui grâce à des pompes électriques assurent chacun un exhaire de 40 m³/forage. Ils fonctionnent 30 heures sur 48 heures. Les forages s'effectuent à 18 mètres de profondeur, dans une nappe phréatique qui est alimentée par le fleuve Sénégal. Là aussi, un château d'eau de 200 m³ permet la distribution de 1 000 à 1 200 m³ d'eau par jour grâce à des canalisations construites en P.V.C., en ciment ou en fonte. *Kaédi* compte environ 700 abonnés qui bénéficient de l'eau courante. Le prix du m³ est élevé pour la majorité des usagers. Il est compris entre 72 et 195 U.M. (en 1994 : 1 FF = 22 U.M.). Les familles qui ne disposent pas d'eau courante l'achètent directement à celles qui sont abonnées ou bien vont la chercher aux puits répartis dans la ville. Certaines familles plus riches disposent d'un puits à domicile.

4 - ETAT D'HYGIÈNE AUTOUR DES POINTS DE PRÉLÈVEMENT D'EAU

Nous avons pu analyser les conditions d'hygiène à proximité des puits publics dans chacune de ces trois localités.

Chinguetti, ne connaît pratiquement pas de pollution liée à la présence de déchets ménagers, de résidus de matières plastiques ou de pollution chimique. Contrairement aux deux autres villes de notre étude, les conditions d'hygiène autour des puits sont satisfaisantes. Bien que nous ayons souvent vu des femmes qui faisaient leur lessive juste à proximité des puits, nous n'avons pas constaté de signes graves de pollution de l'environnement. Comme le sol est composé uniquement de sable fin, il est constamment décapé par le vent, ce qui empêche l'accumulation des petits résidus polluants. Les habitants puisent l'eau dans les puits grâce à des seaux qu'ils remontent manuellement. Ensuite, elle est transportée par des bidons en plastique ou des outres fabriquées en peau de chèvre. Les quelques puits privés que nous avons visités présentaient des conditions sanitaires relativement satisfaisantes.

Nouakchott présente des conditions d'hygiène autour des lieux publics de distribution plus aléatoires et souvent insalubres. Le prélèvement de l'eau s'effectue à même le sol dans un conduit en ciment, vertical, qui sépare le sol souillé, des canalisations souterraines de distribution (figure 2). Les seaux, qui servent à prendre l'eau, sont souvent en contact avec les déchets animaliers qui jonchent le sol. Ainsi contaminés, ils sont ensuite plongés dans la canalisation et menacent de polluer les autres points d'eau de la ville. De plus, les concentrations humaines autour des points d'eau entraînent l'accumulation de déchets divers qui représentent une source importante de pollution en constituant de véritables milieux de culture pour des germes pathogènes (photo n°4).

Cette insalubrité dangereuse préoccupe actuellement les autorités mauritaniennes responsables de la santé qui souhaitent mettre en place à moyen terme des projets de réfection et d'assainissement de ces points d'eau. Des quartiers nouveaux ont été créés récemment pour tenter de faire disparaître les bidonvilles et la distribution de l'eau a été rationalisée au niveau de l'hygiène. En effet, les prélèvements de l'eau au niveau du sol sont remplacés par des citernes, directement alimentées par un réseau de desserte. Une fois la citerne suffisamment pleine, la population peut se servir de robinets pour remplir ses récipients. Cet aménagement constitue un progrès important car l'eau va directement du robinet au bidon sans risque d'être contaminée par un sol souillé. Cependant, certains utilisateurs n'attendent pas que la citerne soit pleine. Ils grimpent sur le réservoir et se servent de nouveau de seaux accrochés à une corde. Le niveau d'eau optimum de la citerne n'étant jamais atteint, les robinets ne peuvent pas être utilisés. Les seaux restent au sommet de la citerne qui de ce fait est souvent souillée par les pieds des utilisateurs.

La population la plus défavorisée, ne possédant pas l'eau courante, est confrontée à un risque important de développement des maladies transmises par l'eau, car les conditions sanitaires de prélèvement sont peu satisfaisantes. De cette analyse il ressort que le point de contamination de l'eau de consommation se situe principalement au niveau des points d'eau publics répartis dans la ville et utilisés par la population de Nouakchott.

Kaédi présente une situation sanitaire intermédiaire entre celles de Chinguetti et de Nouakchott. En effet, il existe des puits publics répartis dans la ville dont certains se situent dans un environnement hygiénique relativement correct (photo n°5). Seuls quelques rares puits, parmi tous ceux visités, se situaient à proximité d'ordures ou d'autres signes de pollution.

Le système de collecte de l'eau est constitué là aussi par une corde et un seau. Certains points d'eau sont cadenassés (photo n°6) à la suite de retard dans le paiement des factures. Dans ce cas, une partie des utilisateurs ne peut plus accéder à cette eau saine distribuée par un robinet et est obligée de s'approvisionner au niveau des puits. Elle s'expose donc encore à certaines maladies.

Dans ces trois villes, il apparaît clairement qu'une partie importante de la population est amenée à collecter l'eau potable aux différents points d'eau publics. Cette eau est prélevée par des procédés très simples. De bonnes conditions sanitaires autour des puits (pas d'ordures, pas de déchets animaliers, pas de boue...) sont nécessaires pour diminuer les risques de contamination par des maladies qui peuvent être mortelles. Malheureusement, il semble qu'il n'existe pas encore de projet financé qui puissent permettre d'assainir les points qui sont défectueux. Il est maintenant indispensable que les autorités sanitaires se préoccupent sérieusement de ce problème. L'U.N.I.C.E.F. a signalé dans son rapport sur la situation des enfants dans le monde en 1992¹ que seulement 66% de la population mauritanienne avait accès à l'eau saine (1988-1990).

5 - CONTRÔLES SANITAIRES ET RÉSULTATS

Les contrôles sanitaires se multiplient et se développent actuellement en Mauritanie. Le Centre National d'Hygiène (C.N.H.) de Nouakchott fonctionne depuis 1978. Il dépend du Ministère de la Santé. Seules les villes dont la SONELEC gère la distribution de l'eau, bénéficient de contrôles. La qualité des tests est satisfaisante. La batterie de tests pratiqués à chaque contrôle est sans cesse affinée et complétée. Ainsi, aux précédents tests bactériologiques qui comportaient le dosage des germes totaux et des coliformes totaux, s'ajoutent maintenant la recherche de :

- streptocoques fécaux ;
- salmonelles ;
- shigelles ;
- coliformes thermotolérants et d'*Esherichia coli* ;
- staphylocoques pathogènes ;
- germes anaérobies.

A ces tests bactériologiques s'associent des dosages chimiques (ions, métaux lourds, dérivés azotés...) (cf annexe A). Les prélèvements sont mensuels et analysés au C.N.H. de Nouakchott.

Chinguetti ne bénéficie pas de contrôle sanitaire. Tous les mois, le puits principal est désinfecté avec de l'eau de Javel. Les autres puits ne sont pas encore contrôlés ou désinfectés. Il serait souhaitable que des contrôles préventifs puissent être régulièrement réalisés. En effet, en cas d'épidémie de diarrhée, l'identification d'un germe précis au niveau de l'eau permettrait d'avoir des incidences thérapeutiques intéressantes et immédiates surtout en cas de salmonellose par exemple.

Nouakchott bénéficie de six points de prélèvement à des fins de contrôle, répartis dans la ville, dont un se situe directement au niveau du château d'eau. Les résultats des analyses effectuées sont très satisfaisants tant sur le plan chimique que bactériologique (cf annexe B). Le point le plus souvent pollué se situe à Sebkhah dont la quantité de germes totaux dépasse parfois la normale.

Cette ville ne connaît pas de pollution chimique notable qui ne reste qu'essentiellement bactériologique. L'eau qui circule dans les canalisations est de très bonne qualité. Quand une pollution bactériologique existe, la contamination se fait au niveau des points d'approvisionnement (figure 2) devenus momentanément insalubres.

Grâce à ces contrôles sanitaires et à la circulation de l'eau, il n'est pas nécessaire d'effectuer des désinfections systématiques de l'eau comme à Chinguetti.

Kaédi ne possède que depuis peu de temps de contrôles sanitaires mensuels. Les résultats s'éloignent plus des normes que ceux obtenus à Nouakchott mais restent encore satisfaisants (cf annexe C). Les principaux germes rencontrés sont des coliformes. Aucune salmonelle, shigelle ou staphylocoque n'a été identifié. Quotidiennement, la désinfection de l'eau des puits se fait par l'eau de Javel.

6 - EPIDÉMIOLOGIE DES MALADIES TRANSMISSIBLES PAR L'EAU RENCONTRÉES EN MAURITANIE

De nombreuses maladies bactériennes, virales ou parasitaires, transmises par l'eau, sont rencontrées en Mauritanie. Les diarrhées, toutes étiologies confondues, représentent 9% des principales affections rencontrées dans le pays.

Les principales maladies bactériennes sont représentées par les diarrhées à *Esherichia coli*, à salmonelles, à yersinia ou à staphylocoques. La dernière signalisation de choléra remonte à 1986.

Les principaux parasites transmis par l'eau sont l'amibiase, la bilharziose et la dracunculose (encore dénommée filaire de Médine)

Il est actuellement difficile d'identifier avec certitude les maladies les plus répandues et d'en mesurer leurs fréquences. Ceci pour plusieurs raisons :

- il n'existe pas encore d'enregistrements systématiques et continus des maladies diagnostiquées consignées dans des registres conservés ;
- les moyens diagnostics sont insuffisants et ainsi de nombreuses maladies restent non étiquetées ;
- une grande partie de la population ne consulte pas le médecin et échappe donc aux possibilités de diagnostic médical.

Les informations que nous avons recueillies nous ont été communiquées par les médecins qui exercent dans ces trois villes.

Chinguetti ne dispose pas encore de moyens de diagnostics paracliniques. En effet, il n'existe pas de laboratoire et donc le diagnostic de maladie est uniquement clinique, présomptif, sans aucun moyen de confirmation paraclinique. Ceci exclut toute étude épidémiologique fiable dans cette ville. Il semblerait que les maladies transmises par l'eau soient peu fréquentes car les cas de diarrhées sont peu observés selon le médecin local. Ceci peut être expliqué par des conditions sanitaires autour des puits relativement satisfaisantes et par l'absence de surpopulation dans cette région.

Nouakchott dispose de moyens paracliniques qui permettent d'établir des diagnostics précis. Sur les 68 lits de médecine de l'hôpital, une dizaine sont occupés par des patients atteints de diarrhées aiguës, pour la plupart d'origine infectieuse. Parmi celles-ci, plusieurs groupes se distinguent :

- les syndromes dysentériques (diarrhée avec présence de selles afécales, glaireuses, muco-sanglantes et parfois purulentes) amibiens et non amibiens ;
- les toxi-infections alimentaires ;
- les typhoïdes.

Ainsi, le docteur Modica, chef de service de l'hôpital de Nouakchott, a recensé dans son service lors de notre étude :

- une quinzaine de syndromes dysentériques amibiens par semaine ;
- 5 à 6 syndromes dysentériques non amibiens par semaine.

Les agents infectieux responsables et pouvant être mis en évidence sont :

- * les *Yersinia*, bactéries atteignant principalement les enfants de moins de 5 ans ;
- * les shigelles, entérobactéries, strictement humaines, pouvant être responsables de diarrhées mortelles tout particulièrement chez des enfants dénutris et fragilisés ;
- * les *Campylobacter jejuni*, plus souvent rencontrés chez les enfants ;
- * certaines catégories d'*Escherichia coli*.
- 3 à 4 toxi-infections alimentaires par semaine causées principalement par :
 - * les salmonelles ;
 - * les staphylocoques dorés.
- 3 à 4 typhoïdes par mois.

Les infections à *Salmonella typhi* (bacille d'Heberth) sont le plus souvent mises en évidence par coproculture. En effet, le diagnostic peut se faire grâce aux hémocultures (cultures du sang positives si elles contiennent le germe), mais l'absence de moyen technique de routine empêche de réaliser de tels examens.

Kaédi, est caractérisée par de multiples cas de diarrhées infectieuses. Cependant, là encore les moyens diagnostics sont très réduits. Le traitement sera donc le plus souvent présomptif sans qu'un diagnostic précis puisse être porté. Les informations recueillies à l'hôpital, montrent que les diarrhées amibiennes semblent encore tenir une large place. Cependant toutes les diarrhées glairo-sanglantes sont traitées comme étant d'étiologie amibienne.

Les diarrhées infectieuses sont donc fréquentes. Elles atteignent principalement les personnes vivant dans des conditions d'hygiène peu satisfaisantes. D'autre part, elles surviennent chez des individus carencés (surtout les enfants et les vieillards) dont la résistance à la maladie est diminuée. Ils seront donc plus fréquemment sujets à des formes graves de diarrhées (particulièrement chez les enfants âgés de moins de 14 ans qui représentent 45% de la population totale du pays et de ce fait constituent une population cible très importante).

En plus des maladies causées par l'eau d'alimentation, il faut également citer la bilharziose et la dracunculose qui ont un mode de contamination différent.

Le long du fleuve Sénégal, la bilharziose, due à des vers plats appelés schistosomes, est assez fréquente. La contamination se fait par voie transcutanée, lors du contact de la peau avec des eaux infestées, douces et calmes (marigots). L'homme se contamine lors des baignades, des lessives.

La dracunculose est une maladie parasitaire due à *Dracunculus medinensis* qui est rencontrée en Mauritanie mais reste peu fréquente. L'homme se contamine en buvant accidentellement de l'eau, contenant des crustacés, appelés cyclops, porteurs des larves de cette filariose.

7 - STRUCTURES MÉDICALES DISPONIBLES

L'amélioration du système de soins est une des priorités du gouvernement mauritanien. Une structure médicale moderne adaptée à la taille de chaque ville vient d'être récemment mise en place. De plus sa gestion et son fonctionnement sont bien réglementés, ce qui pourra permettre d'assurer sa viabilité et son efficacité à long terme. Actuellement, la moitié de la population bénéficie d'une couverture sanitaire. L'objectif est d'accroître la couverture de 1 à 1,8 millions de personnes en sachant qu'il restera encore 340 000 personnes à satisfaire à court ou moyen termes.

Avant l'instauration de ce système, le patient consultait le médecin qui établissait une ordonnance, après quoi, il devait acheter les médicaments dans une pharmacie, ce qu'il faisait rarement car leurs coûts étaient trop élevés. Actuellement,

le patient consulte le médecin, puis dans le même temps, paye les médicaments nécessaires au centre de soins, ce qui lui évite de recourir à une pharmacie, au moins pour les médicaments dits indispensables (de première nécessité). L'amélioration de ce système permettra sûrement de faire reculer le taux de mortalité infantile (actuellement de 122 pour 1 000 alors qu'en France il est de 8 pour 1 000).

Chinguetti dispose d'une unité de soins située dans un dispensaire, accessible à tous, qui comprend :

- un médecin ;
- un infirmier diplômé d'état (IDE) major ;
- une sage femme ;
- un infirmier médico-social (IMS) responsable ;
- un IMS au niveau de la salle de soins ;
- un manoeuvre ou homme de salle.

Les démarches effectuées par le patient sont les suivantes :

- 1°) achat d'une carte de soins à la pharmacie permettant d'accéder à la consultation ;
- 2°) paiement des médicaments prescrits par le médecin ou par l'IDE major ;
- 3°) départ de l'unité de soins avec le traitement.

Cette unité constitue une amélioration certaine pour le malade. Mais l'absence actuelle de moyens diagnostics paracliniques (radiologie, examens de laboratoire...), font que les possibilités thérapeutiques dépendent uniquement du sens clinique du médecin local.

Nouakchott bénéficie, en tant que capitale, d'un Centre Hospitalier National et de centres de santé annexes. Des consultations spécialisées ainsi qu'un bloc chirurgical sont disponibles. Les malades achètent un forfait d'hospitalisation durant lequel les examens paracliniques nécessaires et l'instauration d'un traitement efficace seront effectués.

Des examens paracliniques de laboratoire et de radiologie sont disponibles, mais quelques problèmes persistent :

- le personnel qualifié est quantitativement déficitaire pour interpréter l'ensemble des résultats de ces examens ;
- plusieurs tests sont de qualité succincte et ne constituent pas toujours une aide pour le clinicien (ex : sérologie de la bilharziose...);
- certains tests, pour le moment absents, seraient sans aucun doute très utiles, tel le typage des différentes salmonelles...

La demande de soins étant très importante, cet établissement est surchargé et doit accueillir souvent plus de malades que ce qu'il dispose de places officielles.

Kaédi possède également un hôpital régional qui connaît les mêmes problèmes que ceux rencontrés à Nouakchott à savoir, un manque marqué d'examens paracliniques et un nombre de malades hospitalisés nettement supérieur aux capacités d'accueil. D'autre part, l'effectif des médecins est insuffisant pour pouvoir répondre efficacement à la demande quotidienne de soins.

8 - POSSIBILITÉS THÉRAPEUTIQUES DISPONIBLES

L'accès de toute la population à un système de soins efficace est une des priorités du gouvernement mauritanien. Même si les moyens matériels restent encore très succincts dans certains villages retirés du désert, les principaux médicaments indispensables peuvent souvent y être acheminés.

Chinguetti dispose d'une unité de soins munie d'un minimum de médicaments indispensables. Un médecin aidé d'un infirmier dispense les premiers soins. Pour les diarrhées infectieuses, les deux principaux médicaments anti-infectieux utilisés sont le Métronidazole (Flagyl^R) et le Cotrimoxazole (Bactrim^R). Par contre, en cas de déshydratation aiguë les déshydratations aiguës, la réhydratation par voie parentérale s'avère délicate. En effet, faute d'hôpital, les patients ne sont admis au dispensaire que pendant la journée, ce qui permet certes d'améliorer une situation critique mais certainement pas d'espérer une guérison quand plusieurs journées d'hospitalisation seraient nécessaires. Les conditions d'accueil sont précaires. En effet, certains malades perfusés (soluté de réhydratation passant par voie intraveineuse) ne sont pas placés dans des chambres mais sont soignés sous un préau, accompagnés de toute la famille. Cette façon d'accueillir les patients ne constitue pas, bien évidemment, des conditions idéales de traitements, mais permet de traiter l'urgence sur place.

Nouakchott. A l'hôpital la consommation quotidienne de soins est très importante. Les moyens matériels facilitent nettement le traitement des malades qui devient efficace

Presque tous les traitements sont disponibles à Nouakchott. Mais l'hôpital ne dispose que des médicaments de faible coût. En effet, en cas de nécessité, les autres médicaments sont disponibles dans les pharmacies privées à des prix difficilement inaccessibles pour la majorité de la population.

Dans ce Centre Hospitalier, les maladies transmises par l'eau sont diagnostiquées de façon fiable et les possibilités thérapeutiques sont satisfaisantes. Des structures modestes de réanimation peuvent être utilisées en cas de nécessité.

Mais de nombreux problèmes subsistent :

- la demande de soins excède nettement l'offre possible. Ce qui implique des traitements accélérés et quelques fois incomplets afin de libérer les lits d'hospitalisation réservés aux cas les plus préoccupants ;
- l'état de propreté de l'hôpital est encore médiocre malgré les efforts entrepris par l'administration et les

responsables (la rénovation de cet important hôpital est en cours). De ce fait, les mesures d'hygiène les plus élémentaires ne sont pas toujours respectées.

Kaédi. Dans cette ville, la majorité des actes médicaux peuvent être accomplis. Les diarrhées infectieuses peuvent être guéries, car là aussi, de nombreux médicaments sont disponibles. L'hôpital accueille les populations du sud-est de la Mauritanie. En cas d'urgence nécessitant un transfert à l'hôpital de Nouakchott, l'existence d'une route goudronnée de très bonne qualité facilite le transport des malades.

9 - PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

L'hygiène de l'eau est perçue comme une priorité par le gouvernement mauritanien. Cependant, des efforts doivent être effectués à plusieurs niveaux.

L'extension des contrôles sanitaires, portant sur la qualité de l'eau, à d'autres villes constituerait un progrès important. Mais l'assainissement, indispensable, doit porter en priorité sur la qualité de l'environnement autour des puits, sur le transport de l'eau et sur les conditions de son stockage. De plus, pour améliorer la qualité d'hygiène autour des puits et des points d'eau, il est nécessaire d'informer, largement, la population sur les principales règles d'hygiène à respecter.

Il serait d'autre part souhaitable de mettre en place une politique efficace, et surtout durable de ramassage des ordures ménagères, qui s'accumulent inexorablement malgré les efforts entrepris. Elles constituent un danger permanent de contaminations infectieuses de toutes sortes, surtout lorsqu'elles s'accumulent à proximité des points d'eau.

10 - CONCLUSION

Les maladies transmises par l'eau constituent une menace permanente pour la majorité de la population mauritanienne, et en particulier pour les couches défavorisées. De cette étude, qui dans le contexte actuel n'a pu être que qualitative, il ressort la nécessité de donner la priorité à certains objectifs pour diminuer de façon très sensible la morbidité et la mortalité des affections transmises par l'eau.

D'une part, il nous paraît nécessaire de poursuivre l'assainissement de la ville de ses ordures ménagères. Un programme durable de ramassage de celles-ci permettrait déjà de supprimer cet énorme réservoir d'agents pathogènes dangereux pour l'homme. Des programmes de ce type ont été réalisés, mais malheureusement souvent éphémères jusqu'à présent.

D'autre part, la réfection des points d'eau et la mise en place de simples robinets à la place des cordes et des seaux semblent indispensables. Elles permettraient de diminuer l'interface entre l'eau potable et les différents agents contaminants répandus sur un sol pollué (purin, ordures ménagères...)

Enfin, il faut insister sur l'effort effectué par le gouvernement en ce qui concerne l'amélioration efficace du système de soins mauritanien.

11 - RECOMMANDATIONS

A fin d'améliorer le système de la santé lié aux maladies véhiculées par l'eau de consommation en Mauritanie, nous proposerons trois types de trains de mesures :

Amélioration des conditions d'hygiène autour des points d'eau et des puits publics. Pour ce faire, il est nécessaire :

- d'effectuer un ensemble d'aménagement de base (installation de robinets ; réfection de maçonnerie, ...)
- d'étendre les réseaux de distribution afin de permettre l'accès à l'eau courante de la population et diminuer les concentrations humaines, donc la pollution résultante, autour des points d'eau actuels ;
- d'assainir les villes de leurs ordures ménagères.

Renforcement qualitatif et quantitatif des services sanitaires liés à l'eau :

- multiplier la collecte des informations dans les services existant et augmenter le nombre de registres d'accès rapides (informatisation des grands Centres sanitaires), afin d'établir une véritable banque nationale de données liée à la sécurité de l'eau ;
- étendre les contrôles sanitaires de la qualité de l'eau à la majorité des villes ;
- équiper et multiplier les centres de contrôle afin d'augmenter la qualité et la quantité des examens paracliniques ;
- faciliter l'accès aux soins (prix des médicaments, augmenter le nombre de lits disponibles ;

Formation et information des Hommes : Maîtrise médicale de l'eau.

- effectuer des campagnes d'information auprès des populations ;
- introduire dans les programmes scolaires le rôle fondamental de l'eau ;
- proposer des formations aux gestionnaires médicaux spécialisés des problèmes liés à la sécurité médicale imposée par l'eau (techniciens, infirmiers, médecins, gestionnaires).

L'EAU À USAGE DOMESTIQUE À NOUAKCHOTT

Siriwardana ,G.

Conseiller Technique au Centre National d'Hygiène - Nouakchott.

Abdallahi Ould Nem

Directeur du centre National d'hygiène - Nouakchott .

1 - INTRODUCTION

L'eau est un composé assez extraordinaire, aux propriétés multiples et essentielles pour toute la vie sur terre. Mais elle n'est pas considérée comme une matière noble dans le sens économique. Pourtant sans eau, les multitudes d'industries et d'activités biologiques s'arrêteront. Dans notre monde elle ne s'use pas. Elle a l'éternité. L'eau est seulement prélevée momentanément ou procurée à titre de prêt par l'homme sur le cycle hydrologique et sa quantité totale ne semble pas avoir changé depuis des millions d'années.

Aujourd'hui, nous avons trop tendance à imaginer que le service des eaux domestiques est quelque chose de très moderne. Il y a 5000 ans, dans la vallée d'Indus, de grandes villes bien organisées en particulier Mohenjo-Daro et Harappa disposaient de systèmes de distribution d'eau potable très élaborés avec des canalisations. Il y a 2 000 ans à Rome, il y avait environ 14 aqueducs d'une longueur totale de 500 km. Tout le monde connaît le pont du Gard en France. Ainsi nos anciens ont emmagasiné l'eau dans des réservoirs pour être distribuée ensuite aux fontaines publiques et aux consommateurs privés. Actuellement la technologie d'aménagement d'eau est très développée mais son application inappropriée pourrait donner des résultats malencontreux et de l'eau polluée.

2 - EAU DE NOUAKCHOTT

Quelle est la qualité de l'eau de Nouakchott ? Cette eau arrive des forages d'Idini (situé 65 km de Nouakchott) au réservoir central de capital. Elle est refoulée dans un château d'eau pour être distribuée ensuite aux consommateurs privés et aux bornes fontaines par des canalisations de la SONELEC. Il est important de noter que dans certains quartiers résidentiels, peu de gens consomment de l'eau qui vient directement par les canalisations de la SONELEC. Dans ces maisons, l'eau séjourne dans des réservoirs sous-terrains pour être prélevée par des pompes électriques. L'acheminement et l'évacuation de l'eau de Nouakchott sont schématisés dans la figure I. Il faut noter qu'environ 85 % de la population de la ville s'alimentent en eau dans les points de distribution publique. Nouakchott compte à peu près 16 000 abonnés et 80 bornes-fontaines.

3 - ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Le Centre National d'Hygiène (CNH) analyse la qualité de l'eau de toute la Mauritanie. De même il analyse régulièrement l'eau du château d'eau de la SONELEC et de plusieurs autres points de la ville pour la qualité microbiologique, chimique et physique (voir tableau I). Cette étude se borne principalement sur la qualité microbiologique décelée par l'indice de coliforme (voir tableau II). Ces analyses montrent que toute l'eau distribuée par les bornes-fontaines de type réservoir sous terrain est bactériologiquement inapte à la consommation humaine et un danger pour la santé publique. Nous constatons également que la plupart des réservoirs privés de quartiers résidentiels contiennent des eaux de qualité insalubre pour la santé. D'autre part, l'analyse de cinq années de résultats révèle que le château d'eau, le cœur de réseau de Nouakchott, se contamine de temps à autre.

Un examen approfondi de ces résultats montre que la contamination suit une certaine périodicité. La figure 2 montre que pendant le mois de janvier, février, mars, avril, mai et juin, l'eau du château est d'excellente qualité tandis que la probabilité de pollution augmente pendant les mois de juillet, août, septembre et octobre.

Maintenant on doit poser la question : que veut-on dire par l'indice de coliforme ? Au début, le groupe coliforme est défini comme des bactéries d'origine fécale qui se trouvent souvent avec des bactéries pathogènes. Leur présence dans l'eau témoigne d'un risque de maladies gastro-entériques tels que typhoïdes, dysenteries, choléra etc. Grâce à leur fermentation du lactose en formant du gaz et de l'acide dans des conditions bien déterminées, leur identification dans l'eau contaminée est possible. A l'origine ce groupe consistait principalement aux espèces suivantes :

Escherichia coli
Klebsiella pneumoniae
K oxytoca
Enterobacter cloacal
E. aérogènes
Citrobacter freundu
C. diversus
C. amalonaticus

Elles sont devenues l'indicateur de la contamination fécale. Autrement dit leur densité dans l'eau indique le degré de pollution (voir tableau III)

Mais des recherches contemporaines indiquent la présence des coliformes d'origine non fécale qui donnent du gaz et de l'acide dans les conditions décrites au dessus

Au cours d'une étude portant sur 8000 échantillons d'eaux d'alimentation, l'équipe du Professeur LECLERC a montré que 65 % des bactéries dûment identifiées comme coliformes, ne sont pas d'origine fécale. Toutes ces bactéries semblent provenir des gîtes aquatiques eux-mêmes (forages, puits, sources) pour évoluer, transiter et probablement se multiplier au niveau des stations de pompage, des châteaux d'eau surtout lorsque les eaux ne sont pas traitées. C'est le cas de la Mauritanie.

Ces observations montrent que la spécificité du test de coliforme est très basse. Pour éviter cette ambiguïté, les scientifiques analysent pour la présence des coliformes thermotolérants, un groupe spécifiquement d'origine entéro-gastrique. Certaines analyses du CNH montrent, même parmi des thermotolérants, qu'il existe des souches atypiques.

Il est probable que ces atypiques se trouvent uniquement dans les pays tropicaux. Une étude approfondie est nécessaire.

Aujourd'hui, il faut admettre que les recherches de bases pour l'indice de coliforme ont été faites dans les pays où l'hygiène est très bonne. Dans les pays tropicaux où l'hygiène est mauvaise, la proportion de micro-organisme pathogènes dans l'eau est assez grande. D'ailleurs les protozoaires tels que Entamoeba histolytica et Giardia lamblia sous leurs formes kystiques, sont doués d'une résistance exceptionnelle. Ces observations sont également vraies pour les oeufs et kystes infectant des helminthes (voir figure 3). Ces kystes ne peuvent être détruits que par une chloration à "break point", suivie d'une sédimentation ou d'une filtration. Donc une eau qui est exemptée de coliformes pourrait être contaminée par des protozoaires et par des helminthes et être un vecteur de maladies.

Il est important de réfléchir sur la fiabilité de l'indice de coliforme pour la qualité d'eau dans les pays tropicaux.

L'interprétation des résultats des coliformes doit être faite avec prudence en collaboration avec un hygiéniste / bactériologiste). De même dans l'interprétation, on doit considérer la situation épidémiologique du pays.

4 - EPIDEMIOLOGIE LIEE A L'EAU

Effectivement il est intéressant d'étudier l'incidence des quelques maladies transmissibles principalement par l'eau à Nouakchott. Le tableau 4 compare l'incidence de 3 maladies : les diarrhées, les dysenteries et les parasitoses pour les années 1989 et 1992 (1). En 1989, les diarrhées (sans dysenteries) ont représenté 16 % de toutes les maladies confondues. En 1992 cette même maladie est la 3ème pathologie la plus fréquente après les maladies respiratoires et le paludisme, avec un taux de 8 %. Au contraire les parasitoses ont augmenté et les dysenteries restent stables. Est-ce que l'eau est coupable de ces prévalences ? Dans une étude le CNH a sélectionné trois catégories de population pour examiner l'incidence des parasites dans les selles.

- 1 - Elèves des lycées où la qualité de l'eau consommée est variable.
- 2 - Travailleurs de périmètre maraîcher où la qualité est relativement douteuse.
- 3 - Elèves de l'école de police où la qualité est acceptable.

Cette étude (tableau V) montre que dans certaines couches de populations les parasitoses sont un danger potentiel très élevé et la qualité de l'eau joue un rôle important. Chez les maraîchers le même danger est 20 fois plus élevé que chez les élèves de police. De même, l'étude montre que les helminthiases constituent une menace sérieuse pour certains mauritaniens et le test de coliforme ne peut pas révéler leur présence dans certaines eaux. Ce type d'étude est intéressant et troublant à la fois, intéressant dans la mesure où il met en évidence l'existence des risques gastro-entérologiques pour une certaine qualité d'eau, troublant dans la mesure où la pollution de l'eau dite non conforme ne paraît pas majeure. Pour connaître ces corrélations il faut procéder à des enquêtes prospectives longues et chères.

5 - LA POLLUTION

Comment peut-on expliquer le degré de pollution des différentes eaux de Nouakchott ?

a - Château d'eau

En général, les eaux souterraines comme la nappe d'Idini sont bactériologiquement saines. Mais les facteurs climatiques, des pluies, les variations de températures, les fissures pourraient changer la qualité de l'eau de la nappe.

Des défaillances d'infrastructures également occasionnent ces pollutions. Seuls les contrôles fréquents aux points critiques pourraient prévenir certains déséquilibres sanitaires. Il est intéressant de remarquer qu'en Mauritanie ces points critiques ne sont pas encore identifiés.

b - Bornes-fontaines

La conception de la plupart des bornes-fontaines à Nouakchott n'est pas compatible avec les règles sanitaires fondamentales. Cette incompatibilité est due aux éléments suivants :

- emplacement du réservoir par rapport aux bâtiments voisins et aux sources de contamination possible ;
- problèmes dus à l'absence de margelle et de couvercle ;
- absence d'un tablier imperméable autour du réservoir ;
- absence de drainage superficiel autour du réservoir et présence de flaques d'eau ;
- technique de puisage (placement du pied sur le bord, contact entre le sceau et la boue, le type de corde, etc.) ;
- présence des animaux autour du réservoir ;
- état de cuvelage ;

- technique et fréquence de nettoyage ;
- technique de remplissage ;
- accumulation de déchets autour du réservoir ;
- absence de pente du terrain.

D'ailleurs, le charretier qui revend l'eau commence une deuxième chaîne de pollution avec ses habitudes mal adaptées. Un projet d'UNICEF et du service d'hygiène publique du CNH essaie de corriger la situation des eaux de bornes-fontaines.

c - Réservoirs privés

Le revêtement intérieur de la plupart des réservoirs est fissuré ainsi exposant l'eau à la contamination. Ces constructions se trouvent souvent dans des jardins et la pression exercée par les racines des gros arbres fend le revêtement intérieur.

Les couvercles mal fermés et les crevasses encouragent l'invasion de réservoirs par des cafards et parfois par des souris. Les cafards sont des porteurs d'amibes et de bactéries pathogènes.

6 - CONCLUSIONS

Dans bien des pays en voie de développement des projets d'approvisionnement en eau potable et canalisé sont bien en progrès. Mais ces projets négligent la complémentarité de l'approvisionnement, de l'assainissement et de l'assurance de qualité ainsi que l'influence des facteurs socio-économiques et environnementaux. Les facteurs environnementaux pourraient bouleverser la vie entière des populations. Dans les régions du fleuve où la société nationale de développement rural (SONADER) gère les aménagements hydro-agricoles, l'eau stagnante occasionnée par des canaux d'irrigation a augmenté l'incidence de paludisme. Dans certaines de ces régions le paludisme est 40 fois plus élevé que le taux national. De même, la construction de barrages et l'aménagement de l'eau a nettement diminué la population de poissons changeant ainsi les habitudes alimentaires ; dans ces régions, actuellement, la malnutrition est fréquente.

L'existence des installations mal entretenues, non protégées, mal contrôlées et produisant une eau suspecte, constitue l'un des problèmes de l'assainissement. L'amélioration de ces installations pose des questions d'ordre économique et social. Le simple fait d'informer la population que l'eau est suspecte ne suffit pas. Les habitants d'une région où existent de telles installations feront valoir qu'ils ont toujours été habitués à boire cette eau et qu'elle ne présente aucun danger. Ils oublient que l'espérance de vie dans ces régions est très basse.

En Mauritanie il existe un code d'hygiène et un code d'eau. Ces codes mentionnent explicitement que toutes les dispositions doivent être prises pour assurer la protection des ouvrages d'acheminement et de distribution d'eau potable, contre les contaminations extérieures conformément à la réglementation et aux instructions techniques du Ministère chargé de la santé publique (ordonnance n° 84-208 du 10 septembre 1984).

Qui est coupable de la qualité actuelle de l'eau de Nouakchott ?

On attend la réponse.

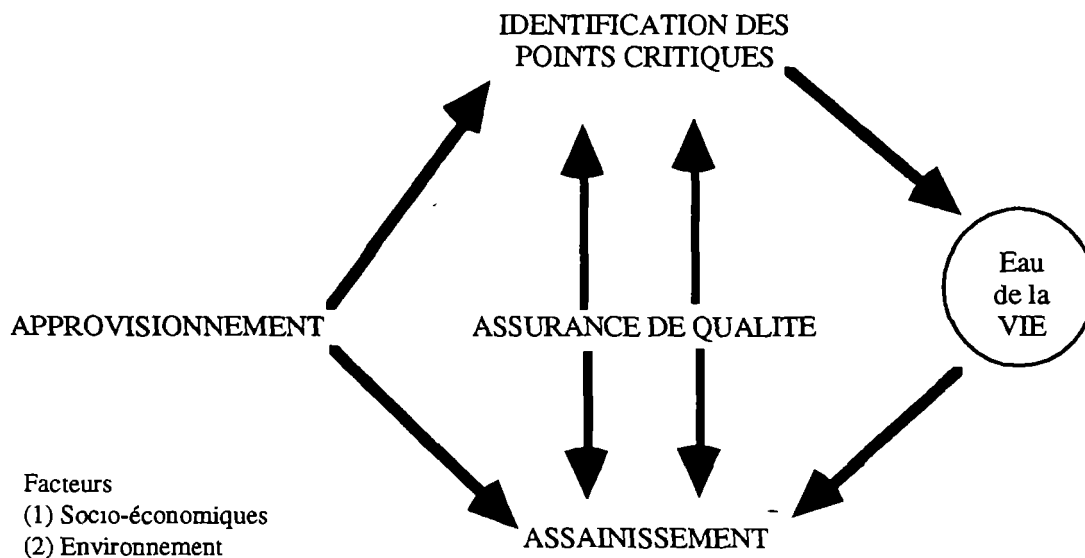


FIGURE 3

POURCENTAGE DE CONTAMINATION MICROBIOLOGIQUE DE L'EAU DE NOUKACHOTT

Points d'analyse	Nombres d'analyses effectuées	Nombre d'échantillons contaminés	Pourcentage de contamination
1 - Château d'eau	58	16	27,00 %
2 - Toujounine	58	14	24,00 %
3 - Sebkha	58	12	21,00 %
4 - El Mina	58	21	36,00 %
5 - Ksar	58	6	10,00 %
6 - Maisons des quartiers résidentiels	14	12	86,00 %
7 - Bornes fontaines	14	16	100,00 %

1) Sous réserve qu'un nombre suffisant d'échantillons soit examiné (95 % de résultats conformes).
 Les eaux destinées à la consommation humaine ne doivent pas contenir d'organismes pathogènes.

TABLEAU II

Taux d'incidence de quelques maladies propagées par l'eau à Nouakchott

Maladies	Incidence			
	1989		1992	
	Nombre de cas	%	Nombre de cas	%
Diarrhées	8 594	16,8	13 208	8,8
Dysenteries	2 227	4,3	6 416	4,3
Parasitoses	2 017	3,9	11 264	7,5
Total Maladies	51 176		149 331	

TABLEAU IV

PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES

Paramètres	Résultats volume de l'échantillon en (ml)	Concentration admissible minimale	
		Méthode des membranes filtrantes	Méthode des tubes multiples NPP
Coliformes totaux (1)	100	0	NPP/1
Coliformes fécaux	100	0	NPP/1
Streptocoques fécaux	100	0	NPP/1
Clostridium sulfite réducteurs	20	-	NPP/1

En vue de compléter, en tant que de besoin, l'examen microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine, il convient de rechercher, outre les germes figurant au tableau les germes pathogènes, en particulier :
 - les salmonelles
 - les staphylocoques pathogènes
 - les bactériophages fécaux
 - les entérovirus

TABLEAU III

Pourcentage d'incidence des parasitoses

Catégories de population	Nombre de personnes	Pourcentage d'incidence		
		E. Histolytica	G. Lambdia	Helminthes
Lycée	248	2,8	6	7,6
Périmètre maraîcher	87	6,9	1,2	47
Ecole de Police	307	2,9	2,6	2,2

TABLEAU V

L'EAU ET LA SANTE

Dr. Mohamed Lemine Ould Aboye Ould Cheikh El Hadrami

Tecnofor SEM

I - INTRODUCTION

L'eau est une denrée vitale pour la vie de tous les êtres vivants. Malgré son importance son usage n'est pas toujours sans danger. L'eau, dans ces différentes formes "d'emprisonnement" (nappes, fleuves, lacs etc.) est exposée à divers types de pollution pouvant dégrader considérablement sa qualité

C'est en effet la qualité de l'eau qui influe le plus sur la santé du consommateur, c'est pourquoi dans notre communication, nous nous sommes intéressés à l'étude de paramètres de qualité des eaux et leur relation (existence, concentration) avec la santé de l'Homme.

C'est ainsi que nous avons réparti le travail en 3 parties :

- les sources et les types de pollution ;
- les paramètres de qualité des eaux et leur relation avec la santé humaine ;
- applications : exemples d'analyses des eaux de certaines villes mauritaniennes.

II - LES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUTIONS AFFECTENT LE MILIEU AQUEUX

Plusieurs sont et complexes les pollutions qu'affectent le milieu aqueux et responsable de la dégradation de sa qualité parmi :

- la pollution par les métaux lourds ;
- la pollution organique et biologique ;
- la pollution thermique ;
- la pollution radioactive, etc.

L'origine de ces pollutions sont diverses. On cite :

- pollution accidentelle par les navire, centrales nucléaires ;
- pollution qui regagne le milieu aqueux par action diffuse :
 - . rejet industriels des industries chimiques parachimiques électromécaniques ;
 - . rejets urbains : effluents domestiques, épandage des boues d'égouts les suintements des dépôts d'ordures ;
 - . lessivage par la pluie des terrains agricoles (utilisation abusive et anarchique de engrais azotés et phosphatés, pesticides etc.) ;
 - . lessivage des terrains miniers à concentration élevée en métaux et dégradation des sols latéritiques ;
 - . la décomposition des matières végétales et animales ;
 - . le lavage de l'atmosphère par la pluie et le vent (exemple le plomb des échappement des voitures).

III - LES PARAMÈTRES DE QUALITÉ DES EAUX ET LEUR RELATION AVEC LA SANTÉ

Le danger le plus commun et le plus répandu qui menace l'eau de boisson est la pollution, directe ou indirecte par les eaux usées, les déchets diverses ou les déjections humaines et animales.

1. Bactéries pathogènes véhiculées par l'eau

La pollution fécale peut introduire dans l'eau une grande diversité d'organismes pathogènes intestinaux-bactériens, viraux ou parasite dont la présence est liée à des maladies microbiennes et à des porteurs qui se trouvent dans la collectivité (et environnement) parmi celles dont on sait qu'elles sont responsables de la contamination de l'eau de boisson figurent des souches salmonella, shigella, escherichia coli enterotoxique, vibrio cholerae, sersimia enterocolitica et campulobacter fetus. Ces organismes peuvent provoquer des maladies dont la gravité va d'une gastro-entérite bénigne à une forme de dysenterie de choléra ou de typhoïde grave voire fatale. Les bactéries pathogènes se transmettent en pesticules par ingestion d'eau ou de nourritures pollués par contacts des personnes ou des animaux infectés

2. Virus

Les intérovirus peuvent produire un léger éventail de syndrome, notamment des éruptions cutanées, la fièvre, une gastro-entérite, une myocardite, une méningite, des affections respiratoires et des hépatites.

3. Protozoaires

Les principaux protozoaires transmis par l'eau sont :

- *Entamoeba histolytica* ;
- *Balantidium coli*.

Ces protozoaires peuvent entraîner de gastro-entérites, diarrhée légère à une intense dysenterie sanglante, l'abcès du foie est la complication métastatique la plus courante.

4. Helminthes

4.1 *Dracunculus medinensis* ou ver de Guinée

L'infestation par le ver de Guinée ou dracontiose (*Dracunculose*) est une des principales causes de maladies invalidantes. La douleur due à l'infection est une arthrite de l'articulation la plus voisine du ver immobilisé pendant plusieurs semaines le sujet atteint.

4.2 Les *Schistosomia* - Bilharzies

Affectent 200 millions d'individus à travers le monde des besoins primaires atteignent essentiellement le foie, l'intestin le pourtour de la vessie et dégâts secondaires voies urinaires.

4.3 *Ascaris lumbricoides*, *trichuris*, *enterobium* etc.

Les helminthes intestinaux provoquent de nombreux symptômes la plupart des infections sont subchimiques mais quelques-unes sont mortelles.

5. Les organismes libres

(le plancton et macro-invertébrés)

Des substances toxiques produites par les algues ont des répercussions néfastes sur la santé publique. Parmi les espèces vénéneuses existent :

- algues vert-jaunes (*Xanthophyte*) ;
- algues bleues (*cyanophyte*).

6. Composants minéraux intéressant la santé

* Arsenic :

De nombreux composés de l'arsenic sont solubles dans de l'eau.

La toxicité de composés arséniques dépend de leur forme chimique et physique.

L'intoxication atteint le système nerveux central, d'où un coma et même la mort à 70 % à 180 mg/l

* Amiante silicate minéraux fibreux chrysotiles, crocrodolite

Un excès d'amiante dans l'eau provoque un cancer digestif.

* Baryum (Ba) matière minérale naturelle

Il est toxique après des concentrations de 600 mg/l

* Beryllium (Be) : structure minérale

L'inhalation du Be est nocive pour l'être humain : rhinite, pharyngite, pneumonites et œdèmes pulmonaires.

* Cadmium (Cd) : La solubilité dépend de l'acidité du milieu : graves troubles intestinaux.

* Chrome (Cr) : Trivalent : indispensable à l'Homme prévention du diabète bénin

Hexovalent : nocif = apparition de cancer de l'appareil digestif

* Cyanure

Dans l'eau l'acide cyanhydrique se dissocie pour donner l'ion cyanure. Les cyanures sont utilisés dans de nombreux procédés industriels (production d'acrylonitrile).

Une seule dose de 50 à 60 mg est généralement mortelle pour l'Homme.

* Fluorure : 93 g/kg de l'écorce terrestre sont des fluorures les concentrations plus élevées se trouvent dans les eaux souterraines (1 mg/l) une forte dose est toxique pour l'Homme.

* Dureté de l'eau

La dureté de l'eau n'est pas un constituant spécifique, mais une association complexe et variable de cation t anion Essentiellement due au calcium et au magnésium, mais aussi au strontium, baryum et d'autres ions polyvalents.

* Plomb (Pb)

Le plomb à forte dose est connu depuis des siècles comme un poison du métabolisme général, tendant à l'accumulation. L'intoxication aigre se manifeste par de symptômes difficiles à mesurer : abattement, lassitude, gêne abdominale, anémie.

* Mercure (Hg)

L'intoxication par le mercure se manifeste principalement par de troubles hémologiques et rénaux associés respectivement aux composés organiques et aux composés minéraux.

* Nickel (Ni)

Le nickel est relativement peu toxique. Des études poussées ont montré que ses effets se caractérisent par des dermatites et de l'eczéma des mains.

* Nitrates. Nitrites

L'eau chargée en nitrate est responsable dans certains pays de cas de méthémoglobine infantile ayant entraîné la mort.

Comme les nitrates se transforment facilement en nitrites, dans la bouche ou ailleurs dans l'organisme ou l'acidité n'est pas très forte (pH élevé), il est possible qu'apparaissent des nitrosamines dont certaines peuvent être cancérogènes

* L'argent (Ag)

Rien ne semble prouver que l'argent soit indispensable à l'organisme de l'Homme. Des cas d'intoxication mortelle ont été enregistrés, mais seulement à des doses extrêmement fortes, l'argent ayant principalement pour objet une coloration anormale de la peau, des cheveux et des ongles (agraire).

* Sodium Na

L'excès de Na influe sur l'apparition de l'hypertension et sur son niveau.

7. Les composantes organiques

* Alcane chlorés

- Industries chimiques :

Ils sont utilisés comme intermédiaires dans la fabrication d'autres organochlorés

- Tetrachlorure de carbone (CCl₄)
- Dichloro-1,2 éthane (CH₂Cl-CH₂Cl)

Si le premier n'est aussi nocif, le second par contre est un produit qui agit comme un narcotique et provoque des lésions de foie de rein et de l'appareil cardio-vasculaire

* Ethènes chlorés

Les composés de ce groupe sont très utilisés dans l'industrie comme solvants, plastifiants, diluants pour peintures, liquide de nettoyage à sec, etc.

Les composés offrant de l'intérêt sont ceux qui manifestent une activité cancérogène tel que : le chlorure de vinyle, le dichloro 1,1 éthène) trichloréthène. Ce dernier est connu pour son action mutagène sur un certain nombre de souches bactériennes.

* Les hydrocarbures aromatiques : (hap) : naphthalène fluorantène benzo (a) pyrène

Les HAP constituent un vaste groupe de composés organiques comportant 2 ou plusieurs noyaux benzéniques accolés à des noyaux aromatiques. Les HAP de l'environnement sont soit d'origine naturelle soit dus aux activités humaines (effluents domestiques, etc.). Leur ingestion provoque l'hyperkeratose, l'hyperplasie et la dispersion des glandes sébacées dans l'épiderme.

* Pesticides

Parmi les pesticides susceptibles d'influencer sur la qualité des eaux figurent les hydrocarbures chlorés et leur dérivés, les herbicides persistant les insecticides du sol, les pesticides qui se lessivent facilement du sol et ceux qui sont systématiquement ajoutés à l'eau pour la lutte antivectorielle ou à d'autres fins.

- la DDT (Dichlorodiphényl trichloroéthane)
- Aldrine et dieldrino
- Chlordane
- Hexachlorobenzène (Hcb)
- Lindane
- 4,8,2,4 D (l'acide dichloro-2,4 phenoxy) aseptique

l'ingestion de ces pesticides entraîne beaucoup de perturbations physiologiques et des maladies graves (cancer notamment).

8. Matières Radioactives

L'évaluation de l'exposition aux rayonnements radioactifs s'inspire des recommandations de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique.

Dans l'eau, il est certes possibles de procéder à quelques estimations à partir des informations disponibles tel que : la connaissance des rejets autorisés par les installations nucléaires ou données géologiques sur la radioactivité naturelle.

Les valeurs indicatrices recommandées sont de 0,1 Bq/l pour l'activité Alpha et 1 Bq/l pour Béta.

9. Les paramètres organoleptiques

Aluminium	Sulfure d'hydrogène	pH	Température
Chlorure	Fer	Na sodium	Solide totaux en
Couleur	Manganèse	Sulfates	solution
Cuivre	Oxygène dissous	Goût et odeur	turbidité
Dureté de l'eau			Zinc

Ces différents paramètres peuvent avoir des effets négatifs sur la santé publique si leur concentration dans eau atteint un seuil critique (voir annexe 1).

IV - APPLICATION : ANALYSE DE LA QUALITÉ DES EAUX MAURITANIENNES DESTINÉES À L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE (ANNEXE 2).

L'analyse de certains paramètres des eaux de quatre villes mauritaniennes (Nouakchott, Rosso, Kaédi et Boghé) montre que celles-ci sont affectées par des pollutions locales détériorant ainsi leur qualité.

Les principales conclusions qu'on peut tirer de ces analyses sont :

- une augmentation des teneurs en Fe à Rosso du à un lessivage du bassin versant du fleuve à caractère ferrugineux (début de la saison des pluies) ;
- une pollution bactérienne au moins d'octobre à Boghé et à Rosso due aux rejets locaux (domestiques notamment) ;
- une augmentation des taux des nitrates, dans les eaux de Kaédi due à un lessivage des terrains agricoles riches en nitrates, nitrites. Cette augmentation est observable à Boghé. Elle peut être aussi attribué à l'alcalinité des eaux de Boghé ;
- les eaux e la nappe de Idini répondent généralement aux normes de qualités des eaux potables.

V - CONCLUSION

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir en quantité dangereuse ni substance chimiques ni germes nocifs pour la santé. En outre, elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. la fraîcheur, l'absence de turbidité, de coloration parasite et de goût ou d'odeur désagréable sont autant de qualités exigées d'une eau d'approvisionnement public.

L'emplacement, la construction, l'exploitation et la surveillance d'un système d'alimentation en eau avec ses réservoirs et son réseau de distribution doivent être de nature à exclure tout risque de pollution.

En Mauritanie, la majeure partie de la population consomme de eaux non traitées et ne faisant l'objet d'aucun assainissement. les maladies répertoriées en ce sens sont nombreuses et diversifiées.

NORMES INTERNATIONALES APPLICABLES A L'EAU DE BOISSON (Annexe 1)

Substance ou propriété	Effets indésirables éventuels	Concentration maximale souhaitable	Concentration maximale admissible
Substances produisant des colorations parasites	Coloration parasite	5 unités	50 unités
Substances dégageant une odeur	odeur	pas de limite	pas de limite
Substance communiquant un goût désagréable	Goût désagréable	pas de limite	pas de limite
Matière en suspension	turbidité risque d'irritation gastro-intestinale	5 unités	25 unités
Solides totaux	Goût désagréable irritation gastro- intestinale	500mg/l	1 500 mg/l
pH	Goût désagréable corrosion	7 à 8,5	8,5 à 9,2
Détergents anioniques	goût désagréable et formation de mousse	0,2 mg/l	1,0 mg/l
Huiles minérales	Goût et odeurs désagréables après coloration	0,01 mg/l	0,3 mg
Composés phénoliques	Goût désagréable	0,001 mg/l	0,002 mg/l
Dureté totale	Dépôt excessif de tartre	2 mEq/l (100 g/l de CaCO ₃)	10 m Eq/l (500
Calcium	Dépôt excessif de tartre	75 mg/l	200 mg/l
Chlorures	Goût désagréable corrosion de conduite d'eau chaude	200 mg/l	600 mg/l
Fe	Goût désagréable, coloration parasite, dépôt et prolifération ferrobactérie, turbidité	0,1 mg/l	1,0 mg/l

	Rosso 1	Rosso 2	Kaédi	Nouakchott	Boghé
Cuivre mg/l	0,02	-	-	-	
Chrome hexavalent	0,004	-	-	-	
Manganèse	0,05	-	-	-	
Arsenic	-	-	-	-	
Cyanures		-	-	-	
Germes totaux unité/ml	3	infini	1	3	3700
Coliformes totaux nbre/l	3	8	3	3	230
Stréptocoques fécaux				-	
Selmonelles				-	
Coliformes thermotolérants E. coli				-	
Staph pathogènes				-	
Germes Anaérobiques				-	

N.B. Rosso 1 : 14 Juin ; Rosso 2 : 19 Octobre ; Résultats pris du CNH

**ANALYSE DE CERTAINS PARAMETRES DES EAUX
DE NOUAKCHOTT, ROSSO, KAEDI et BOGHE
(Annexe 2)**

Stations	Rosso 1	Rosso 2	Kaédi	Nouakchott	Boghé
Paramètre couleur mg/l pt/co	5	5	5	5	
Turbidité NVT	5	5	5	5	
Matière en suspension	P	néant	néant	néant	
Odeur et saveur	N	N	N	N	
PH	7,04	7,62	6,72	7,42	8,64
Dureté totale degré allemand	2,33	5,00	2,76	8,99	
Calcium mg/l	7,14	7,4	8,72	28,57	
Magnésium mg/l	5,78	7,78	6,74	17,33	
Sodium mg/l	-	26,0	-	-	
Potassium mg/l	-	3,0	-	-	
Oxydabilité mg/IO ₂	8,33	13,74	2,63	3,84	
Résidu sec mg/l	202,5				
Sulfates mg/l	13,40		5		
Chlorures mg/l	20,35	13,2	12,60	94,96	
Ammonium mg/l	0,02	0,02	0,13	0,02	0,21
Nitrates mg/l	0,04	0,04	3,73	0,1	4,96
Nitrites mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,05
Fe mg/l	0,48	0,08	0,05	0,05	

LE PROJET "MOBILISATION SOCIALE POUR LA SANTE"

Fatma Nour, Paul Legeault et Jean Le Priol

WORLD VISION MAURITANIE

I - PRESENTATION DU PROJET

Le Projet "Mobilisation sociale pour la santé" a démarré en Avril 1992 et entreprend donc sa troisième année d'activité. Ses objectifs sont les suivants :

1°) Information de la population sur des questions sanitaires

L'objectif est de sensibiliser 70 % de la population sur les problèmes de vaccination, de nutrition, de prévention et contrôle de la diarrhée. Il s'agit de changer les comportements et pratiques des populations afin de réduire le taux de mortalité et de malnutrition infantile.

Le moyen d'action consiste en l'utilisation de divers médias : films, vidéo-clips, chansons, messages, communiqués radiophoniques, affiches, panneaux-réclames, articles dans les journaux, T-shirts et autocollants comportant des messages écrits, banderoles, calendriers-santé, diapositives, etc.

2°) Création de l'ONG Mauritanienne "ESPOIR"

Il s'agit de mettre sur pied une ONG nationale capable d'entreprendre des actions de mobilisation sociale et de prendre la relève de WVM (World Vision). En 1993, l'ONG "Espoir" a reçu sa reconnaissance juridique : un conseil d'administration a été constitué et un bureau organisé supervisé par une Secrétaire exécutive formée dans le cadre du projet.

3°) Soutien des actions du Ministère de l'Éducation et du PAM pour l'éducation sanitaire et nutritionnelle dans les écoles

Des actions de formation de professeurs et d'administrateurs ont été organisées dans trois écoles de Nouakchott, ainsi qu'une sensibilisation des parents. Le but est de changer les comportements pour l'amélioration de la santé des élèves.

Des cours de cuisine ont été donnés aux cuisinières chargées des cantines scolaires.

Un manuel "Soyons propres pour être en bonne santé" a été élaboré et est actuellement en cours d'édition.

En Décembre 1993, une étude (D. Harrison), confirmant les constats de l'UNICEF, a montré que dans une société analphabète à 61 % (79 % des femmes sont analphabètes) le scripto-visuel a peu de chances d'atteindre son but d'information. Ceci a conduit à réorienter la stratégie de communication et à privilégier les moyens traditionnels de communication et les messages radio.

II - L'EAU DANS LE PROJET

La nécessité d'eau potable est permanente et essentielle dans ce projet intégré ; l'eau est à l'origine de toute action et sans elle il ne peut y avoir de succès.

L'éducation sanitaire et nutritionnelle (deux volets intimement liés), est fondée sur la mise à disposition constante d'eau de bonne qualité. Grâce à l'eau, l'éducatrice peut :

- exiger des enfants l'hygiène corporelle qui évitera les maladies courantes diarrhéiques, parasitaires et dermatologiques ;
- sensibiliser les cuisinières qui préparent les repas de la cantine à l'hygiène corporelle et alimentaire et à la propreté des ustensiles et des locaux (cuisines et réfectoires) ;
- créer des jardins dans l'enceinte de l'école où seront produits les légumes nécessaires à l'équilibre nutritionnel des enfants et à leur meilleur développement physique (variété alimentaire permettant de lutter contre les carences en vitamines et protéines).

De plus l'eau sera utilisée pour la construction des infrastructures du projet et leur fonctionnement (salles de classes, magasins où seront entreposés les vivres).

III - CONCLUSION

Eduqués à l'école, les enfants apprennent à leur famille ce qu'on leur a enseigné : comment ne pas gaspiller l'eau et la conserver potable (gouttes d'eau de Javel), comment se comporter pour avoir une bonne hygiène corporelle et éviter les maladies courantes, comment améliorer la nourriture quotidienne et atténuer les carences alimentaires.

C'est ainsi que l'information sanitaire et nutritionnelle, accompagnée par la mise à disposition permanente d'eau potable, doit permettre de changer petit à petit les mentalités et les pratiques et améliorer progressivement l'état de santé de la population mauritanienne.

ACTIVITES DU CENTRE NATIONAL D'HYGIENE DANS LE DOMAINE DE L'EAU

Sidi Ould Aloueimine
Centre National d'Hygiène

Satisfaire les besoins des populations en eau potable est le souci de toute société moderne consciente des dangers que peut engendrer la négligence de cette qualité. Si par le passé, partout dans le monde et plus particulièrement dans les pays du Sahel comme le nôtre, les problèmes quantitatifs se posaient avant ceux qualitatifs, de nos jours l'appel à la qualité devient de plus en plus pressant. Donc, consciente de cette réalité, la Mauritanie a attaché une importance particulière au contrôle et à la surveillance des eaux de boisson et ceci dès la création du Centre National d'Hygiène en y définissant une Division qui s'en est occupée exclusivement dès lors. L'eau potable en Mauritanie est une eau d'origines diverses et essentiellement de puits, de forage ou superficielle. Dans notre pays où la plus grande partie de la population ne dispose pas d'un approvisionnement en eau par conduites et où, en outre, aucune mesure n'est prise pour le traitement de ces eaux ni la protection des sources, une contamination de l'eau potable par différentes matières peut fréquemment se produire, ce qui engendrerait la propagation des maladies transmises par cette voie. Il est connu que dans beaucoup de pays en développement les maladies transportées ou occasionnées par l'eau figurent parmi les trois grandes causes de mortalité. L'OMS considère en particulier qu'un approvisionnement commode en eau potable est l'action la plus importante qui puisse être menée pour améliorer la Santé Publique. C'est ainsi que le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau s'avère déterminant pour parvenir à cet objectif.

Le Centre National d'Hygiène est l'unique institution qui s'occupe de la surveillance et du contrôle de la qualité de l'eau sur l'ensemble du territoire national. Ses activités peuvent être classées en 2 volets :

1 - ANALYSES SYSTEMATIQUES

Ces analyses se font régulièrement et visent les eaux sous canalisations distribuées par la Société Nationale d'Eau et d'Electricité (SONELEC), en plus des eaux minérales produites localement.

Les eaux par conduites sur lesquelles le Centre National d'Hygiène a opéré jusqu'à présent sont celles de 7 centres sur 10 dont la SONELEC dispose.

2 - ANALYSES EPISODIQUES

Nous recevons des échantillons d'eau du privé et ceci de tous les coins du pays. L'origine de ces échantillons est très variée (puits traditionnels, forages, fleuve, etc.).

L'étude des résultats d'analyse de l'année 1993 ont montré les résultats suivants :

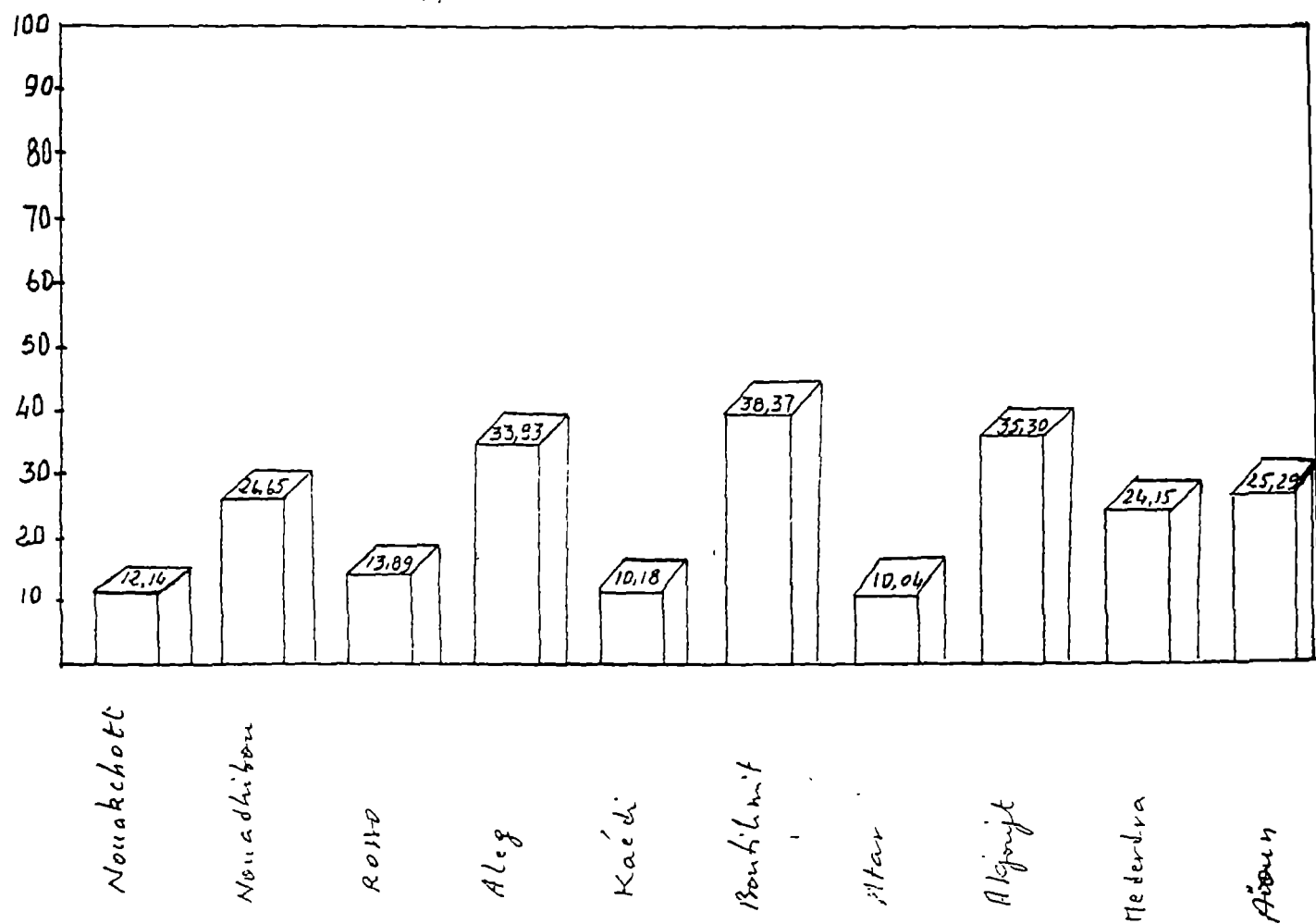
- 1) sur 169 échantillons analysés, 67,45% répondent aux normes de la potabilité de l'eau, dont 62,72% représentent l'eau sous canalisation et seulement 4,73% l'eau d'autres provenances ;
- 2) 80% des échantillons privés analysés ne répondent pas aux normes contre 17,83% pour les échantillons d'eau sous canalisation.

Ainsi, l'eau sous canalisation dans la réalité actuelle des choses dans notre pays peut être jugée conforme aux normes de qualité. Seulement, qui a le privilège d'être desservi par ces eaux ? Voyons la situation au niveau national.

En supposant que l'eau sous canalisation est de qualité admise et en négligeant le 17,83% d'échantillons ne répondant pas aux normes, nous trouverons que 5,3% en moyenne des foyers ont accès à l'eau sous canalisation et ce taux est réparti en 10 centres sur l'ensemble du pays (voir graphique). Enfin, bien que ces résultats ne puissent être considérés déterminants d'une manière sûre sur la situation sanitaire de l'eau en Mauritanie, ils donnent une idée générale d'une part sur la situation sanitaire de l'eau, et d'autre part sur l'activité limitée que mène le Centre National d'Hygiène dans le domaine de la surveillance de la qualité de l'eau potable. C'est ainsi que plus de 75% des activités du Centre National d'Hygiène dans ce domaine pendant l'année 1993 - à titre d'exemple - sont consacrées à la surveillance de l'eau sous canalisation qui doit être au 2ème plan par rapport à l'eau à risque qui approvisionne la grande partie de la population. Ceci est d'autant plus actuel quand on sait que de nombreuses études épidémiologiques réalisées dans différents pays en développement désignent les eaux contaminées comme l'agent privilégié de la transmission de plusieurs maladies comme la typhoïde, le choléra et la dysenterie bacillaire (Shigellose). Cette situation relative aux activités très limitées du Centre National d'Hygiène est due exclusivement (ou presque) au manque de moyens. Ainsi, plusieurs projets d'enquêtes sur la potabilité de l'eau ont été envisagés depuis une à deux années et n'ont jamais pu se réaliser.

Enfin, et avant de terminer, permettez-moi de saisir cette occasion pour demander à tous les intéressés par le problème de la qualité de l'eau en Mauritanie de bien vouloir coopérer avec le Centre National d'Hygiène afin que ce dernier puisse accomplir l'une des tâches qui lui sont dévolues qu'est la surveillance de la qualité de l'eau sur l'ensemble du territoire national et ceci pour disponibiliser les informations les plus complètes possibles sur la qualité et sur la plus grande superficie possible du pays.

Taux d'habitants s'approvisionnant en eau par conduite.



**RESSOURCES EN EAU,
ENVIRONNEMENT ET DEVELOPPEMENT**

RESSOURCES EN EAU, ENVIRONNEMENT ET DEVELOPPEMENT

Amadou Bocoum

Conseiller Technique Direction de l'Hydraulique BP 5231 ATF Nouakchott - Mauritanie.

A la fin du siècle, la population Mauritanienne connaîtra une croissance sans précédent suivi d'un développement d'une grande ampleur des activités socio-économiques utilisatrices d'eau. Un simple maintien des niveau de consommation actuels en l'an 2 000 exigerait une augmentation considérable de la production en eau potable. Cela suppose que l'on puisera abondamment dans les ressources naturelles renouvelables (eau, sol, forêts et pâturages, etc.).

La pression démographique et l'intensification de l'exploitation de ces ressources qui en résulte et qui n'est pas toujours adaptée aux conditions écologiques pourraient dégrader et épuiser ces ressources de base si une stratégie cohérente et équilibrée de développement n'est pas adoptée.

Aussi, la principale contrainte écologique incombant actuellement aux activités de développement n'est pas seulement d'éviter la pollution et d'assurer la préservation de l'environnement, mais aussi de maintenir la capacité productive des ressources naturelles grâce à des mesures de conservation et d'aménagement rationnel.

Une répartition équitable et une utilisation efficace de l'eau, respectant l'équilibre écologique et la protection de l'environnement sont donc indispensables au développement rural, à la mobilisation des ressources humaines, à l'accroissement de la production et à la protection sanitaire des populations.

Il s'agira donc de préciser dans les communications qui seront présentées, les conditions de mise en valeur des ressources en eau disponibles ou potentielles pour un développement intégré et équilibré des activités socio-économiques.

Jusqu'à présent les eaux souterraines mobilisées n'ont joué qu'un rôle essentiellement social, tandis que les eaux de surface en dehors du fleuve restent encore faiblement aménagées.

Par ailleurs, les concurrences d'utilisation qui naîtront de la croissance de plus en plus grande des besoins et de la demande en eau pour tous les secteurs exigent qu'une attention particulière soit accordée aux règles de gestion des ressources en eau.

Pour garantir l'élévation du niveau de vie des populations et sécuriser leur alimentation en eau, celles-ci doivent prendre une part accrue dans l'investissement et assurer toutes les charges d'exploitation et de fonctionnement des ouvrages à niveau de service relativement élevé.

Les communications doivent refléter également le rôle de pôle de développement dévolu aux points d'eau et définir les conditions de viabilité économique des agglomérations, les critères d'aménagement de l'espace que représentent notamment l'importance et la qualité des ressources en eau, ainsi que la préservation des écosystèmes, et en fin les aspects liés à la mobilisation des ressources en eau pour la lutte contre la pauvreté tant en milieu rural qu'en milieu urbain.

L'EAU COMME FACTEUR DE RÉPARTITION DES POPULATIONS ET DES ACTIVITÉS EN MAURITANIE

Moctar Ould El Hacem

Directeur Aménagement du Territoire. Ministère de l'Intérieur. Nouakchott. Mauritanie.

I - EAU ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Comme dans beaucoup de pays, le problème de l'aménagement est issu de la tension entre une ressource limitée - le territoire- et la croissance rapide de la population. le même sol soumis aux contraintes climatiques en Mauritanie doit supporter aujourd'hui une population environ 2,5 fois plus nombreuse qu'en 1950. En 2010, le même espace devra faire face ,aux besoins d'une population en ordre de grandeur double de la population actuelle. Conscient de cette situation, l'Etat a entrepris une étude d'un schéma national d'aménagement du territoire en 3 phases :

- Phase I : diagnostics ;
- Phase II : scénarios ;
- Phase III : options.

La phase III achevée depuis 1989 et réactualisée en 1993 est en cours de présentation en conseil des ministres. Cette phase constituera un prélude au recueil des données sur les wilayas en vue de l'établissement aux environs de 1996-1997 de plans d'aménagement régionaux (un pour chaque wilaya). Ces plans d'aménagement régionaux contribueront à l'établissement d'un plan national d'aménagement du territoire. Dans cette démarche, l'eau qui est source de vie constitue un domaine de prédilection pour l'aménagement du territoire :

- d'abord parce qu'un espace doté en ressource d'eau ou de quantités d'eau exploitable facilement, influencera la concentration des populations et les activités. Toute création de point d'eau à travers le territoire national, sera donc à l'origine de transformation dans l'occupation des sols, l'environnement et la répartition du peuplement ;
- à l'inverse, la disparition d'un point d'eau peut être une source de migration ou d'exode des populations. Ceci montre la nécessité donc de considérer les ressources en eau comme un patrimoine précieux du territoire national.

Eau et développement communal.

Dans le projet de la direction de l'aménagement du territoire pour la planification régionale, il est établi plusieurs niveaux de développement pour les communes dont le premier reste la satisfaction en eau potable.

- 1^{er} niveau : est-ce qu'une commune a des puits, une école, un dispensaire ;
- 2^{ème} niveau : surfaces cultivables, autres ressources ;
- 3^{ème} niveau : infrastructures de loisirs.

II - POTENTIEL HYDRAULIQUE ET CROISSANCE DÉMOGRAPHIQUE EN MAURITANIE.

1 - Commentaires des carte

- carte des isohyètes ;
- carte du potentiel hydraulique.
 - * isohyètes et concentration humaine dans le Hodh Charghi ;
 - * barrages et terres de culture dans le Hodh Charghi ;
 - * espaces pastorale au Hodh Charghi.

2 - Optimum de population par wilaya

L'aptitude d'une wilaya à faire vivre un certain nombre d'habitants dépend de facteurs physiques dont l'eau principalement. Du coup la mise en valeur et le système de production dans chaque wilaya doivent évoluer par rapport au potentiel en eau. Une approche globale homogène de cette aptitude exige une bonne connaissance des différentes zones d'eau et leurs possibilités d'évolution et d'intensification des systèmes de production.

III - Potentiel hydraulique et concentration des activités.

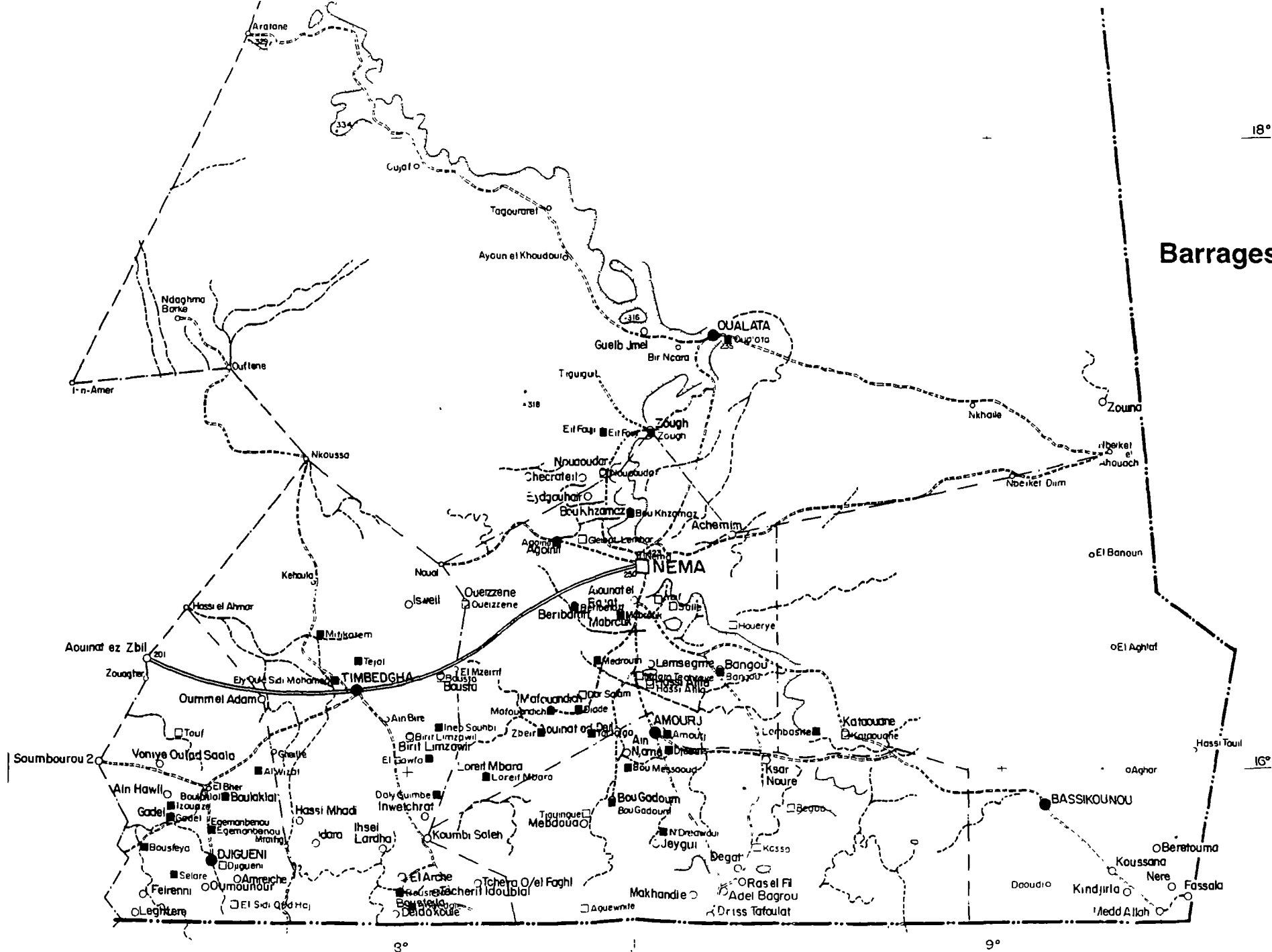
La maîtrise de l'eau dans la vallée du fleuve Sénégal a été à l'origine de la concentration de pas mal d'activités menées notamment par le secteur privé. Ces activités sont à l'origine de mouvements de populations vers les wilayas du fleuve : Guidimakha, Gorgol, Brakna et Trarza. Avec la maîtrise de l'eau, les investissements dans le domaine de l'agriculture et la transformations de produits agricoles deviennent également rentables. La préoccupation actuelle de l'aménagement du territoire, c'est de concentrer les efforts et les investissements publics vers les autres régions afin de maintenir les populations sur leurs terroirs.

Conclusion.

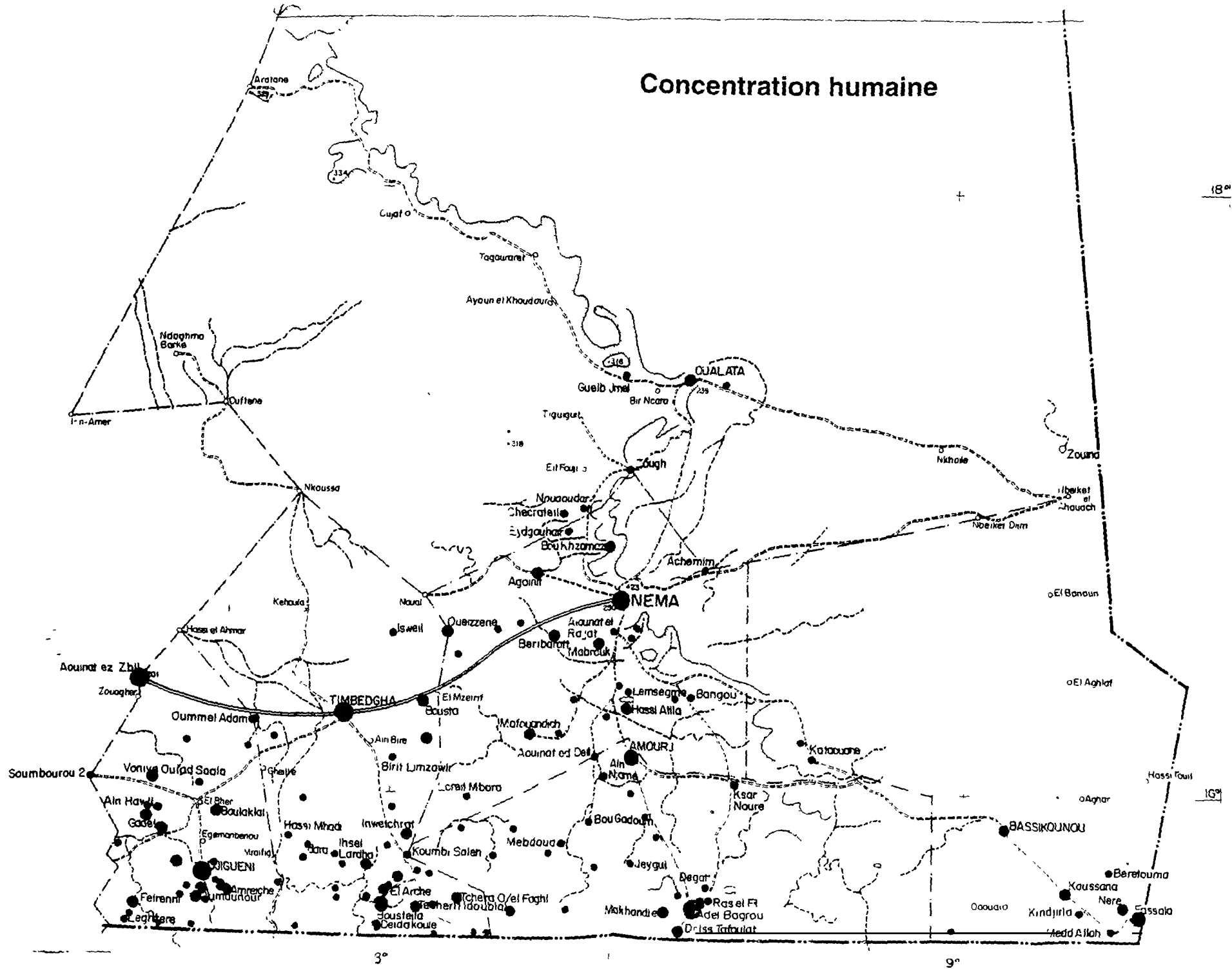
Les potentiels hydrauliques de chaque wilaya doivent être étudiés et évalués pour les mettre en rapport avec la croissance démographique au niveau des régions.

Ce travail nécessite une coordination plus étroite entre le Ministère de l'Hydraulique, le Ministère du Plan et le Ministère de l'Intérieur des Postes et Télécommunications.

Barrages en terre



Concentration humaine



L'EAU FACTEUR DE STRUCTURATION ET DE DÉVELOPPEMENT SOCIO-ÉCONOMIQUE EN MILIEUX RURAL ET URBAIN

Camara Fodié

CN/OMVS/MHE

1. Introduction

Chacun est conscient de l'importance des cours d'eau comme structure de base, de vie de substance et moteur de développement grâce aux différents usages que l'homme fait de la ressource en eau.

D'après certains auteurs, dans l'ouest des Etats-Unis, le contrôle de l'eau était une source essentielle de la richesse et du pouvoir, tandis que dans certains pays, l'importance des cours d'eau est de plus en plus liée à des valeurs non "économiques" de type culturel, esthétique même si certaines de ces valeurs font l'objet d'activités économiques.

Par contre, dans les pays du tiers Monde et en particulier dans ceux du Sahel, l'équipement hydraulique reste le plus souvent une nécessité et une préoccupation majeure des Etats dans le cadre de la maîtrise et de la gestion intégrée des eaux à des fins de développement économique.

Dans les contextes géographiques et climatiques de notre pays, l'eau est une ressource rare et précieuse dont les difficultés de renouvellement semble s'accroître d'année en année. La gestion rationnelle de cette importante ressource en eau constitue donc un impératif national. Les éléments de cette gestion équilibrée et rationnelle résident dans la connaissance du régime de l'écoulement des eaux et de ses relations avec le milieu naturel, l'évaluation des besoins en eau de différents usages et des effets rétroactifs de leur exploitation sur le régime hydrologique, l'influence des usages sur les ressources biologiques et les changements observés, ainsi que l'évolution des phénomènes naturels et les tendances enregistrées au niveau de la ressource eau.

2. L'eau facteur de structuration et de développement socio-économique en milieu rural cas des pays-membres de l'OMVS.

Si on faisait un rappel de ce qu'étaient les conditions climatiques et de leur influence sur l'agriculture traditionnelle dans les pays-membres de l'OMVS et en particulier en Mauritanie (ex : année 1970) on peut faire les constats ci-après :

Les conditions climatiques ont été aléatoires et sont caractérisées par :

- l'irrégularité des pluies (juillet à octobre) aussi bien dans le temps que dans l'espace ;
- l'irrégularité annuelle des débits du fleuve qui passent de 10 000 m³/s (Août-Septembre) dans les années de forte hydraulité à 10 m³/s (Mai) à Bakel dans les années de faible hydraulité ;
- l'irrégularité intrannuelle des apports du fleuve. Le volume d'eau s'écoulant vers la mer, inutilisable à des fins agricoles, peut varier de 34 milliards de m³ (1939) à 8 milliards de m³ (1972) ;
- la remontée de la langue salée en période d'étiage, empêchant toute culture de contre saison jusqu'à Boghé en année de faible crue.

La régularité et la gestion de la ressource en eau grâce à la construction des barrages a permis de créer des conditions favorables pour l'impulsion du développement socio-économique à travers un certain nombre d'activités potentiellement motrices :

- agriculture irriguée, élevage grandes et petites agro-industries à court et moyen termes ;

Le barrage de Manantali, fonctionnel depuis 1987 doit assurer les fonctions ci-après :

- garantir un débit régularisé de 300 m³/s à Bakel ;
- produire 800 GWH d'énergie hydro-électrique grâce à une retenue d'une capacité de 11 milliards de mètres cubes d'eau ;
- écarter les crues. Il permettra d'irriguer en double culture 300 000 hectares et pendant une période transitoire de favoriser la culture traditionnelle de décrue en moyenne sur 50 000 hectares.

Quant au barrage de Diama fonctionnel depuis 1986 ses principales fonctions sont :

- arrêter la remontée de la langue salée jusqu'aux environs de Boghé ;
- créer une retenue d'eau à l'amont du barrage ;
- alimentation des dépressions et des marigots (lac de Guiers au Sénégal, lac de R'Kiz et Aftout-Es-Saheli en Mauritanie ;
- irrigation pendant toute l'année de 75 000 hectares de terres ou 42 000 hectares selon la cote d'exploitation du barrage/2,50 ou 1,50 m IGN).

La disponibilité de la ressource en eau a permis aux Etats-Membres de l'OMVS d'améliorer les activités économiques ci-après :

- initiation des paysans à l'agriculture irriguée et augmentation des superficies aménagées se situant aux environs de 100 000 ha dans l'ensemble du bassin dont plus de 30 000 ha en Mauritanie ;
- intégration progressive de l'agriculture et de l'élevage avec utilisation des sous-produits agricoles ;
- responsabilisation directe des groupements dans la gestion, l'autogestion et l'entretien des périmètres ;
- libéralisation de la collecte, de la transformation et de la commercialisation des céréales et plus spécialement du riz-paddy ;
- structuration des sociétés d'exploitation de type familial qui investissent dans la vallée ;
- amélioration de l'environnement socio-économique pour le développement de l'initiative privée ;
- apparition progressive des groupements d'intérêt économique et agro- industriels tout au long de la vallée.

3. Eau facteur de structure et de développement socio-économique en milieu urbain.

De même que l'on assiste à un développement urbain et industriel dans la région du bassin du fleuve Sénégal, les bénéfices s'accumulant dans ce secteur continueront d'augmenter. Le projet OMVS fournira certains bénéfices immédiats en terme d'approvisionnement en eau potable aux villes de Kayes, Bakel, Matam, Richad-Toll, Rosso, Podor, Boghé, Kaédi, Saint-Louis et Dakar. Il en est de même pour l'eau industrielle.

Les données récentes de l'OMVS indiquent qu'au Sénégal les prélèvements d'eau à partir du fleuve sont :

- eau domestique 52 195 000 m³/an
- eau industrielle 800 000 m³/an

soit un coût d'investissement de 48 605 851 000 F CFA.

Pour la Mauritanie, seule la ville de Rosso est actuellement alimentée par le fleuve et les consommations dans ce sens sont très négligeables.

A court et moyen terme, le renforcement du ravitaillement en eau de l'agglomération de Nouakchott apparaît comme inévitable.

Dans cette perspective, deux projets sont envisagés :

L'inondation de l'Aftout-Es-Sahéli, et la pose d'une conduite d'eau 200 km environ entre le fleuve de Nouakchott. On peut retenir l'option de l'Aftout-Es-Sahéli, à partir d'un horizon acceptable, dont les prélèvements bruts dans le fleuve Sénégal sont estimés à 106 millions de m³/an.

4. Gestion intégrée de fleuves

La gestion intégrée des systèmes fluviaux se heurte à un certain nombre de blocage, dont :

- Un blocage naturel : la rareté de l'eau.

La rareté de l'eau est difficile à définir objectivement, il ne faut pas seulement considérer les quantités moyennes, mais la variabilité par rapport à la moyenne, sans oublier la situation du bassin, sa population, le ruissellement, les conditions climatiques. Ainsi notre connaissance sur les facteurs déterminant cette rareté reste incomplète.

- Un blocage humain : une gestion irrationnelle.

L'inondation peut être catastrophique mais aussi source de vie. D'où les controverses, sur les opérations de stockage d'eau et de contrôle de cours, et autres projets facteurs de changements quantitatifs ou qualitatifs ne doivent pas être vue dans un sens strictement technologique, mais et surtout dans le sens de l'écosystème à savoir, les usages et les ressources biologiques.

- Un blocage économique : le manque de moyen.

Il y a un lien entre développement économique et accroissement de la ressource en eau, mais celui-ci ne produit pas à lui seul le développement. Il faut noter aussi que le rapport entre l'offre et la demande d'eau est affecté par des politiques qui jouent à leur tour sur ce blocage.

- Blocage social : la méconnaissance des enjeux.

Les enjeux qui nous intéressent ici sont reliés directement aux usages et aux qui à la longue doivent faire ressortir les conflits dont il faudra être prêt pour les résoudre.

- Blocage institutionnels.

Leur nature varie selon le pays : manque de coordination, centralisation excessive des décisions, confusion dans les objectifs, insuffisance budgétaire, manque de programmation

5. Objectif à long terme pour la gestion durable du fleuve et de son bassin versant

La lutte généralisée contre le gaspillage de l'eau doit être une priorité. A l'heure actuelle, dans la plupart des pays du tiers monde, la gestion de l'eau n'intègre pas la notion de durabilité et de protection de cette ressource.

Des techniques existent dans le monde qui permettent d'économiser l'eau des agriculteurs :

En Ex-Union Soviétique et au Texas par exemple, on est arrêté à faire une économie d'eau d'environ 30 % ces dernières années tout en augmentant les rendements. Parmi les solutions qui sont préconisées, on peut citer :

- l'amélioration des appareils d'arrosage afin de distribuer l'eau plus près du sol ;
- l'utilisation d'économiseurs d'eau, type goutte-à-goutte ;
- l'utilisation du laser afin d'affiner le nivellement des champs pour que l'eau s'y répartisse de façon plus uniforme ;
- surveillance du degré d'humidité du sol afin de ne pas irriguer lorsque ceci n'est pas nécessaire ;
- la rotation et le choix des cultures et l'utilisation des variétés nouvelles qui sont plus résistantes aussi bien à la sécheresse qu'à la salinité.

La compétition pour l'eau entre utilisateurs n'est pas le seul problème. Le milieu naturel et la préservation des poissons, et de l'habitat de la faune sauvage, les autres valeurs écologiques et esthétiques des fleuves dans lesquels l'eau est prélevée excessivement doivent être prises en compte par le législateur de manière beaucoup plus systématique.

6. CONCLUSION

La préservation de la ressource en eau eu égard à sa rareté et aux difficultés de renouvellement s'impose à tous les pays et en particulier aux pays sahéliens.

Cette préservation doit tenir compte des aspects ci-après :

- amélioration des codes de l'eau au niveau de chaque Etat et leur harmonisation au niveau sous-régional permettant aussi de lutter contre l'utilisation abusive et anarchique des eaux ;
- protection qualitative des eaux ayant pour objet la lutte contre la pollution des eaux et leur régénération dans le but de satisfaire ou de concilier les exigences ;
- gestion intégrée des eaux englobant les paramètres ci-après :
 - usages et ressources biologiques
 - les changements observés pendant un temps donné
 - les composants de l'écosystème (eau, les sédiments et les habitats)
 - les activités humaines et les phénomènes naturels
 - identification et classement par importance des enjeux
 - élaboration des plans d'action en fonction des enjeux identifiés et des partenaires impliqués
 - définition et réalisation des projets
 - suivi et évaluation des projets.
- élaboration des codes des périmètres irrigués ou amélioration de ces codes en vue de minimiser les pertes en eau d'une part, et de minimiser les pertes en eau d'une part, et de favoriser le libre développement de l'initiative privée d'autre part ;
- amélioration des techniques d'irrigation dans le cadre de l'agriculture irriguée pour une meilleure économie de l'eau ;
- recherches hydrologiques et d'accompagnement pour un meilleur suivi des eaux (salinités, conductivités, pH, degré de toxicité, d'infection, etc.).

UNE POLITIQUE DE DEVELOPPEMENT POUR LA WILAYA DU BRAKNA

Haïmouda Ould Ahmed
Direction de l'hydraulique

I - INTRODUCTION

La région du Brakna est en phase de mutation profonde, tant au niveau social, qu'au niveau structurel, le nomadisme Traditionnel s'éteint petit à petit, au profit d'une sédentarisation encore hésitante, mal contrôlée et souvent anachronique.

Si les grandes sécheresses qui décimèrent les troupeaux sont à l'origine de cette transformation, la pression démographique sur les régions lus favorisées (sud, fleuve) et "l'imperméabilité" des frontières voisines ne font qu'amplifier le phénomène. La région du Brakna conserve indéniablement, un potentiel agro-pastoral important et une vocation de carrefour d'échanges économiques. Ainsi, les administrateurs et les Techniciens de la Wilaya s'efforcent aujourd'hui d'organiser un développement harmonieux d'une région menacée dans l'ensemble de son écosystème. Le Brakna doit devenir une région attractive, et pour cela l'ensemble de son potentiel doit entrer dans une politique d'aménagements concertée réfléchie et complémentaire.

II - LE CONSTAT

2 - 1 Le contrôle et l'appui du phénomène de sédentarisation.

Passer actuel, prouve qu'il existe un flux naturel de populations vers les régions du fleuve, et engendre une pression démographique et foncière qui provoquent les tensions et les problèmes que nous connaissons.

De plus, les investissements publics réalisés en priorité sur les régions du fleuve, n'ont fait qu'aggraver le déséquilibre.

Le Brakna a des zones à fort potentiel agro-pastoral qui ont encore peu ou mal mises en valeur et ce sont ces pôles qu'il faut maintenant développer.

2 - 2 Les Dangers d'une sédentarisation anachronique

Construire en dur sur un site, cultiver, élever et vivre peut provoquer une dégradation irréversible de l'écosystème.

Plusieurs phénomènes en sont à l'origine :

- la déforestation qui accompagne la désertification et l'érosion accélérés des terres cultivables.
- l'aménagement anarchique des réseaux naturels hydrographique qui perturbent l'ensemble du système.
- le surpâturage autour des villages sédentarisés qui provoque un appauvrissement des terres.
- l'exploitation des nappes :sans tenir compte de leur recharge.

Trop de communautés se déplacent encore à la recherche des terres en quittant des sites épuisés, déforestés..., stériles.

III - LA POLITIQUE D'IDENTIFICATION

3 - 1 Les règles d'une sédentarisation harmonieuse

Le constat étant fait, la Wilaya propose une méthodologie adaptée et simple pour atteindre les objectifs d'un développement équilibré de la région et la restauration d'un écosystème déjà fortement endommagé. Cette politique passe par un certain nombre de points qui tendent tous à redynamiser une coordination jugé insuffisante entre tous les acteurs intervenants dans ce but.

3 - 2 Identifier les sites à fort potentiels agro-pastoraux.

Les agents techniques régionaux et départementaux sont à même de déterminer les sites qui devraient faire l'objet d'une intervention intégrée pour les rendre fiables à long terme.

3 - 3 Conserver et protéger ces pôles

En commençant par développer "un bouclier" de protection contre l'avancée du désert sur toute la région longeant la route de l'Espoir côté Nord, entre Aleg et Sangrava.

Une vallée fossile située approximativement sur cet axe, devrait faire l'objet d'une étude approfondie pour la délimiter le plus exactement possible, afin de l'équiper en points d'eau et forages, ainsi donc une revitalisation de cet espace et une réimplantation d'un couvert végétal pourraient freiner l'avancée du désert.

IV - Planifier l'aménagement des sites sélectionnés.**4 - 1 Les aménagements hydro-agricoles :**

- Revenir à de systèmes peu coûteux et favoriser les réalisations par investissement humain ;
- Encourager les zones et les communautés à vocation agricole ;
- Mettre en place des plans d'aménagements compatibles avec l'actuel potentiel du réseau hydraulique de la région en préservant les retenues d'eau naturelles (lacs d'Aleg, de Guimi, de Chegar) ;
- Favoriser l'emploi et la réalisation de digues de ralentissement ou filtrantes déjà réalisées sur quelques sites, plutôt que des ouvrages à rétention totale, coûteux et dangereux pour les répercussions sur l'aval ;
- Développer les caractéristiques de ces mêmes ouvrages de ralentissement pour lutter contre l'érosion ;
- Implanter des ouvrages pour une action de recharge de nappe ;
- Organiser l'implantation de l'ensemble de ces aménagements de surface.

4 - 2 Les points d'eau

Distinguer les zones pastorales et agricole, utiliser le concept retenue (barrage) pour l'implantation des points d'eau, dans l'objectif d'une recharge régulière de la nappe.

L'INGENIEUR ET L'EAU

Communication Présentée par l'Association Nationale des Ingénieurs de Mauritanie (A N I M)

INTRODUCTION

L'eau est un élément indispensable à la survie de l'humanité et aux activités économiques et sociales de l'homme. Longtemps considéré comme ressource naturelle inépuisable, l'eau fait l'objet, depuis le début du siècle d'une pression croissante de la demande en raison de l'accroissement vertigineux des besoins de l'humanité tous usages confondus.

La nécessité de faire face aux besoins également croissants de l'humanité en produits agricoles et en énergie a conduit à la recherche d'une maîtrise de plus en plus grande de l'eau. Des barrages d'accumulation d'eau et parfois de très longs adducteurs ont été construits pour stocker l'eau et la transporter vers les lieux d'utilisation, cherchant ainsi à se libérer des contraintes d'irrégularité de la disponibilité de l'eau dans le temps et l'inéquation géographique entre l'offre et la demande.

Par ailleurs, les activités de l'homme se réduisent par des impacts négatifs dans la mesure où souvent une part non négligeable de l'eau utilisée est rejetée dans le milieu eau et en altère la qualité.

Malgré ce contexte on peut considérer que le domaine de l'eau est l'un de domaines qui a enregistré le plus de progrès depuis le début du siècle. L'évolution des Techniques a été à cet égard déterminantes, que ce soit en matière de techniques d'évaluation de l'offre en eau ou de techniques de mobilisation ou de gestion de l'eau construction et exploitation d'ouvrages hydraulique, pompage de l'eau à des profondeurs de plus en plus grandes et régénération de la qualité de l'eau (traitement de l'eau et épuration des eaux usées).

Domaine interdisciplinaire par excellence, la gestion de l'eau implique des disciplines variées et intéressant la connaissance et l'aménagement des ressources en eau, ainsi que les aspects techniques économiques et industriels nécessaires à leur gestion et à leur conservation.

L'Association Nationale des Ingénieurs de Mauritanie est heureuse de participer à cet important séminaire international sur l'eau et l'Environnement, deux sujets capitaux pour la Mauritanie. Nous voudrions saisir cette occasion pour vous faire connaître brièvement notre association et le rôle de l'Ingénieur par rapport aux thèmes développés au cours de nos travaux.

I - ASSOCIATION NATIONALE DES INGÉNIEURS DE MAURITANIE (ANIM)

Notre Association est née au mois de janvier 1993.

Comme vous le voyez elle est de création récente. Ses objectifs sont ceux des Associations sœurs dans les autres pays.

L'Association a pour mission essentielle de valoriser la profession de l'Ingénieur :

AU NIVEAU DES MEMBRES

- En élaborant un code de déontologie et en le faisant respecter.
- En participant, avec les structures compétentes, à l'orientation académique des futurs Ingénieurs.
- En favorisant l'emploi et le placement, pour le ingénieurs sortant tant au niveau public que privé.
- En créant des revues scientifiques et techniques.
- En organisant des colloques nationaux et internationaux sur des thèmes de développement spécifiques à notre pays et à la sous-région.
- En favorisant le transfert des technologies pour une plus grande participation des ingénieurs aux études et travaux jusque là menés par des expertises étrangères.
- En encourageant la Recherche scientifique et technique par le parrainage de thèses de recherches menée par des ingénieurs ou par des étudiants Ingénieurs.

SUR LE PLAN NATIONAL

- Jouer un rôle d'autorité technique consultative, capable de donner un avis compétent sur les orientation économiques du pays et sur les grands projets nationaux.
- Assister les collectivités locales, les Partenaires Sociaux et les ONG sur le plan technique dans l'élaboration et/ou l'exécution de leurs projets de développement.
- Constituer un "Vivier" d'experts notamment pour les bureaux d'études locaux, pour une meilleure participation aux études et travaux financés et/ou exécutés par des partenaires étrangers.
- Proposer et/ou exécuter des projets répondants à des problèmes locaux en faisant bénéficier le pays d'apports de technologie adaptée.

SUR LE PLAN INTERNATIONAL

- Participer à toutes les formes d'associations d'Ingénieurs, tant au niveau maghrébin, Arabe, Africain qu'international.
- Faire valoir l'expérience professionnelle et la qualité de l'Ingénieur Mauritanien, sur le plan international, par la participation aux séminaires, colloques et manifestations à caractère scientifique et technique.

II - LE RÔLE DE L'INGÉNIEUR DANS LA QUESTION DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

Il est essentiel de noter que l'Ingénieur se trouve au centre de toutes les phases de développement d'activités qui permettent à chacun de nous de disposer de son eau ou de sauver son environnement.

En effet, au niveau de la recherche des nappes aquifères, l'ingénieur hydrologique, l'ingénieur géophysicien sont à l'origine de la conception de cette recherche, son suivi jusqu'à l'aboutissement à la découverte de l'eau.

Cette phase de recherche est particulièrement sensible dans les pays désertiques où l'eau est rare comme la Mauritanie.

L'ingénieur intervient dans la phase suivante, qui consiste à assurer les sondages permettant à mesurer les quantités d'eau et le débit de pompage.

Au niveau du transport et de la distribution de l'eau le rôle de conception du suivi de l'ingénieur est fondamental.

Enfin, pour l'ensemble du matériel utilisé à travers toutes les phases d'activités (recherche, production, stockage, distribution) l'intervention de l'ingénieur mécanicien permet de maîtriser tous les problèmes d'étude du matériel adapté et de maintenance.

Pour la qualité de l'eau et sa pollution éventuelle, domaine clé dans l'Environnement l'intervention de l'ingénieur chimiste permet de donner les garanties nécessaires.

Les brillantes communications que nous avons écoutées, ont toutes prouvé l'importance des problèmes de l'eau et de l'environnement dans le développement économique et social des pays et en particulier des pays en voie de développement.

Par l'introduction de ce mot sur le rôle de l'ingénieur dans ces questions, nous avons voulu attirer l'attention des participants sur la priorité à accorder à la formation des différentes catégories d'ingénieurs capables d'opérer dans le domaine de l'eau et de l'environnement.

Compte tenu de spécificités de nos régions et de leur contexte hydrologique, régions arides, le développement des ressources en eau, se pose avec plus d'acuité et cette acuité est d'autant plus grande que les ressources financières sont rares et les infrastructures intellectuelles sont encore naissantes.

Nous aurons atteint notre objectif si cette note sommaire aura permis aux participants de débattre sur les thèmes de la formation de l'ingénieur dans le domaine de l'eau et de l'environnement et de faire à l'issue des débats une recommandation à ce sujet.

LE TECHNICIEN DE L'EAU EN MAURITANIE : SA FORMATION

Nicolau J.-P.

*Conseiller technique, chef de projet
Centre Supérieur d'Enseignement Technique
BP 986 Nouakchott Mauritanie*

Un colloque sur l'eau en Mauritanie rassemble aujourd'hui un aréopage très diversifié d'experts nationaux et étrangers, spécialistes de techniques de pointe ou professionnels de méthodes traditionnelles, les uns utilisant des technologies souvent coûteuses quand les autres ne requièrent que de faibles investissements. Y sont débattus des thèmes aussi capitaux que :

- la géologie et la recherche de l'eau ;
- la "production" et la distribution de l'eau ;
- le traitement de l'eau et la santé publique ;
- la "gestion" de l'eau, impliquant un choix de solutions techniques pour sa fourniture, au moindre coût et dans les meilleures conditions, ce qui inclut en particulier les problèmes de maintenance ;
- la place de l'eau dans l'environnement.

1. LA RELATION FORMATION / ENTREPRISE

L'occasion est trop belle d'évoquer la formation des hommes qui, d'un bout à l'autre de la chaîne, interviennent à quelque niveau que ce soit, et d'analyser les principes et les conditions qui conduisent à une formation efficace et de qualité. L'occasion est trop belle aussi de parler enfin de formation à l'écart des pédagogues, hors des trop traditionnels cercles d'initiés.

Le chercheur ne saurait refuser l'opportunité qui lui est ainsi offerte d'amorcer une réflexion commune sur les préoccupations de ces spécialistes de l'eau en matière de qualifications et de gestion des ressources humaines, problèmes dont la résolution passe par la qualité de la formation professionnelle.

On a trop tendance à parler de formation comme s'il s'agissait d'une fin en soi, dans le cadre d'un système éducatif dont les implications socio-politiques sont évidentes.

Or la formation professionnelle est conçue pour répondre à un besoin économique, elle contribue au traitement d'un problème spécifique et concret, exprimé par les gestionnaires des moyens de production.

"Produire" mieux et au moindre coût pour vendre, - produire et vendre l'eau, le plus courant et le plus éternel de tous les biens soumis au circuit économique - c'est là un classique projet d'entreprise. Pour sa réussite, l'école de management en vogue aujourd'hui met en exergue l'efficacité par les hommes, modélisée par une équation dont elle redéfinit les termes bien connus, $E = m.c^2$: l'efficacité collective qui mène à la réussite de l'entreprise se mesure à la motivation d'hommes individuellement compétents et sachant communiquer entre eux grâce à une culture technique partagée.

Si à une époque encore récente, la formation s'est attachée exclusivement à conférer à l'apprenant une compétence technique, il lui faut aujourd'hui tenir compte de l'ensemble des trois paramètres. Et elle doit admettre que la motivation ne s'acquiert que par la connaissance intime de l'entreprise et de la fonction - c'est-à-dire de la place et du rôle qui seront réservés au sein de l'entreprise à celui qui veut s'y insérer. Quant à l'aptitude à communiquer, liée au partage d'une culture technique, elle requiert expressément l'acquisition d'une culture d'entreprise venant compléter les acquis culturels généraux donnés par l'institution de formation.

Le rôle du formateur sera de préparer l'acquisition de la culture d'entreprise, de la faire éprouver par le biais d'actions diverses. Dans le cas qui nous occupe, ce pourront être les rencontres avec les professionnels de l'eau (impliquant discussions, débats et enseignements), les visites d'installations (chantiers, châteaux d'eau, zones d'irrigation,...), le travail sur site sur des problèmes réels et concrets.

La célèbre formule détournée par quelque griot du management moderne ne fait donc que rappeler le nécessaire "mariage de raison" entre formation et entreprise. Qu'elle se pratique sur un modèle d'apprentissage, d'alternance (centre de formation / entreprise), de simulation ou de résolution de cas réels, la formation-action (la seule efficace) exige l'implication profonde de l'entreprise dans le processus de formation.

2. CONCEPTION DE LA FORMATION : MÉTHODOLOGIE

L'ingénierie de formation, que celle-ci s'adresse à des techniciens de l'eau ou à tout autre travailleur dans un champ professionnel donné, s'inscrit dans la même logique que celle du navigateur qui prépare et réalise son voyage : il doit savoir où il va, par quels moyens, avec quelles contraintes et dans quels délais. Il lui faut vérifier en cours et en fin de parcours qu'il est bien arrivé là où il voulait aller afin de reprendre, le cas échéant, son plan et ses modalités de voyage.

Les différentes phases de l'ingénierie de formation sont analogues :

- 1 - on identifie les besoins ou la demande de formation ;
- 2 - on traduit en un projet de formation qui
 - fixe les résultats escomptés,
 - détermine les activités à mener pour obtenir ces résultats,
 - définit les moyens nécessaires pour réaliser ces actions ;
- 3 - on réalise ce projet et on évalue les résultats.

2.1. L'analyse des besoins

Elle repose sur l'étude du fonctionnement de l'entreprise et du nombre et de la nature des emplois nécessaires. Le concept de "besoin" suppose la mesure des écarts entre deux états. D'une part on identifie les **qualifications** indispensables pour un fonctionnement harmonieux de l'entreprise, de l'autre, on dresse l'inventaire des **compétences** disponibles à travers les ressources humaines présentes ou potentielles. De la mesure des écarts entre ces deux états naît le "besoin" de formation.

Ainsi à titre d'illustration, les entreprises de la place (en dehors de quelques grosses unités mieux structurées) ne se sont guère préoccupées jusqu'alors des problèmes de maintenance, et peu d'emplois ont été définis comme tels. Or une structuration d'entreprise soucieuse de préserver son investissement doit comporter ce type de fonction : il y a là une nouvelle **qualification** nécessaire. Ceci expliquant peut être cela, on note qu'aujourd'hui il n'existe pas dans les filières traditionnelles en Mauritanie, de formation à la maintenance industrielle et, pour des raisons d'étroitesse de marchés, encore moins de formation spécifiquement adaptée, par exemple, à un emploi de technicien de maintenance pour des installations de distribution d'eau dans un périmètre irrigué.

On peut toutefois trouver un technicien en mécanique ayant une bonne connaissance technologique des pompes hydrauliques et des réseaux de distribution de l'eau. Il s'agit d'une **compétence** disponible, mais insuffisante, limitée par exemple au démontage-remontage avec changement de pièce défectueuse. Mais il ne saura sans doute pas :

- établir un diagnostic ;
- élaborer un plan de maintenance préventive ;
- prévenir des effets néfastes du milieu environnant (corrosion par exemple) ;
- gérer l'approvisionnement des pièces de rechange ;
- calculer les coûts réels de fonctionnement, etc.

Le "besoin" est ainsi clairement déterminé.

L'étude des besoins est habituellement réalisée par l'entreprise. Il est toutefois souhaitable que cette étude fasse l'objet d'une concertation avec l'organisme de formation. Celui-ci en effet peut avoir une appréciation différente des problèmes, par exemple attribuer l'efficacité d'un technicien de maintenance à une augmentation des compétences dans le domaine de la gestion, là où l'entreprise estimerait qu'elle relève d'une amélioration des capacités techniques. Par ailleurs cette concertation, en tant qu'elle implique un double regard, est une garantie d'efficacité.

2.2. Traduction des besoins en projet de formation : conception et préparation du projet

Dans la logique de l'ingénierie de formation, l'élaboration d'un plan de formation est d'une évidente nécessité. Schématiquement, ce plan comprend :

- la définition des résultats : c'est la détermination des capacités et des compétences que le bénéficiaire devra maîtriser pour être en mesure de remplir les tâches professionnelles et d'assurer les missions propres à sa future fonction.

Ainsi dans l'exemple utilisé plus haut, notre mécanicien, pour accéder à cet emploi de maintenancier spécialisé, devra, pour établir un diagnostic sur une pompe en panne :

- connaître certaines caractéristiques de l'eau et des matériaux utilisés, identifier les paramètres de la corrosion et en déduire les relations de causes à effets ;
 - reconnaître la technologie d'une pompe, savoir contrôler les conditions de travail préconisées par le constructeur de ce matériel ;
 - savoir démonter et remonter ce matériel dans certaines conditions, choisir l'outillage ;
 - expérimenter l'équipement après réparation ;
 - programmer l'entretien préventif, etc. ;
- l'organisation proposée pour conduire les actions de formation correspondantes, la programmation, les méthodes. Celles-ci différeront sensiblement selon les situations, mais toutes seront centrées sur la formation-action. Il importe en effet de laisser les jeunes faire des expériences en cours de formation. Le bon geste, la bonne technique ne s'acquièrent qu'après avoir éprouvé les inconvénients de leur contraire. Le conseil sera alors d'autant mieux suivi qu'il répondra à une demande ;
 - la détermination des moyens nécessaires : ressources humaines et équipements.

A ce stade de la réflexion, notons que le manque de moyens au sein des structures de formation est souvent considéré par

le responsable d'un service de formation publique comme un obstacle à la mise en oeuvre du projet de formation et à sa réussite. Le formateur imaginaire n'hésitera pas à faire appel au milieu professionnel pour combler les manques ... et éventuellement diminuer les coûts!

Dépassant le cadre strict de la "salle de classe" ou de "l'atelier" du collège, il trouvera auprès de l'entreprise de quoi développer une formation complète au plan des moyens et motivante pour l'apprenant qui, en situation réelle, aperçoit clairement les buts de son apprentissage. Quel meilleur lieu de formation que le périmètre irrigué lui-même pour apprendre à installer des circuits d'irrigation et à entretenir des pompes ?

La formation en hydraulique qui se mettra en place en Mauritanie devra tenir compte de ce lien étroit entre partenaires privilégiés : formateurs et professionnels, établissements d'enseignement technique et entreprises.

2.3. Mise en oeuvre et évaluation

Quels que soient les soins apportés à l'évaluation quantitative des besoins, il subsiste inévitablement une marge d'erreur, relativement faible pour les professions nombreuses, importante pour les qualifications particulières comme c'est le cas dans le domaine de l'eau où les besoins très diversifiés, qualitativement différents, s'expriment annuellement tout au plus à la dizaine d'emplois.

Il faut donc apporter souplesse et adaptabilité à l'appareil de formation technique et professionnelle : c'est un argument en faveur des structures légères de formation professionnelle et du développement d'une formation continue des adultes.

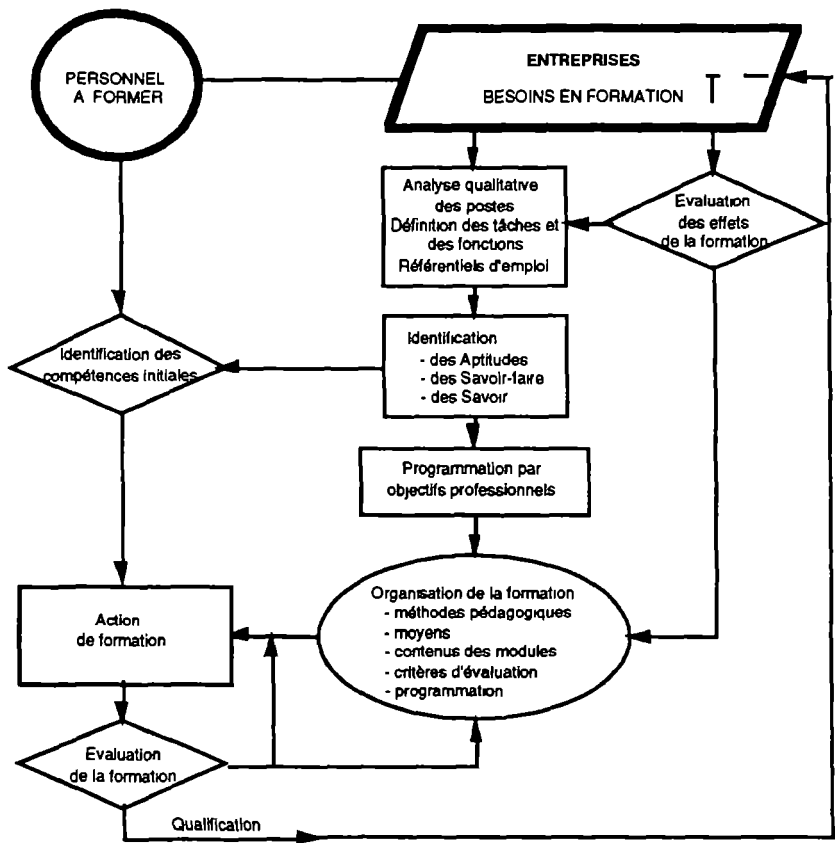
Le contenu et les méthodes doivent être constamment revus, améliorés, adaptés, grâce à une relation permanente avec les professionnels du secteur. Une association aussi large que possible à l'élaboration des programmes et à l'animation des sessions de formation, aux jurys d'examen, au fonctionnement des établissements garantit l'adaptation du produit au débouché, en même temps qu'elle doit servir à améliorer l'organisation des stages, la structuration de l'alternance, l'accueil en entreprise.

3. EN GUISE DE RECOMMANDATION

Les idées et les principes évoqués ci-dessus pour la préparation et la mise en oeuvre d'une formation professionnelle de qualité, efficiente et efficace dans les secteurs de l'eau, sont ceux qui prévalent aujourd'hui chez les responsables mauritaniens de l'Enseignement Technique et de la Formation Professionnelle, où un projet conséquent de rénovation du système, soutenu par la Coopération française et la Banque mondiale, est en phase de réalisation.

Dans le cadre des projets de développement économique dans les nombreux et larges domaines de l'eau (secteurs de l'hydraulique, de la production d'énergie, du développement rural, de la santé, ...), comme dans le cadre des créations ou des aménagements d'entreprises artisanales, industrielles et commerciales, il est plus que souhaitable que soient pris en compte sans tarder ces avis fondés sur une expérience éprouvée.

UN PROCESSUS DE FORMATION ADAPTE AUX BESOINS DES ENTREPRISES



1



