

REPUBLIQUE DU MALI
— Un Peuple — Un But — Une Foi

ECOLE NATIONALE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DU MALI

ANNÉE 1989

N° 10

L'EAU ET LES PROBLEMES DE STRATEGIES
SANITAIRES LIES A L'EAU AU MALI

THESE

Présentée et soutenue publiquement le 07 Janvier 1989 devant

l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie du Mali

PAR :

Mme GUEYE Fatoumata A Belco TOURE

NEE LE 27 MARS 1964 BAMAKO

Pour obtenir le Grade de Docteur en Pharmacie

(Diplôme d'Etat)

JURY

President	Professeur Oumar SYLLA
	Professeur Sidi Yaya SIMAGA
Membres :	Professeur Boubacar S. CISSE
	Monsieur Cheick Tidiane TANDIA

ECOLE NATIONALE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DU MALI
ANNEE UNIVERSITAIRE 1987-1988

Professeur Aliou BA

Professeur Docar SALL

Docteur Balique Hubert

Demba DOUCOURE

Hama B. TRAORE

Directeur Général

Directeur Général Adjoint

Conseiller Technique

Secrétaire Général

Economiste

D.E.R. DE CHIRURGIE ET SPECIALITES CHIRURGICALES

1. PROFESSEURS AGREGES

Professeur Mamadou Lamine TRAORE

Professeur Aliou BA

Professeur Docar SALL

Professeur Mamadou DEMBELE

Professeur Abdel Karim KOUFARE

Professeur Sambou SOUMARE

Chef de D.E.R. Chirurgie
Générale - Médecine Légale

Ophthalmologie

Orthopédie - Traumatologie

Sécourisme

Chirurgie Générale

Chirurgie Générale

Chirurgie Générale

2. ASSISTANTS CHEFS DE CLINIQUE

Docteur Régnitiéni FOFANA

Docteur Mme SY AIDA SOW

Docteur Abdou Alassane TOURE

Docteur Kalilou QUATPARA

Docteur Amadou Ingré DOLO

Docteur Mamadou Lamine DIOMBANA

Docteur Djibril SANGARE

Docteur Salif DIAKITE

Docteur Massoulé SANAKE

Docteur Mme TRAORE Jeannette THOMAS

Docteur Abdoulaye DIALLO

Docteur Alhousseini AG MOHALED

Docteur Madani TOURE

Docteur Tahirou BA

Docteur Hamadou DOLO

Docteur Nady MACALOU

Gynécologie - Obstétrique

Gynécologie - Obstétrique

Orthopédie - Traumatologie

Urologie

Gynécologie - Obstétrique

Odonto-Stomatologie

Chirurgie Générale

Soins Infirmiers

Gynécologie - Obstétrique

Gynécologie - Obstétrique

Ophthalmologie

Ophthalmologie

O.R.L.

Chirurgie Infantile

Chirurgie Générale

Chirurgie Générale

Orthopédie - Traumatologie

3. ASSISTANTS ET C.E.S.

Docteur Moussa LAICA
Docteur Bah KEITA
Docteur Mamar Alascane TRAORE
Docteur Sominta A. KEITA
Docteur Mme KONARE Habibatu DIAWARA
Docteur Kader TRAORE

Gastro - Entérologie
Pneumo-Phtisiologie
Médecine Interne
Dermatologie - Léprologie
Dermatologie - Léprologie
Médecine Interne

D.E.R. DE SCIENCES FONDAMENTALES

1. PROFESSEURS AGIAGES

Professeur Bréhima KOUARE Chef de D.E.R.
Professeur Siné BAYO

Professeur Abdel Karim KOUARE
Professeur Philippe RANQUE

Microbiologie
Anatomie Pathologie
Histologie - Embryologie
Anatomie
Parasitologie

2. DOCTEURS D'ETAT

Professeur Yéya Tiémoko TOURE
Professeur Amadou DIALLO

Biologie
Zoologie - Génétique

3. DOCTEURS 3^e CYCLE

Professeur Douba DIARRA
Professeur Moussa HARAMA
Professeur Massa SANOGO
Professeur Niamanto DIARRA
Professeur N'Colo DIARRA
Professeur Moussa Issa DIARRA
Professeur Souleymane TRAORE
Professeur Salikou SANOGO
Professeur Mme THIAM Aïssata SOW
Professeur Daouda DIALLO
Professeur Abdoulaye KOUARE
Professeur Yénimégué Albert DEMBELE
Professeur Bakary M. CISSE
Professeur Godefroy COULIBALY
Professeur Mamadou KONE
Professeur Jacqueline CISSE
Professeur Bakary SACKO

Microbiologie
Chimie Organique-Minérale
Chimie Analytique
Mathématiques
Botanique
Biophysique
Physiologie Générale
Physique
Biophysique
Chimie Minérale
Chimie Générale
Chimie Organique
Biochimie
T.P. Parasitologie
Anatomie - Physiologie Humaine
Biologie Animale
Biochimie

D.E.R. DE SANTE PUBLIQUE

1. Professeur Sidi Yaya SIMAGA Chef de D.E.R. Santé Publique

2. ASSISTANTS CHEFS DE CLINIQUE

Docteur Sory Ibrahima KABA	Epidémiologie
Docteur Sanoussi KONATE	Santé Publique
Docteur Koussa MAIGA	Santé Publique
Docteur Georges SOULA	Santé Publique
Docteur Pascal FABRE	Santé Publique

3. CHARGES DE COURS

Monsieur Cheick Tidiani TANDIA (Ingénieur Sanitaire)	Hygiène du Milieu
Mme MAIGA Fatoumata SONOMI (Ingénieur Sanitaire)	Hygiène du Milieu
Monsieur Ibrahim CAMARA (Ingénieur Sanitaire)	Hygiène du Milieu

PROFESSEURS MISSIONNAIRES

Professeur Oumar SYLLA	Pharmacie Chimique
Professeur Humbert GIONO-BARDER	Pharmacodynamie
Docteur Guy DECHIS	Biochimie
Professeur François MIRANDA	Biochimie
Docteur Marie Hélène ROCHAT	Pharmacie Galénique
Professeur Alain GERAULT	Biochimie
Docteur François ROUX	Biophysique
Docteur Alain LAURENS	Pharmacie Chimique
Monsieur El Hadj Makhtar WADE	Bibliographie
Professeur Pierre Jean REYNIER	Pharmacie Galénique
Professeur GENIAUX	C.E.S. Dermatologie
Professeur LAGOUTTE	C.E.S. Ophtalmologie
Professeur Philippe VERIN	C.E.S. Ophtalmologie
Professeur Jean Pierre BISSET	Biophysique
Professeur Mme Paulotte GIONO-BARDER	Anatomie-Physiologie Humaine

Docteur Mme Fanta KONIPO	O.R.L.
Docteur Nouhoum BA	Chirurgie Générale
Docteur Cheick Mohamed Chérif CISSE	Urologie
Docteur Gérard TRUSCHEL	Chirurgie

ASSISTANTS ET C.E.S.

Docteur Abdoul.Kader TRAORE dit DIOF	Chirurgie Générale
Docteur Daba SOGODOGO	Chirurgie Générale
Docteur Lassana KOITA	Chirurgie Générale
Docteur Sékou SIDIBE	Orthopédie - Traumatologie
Docteur Filifing SISSOKO	Chirurgie Générale
Docteur Sidi Mohamed COULIBALY	Ophthalmologie
Docteur Hamadou A. CISSE	Urologie
Mme COUMARE Fanta COULIBALY	T.P. Soins Infirmiers

D.E.R. DE MEDECINE ET SPECIALITES MEDICALES

1. PROFESSEURS AGREGES

Professeur Souleymane SANGARE	Chef de D.E.R.	Pneumo-Phtisiologie
Professeur Abdoulaye AG DALY		Médecine Interne
Professeur Aly GUILDO		Gastro - Entérologie
Professeur Hamadou Kouroussi TOURE		Cardiologie
Professeur Kahanane LAIGA		Néphrologie
Professeur Ali Nouhoum DIALLO		Médecine Interne
Professeur Baba KOUARE		Psychiatrie

2. ASSISTANTS CHEFS DE CLINIQUE

Docteur Balla COULIBALY	Fédiatrie
Docteur Issa TRAORE	Radiologie
Docteur Sidi Yéhia TOURE	Réanimation
Docteur Mamadou Harouf KEITA	Fédiatrie
Docteur Toumani SIDIBE	Pédiatrie
Docteur Jean Fierre COUDRAY	Psychiatrie
Docteur Moussa TRAORE	Neurologie
Docteur Eric PICHARD	Médecine Interne
Docteur Gérard CROSSEPETE	Dermatologie - Léprologie
Docteur Doubacar DIALLO	Cardiologie
Docteur Dapa Ali DIALLO	Hématologie - Médecine Int.
Docteur Sidi Mohamed SALL	Cardiologie

4. ASSISTANTS CHEFS DE CLINIQUE

Docteur Ogobara DOUMBO	Parasitologie
Docteur Yéya MAIGA	Immunologie
Docteur Abderhamane Sidéye MAIGA	Parasitologie

5. MAITRES-ASSISTANTS

Docteur Gacoussou KANOUTE	Chimie Analytique
Docteur Hama Cisse	Chimie Générale

6. ASSISTANTS

Docteur Flabou BOUGOUDOGO	T.P. Microbiologie
Docteur Amadou TOURE	Histo-Embryologie
Docteur Abdoul K. TRAORE dit DIOP	T.P. Anatomie

7. CHARGE DE COURS

Monsieur Modibo DIARRA	Diététique - Nutrition
------------------------	------------------------

D.E.R. DE SCIENCES PHARMACEUTIQUES

1. PROFESSEURS AGREGES

Professeur Boubacar Cisse Chef de D.E.R.	Toxicologie
Professeur Mamadou KOUHARE	Matière Médicale
	Pharmacologie

2. MAITRES ASSISTANTS

Docteur Boukassoum MAIDARA	Législation et Gestion Pharmaceutiques
Docteur Boubacar KANTE	Pharmacie Galénique
Docteur Elimane MARIKO	Pharmacodynamie
Docteur Souleymane DIA	Pharmacie Chimique
Docteur Alou KEITA	Pharmacie Galénique

3. DOCTEUR 3^e CYCLE

Docteur Mme Cisse Aminata GAKOU	Pharmacie Galénique
---------------------------------	---------------------

4. ASSISTANT

Docteur Drissa DIALLO	Matière Médicale
-----------------------	------------------

D E D I C A C E S

A Mon Père

A Ma Mère

Sans vous, je ne serai point ce que je suis aujourd'hui.

Votre esprit de sacrifice et d'abnégation, votre amour et votre tendresse ne peuvent s'évaluer.

Tous les mots seront vains.

Je sais que ce travail qui est l'aboutissement de tous vos efforts vous rend fiers de moi.

Que vos bénédictions soient toujours pour ma vie la lampe qui illumine le chemin que vous semblez tracer pour moi.

A Mon Epoux

Ce travail est le tien, car compagnon des jours heureux comme des moments difficiles, tu as su, par ton Amour et ta présence, être le levain sans lequel rien ne me serait facile.

Reçois le serment de mon amour que je veux éternel.

A la Mémoire de mon oncle Dumar N'Gbacoro Touré

Ta vie a été un exemple de courage et de dévouement et restera pour moi un idéal à atteindre.

A Mes frères et soeurs

En gage d'amour et de profonde affection

A Mes oncles et tantes

En témoignage de ma profonde affection.

A Ma belle-famille

En témoignage de ma profonde gratitude.

A La Famille Sidi Diallo

Humble témoignage de mon attachement
Pour vous qui avez toujours été d'une infinie tendresse à
mon égard.

A La Famille Tall

En temoignage de la profonde affection que lui porte.

A La Famille Tangara

Pour tout l'effort que vous n'avez cessé de fournir pour
rendre agréables mes séjours à Dakar.

Je vous souhaite tout le bonheur possible.

A toute ma famille

A tous mes amis

A tous les miens

Que je ne pourrai nommer par peur d'en oublier.
Toute ma sympathie et mes amitiés.

A Ma tante Mme SISSOKO Kadiatou

Ce travail est aussi le tien car malgré tes multiples occupations, tu as accepté d'assurer la dactylographie de cette thèse.

Trouve ici l'expression de mes sentiments de nièce dévouée.

A tous mes camarades

A tous les étudiants de l'ENMP

En souvenir de nos années d'études.

A tout le corps professoral de l'Ecole
Nationale de Médecine et de Pharmacie

Mes hommages respectueux.

Aux Membres du Jury

Professeur Oumar Sylla

Votre érudition et votre bonté ont charmé ma vie d'étudiant.

Je vous exprime toute ma gratitude pour avoir consenti à diriger ce travail que je suis très heureuse de vous offrir.

Cette chaleur bienveillante dont vous n'avez cessé de m'entourer, m'a donné confiance en moi-même.

Les mots ne sauraient traduire mon admiration et ma reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Professeur Boubacar Cissé

Pour avoir accepté de siéger à notre jury, nous vous prions d'accepter l'expression de notre profond respect.

Professeur Sidi Yaya Simaga

Vous nous avez toujours témoigné une sympathie dont nous sommes profondément sensibles.

Vous nous avez fait l'honneur et le plaisir d'accepter de siéger à notre jury de thèse.

Nous vous exprimons notre profonde reconnaissance.

Monsieur Cheick Tidiani Tandia

Je vous remercie pour vos encouragements, vos conseils et la confiance que vous m'avez toujours accordée.

Je tiens à vous exprimer ma respectueuse admiration et mes remerciements pour l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de siéger à notre jury de thèse.

P L A N

Introduction

Chapitre I - Les caractéristiques de l'hydrographie au Mali

Chapitre II - Les problèmes de peuplement liés à l'eau

Chapitre III - Importance des besoins en eau

Chapitre IV - L'étude des eaux

Chapitre V - Santé et eau

Chapitre VI - Les traitements de l'eau

Chapitre VII - Les perspectives d'action

Conclusion

I N T R O D U C T I O N

Proclamée le 10 novembre 1980 par l'Organisation des Nations Unies, la Decennie Internationale de l'Eau devait être l'une des conséquences immédiates de la Conférence de PLATA DEL MAR en 1977.

*

*

*

L'évocation des problèmes de santé et des problèmes économiques liés à la sécheresse dans bon nombre de pays en développement, tout comme le phénomène moderne de la pollution de plus en plus marquée des eaux, traduisait ainsi un nouvel aspect du système des Nations Unies.

Si à travers les continents les stratégies et les politiques sont très variées dans ce domaine, l'objectif global tend toujours vers une fourniture d'eau potable en quantité suffisante, des systèmes efficaces d'assainissement et de protection de l'eau.

D'abord, les pénuries d'eau saine dues à des périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes ont été observées dans de très nombreux pays, en Afrique notamment.

Ensuite a été unanimement constatée l'insuffisance des mesures d'hygiène et d'assainissement même quand il existait parfois des disponibilités en eau.

*

*

*

Ainsi, le Mali, pays typiquement sahélien, avec une superficie de 1 204 192 kilomètres carrés connaît, depuis les contreforts de la forêt soudanienne adossés aux monts du Fouta Djallon, jusqu'aux confins sahariens, tous les types de situations liées à l'eau.

Les problèmes de l'eau en relation avec la santé des populations ne sont pas simples. Car si la pénurie d'eau reste si préoccupante, il en est de même d'une abondance en eau non maîtrisée qui favorise de nombreuses affections dont certaines particulièrement meurtrières.

Souvent la santé des populations est compromise soit par la rareté de l'eau qui rend ces populations moins exigeantes pour les besoins alimentaires ou pour l'hygiène corporelle, soit par la profusion des eaux qui les expose en saison des pluies à l'agression des bactéries et de divers parasites vecteurs d'indémies plus ou moins graves.

Ici encore, apparaît comme pour tout phénomène vital, la dualité de deux facteurs adverses et la nécessité d'un véritable équilibre. Les situations seront aussi différentes en zone rurale et en zone urbaine. De même seront différentes les solutions.

*

* *

En zone rurale,

Les moyens d'existence, l'habitat dispersé loin des grands axes, sont une caractéristique commune à tous les problèmes de développement. L'analphabétisme, le niveau d'hygiène très bas et l'éducation sanitaire très peu développée sont des corollaires tout désignés de ce type de peuplement qui favorise largement l'exode rural. Pourtant cette population constitue essentiellement la masse travailleuse des agriculteurs et des paysans. Comme l'agriculture demeure l'épine dorsale de notre économie, l'arrêt de l'exode rural par l'amélioration des conditions de vie, exige des mesures énergétiques parmi lesquelles la mise en place d'une politique de promotion de l'hydraulique villageoise.

*

* *

En zone urbaine,

Les moyens d'existence sont en général plus importants que dans les zones rurales. Le problème de pénurie d'eau ne se pose généralement pas dans le centre des zones urbaines mais plutôt à la périphérie avec les faubourgs ou les quartiers d'extension non encore lotis.

Par contre, le problème d'évacuation des eaux usées ou des eaux stagnantes reste en grande partie à résoudre. Il s'articule d'emblée aux travaux ou aux programmes d'urbanisation.

*

* *

Par ces deux aspects que nous venons d'évoquer en milieu rural et en milieu urbain, les problèmes récurrents de développement constituent sans aucun doute la pierre angulaire de toute politique de progrès au Mali comme dans bon nombre de pays au Sahel.

*

* *

Aussi proposons-nous, d'aborder dans cette étude les préoccupations majeures liées à l'eau comme source de santé et facteur de développement ou hélas, comme facteur de morbidité et évidemment de sous-développement.

La complexité de ces données liées à l'hygiène et à l'économie de l'eau ne nous laisse comme moyen d'investigation qu'une méthode par approches successives faisant appel à côté des thèmes généraux à d'autres données spécifiques et complémentaires

- sur la géographie
- sur l'hydrogéologie
- sur la chimie des eaux
- sur la biologie des eaux
- sur l'hygiène de l'eau

et enfin sur l'hygiène du milieu et de l'environnement.

Ainsi pensons-nous pouvoir contribuer à l'oeuvre colossale qui interpelle tous les scientifiques du Sahel et ceux du Mali en particulier : d'une part, pour une meilleure connaissance de notre potentiel aquifère en vue de sa meilleure exploitation.

D'autre part :

- pour souligner l'importance de l'alimentation en eau de la population et l'évacuation des eaux usées en vue de proposer des actions simples ;

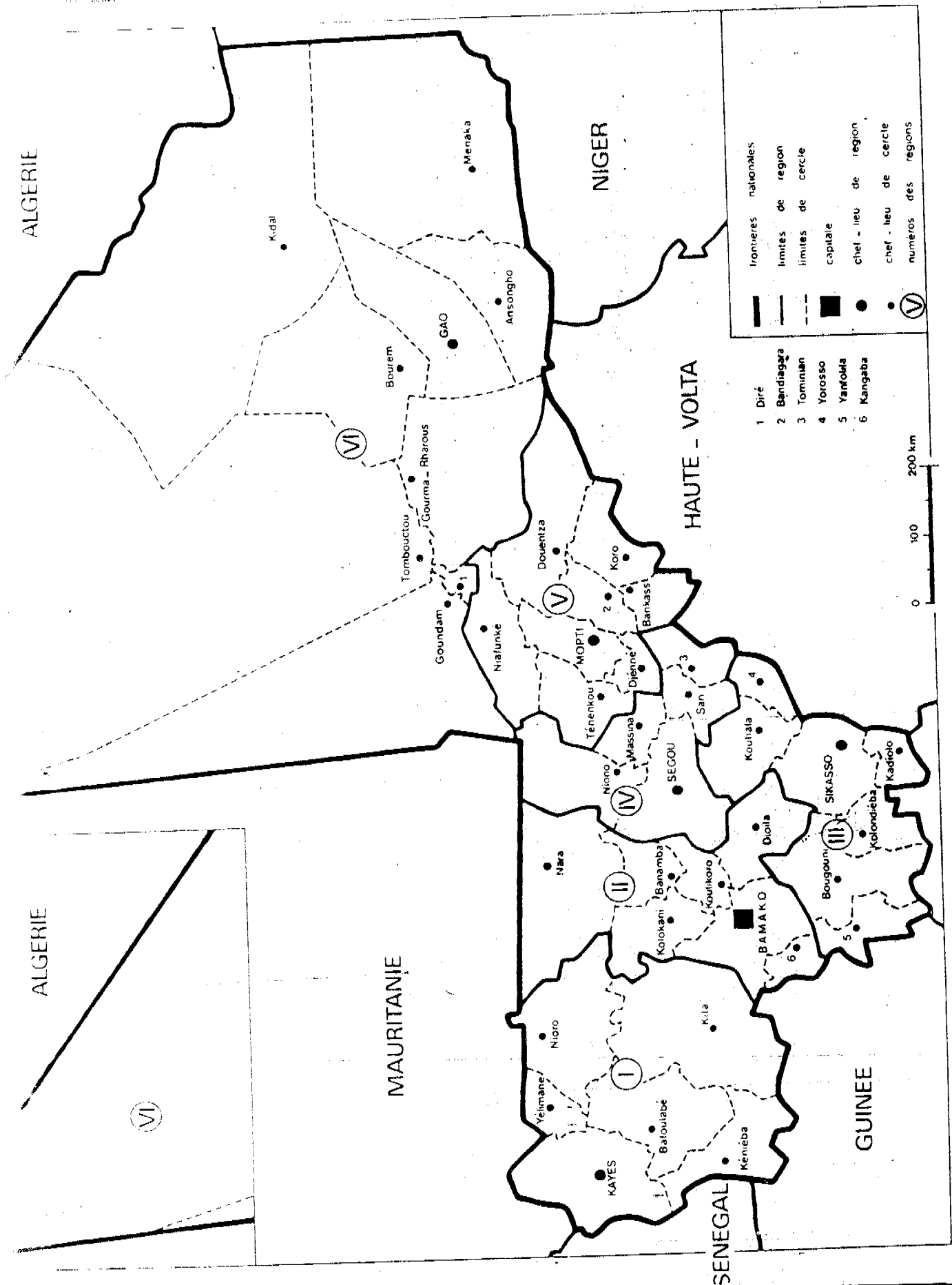
- pour attirer davantage l'attention des pouvoirs publics sur l'importance et la nécessité d'adapter nos méthodes à la situation sanitaire et économique ;

- pour participer selon nos moyens aux programmes internationaux (OMS, PNUD, UNICEF, ONG) dans leur politique d'assistance.

MALI

carte administrative

1974



C H A P I T R E I

LES CARACTERISTIQUES DE L'HYDROGRAPHIE AU MALI

1 CADRE GEOGRAPHIQUE

Le Mali, pays enclavé d'une superficie de 1 204 192 kilomètres carrés, à relief peu accidenté est situé au coeur de l'Afrique de l'Ouest. A cheval sur les zones sahéliennes et soudanaises, il est entouré par sept pays : Algérie, Niger, Burkina Faso, Cote d'Ivoire, Guinée, Sénégal, Mauritanie.

Le Mali représente en superficie 4,2 % de l'Afrique et s'étend en latitude, du 10^e au 26^e parallèle nord, soit un peu en dessous des tropiques et en longitude du 12^e ouest au 4^e 15 est.

1. Aperçu géologique

Le substratum de l'Afrique occidentale donc du Mali est constitué par une vieille plateforme précambrienne, formée surtout de granite et de sédiments généralement métamorphiques. Cette dernière, uniformément arasée en pénéplaine dès la fin du cambrien n'a subi aucun plissement mais s'est cassée en effondrements ou en surélévations.

Sur cette plate-forme, se sont disposés du cambrien au carbonifère des sédiments où dominent les faciès gréseux qui ont comblés des bassins synclinaux. On les trouve étalés sur des plateaux bordés de falaises élevées surplombant des régions précambriennes (falaises de Bandiagara, Banfora, massif de Kita).

Les plateaux de grés (Tessalit près de Hoggard nord) et l'Air nigérien (au sud-est).

Dans le sud-ouest, des éruptions de dolérites ont été particulièrement importantes. A la périphérie du massif des Iforas, s'est installé un bassin de sédiments continentaux secondaires et tertiaires : le bassin soudano-nigérien.

Au milieu de ces diverses formations, le Niger a étalé dans son "delta central" des sédiments d'épandages quaternaires avec des sables éoliens qui ont couvert les immenses superficies de la région saharienne. Les formations moins récentes présentent peu d'étendue :

- crétacé inférieur de l'Adrar des Iforas (au nord)
- continental intercalaire du sud de Taoudenit (au nord) et de la fosse de Nara (nord-ouest).
- crétacé du détroit soudanais, c'est à dire du fossé d'effondrement qui s'est constitué là on devait s'inscrire la branche descendante du fleuve Niger. Il s'agit le plus souvent de grès d'argile ou de sables.

Puis l'éocène marin donne sur la bordure occidentale de l'Adrar des Iforas des marnes, des argiles et parfois des calcaires.

A la fin du tertiaire, c'est le continental terminal aux séries fluvo-lacustre, argilo-sableuses dans la région de Ségou et le Gondo (au sud de Bandiagara) et aux grès argileux dans le détroit soudanais.

Enfin, le quaternaire est présent dans le nord avec des plateaux gréseux ou calcaires (Namada) dans la vallée du Niger avec des alluvions anciennes et actuelles et au nord du 15^e parallèle, sous forme de dunes mises en place par le vent.

2. Relief

Le relief est constitué d'une suite de savanes et de plateaux latéritiques peu accidentés, d'une altitude maximum de 500 mètres, se prolongeant au nord par les grandes plaines

Dans le sud-ouest, des éruptions de dolérites ont été particulièrement importantes. A la périphérie du massif des Iforas, s'est installé un bassin de sédiments continentaux secondaires et tertiaires : le bassin soudano-nigérien.

Au milieu de ces diverses formations, le Niger a étalé dans son "delta central" des sédiments d'épandages quaternaires avec des sables éoliens qui ont couvert les immenses superficies de la région saharienne. Les formations moins récentes présentent peu d'étendue :

- crétaqué inférieur de l'Adrar des Iforas (au nord)
- continental intercalaire du sud de Taoudenit (au nord) et de la fosse de Nara (nord-ouest).
- crétaqué du détroit soudanais, c'est à dire du fossé d'effondrement qui s'est constitué là en devant s'inscrire la branche descendante du fleuve Niger. Il s'agit le plus souvent de grès d'argile ou de sables.

Puis l'éocène marin donne sur la bordure occidentale de l'Adrar des Iforas des marnes, des argiles et parfois des calcaires.

A la fin du tertiaire, c'est le continental terminal aux séries fluvo-lacustre, argilo-sableuses dans la région de Ségou et le Gondo (au sud de Bandiagara) et aux grès argileux dans le détroit soudanais.

Enfin, le quaternaire est présent dans le nord avec des plateaux gréseux ou calcaires (Namada) dans la vallée du Niger avec des alluvions anciennes et actuelles et au nord du 15^e parallèle, sous forme de dunes mises en place par le vent.

2. Relief

Le relief est constitué d'une suite de savanes et de plateaux latéritiques peu accidentés, d'une altitude maximum de 500 mètres, se prolongeant au nord par les grandes plaines

sablonneuses qui aboutissent au Sahara. Les hauteurs se situent à la périphérie :

- au sud-ouest et à l'ouest,

les contreforts du Fouta Djallon : monts mandingues dans le cercle de Koulikoro (maximum : 794 mètres) et monts de Banabouck, dans le cercle de Kita ;

- au sud,

de Bandiara à Hombori, des falaises (sommet : 1 150 mètres à Hombori) qui sont les rebords des plateaux Dogons ;

- à l'extrême nord,

l'Adrar des Iforas prolongeant le massif saharien du Hoggar (sommet 890 mètres).

Dans l'ensemble, le Mali est formé de deux vastes triangles opposés par leur sommet, l'un au nord-est, couvert de sable saharien et l'autre au sud-ouest couvert de latérite, entre lesquels s'étend la zone alluviale du Delta intérieur du Niger.

3. Sols

Au nord, dominant les ergs (de sable) et les regs à peu près stériles. Au sud, la nature géologique entraîne soit des lithosols squelettiques soit des sols ferrugineux plus profonds et plus ou moins lessivés, d'une fertilité en relation avec leur évolution. Il faut signaler l'importance des cuirasses (appelées en Bambara : fougá).

Elles affleurent souvent la couverture gréseuse au pied des glaciés dans les terrasses fluviatiles.

Enfin, plus au sud encore apparaissent des ferrisols mieux structurés, plus riches en éléments échangeables et par conséquent plus fertiles.

4. Climat

Le climat est entièrement tropical et tous le pays est situé sous de basses latitudes où les apports d'énergie solaire demeurent en tout temps considérables. L'année comprend sommairement trois saisons :

- La période de novembre à février est caractérisée par une saison fraîche avec une température variant de 18 à 26 degré C.

- La période de mars à mai, caractérisée par la sécheresse et une chaleur très élevée de 30 à 45 degré C selon les régions.

- La période de juin à octobre, caractérisée par une saison des pluies, chaude et humide avec une température élevée.

La durée des pluies est d'autant plus longue que l'équateur est proche. Ainsi, la saison des pluies dure six mois à Sikasso (sud du pays) pour seulement trois mois à Tombouctou (17e parallèle) et deux à Tessalit. Elle détermine alors trois zones naturelles au Mali.

* Une zone soudanienne,

où se rencontrent, à la fois des couloirs forestiers et de la haute savane (environ 300 000 kilomètres carrés) et où les températures restent élevées.

* Une zone sahélienne

qui forme un arc au nord des vallées du Sénégal et du Niger puis se retrouve au sud de la boucle de ce fleuve (400 000 kilomètres carrés environ). C'est une région de savane herbeuse.

* Une zone saharienne,

assez proche (au nord) des rives du Niger (pratiquement 500 000 kilomètres carrés) chaude et sèche avec des écarts de température considérables.

II. COURS D'EAU ET EAUX DE SURFACE

Le Mali dispose de grandes ressources en eaux de surface; ceci malgré un régime de pluies très irrégulier et souvent très insuffisant. En effet, les précipitations diminuent du sud vers le nord, soit de 1 500 mm de pluie à environ 200 mm.

Le Mali est arrosé par deux des plus grands fleuves de l'Afrique de l'ouest : le Niger et le Sénégal avec leurs affluents respectifs. Ils drainent les trois quarts de la partie non désertique du pays soit environ 26 250 kilomètres carrés.

Ces fleuves et rivières coulent dans d'immenses plaines alluviales atteignant parfois plusieurs dizaines de kilomètres de large et offrant d'importantes potentialités agro-pastorales et hydro-électriques.

*

*

*

1. Le Fleuve Niger

Grand fleuve de 4 500 km, le Niger prend sa source en Guinée dans le massif du Fouta Djallon. Il intéresse ensuite une partie beaucoup plus considérable du Mali qu'il prend en écharpe au sud-ouest et à l'est de Bamako sur plus de 1 600 km, pour redescendre vers le sud après avoir décrit sa fameuse courbe : la boucle du Niger.

En amont de Bamako, il traverse les terrains anciens du bassin de Siguiri. Il longe le Plateau manding dont il ne reçoit que de courts affluents. Un peu en aval de Bamako, il franchit les grès par les rapides de Sotuba et parvient à Koulikoro dans une large plaine qu'il suit sans à-coup sur 300 km jusqu'à Diafarabé.

A Markala, se trouve l'ancien lit qu'il parcourait autrefois en direction du nord, aujourd'hui delta mort, et que l'Office du Niger a entrepris de régénérer.

A Mopti, il reçoit son plus gros affluent, le Bani, lui-même formé par la réunion du Baoulé et du Bagoé.

Le Niger se divise en deux bras principaux, le Bara Issa et l'Issaber et se ramifie en nombreux défluent alimentant des lacs. C'est la région du delta central, ainsi parsemée de majestueux lacs aux rives herbeuses : Debo, Fati, Faguibine, etc... Cet ensemble recèle un potentiel estimé à dix milliards de mètres cubes d'eau sur une étendue d'environ 3 700 kilomètres carrés.

Il ressort ensuite du Mali, à un peu moins de 200 mètres avec une pente moyenne ce qui permet d'avancer que le Niger est un fleuve large.

Le Niger comme le Sénégal a un débit irrégulier en fonction des précipitations groupées pendant la saison des pluies.

Après le début des pluies, l'effet est net dès la mi-juillet à Bamako. Le débit augmente alors tout le long du fleuve.

Nous avons suivi les variations avec des maxima en aout-septembre-octobre et novembre

- en septembre à Koulikoro
- en décembre à Diré
- en janvier à Ansongo

Dès la fin de la saison des pluies, les minima accusent un décalage dans le même sens : de 63 m³/s en avril à Koulikoro il est de 135 m³/s en juin à Ansongo.

2. Le Sénégal

Le bassin du fleuve Sénégal couvre la partie occidentale du pays (région de Kayes). Son importance est capitale dans le développement futur de l'économie des états riverains.

Le Sénégal provient de la réunion de trois rivières : le Baoulé qui se jette dans le Bakoy, le Bakoy dans le Bafing à Bafoulabé ; enfin ce dernier reçoit à la frontière du Sénégal la Falémé.

Tout comme le Niger, le débit du fleuve et de ses affluents suit la pluviométrie des régions : débit irrégulier avec une période de hautes eaux de juillet à décembre et une période de basses eaux avec des gués de décembre à juin.

Toutes ces masses saisonnières ont toujours été plus utilisables pour l'irrigation des plaines que pour l'alimentation en eau potable.

Actuellement, cette tendance est entrain de s'inverser bien que le pays manque de moyens financiers pour entreprendre une large politique d'adduction d'eau potable par canalisation.

La solution traditionnelle d'implantation de puits villageois reste ainsi irremplaçable. Mieux, avec le progrès technologiques elle a induit une politique audacieuse de forages qui a nécessité des études hydrogéologiques poussées avec un large inventaire du potentiel aquifère des nappes souterraines.

III. EAUX SOUTERRAINES

La meilleure connaissance de la géologie du Mali, appuyée par les techniques modernes de forage constitue face aux aléas de la pluviométrie un élément important des politiques d'hydraulique du Mali et des pays sahéliens.

Les principales unités hydrogéologiques nous retiendront davantage parce qu'elles correspondent à une brûlante actualité dont l'étude et l'exploitation posent toujours des problèmes nouveaux de peuplement, de santé et de développement.

Les principales unités hydrogéologiques du Mali sont :

- le socle précambrien
- les formations gréseuses infra-cambriennes
- les schistes de Nara-Nioro
- les formations primaires du bassin de Taoudenit
- le continental intercalaire
- le continental terminal
- les alluvions quaternaires de la cuvette nigérienne
- les sédiments marin du crétacé et de l'éocène inférieur de la bordure de l'Adrar des Iforas.

La quasi totalité de ces formations renferment à des degrés divers des eaux souterraines réparties en trois types d'aquifères :

Elles présentent des différences selon certaines caractéristiques qui conditionnent notamment les possibilités d'exploitation.

A. Aquifères discontinus

Ce sont des formations intrinsèquement imperméables mais avec des fracturations essentiellement composées de granites, de grès, de schistes et de calcaires

B. Aquifères semi-continus

Ce sont des séries sédimentaires stratifiées en général peu perméables.

C. Aquifères généralisés

Il s'agit de formations sédimentaires peu consolidées, accumulées dans de vastes dépressions structurales.

*

* * *

Les possibilités hydrauliques des aquifères

Les aquifères discontinus et semi-discontinus prédominent dans les régions du sud au Mali où s'est concentré l'essentiel des populations villageoises.

Leur étude et leur mise en valeur présentent un intérêt primordial pour la satisfaction des besoins en eau de ces populations qui ont été durement touchées par la sécheresse des années 1970.

Ces aquifères aux ressources limitées dans l'ensemble se pretent à une exploitation dispersée.

Les travaux de forages déjà exécutés font apparaître que la mise en production présente des caractères communs : profondeur des ouvrages productifs de l'ordre de 50 m et débit moyen de 4 à 5 m³/h.

Cependant, le critère qui nous permet de différencier les aquifères continus des aquifères semi-continus consiste essentiellement en une différence de densité des zones perméables au sein des formations très peu perméables.

Les aquifères semi-continus, grâce à l'existence d'une perméabilité horizontale et à l'alternance de roches dures et tendres favorisent une fracturation dans la masse de certains bancs possédant des caractéristiques d'exploitation beaucoup plus favorables.

A. Aquifères discontinus

1. Les Aquifères du socle précambrien

Ils affleurent sur une superficie de 160 000 km carré localisée dans les régions de Bougouni, de Kayes nord et de l'Adrar des Iforas. Ils sont essentiellement constitués de granites et de roches métamorphiques.

L'eau est localisée dans les fissurations et les zones d'altération. Les réserves sont relativement peu importantes surtout dans la zone d'altération et les ressources renouvelables sont estimées à 2 230 millions de mètre cube par an pour l'ensemble des aquifères du socle.

	BOUGOUNI (1977-1980)	KAYES (1979-1981)
Profondeur moyenne	50 m	45 m
Débit moyen	4 m ³ /h	3-4 m ³ /h
Débit maximum	15 m ³ /h	25 m ³ /h
Forages productifs	50 %	27 %

2. Aquifères des schistes

Ils affleurent sur une superficie de 55 000 km carré et représentent une épaisseur de plusieurs centaines de mètres dans la région de Nioro-Nara.

Les réserves sont limitées et localisées surtout dans la zone d'altération. Les ressources renouvelables sont estimées par les services de l'hydraulique à 230 millions de mètre carré par an.

Caractéristiques des forages (1978-1979)/projet PNUD

- profondeur moyenne : 50 m
- débit moyen : 3 m³/h
- débit maximum : 41 m³/h
- taux de réussite : 30 à 35 %

B. Aquifères Semi-Continus

1. Les Aquifères de la série grés-schisteuse de l'infra-cambrien

Cette formation couvre sur 200 000 km carré les monts mandingues, les plateaux de Kolokani, Banamba, les régions de Sikasso, de Koutiala, de Bandiagara et de Kita-Bafoulabé.

La perméabilité est essentiellement de type fissural à développement vertical. Les résidus secs se situent entre 30 à 300 mg suivant la proportion de grés ou de palites dans la zone saturée. Les réserves sont limitées et localisées dans la zone d'altération, mais il arrive souvent que certaines séquences de grés poreux renferment des réserves plus importantes.

Caractéristiques des forages (projet PNUD - Mali Aquo Viva)

- profondeur moyenne : 50 m
- débit moyen : 3 m³/h
- débit maximum : 100 m³/h ou plus
- taux de réussite : 60 %

2. Les Aquifères de la série infracambrienne du Gourma

Cette série couvre sur 600 000 km² la zone interne de la boucle du Niger, la dorsale de l'Azaouad, le Gondo et le Senomango.

La perméabilité de type fissural domine. Les réserves sont limitées et les ressources renouvelables faibles.

Caractéristiques des forages

- Gourma	- profondeur moyenne	:	50 à 100 m
	- débit moyen	:	10 m ³ /h
	- résidu	:	200 à 100 mg/l
	- taux de réussite	:	33 %
- Senomango	- taux de réussite	:	64 %

*

*

*

C. Aquifères généralisés

Les aquifères généralisés disposent d'un potentiel de ressources important. Il s'agit, nous le répétons, d'importantes formations sédimentaires. Ils permettent des exploitations ponctuelles à débit élevé moyennant des techniques de forages plus élaborées. Ces aquifères, situés le plus souvent dans des régions de faible densité de population, se prêtent à des exploitations relativement concentrées pouvant permettre la création de centres de développement.

Ces aquifères généralisés très étendus sont de quatre types.

1. Aquifères du continental intercalaire

- Le fossé de Nara (27 000 km²)

Il y a plusieurs niveaux de perméabilité et les débits obtenus sont de l'ordre de 10 à 15 m³/heure.

- L'Adrar des Iforas

s'étend sur la bordure des massifs granitiques, au constituant une nappe continue donnant un débit d'environ une dizaine de mètres cubes par heure entre 120 à 150 m de profondeur.

2. Aquifères du crétacé de l'éocène inférieur

Ils sont situés sur la bordure de l'Adrar des Iforas. L'épaisseur de ces formations est de l'ordre de 150 m le débit fourni étant 10 m³/heure.

3. Aquifères du continental terminal

Aquifères les plus importants du Mali, ils sont présents :

- Dans le delta central : 90 000 km², la nappe est exploitable dans des profondeurs allant de 20 à 60 m souvent 80 m. Les débits varient de 15 à 45 m³/heure, avec des niveaux statiques entre 7 et 15 m.

- Dans l'Azaouad et le bassin de Taoudenit : (193 270 km²).

Cette zone est formée d'argiles bariolées qui recouvrent le continental intercalaire et les formations du crétacé et de l'éocène du détroit soudanais. La nappe est captée par des ouvrages d'une profondeur moyenne de 60 m avec des débits moyens : 3 m³/heure. Les ressources renouvelables sont estimées à un milliard de m³/an.

- Dans la plaine du Gondo : 22 000 km² en deux unités séparées de part et d'autre de la dorsale de Koro. L'épaisseur moyenne de la tranche mouillée est de 20 m avec un maximum de 100 m à Bankass. Le débit moyen est de 20 m³/heure et les ressources renouvelables sont estimées à 450 millions de m³/an.

4. Aquifères du quaternaire

Dans le quaternaire, le potentiel hydraulique intéresse en plusieurs formations.

- La cuvette nigérienne : 92 000 km², d'une épaisseur de 10m, couvre le continental terminal et a un intérêt hydraulique important.

- Les ergs de Taoudenit : 46 000 km², ont une épaisseur de

60 m. Les dunes sont constituées de sable éolien et
d'alluvions.

- Les alluvions de l'Adrar : 12 000 km², d'une épaisseur

5 m, elles recèlent des nappes temporaires d'intérêt limité.

- Les sables de Nara : dans certaines conditions, les eaux de

pluies peuvent alimenter de petites nappes au toit des
calcaires.

C H A P I T R E I I

LES PROBLEMES DE PEUPLEMENT LIES A L'EAU

La population du Mali, actuellement évaluée à 7 620 225 habitants dont 48,9 % d'hommes et 51,10 % de femmes, a un taux d'accroissement de 2,20 pour mille par an et une densité d'environ 6,32 habitants au km carré. Si l'on exclut la zone désertique nord (60 % de la superficie totale) la densité moyenne serait de 15,82 habitants au km carré.

En vue de suivre l'évolution du développement ces données de base sont très importantes dans les enquêtes de santé publique comme celle des problèmes sanitaires liés à l'eau.

I. REPARTITION DE LA POPULATION

La répartition de la population est très inégale et liée à l'hydrographie. Elle pose des problèmes aigus de développement à plusieurs niveaux. Ainsi l'on constate que 90 % de la population vit au sud et à l'ouest du pays où coulent les grands fleuves avec une bonne pluviométrie, des terres riches et fertiles couvertes d'une végétation abondante. Par contre le sahara est presque inhabité.

C'est dans le cadre de cette inégale répartition des populations que nous étudions les particularités du peuplement en fonction de l'hydrographie.

*

*

*

- Dans la boucle du Niger

Les conditions de vie offertes par le Niger entraînent un peuplement intense : de l'eau en abondance pour les habitants

domestiques, des terres alluviales fraîches soumises à des inondations annuelles, des ressources alimentaires diversifiées par la pêche et une nourriture plus facile pour le bétail.

Ainsi entre Bourem et Gao, les densités sont relativement élevées. Elles atteignent le long de la vallée 50 à 125 habitants au km carré. Ceci se poursuit encore bien que de façon moindre plus au sud en milieu soudanien sur tout le cours du Niger (Djoliba).

- Dans le Bassin du Bani

Le type de peuplement est différent. Le Bani, par son cours moyen, ressemble bien au Niger par sa largeur, son débit et ses plaines d'inondation mais sur ses rives, ne se développe pas ce ruban de populations que l'on observe pour le Niger.

- Dans le Bassin du Sénégal

Le type de peuplement est comparable au précédent. Les populations tendent à fuir les rivières jusqu'au niveau de la région de Kayes.

L'on se demande à juste titre si les hauts bassins des fleuves ne sont pas répulsifs en raison de leur insalubrité.

*

*

*

Les déplacements des populations s'expliquent dès lors que l'on a identifié les causes et les conséquences de l'insalubrité.

Les rivières avec les galeries qui les bordent, avec les cascades et les rapides qui en encombrant les cours, sont autant d'éléments qui apparaissent favorables au développement des simules: petites mouches transmettant

l'onchocercose, redoutable maladie conduisant à la cécité dite des rivières. S'y ajoutent alors les moustiques vecteurs du paludisme qui est à l'état endémique dans toutes ces régions. La mouche peut exister sans la maladie, mais la mobilité des populations a agi comme facteur favorisant l'infestation. Des zones entières se contaminent, ne disposant d'aucune parade, les populations n'ont d'autre solution que l'exode.

Par ce nouvel aspect du problème de l'eau, l'on comprend alors mieux cette remarque fort significative de :
DEMANGEON qui déclare dans :

"Problèmes de géographie humaine" :

"...Certainement la tyrannie de l'eau s'impose à l'habitat rural dans les pays arides."

Ainsi pendant la saison des pluies on trouve l'eau à peu près partout: marigots, mares, bas-fonds plus ou moins argileux. Les besoins sont alors satisfaits et on n'est en général pas très rigoureux sur la qualité. Des campements de culture peuvent s'installer presque partout. C'est ainsi que les populations nomades du nord se dispersent dans le Sahel.

Mais passée cette période des pluies les regroupements deviennent obligatoires soit vers le fleuve ou les mares permanentes, soit à proximité des nappes.

Pendant la période de sécheresse, une forte densité de population est maintenue tout le long du fleuve Niger.

Le transport de l'eau se fait avec des récipients posés sur la tête, charge qui incombe surtout aux femmes ou avec des outres en peau portées par des ânes chez les nomades. Ces moyens sont astreignants et précaires, mais le plus souvent, l'on essaiera de s'arracher à ces contraintes par l'implantation des villages à proximité des points d'eau. C'est pourquoi il devient de plus en plus fréquent de voir des villages de sédentaires se fixer aux alentours de ces points d'eau. On a alors des villages de type sahélien avec une vie sédentaire partagée entre les activités rurales et l'élevage à l'échelle réduite.

On peut distinguer des petits groupements de villages et des groupements de villages importants. Les premiers constituent une grande partie de la masse innombrable des villages ou hameaux de culture avec une ou quelques familles seulement. Ce sont des installations jamais tout à fait fixes. Les seconds ont comme caractéristique essentielle d'être permanents

En premier lieu, il faut distinguer dans ce groupe, des villages de taille moyenne (entre cent et mille habitants): ils se prêtent à la formation de grands ensembles relativement homogènes. Au nord et au nord-ouest, les villages au dessus de 300 habitants forment un ensemble englobant la frange sahélienne et le Kaarta. C'est à la fois le domaine des Soninké et celui des Bambara' de l'ouest. Les problèmes de l'eau, comme certaines exigences de développement ont contribué à accroître la taille des villages.

Ces villages de grosse taille forment un autre ensemble intéressant la haute vallée du Niger et se prolongeant dans le Bélé Dougou et le cercle de Kita. En pays Minianka et Senoufo au sud, les villages tendent ainsi à être plus grands. Les gros villages de plus de mille habitants y sont fréquents.

Enfin, dans la boucle du Niger, la zone d'inondation depuis le lac Debo jusqu'au delà de Tombouctou oblige la population à se grouper sur des espaces restreints là où la crue se manifeste avec le plus de force. La densité y atteint 125 habitants au km carré et la taille des villages dépasse parfois mille habitants.

II. LA SOCIETE MALIENNE

A. Les groupes ethniques

Comme tant d'autres, les problèmes de santé qui nous préoccupent ne sauraient trouver de solutions adaptées et réalistes, que si le milieu social intéressé est correctement cerné et parfaitement compris à travers les mentalités comme à travers les possibilités d'évolution.

Aussi convient-il de présenter même sommairement les traits dominants des coutumes des groupes ethniques qui constituent la population malienne. Par le mode de vie, nous distinguons deux grands groupes.

1. Le groupe des ethnies nomades

Il comprend les Touareg, les Maures surtout au nord et à l'extrême nord, les Peul au centre et au nord.

Les Nomades ne se présentent pas comme de gros travailleurs manuels. Ce n'est là qu'une apparence car ils sont capables de parcourir à pied plusieurs centaines de kilomètres derrière leurs troupeaux ou leur caravane grâce à leur endurance prodigieuse. Ce que l'on considère donc comme une paresse chez eux n'est en réalité qu'une résultante de leur fierté atavique : c'est à dire de leur conviction d'appartenir à une race supérieure, une race qui est au dessus de certains efforts physiques.

En réalité, ce sont de gros éleveurs et qui dit élevage au Sahara dit nomadisme, car dans ce pays où il ne pleut que rarement, le nomadisme correspond à une nécessité vitale.

Les pluies sont rares avec des saisons sèches longues et brûlantes. Les fluctuations pluviométriques imprévisibles rendent la vie du nomades précaire et exige de lui un sens remarquable de la mobilité et de l'organisation.

Tout retard dans les précipitations des eaux de pluie a d'impérieuses conséquences, car en pareille circonstance, les pâturages diminuent aussi rapidement qu'ils avaient paru et se limitent alors à quelques fonds d'oueds avec des plaques de verdure rencontrées çà et là.

Dans ces cas, les pasteurs doivent faire appel à leur instinct inné et à celui de leurs animaux pour découvrir les points d'eau non encore taris et quelques dépressions encore couvertes de végétation. Tel est l'aspect caractéristique de ce type de peuplement intéressé au plus haut point par une politique de l'eau.

2. Le groupe des ethnies sédentaires

Il se subdivise en trois parties :

- Le groupe mandingue

comprend : les Bambara, les Malinké, et les Dioula qui ont l'habitude d'assimiler au premier et au second selon leur lieu de résidence.

- Le groupe soudanien

comprend les Sonrai et les Dogon

- Le groupe voltaïque

comprend : les Senoufo, les Minianka et les Bobo

En dehors de ces groupes, il faut signaler l'existence d'autres ethnies plus ou moins importantes : les Ouassoulouké, les Diawara, les Khasonké et les Toucouleur. Il existe également d'autres groupes ethniques nettement minoritaires tels que les Kagoro, les Foullanké, les Diallonké, les Sorko, les Mossi et les Ouolof.

Ces groupes ethniques pratiquent plusieurs langues vernaculaires dont les principales sont : le Bambara, le Fulfuldé ou Poular, le Sonrai, le Tamasheq, le Haasanige, le

Soninké, le Bobokan et le Dogon. Il existe de nombreux dialectes et patois tirés des principales langues dominantes.

Certaines ethnies pratiquent la même langue mais ne s'identifient pas pour autant les unes aux autres. C'est ainsi que, par exemple, les Ouassoulouké, quoique rattachés linguistiquement à l'ensemble Bambara utilisent toutefois les patronymes peul de Diallo, Diakité, Sidibé et Sangaré pour regrouper leur lignée et spécifier leur origine peul. Cependant chaque groupe ethnique a ses traits caractéristiques.

B. L'organisation sociale

Marquée au départ par des données démographiques spécifiques des particularités régionales, la vie sociale coule tous les maliens dans le même moule. La société a globalement une structure patriarcale : les familles s'agrègent autour des plus âgés qui sont souvent les chefs de famille. Cette organisation patriarcale conduit tout naturellement à la gérontocratie dans laquelle le plus ancien est à la fois le chef des humains et de leur patrimoine collectif : la terre.

A un milieu assez hostile, ingrat, sensiblement uniforme, correspond un genre de vie partout identique dans ses grandes lignes. Le rythme de vie est commandé par l'arrivée des pluies qui marque le début de la saison des travaux champêtres. Leur durée variant en fonction de la latitude, implique donc des modalités différentes d'adaptation.

En zone soudanienne où se trouve la plus grande partie de la population (90 %) la pluviométrie permet l'agriculture. L'homme s'enracine au sol, il est sédentaire.

En zone sahélienne, les conditions sont toutes différentes. La culture n'y est pas toujours possible en dehors des pluies sauf quand il existe des mares ou des oasis.

Par contre, l'abondance des pâturages en saison des pluies y incite à l'élevage. Mais il faut, le reste du temps,

chercher l'eau ailleurs : auprès d'une mare, d'un puits, d'un marigot. Ainsi, l'homme est-il nomade ou plutôt transhumant car il effectue ses déplacements selon un rythme bien défini.

En saison sèche, la vie reste sédentaire en zone soudanienne où les cultures sont relativement prospères. Les nomades vont s'installer dans cette zone et tendent à se rapprocher des sédentaires d'où des interpénétrations dans les genres de vie.

La vie familiale à travers les régions, comme à travers les ethnies, porte l'empreinte nette de la femme. Ainsi la situation de la femme et de la polygamie posent parfois des problèmes.

Les femmes mènent une existence différente de celle des hommes, tout en vivant à leur côté. Elles participent aux travaux dans l'intérêt du groupe mais suivant des modalités particulières. Ayant leur part de revenu collectif, les revenus de leurs cultures personnelles, ont charge pour elles de subvenir d'une certaine façon à l'entretien de ce groupe familial auquel elles ont été associées par les liens du mariage. Elles ont donc une vie mentale exclusivement à elles.

Cependant, toutes ces traditions ont subi des évolutions. Les faits les plus remarquables qui ont abouti à la transformation de la mentalité de la société malienne sont certainement l'harmonie dans laquelle s'est effectué le brassage des ethnies.

Ce brassage racial a eu pour conséquence de façonner progressivement un nouvel homme malien, dépourvu de tout esprit sectaire ou de tout complexe tribal ou régional. Cette mutation se fait du reste à une telle cadence que l'on peut affirmer que d'ici quelques décades on se trouvera devant des individus ne se réclament d'aucun groupe déterminé, mais se considérant comme membre à part intégrante d'un ensemble cohérent et solidaire.

La conscience collective existe déjà et détermine le comportement face à l'administration, face aux problèmes de développement. Leur adhésion aux changements ne s'obtient que par la confiance.

Dans la politique hydraulique qui comporte des changements d'habitude et de mentalité, nous devons faire appel constamment à cette conscience collective observée.

Ainsi, un forage ou un puits couvert, dont la pompe tombe fréquemment en panne sera vite abandonné au profit des puits traditionnels ou des eaux de surface. Aussi un forage ou un puits couvert d'une eau de bonne qualité mais qui présenterait un goût inhabituel, perdrait son intérêt et il sera abandonné au profit d'autres sources.

En outre, toute réalisation dont l'intérêt échappe à leur compréhension ne bénéficierait point de leur concours malgré des campagnes de sensibilisation. Il est alors préférable de mener une persuasion et une éducation en faisant appel à l'esprit de conciliation, afin de provoquer la manifestation du sentiment de besoin.

C'est là une démarche qui s'impose à toute approche intégrée. Cette démarche va se révéler aisée dans notre environnement socio-culturel, pouvant paraître rigide de l'extérieur, mais qui, au fond grâce à l'esprit de conciliation et de dialogue qui y prévaut est en fait assez souple.

Enfin, on peut conclure que la diversité des ethnies ne se heurte pas à des programmes de développement comme les programmes hydrauliques de forages et de barrages ou les programmes d'assainissement qui vont dans le sens de leur besoin. Tout au plus, il faudrait les amener à abandonner certaines conceptions traditionnelles liées seulement à l'ignorance, au profit des mesures de prévention comme la filtration, l'épuration ou la stérilisation. C'est pourquoi, nous avons cru devoir d'insister sur les déplacements de population au gré des saisons et sur le brassage des races entraînant une meilleure compréhension principalement dans les problèmes de stratégie autour de l'eau : hydraulique rurale et urbaine.

C H A P I T R E I I I

IMPORTANCE DES BESOINS EN EAU

La difficulté d'évaluation des besoins en eau découle déjà de l'étendue du pays et de la diversité des types de peuplement.

En dehors des agglomérations riveraines des cours d'eau et des mares d'hivernage, l'essentiel de l'approvisionnement en eau est assuré par les eaux souterraines. Des années de sécheresse successives depuis 1968 ont montré la vulnérabilité des ouvrages traditionnels exploitant ces eaux souterraines. Ainsi les disponibilités restent bien suffisantes : premier constat.

De plus dans les zones rurales surtout en saison sèche, l'eau est obtenue dans des conditions très pénibles, loin des lieux d'habitation. Cette eau est alors, souvent polluée et dangereuse pour la santé: deuxième constat. Ce deuxième constat correspond aux données statistiques selon lesquelles 9% seulement de la population du Mali ont accès à l'eau potable.

L'on voit dès lors combien la situation est dramatique pour une population de plus de sept millions d'habitants répartis sur de très grandes étendues.

Les besoins en eau pour l'alimentation concourent au maintien de l'équilibre hydrique du milieu intérieur et correspondent à une consommation journalière d'environ trois litres d'eau potable: 1,5l sous forme de boisson et 1,5l sous forme d'aliments.

Cet apport sert à compenser les pertes d'eau par élimination physiologique : excréments diverses, transpiration et même la respiration. Cependant, ces pertes en eau augmentent avec l'activité physique de l'individu et avec l'élévation de la température en climat chaud et sec atteignant ainsi cinq à dix litres.

La satisfaction des besoins quantitatifs ne suffit cependant pas pour le maintien de la santé et de l'équilibre physiologique du milieu intérieur. Il faut en plus que l'eau réponde à des normes de qualité qui définissent l'eau potable: eau aérée, légère, incolore, insipide et tout en comportant une certaine minéralisation en faible quantité ou à l'état de traces (chlorures, sulfates, calcium, fer, iode).

Quand certains de ces éléments atteignent un taux relativement élevé (cinq cent milligrammes ou mille mg ou davantage), l'on a affaire à une eau minérale.

Certaines de ces eaux minérales ont des propriétés thérapeutiques :

- Vichy
- Badoit : (Massif Central)
- Salie de Bearn (Pyrenées)
- Barreges (Pyrenées)
- Cauterets (Pyrenées)
- Moulay-Yacoub (Maroc)
- Epsom (Grande Bretagne).

D'autres eaux minéralisées ou riches en gaz carbonique sont des eaux de table et des eaux de régime pouvant remplacer l'eau potable courante comme boisson, chez l'homme bien portant, comme chez certains sujets présentant des affections cardio vasculaires, des symptômes de goutte ou sous traitement avec des médicaments favorisant la rétention de certains minéraux.

A elle seule, l'étude de ces eaux minérales embrasse un domaine encore plus large que l'hydrologie classique : le thermalisme.

*

*

*

Les besoins en eau pour l'hygiène domestique comprennent l'eau de lavage des ustensiles, du linge et des locaux d'habitation: ces besoins déjà plus importants augmentent considérablement en fonction du milieu et du mode de vie. Ainsi rapportée au milieu urbain, la consommation effective par habitant aura tendance à augmenter :

- 250 litres par jour et par habitant pour les villes d'environ 150.000 habitants
- 150 litres par jour pour les villes de moindre importance.

Ici encore, la satisfaction des besoins quantitatifs ne saurait à elle seule suffire. L'eau d'usage domestique doit répondre à un minimum de normes. Une minéralisation avec des éléments comme le calcium rend l'eau dure et peu propre à l'emploi du savon pour les lessives, comme pour le bain: le savon ne mousse pas. De plus, ces eaux calcaires se prêtent mal à la cuisson des légumes.

Les besoins en eau pour les activités agricoles, pastorales et même industrielles échappent encore à toute possibilité d'évaluation exacte s'il reste vrai que l'objectif de développement minimal est d'abord l'autosuffisance alimentaire.

Le problème de l'eau destinée aux usages agricoles ou industriels se pose aussi en terme de qualité. Les eaux riches en gaz carbonique n'admettent pas des canalisations en fer galvanisé qui sont vite rongées.

De même avec les eaux siliceuses ou calcaires, les chaudières sont rapidement recouvertes de dépôt de tartre abaissant très vite le rendement thermique.

Voilà qui explique l'intense activité autour des problèmes d'hydraulique notamment en milieu rural.

Pour les besoins particuliers en eau du Sahel, des programmes variés sont en cours d'exécution dans le cadre de la décennie internationale de l'eau et de l'assainissement.

Quant aux besoins des populations urbaines, leur satisfaction traduit de réels progrès malgré des statistiques plutôt alarmants:

- 42% de cette population disposent d'une alimentation en eau satisfaisant et ce chiffre tombe à 14% si l'on ne tient pas compte du District de Bamako,

- 22 centres urbains disposent d'une adduction d'eau permanente alors que l'on compte 48 centres de plus de 5.000 habitants qui attendent d'être dotés d'un système public de distribution d'eau potable.

A travers les études hydrogéologiques hydrographiques, les études de peuplement, une solution globale n'est pas encore perçue face à la complexité des données. Cependant, il s'en dégage des mesures d'urgence que nous nous contenterons de citer :

- implantation de puits suffisamment profonds et mieux protégés,
- construction de barrages de retenue pour utiliser plus longtemps l'eau des cours d'eau intermittents ou certaines eaux de ruissellement,
- aménagement des mares par dragage et limitation d'un périmètre de protection approprié,
- introduction de technique de traitement de l'eau de boisson au niveau des zones rurales.

Ces mesures d'urgence s'insèrent bien dans la politique globale de l'eau telle que nous les avons perçues à travers les statistiques des services de l'hydraulique. L'étude de ces statistiques nous apporte de riches informations et de données concrètes sur l'importance des besoins en eau sans que nous puissions pour autant faire une évaluation même approchée de ces besoins. Tout au plus des données statistiques à partir des nappes aquifères exploitées ou à partir du réseau hydrographique important qui font apparaître quelques inquiétudes sur l'espoir de satisfaire à court et moyen terme les besoins réels des populations.

Par contre, dans le cadre pratique des aspects de la politique de l'eau liée à la santé, il nous paraît possible d'appuyer et d'intensifier les actions ponctuelles, de les répéter aussi souvent que possible en impliquant les populations, plus particulièrement les populations rurales autour desquelles gravitent tous les problèmes.

Cependant, nous ne pouvons pas pour autant évaluer immédiatement un quelconque paramètre sanitaire car si l'enthousiasme est de rigueur dans ces programmes d'hydrauliques si exaltants, nous n'en demeurons pas moins inquiets sur l'espoir de satisfaire relativement vite les besoins réels des populations tels qu'ils nous apparaissent à travers le type de peuplement et leur mode de vie et à travers les défis nombreux qui se dressent face aux objectifs de développement d'ici l'an 2000:

- Santé pour tous
- Autosuffisance alimentaire.

Sur la base d'un taux d'accroissement de la population rurale de 2,20 pour mille par an, les besoins en points d'eau passeraient de 35 000 en 1983 à 40 000 en 1990 et à 50.000 en l'an 2000.

Cependant, les ouvrages réalisés jusqu'en 1984 peuvent être chiffrés à 3 400 points d'eau. Il y a donc un déficit à combler d'ici l'an 2000 de l'ordre de 46 000 points d'eau équipés.

Compte tenu de cette réalité, force nous est de constater que le succès de notre programme d'approvisionnement en eau dépend essentiellement de l'aide extérieure avec tout ce que cela comporte comme aléas et difficulté de toute nature.

Dans l'évaluation de la richesse en eau de notre sous-sol, nous n'en sommes qu'au stade de l'estimation approximative. De façon générale, les nappes aquifères se trouvent dans des contextes extrêmement diversifiées et du point de vue potentialité, elles offrent des possibilités inégales comme cela a été précédemment décrit.

A la Direction Nationale de l'Hydraulique, on observe beaucoup de prudence pour ne pas dire de scepticisme face aux estimations chiffrées des réserves de notre pays en eau souterraine. Cela à juste titre car certaines nappes réputées très étendues et dont on espérait obtenir de bon débit, se

sont par la suite révélées moins prometteuses au moment des forages tant en débit qu'en étendue.

A l'heure actuelle, on ne compte pas moins d'une dizaine de projets ou opérations en activité sur l'ensemble du pays et dont les objectifs sont la recherche et l'exploitation des ressources en eau: adductions, forages, aménagements des zones de pâturage ou de cultures irriguées...

Ainsi, nous comprenons mieux qu'une des tâches essentielles de la Direction de l'Hydraulique soit de limiter la dispersion des efforts déployés et de coordonner les activités des projets en une seule action directrice. Cela est d'autant plus difficile car si la conception vient de notre pays, la plénitude d'action est laissée aux projets. La dépendance vis à vis de l'aide extérieure pose des problèmes aussi complexes que diversifiés.

On estime alors dans le cadre de la Decennie de l'Eau qu'il faudrait pouvoir réaliser près de 26 000 points d'eau pour soulager des populations qui vivent un véritable cauchemar.

CHAPITRE IV

L'ETUDE DES EAUX

D'après L. Strat :

"L'eau potable est celle qui plait à celui qui la boit et ne le rend pas malade."

Les caractéristiques de l'eau potable dépendent à la fois de facteurs physiques, de facteurs chimiques et de facteurs bactériologiques.

En effet, l'eau destinée à la consommation humaine doit contenir ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. Elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. Les principales qualités de l'eau potable sont la fraîcheur, l'absence de troubles de coloration, de goût et d'odeur désagréables.

Ainsi, lorsqu'il évalue la qualité d'une eau de boisson, l'utilisateur se fie totalement à ses sens. La composition de l'eau peut affecter directement son aspect, son odeur ou son goût. C'est donc essentiellement selon ces critères que le consommateur évaluera sa qualité et son acceptabilité. Cependant, il n'est plus possible aujourd'hui de ne se fier qu'à ses sens pour juger de cette qualité. L'absence d'effets sensoriels désagréables ou non souhaités n'est pas une garantie de sécurité en matière de boisson.

I. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Un prélèvement correct est indispensable pour l'obtention de données valables. Il serait inutile d'employer des méthodes analytiques raffinées et d'apporter le plus grand soin à l'analyse si l'échantillon qui a été prélevé ne présentait pas correctement les conditions du milieu lors du prélèvement.

Types de flacons de prélèvement

On peut utiliser :

- des flacons en matière plastique (du type Teflon) qui se prêtent à la stérilisation et comportent un bouchon à vis.
- des flacons de verre neutre, munis d'un bouchon rodé ou d'un bouchon à vis bien ajusté.

Il est indispensable de bien stériliser flacons et bouchons. Les flacons doivent avoir au moins une contenance de 200 à 250 ml (OMS).

Les modalités de prélèvement sont variables en zones rurales et zones urbaines.

A. En zones rurales

Le mode de prélèvement en zones rurales exige des précautions spéciales.

1) Pour l'analyse bactériologique

Quand on recueille directement l'échantillon dans un cours d'eau, une source ou un puits, on s'efforcera d'obtenir un échantillon représentatif de l'eau telle qu'elle est captée. Il est donc souhaitable de ne pas prélever les échantillons trop près de la rive et à une grande profondeur.

S'il s'agit d'un cours d'eau, on évitera les zones de stagnation et le prélèvement peut s'effectuer de la manière suivante : le flacon étant tenu par le fond en position renversée, l'immerger complètement puis le retourner jusqu'à ce que l'ouverture soit légèrement plus haute que le fond et dirigée dans le sens opposé du courant.

Pour prélever dans un puits, on peut attacher une ficelle résistante à la bouteille stérilisée pour prendre l'eau.

Lorsque le puits est muni d'une pompe, l'eau sera pompée et rejetée pendant cinq minutes environ. Le bec sera ensuite stérilisé et l'on donnera encore quelques coups de pompe avant d'effectuer le prélèvement.

Enfin, pour tout prélèvement destiné à l'analyse bactériologique, il est nécessaire de prendre des précautions rigoureuses pour que l'échantillon soit représentatif et pour éviter toute contamination accidentelle.

Ainsi avant le prélèvement, stériliser le flacon ou la bouteille, déboucher avec une pince flambée, remplir d'eau, refermer rapidement le récipient après avoir à nouveau flambé le bout.

L'importance de ces précautions est à souligner. Le préleveur doit être conscient que les micro-organismes sont omniprésents : dans l'air, sur le sol, sur le matériel utilisé pour le prélèvement et sur lui-même. Il doit donc éviter de contaminer l'eau à analyser.

2) Pour l'analyse physico-chimique

Le prélèvement destiné à l'analyse chimique doit s'effectuer conformément aux recommandations générales formulées plus haut à propos de l'analyse bactériologique ; A cela près qu'il ne sera pas nécessaire de stériliser les orifices des pompes (à moins qu'on ne prélève en même temps des échantillons destinés à l'analyse bactériologique).

Lorsqu'il s'agit de puits domestique, on peut utiliser les puisettes locales pour avoir la quantité d'eau recherchée. L'eau de la puisette sera ensuite transvasée dans les flacons et transportée au laboratoire pour analyse.

Il est nécessaire de prélever un échantillon d'au moins deux litres. Avant d'être rempli, le flacon sera rincé trois fois avec l'eau à prélever.

B. En zones urbaines

Le prélèvement en zones urbaines procède de la même manière. Comme l'échantillonnage a pour but de déterminer la qualité de l'eau au robinet du consommateur, qualité qui n'est nécessairement pas la même que celle qui circule dans le réseau au niveau du raccordement privé.

Pour le choix des points de prélèvement, il faut adopter certains critères généraux.

Les points de prélèvement doivent être choisis de façon que les échantillons soient représentatifs des différents secteurs qui alimentent le réseau et parmi ces points, doivent figurer ceux où les échantillons sont représentatifs des conditions les plus défavorables à l'intérieur du système quant aux risques de contamination.

La position des points de prélèvement doit être telle qu'on puisse recueillir de l'eau dans les réservoirs de stockage etc...

Il doit y avoir au moins un prélèvement à la sortie de chaque station d'épuration.

Les points de prélèvement doivent être répartis entre les différents types de circuits de distribution.

Lorsque l'échantillon prélevé en vue d'une analyse micro-biologique, contient du chlore, ce dernier continue à agir sur les bactéries présentes après le prélèvement. De ce fait, l'analyse risque de ne pas révéler le contenu microbiologique exact de l'eau échantillonnée. Pour contourner la difficulté, une pratique courante consiste à ajouter du thiosulfate de sodium dans l'échantillon. Le réactif inactive immédiatement le chlore résiduel mais n'agit pas sur les micro-organismes de l'échantillon.

C. Conservation et transport des échantillons

La conservation et le transport des échantillons ont une importance capitale. En effet, l'eau est un milieu dynamique et est susceptible de se modifier plus ou moins rapidement sous l'action des micro-organismes et des réactions chimiques (précipitation, adsorption, oxydo-réduction).

Ainsi, les échantillons doivent arriver au laboratoire dans les meilleurs délais. Ils seront conservés à basse température (4 à 10 degré C) au réfrigérateur pour les analyses.

Pour être certain que chaque échantillon soit clairement et correctement décrit, il faut y joindre tous les renseignements nécessaires sur le lieu et le moment du prélèvement.

Enfin, notons que pour les analyses courantes d'une eau naturellement pure, tant sur le réseau qu'au point d'entrée, il semble indiqué de choisir leur fréquence d'après l'effectif de la population desservie. En outre, ces analyses seront espacées dans le temps en fonction des risques de pollution, de l'emplacement de la source et de son degré de protection.

*

*

*

II. DETERMINATION DES QUALITES DE L'EAU

L'eau de consommation, par ses origines très diverses, renferme toujours des substances en dissolution empruntées à l'atmosphère ou au sol. Certaines de ces substances peuvent entraîner soit une pollution ; soit des modifications de propriétés physico-chimiques non souhaitables ; soit l'apparition de propriétés thérapeutiques nouvelles donnant une eau minérale.

Dans un premier temps, les méthodes d'analyse conduisent à des déterminations physico-chimiques sur certaines constantes ou sur certains constituants :

- densité
- turbidité
- pH
- conductivité
- extrait sec
- alcalinité
- dureté
- chlorures
- matières organiques
- nitrate, etc...

Dans un deuxième temps, l'examen microbiologique obligatoire doit renseigner sur l'absence de contamination ou alors écarter l'eau contaminée de toute utilisation domestique. L'examen microbiologique permettra aussi, dans certains cas, de prévoir un traitement de décontamination approprié.

1. La Turbidité

La turbidité est un phénomène optique consistant essentiellement en une absorption combinée avec une diffusion de la lumière dans la masse de l'eau. Sa détermination peut se faire par la méthode "des gouttes de mastic". Celle-ci permet l'évaluation des particules colloïdales non décantables et non filtrables. Son principe est basé sur la comparaison de l'absorption de la lumière par l'eau à analyser avec celle par l'eau distillée additionnée d'une quantité connue de solution alcoolique de mastic végétal à un pour mille.

La turbidité est exprimée soit en gouttes de solution de mastic pour 50 ml d'eau soit en mg de mastic pour un litre, sachant qu'une goutte de solution équivaut à 0,02 mg de mastic.

La détermination de la turbidité est indispensable à l'entreprise du traitement et de l'épuration des eaux brutes.

2. Le pH

Il exprime la réaction acide ou alcaline de l'eau et se trouve essentiellement conditionné par le taux de bicarbonates dans le cas des eaux superficielles.

La détermination du pH peut se faire par conductimétrie avec un pH-mètre ou par colorimétrie. La conductimétrie est la méthode la plus précise et la plus courante

3. La résistivité

Elle dépend de la concentration de l'eau en électrolytes ou sels conducteurs. Elle renseigne donc sur la salinité ou la minéralisation de l'eau. Elle est effectuée par la mesure de la conductivité C :

$$C = 1/R \text{ d'où } R = 1/C$$

Elle s'exprime en ohm par cm et varie avec la température d'où mention de celle-ci au moment des mesures.

4. Le Résidu sec

Le résidu d'évaporation est constitué de substances dissoutes essentiellement de sels minéraux. Parfois, il peut contenir des substances organiques.

Afin de tenir compte de l'hydratation variable de certains sels ainsi que de l'action de la chaleur sur les carbonates et les bicarbonates, il est recommandé de réaliser l'évaporation en plusieurs temps.

- A 103 - 105 degrés C : un volume suffisant d'eau est évaporé au bain-marie dans une capsule de silice tarée. L'évaporation est suivie de dessiccation une heure à l'étuve et de pesée jusqu'à poids constant : le résidu est rapporté à un litre d'eau.

- A 180 degrés C la même capsule est placée à l'étuve à 180 degrés jusqu'à poids constant pendant au moins une heure de temps : le sulfate de calcium est alors anhydre.

- A 700 degrés C : résidu sulfaté ; le résidu précédent est calciné après avoir reçu des traces d'acide sulfurique qui transforme tous les sels en sulfates pour une petite pincée de carbonate d'ammonium. La calcination est alors effectuée à 700 degrés C jusqu'à poids constant.

Dans ces conditions, il y a élimination totale de l'eau des carbonates des matières organiques avec des résultats comparables et reproductibles.

5. L'alcalinité

Le principe de la détermination consiste :

1) A doser l'alcalinité au moyen d'une solution acide titrée en présence de phénolphthaleine jusqu'au virage à l'incolore. Tous les carbonates sont titrés sous forme de carbonates acides.

2) A doser ensuite sur la même prise l'alcalinité en présence d'héliantine au virage orangé. La totalité des carbonates et des bicarbonates sont dosés.

La différence entre ces deux dosages correspond aux bicarbonates présents. Le premier dosage correspond aux carbonates neutres.

Il convient de signaler que l'alcalinité est due aux carbonates et aux bicarbonates alcalins ou alcalino-terreux et est toujours en rapport avec la dureté carbonatée déterminée dans l'évaluation générale de la dureté dont nous allons étudier à présent les différentes composantes.

6. La dureté

La dureté d'une eau traduit sa richesse en sels de calcium et de magnésium, principalement les bicarbonates, les carbonates et les sulfates qui empêchent le savon de mousser et qui rendent la cuisson des légumes très difficile (eau dure).

L'évaluation de la dureté peut être faite selon deux méthodes :

- par mesure du pouvoir moussant de l'eau vis à vis d'une solution savonneuse. C'est la méthode hydrotimétrique.

- par dosage du calcium et du magnésium : méthode complexométrique.

1) Méthode hydrotimétrique

Le principe de l'évaluation de la dureté consiste à déterminer le volume d'une solution alcoolique savonneuse qui ajoutée à un volume d'eau donnée provoque une mousse persistante. La hauteur de la mousse est fonction inverse de la dureté qui est exprimée en degrés hydrotimétriques.

La burette de mesure de la solution savonneuse est graduée en degrés hydrotimétriques.

1 degré = 10 mg exprimé en carbonates de calcium

2) Méthode complexométrique

Elle est basée sur la formation d'un complexe avec le sel dissodique de l'acide éthylène diamino-tétracétique, entre pH 9 et 10 en présence de noir eriochrome T qui en fin de réaction vire du rouge au bleu.

Dans une première détermination la quantité de réactif complexant consommée donne la teneur globale du calcium et du magnésium de l'eau analysée: dureté totale.

Dans une deuxième détermination, après élimination du calcium par précipitation sous forme d'oxalate de calcium, la quantité de réactif complexant consommée donne la teneur en magnésium : dureté magnésienne.

Les valeurs de la dureté exprimées en carbonates de calcium peuvent être ainsi interprétées :

- dureté inférieure à 50 mg par litre : eau douce (dureté faible)

- dureté de 100 à 300 mg par litre : eau bonne (dureté légère)

- dureté supérieure à 300 mg par litre : eau très dure, peu favorable aux usages domestiques et même aux utilisations industrielles.

Dans la plupart des eaux d'alimentation surtout dans les eaux courantes, le calcium est le constituant dominant. La teneur en calcium exprimée en carbonates de calcium se situe entre 100 et 150 mg par litre. Des eaux très chargées comme en Angleterre peuvent atteindre 200 à 300 mg par litre.

Le magnésium se trouve à une teneur plus faible que le calcium. On considère qu'une bonne eau d'alimentation renferme en moyenne 10 mg de magnésium par litre, les besoins quotidiens de l'homme étant en moyenne 200 à 300 mg par litre.

En conclusion, les eaux de dureté légère de 15 à 25 degrés hydrotimétriques sont les meilleures pour l'eau de boisson.

7. Les matières organiques

Les matières organiques trouvées dans une eau peuvent être :

- d'origine animale par suite de pollution par les matières fécales, les cadavres etc...

- d'origine végétale provenant de végétaux flétris à la surface du sol ou de l'humus.

- d'origine industrielle provenant des phenols par exemple.

Parmi les méthodes de dosage proposées, la plus pratique consiste en une oxydation permanganique. La quantité de permanganate de potassium nécessaire pour oxyder les matières organiques de l'eau est mesurée en milieu acide et en milieu alcalin.

L'eau est considérée comme suspecte quand la quantité d'oxygène consommée en milieu alcalin est supérieure à deux milligrammes par litre.

8. Les chlorures

La connaissance du taux de chlorures renseigne sur le taux de minéralisation de l'eau de boisson et peut avoir valeur de témoin de pollutions organiques dans les cas de teneur trop élevée.

Pour les eaux peu minéralisées, on peut utiliser la méthode de Charpentier Volhard qui précipite les ions chlorures par un excès de nitrate d'argent. L'excès est ensuite dosé par du sulfocyanure de potassium titré en présence d'alun de fer amoniacal virant au rouge en fin de réaction.

9. Les nitrates

Ils donnent à l'eau une saveur fraîche. Ils stimulent la croissance des algues et des plantes vertes.

Le principe de la détermination de la teneur en eau des nitrates est qu'en présence d'un réactif sulfophénolé, les nitrates donnent des dérivés phénoliques nitrés, jaunes en milieu alcalin. Par comparaison des intensités de la teinte obtenue et de celle fournie par une solution étalon de nitrate, on en déduit la teneur en azote nitrique de l'eau.

Au delà de 10 mg par litre comme taux de nitrate l'eau présente un certain danger surtout pour les nourrissons. Dans le liquide gastrique peu acide de ces derniers, on peut assister, par un processus bactérien à la réduction des nitrates en nitrites d'où risque de méthémoglobinisation.

10. Les nitrites

Leur présence dans une eau naturelle est le signe d'une pollution récente par suite de l'oxydation de l'ammoniaque. Toutefois, la réduction des nitrates surtout dans les eaux de forages profonds peut expliquer la présence des nitrites.

Au delà de 0,1 mg par litre, les nitrites présentent une certaine toxicité due à leur action méthémoglonisante et hypotensive.

Leur détermination peut se faire par une méthode colorimétrique dont le principe se base sur la formation en milieu chloridrique en présence de phénol et d'ions ammonium avec l'acide sulfanilique d'un dérivé coloré en jaune.

III. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET ORGANOLEPTIQUES

En vue de la surveillance de l'approvisionnement en eau des collectivités, des valeurs indicatives sont recommandées en matière de turbidité, de goût et d'odeur.

1. La couleur

Il y a lieu de distinguer la couleur apparente due aux matières en suspension et en solution de la couleur vraie due aux substances éventuellement en dissolution.

En effet la couleur de l'eau peut être imputable à la présence de matières organiques colorées par exemple des substances humiques ou aux traces de dérivés ferrugineux.

Les eaux de surface incolores pendant la saison sèche deviennent ainsi jaunâtres pendant la période de crue parce qu'elles charrient de fines particules de sédiments argilo-sableux ou de limons. Dans certains cas couramment observés dans nos régions, l'eau devient nettement brunâtre après la traversée de terrains ferrugineux. Avec les algues, les substances humiques et les planctons, l'eau a un aspect sombre avec des reflets verdâtres.

Le consommateur risque alors de se tourner vers d'autres sources éventuellement peu sûres, quand l'eau mise à sa disposition présente même à l'état de traces une coloration suspecte.

L'eau dans la nature présente en fonction de l'étendue et de la profondeur trois types de couleurs prédominantes : bleue, brunâtre et verte.

L'eau est bleue quand la lumière solaire est diffusée par effet Tyndall dû aux matières en suspension colloïdale. On retrouve la couleur verte dans les eaux riches en phytoplanctons et la couleur brune est due surtout à la présence de matières dissoutes généralement d'origine minérale.

Du point de vue sanitaire, la couleur d'une eau peut orienter vers l'identification de la nature de la pollution. La couleur est exprimée en Unités Platino Cobalt (UPC). La couleur limite préconisée par l'OMS est 50 UPC pour une eau potable.

2. Les saveurs et odeurs

Pour le consommateur, les saveurs et odeurs peuvent avoir une importance encore plus grande que la limpidité ou la couleur. Elles peuvent résider dans une pollution artificielle de l'eau c'est à dire découlant directement ou indirectement des activités humaines ou naturelles.

L'eau peut avoir une odeur aromatique, une odeur de moisissure, de goudron, de poisson, de vase etc... Cela s'explique principalement par la présence de substances organiques.

Une bonne eau doit être inodore même au bout de 10 à 15 jours de conservation en vase fermé et à une température de 20 à 25 degrés C. Cependant certains problèmes d'odeur peuvent surgir au moment du traitement de l'eau. Par exemple, l'action du chlore sur certaines matières organiques comme les phénols.

L'eau est sans saveur mais la présence de certains éléments minéraux peuvent lui conférer un goût généralement salé ou ferrugineux : eau fade.

Du point de vue sanitaire, les saveurs et odeurs présentes dans les eaux traitées peuvent être le signe d'une contamination par les produits phénoliques. L'odeur résultant de la réaction du chlore sur les produits phénoliques.

Mais le plus souvent c'est l'excès de chlore que l'on rencontre avec un goût fade et un arrière goût de javal.

3. La turbidité

La turbidité d'une eau par opposition à la limpidité est due à la présence de matières en suspension finement divisées tels que les argiles, les limons, les grains de silice, les matières organiques et inorganiques, les planctons ou autres micro-organismes.

En effet, une turbidité importante peut mettre les micro-organismes à l'abri des effets de la désinfection et stimuler la croissance des bactéries.

L'appréciation de la turbidité présente un grand intérêt pour le contrôle et pour l'épuration des eaux boissables.

4. La température

La température des eaux dépend essentiellement de leur provenance. Les eaux de ruissellement ont une température qui varie très sensiblement avec les saisons et les climats. Les eaux en repos (étangs, lacs naturels ou artificiels) ont une température qui reste à peu près constante à partir d'une certaine profondeur. Mais les couches supérieures subissent des variations du fait des saisons, de la fréquence et de la force du vent, de la température des rivières. Les eaux souterraines, en règle générale subissent de faibles variations de température.

Dans la mesure du possible, l'eau destinée à la consommation doit avoir une température comprise entre 8 et 16 degrés C.

Evidemment, ces données ne s'appliquent pas à l'Afrique tropicale où l'eau affleure à la température ambiante sauf dans les régions de montagne où les sources sont nettement fraîches avec une température voisine de 13 degrés C.

Il est important de connaître la température avec précision car elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz : elle intervient aussi indirectement sur la conductivité électrique et sur l'acidité due au gaz carbonique en dissolution.

Il existe également une relation entre la température de l'eau et la réactivité des substances utilisées dans le traitement de l'eau.

Exemple : la quantité de chlore utilisée pour la désinfection est plus importante en période froide qu'en période chaude.

5. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques. La mesure de la conductivité permet d'évaluer très rapidement la minéralisation globale de l'eau et par suite le degré de potabilité.

Ainsi, il s'agit d'une détermination physique mais elle rend compte déjà de la présence d'éléments minéraux.

6. Le pH

L'eau ne doit pas être ni trop acide ni trop alcalin. La valeur maximale souhaitable est de 7 à 8,5.

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre ou de sels forts et de bases faibles.

L'alcalinité correspond à la présence de carbonates ou de bicarbonates alcalins ou alcalino-terreux

D'une façon générale, dans nos régions tropicales, le pH d'une eau est acide. Ceci est lié à la composition chimique du sol et dans le cas des cours d'eau à la présence d'algues et de végétaux inférieurs.

*
* *

IV. LES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

L'eau pure est une combinaison d'hydrogène et d'oxygène. A l'état naturel, elle tient souvent en dissolution ou en suspension des substances diverses et des micro-organismes pathogènes ou non. L'eau destinée à la consommation humaine doit être potable, c'est à dire non susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment. De ce fait, elle ne doit contenir en quantités dangereuses ni substances chimiques, ni germes microbiens nocifs pour la santé. Elle doit être agréable à consommer et répondre aux exigences biologiques de l'organisme qui utilise l'eau comme véhicule de toutes les substances nutritives mais également comme véhicule d'épuration de tous les déchets biologiques.

Ainsi, l'eau potable répond à des critères biologiques dus à l'ensemble des substances en dissolution : substances organiques et substances minérales, mais à l'état de traces.

D'abord, il convient d'étudier les substances les plus abondamment présentes dans nos eaux tout en faisant remarquer que la minéralisation des eaux est aussi variable que la composition des sols traversés.

Dans certains cas, en fonction du taux élevé des sels minéraux ou en fonction de la présence inhabituelle de certains sels minéraux, l'eau révèle des propriétés pharmacodynamiques : il s'agit alors d'une eau minérale.

Ainsi l'on définit l'eau minérale comme une eau naturelle possédant une activité pharmaco-dynamique et utilisée en thérapeutique humaine : eaux salines, eaux bicarbonatées, eaux magnésienne, eaux sulfureuses etc.

Pour l'eau de boisson à laquelle nous consacrons nos observations, les principales substances étudiées sont :

- les substances gazeuses
- les substances minérales courantes
- les substances minérales non constantes.

A. Les substances gazeuses

1. Oxygène

C'est le seul gaz important du point de vue potabilité. L'oxygène dissout est lié aux activités biologiques, se développant dans l'eau.

L'eau non aérée, dépourvue d'oxygène est indigeste : c'est le cas de l'eau bouillie.

D'autre part, l'oxygène dissout peut jouer un rôle dans l'agressivité des eaux chargées de certains minéraux : oxydation rapide des conduites.

2. Anhydride carbonique

L'acide carbonique est généralement présent dans l'eau mais à l'état de traces. En quantité importante, il donne à l'eau un pH acide et la rend agressive. Il intervient de façon complexe mais déterminante dans le processus de la corrosion des métaux et de l'attaque du ciment. L'action est complexe notamment en présence d'oxygène:

- attaque des conduites en fer galvanisé qui subissent une corrosion rapide par formation d'hydrocarbonate ferrique.

- attaque progressive et insidieuse des conduites en plomb : solubilisation entraînant des teneurs élevées, toxiques avec atteintes hépatiques et présences d'hématies nucléées dans le sang.

Enfin signalons que certaines eaux naturelles chargées en gaz carbonique sont classées dans les eaux minérales gazeuses.

*

*

*

B. Les substances minérales courantes

Les eaux naturelles, les eaux de source peuvent contenir de nombreux sels minéraux dissouts reflétant ainsi la composition chimique des terrains dans lesquels elles ont circulées.

1. Les chlorures

Les chlorures sont essentiellement représentés par le chlorure de sodium. Leur origine peut être l'infiltration à travers des terrains salés ou l'infiltration d'eau marine dans les nappes phréatiques. Ils communiquent à l'eau cette saveur désagréable de saumure. La teneur acceptable fixée par l'OMS est de 250 mg par litre.

Notons toutefois qu'il s'agit de limites minimales semblant correspondre aux sources de montagnes alimentées par la fonte des neiges et par des nappes permanentes au sein de formations rocheuses très anciennes.

Il est dès lors concevable que les eaux du Mali et plus généralement les eaux africaines (eaux de forage, eaux de surface, eaux de puits) soient plus chargées en sels solubles comme les chlorures.

C'est ainsi que les eaux de boisson des villes comme les eaux de nos puits ont des teneurs allant jusqu'à 600 mg de chlorures par litre tout en étant potable.

2. Les sels de calcium et de magnésium

Ils rendent les eaux dures, ces eaux cuisent mal les légumes et moussent très peu en présence de savon. Les eaux dures provoquent très vite dans les appareils ménagers à eaux chaudes des dépôts de tartre. Le même phénomène à une échelle plus grande se retrouve avec les chaudières industrielles alimentées en eaux dures : le dépôt de tartre qui peut en outre comporter de la silice, fait baisser le rendement et impose des problèmes de curetage et des remplacements fréquents.

Cependant, la dureté est une caractéristique qui reflète une association complexe et variable de cations et d'anions. Essentiellement due au calcium et au magnésium, la dureté va donc s'exprimer en mg d'équivalent de calcium par litre. C'est un paramètre important pour l'usage domestique.

Il se trouve ainsi précisé par les normes OMS de l'eau de boisson : 75 à 200 mg par litre de carbonate de calcium et 50 à 150 mg par litre de carbonate de magnésium.

3. Les bicarbonates alcalins

Représentés essentiellement par le bicarbonate de sodium, ils sont responsables de l'alcalinité de l'eau : sels d'acidité faible comme l'acide carbonique et de base forte comme la soude, la chaux, la magnésie.

Remarquons que nous individualisons souvent les sels définis mais en fait ces sels étant en dissolution, ils se véhiculent en ions pouvant jouer un rôle propre : ion sodium; ion calcium.

Dans le cas des eaux dures, interviennent comme nous l'avons déjà dit les ions calcium et les ions magnésium mais sous forme de bicarbonates.

4. Les sulfates

Ils constituent des composés naturels présents dans l'eau à l'état de traces. Les sulfates proviennent essentiellement de la dissolution du gypse ($\text{CaSO}_4, \text{H}_2\text{O}$) lors de la traversée des roches et par suite du lessivage des sols. Ils est pratiquement insoluble dans l'eau. Mais lors de la traversée, il y a une faible solubilisation. Dans certaines conditions, le sulfate de sodium et le sulfate de magnésium présents dans certaines eaux peuvent entraîner des diarrhées chez le nourrisson quand le taux dépasse 250 mg par litre.

5. Le fer

Même s'il n'est pas toxique, il compte manifestement parmi les substances minérales indésirables de l'eau. Le fer se rencontre dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles (pH 6 à 8) le fer est à l'état ferreux.

L'eau ayant une teneur excessive en fer, présente de nombreux désagréments : saveur désagréable, aspect rougeatre, dépôt au fond du récipient ou sur les parois. De plus, les eaux ferrugineuses ont l'inconvénient de tacher le linge.

Ainsi, par son action et sa grande réactivité, le fer peut influencer les résultats des analyses chimiques notamment dans l'utilisation des réactifs oxydants.

Certaines bactéries sont avides de fer: ces ferrobactéries se fixent sur les parois des canalisations d'eau et entraînent rapidement des phénomènes de corrosion. Les concentrations limites admissibles sont de l'ordre du mg, mais les eaux des terrains alluvionnaires ou des régions montagneuses du Mali ont des teneurs nettement plus élevées en fer surtout en période de crue pour les cours d'eau.

*

*

*

C. Les substances minérales non constantes

1. Les fluorures

Elément assez répandu sur l'écorce terrestre, le fluor se trouve sous forme de fluorures alcalins et alcalino-terreux, il est nécessaire à l'organisme. Ingéré pendant la période de formation des dents en quantité suffisante dans l'alimentation, le fluor a pour effet de protéger contre la carie.

Son taux dans l'eau doit être de l'ordre de 1 mg par litre. Au dessous de 0,5 mg par litre, les caries dentaires sont très fréquentes. Au dessus de 1,5 mg par litre, il y a des risques de fluoroses dentaires avec l'émail qui est tacheté. L'on peut assister à une atteinte du squelette par suite d'intoxication chronique.

Au delà de 3 mg par litre, le fluore est un toxique provoquant une précipitation du calcium et une inhibition des ions ferreux et des ions magnésium qui jouent un rôle important dans de nombreux systèmes enzymatiques.

La concentration maximale admissible est 1,5 mg par litre pour l'eau de boisson dans des conditions climatiques normales.

2. L'iode

Il existe à l'état de traces dans la plupart des eaux. En 1850, Chatin après avoir entrepris une série de recherches sur la teneur en iode de l'eau, du sol, des aliments abouti à la conclusion que : "La trop faible teneur en iode de l'eau de boisson dans certaines contrées paraît être la principale cause de goitre". Les besoins de l'organisme dépassent de loin les teneurs de l'eau en iode, il faut donc tenir compte de l'apport alimentaire.

En Afrique tropicale, des enquêtes systématiques de nutrition ont découvert des foyers importants de goitre endémique dans la boucle du Niger et dans le Sénégal

oriental, sans que pour autant l'on ait établi la présence ou l'absence d'iode dans les eaux de ces régions.

3. Les nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote. Leur présence dans l'eau atteste que si la source de pollution est organique, l'auto-épuration a joué. Les nitrates ont pour origine une nitrification de l'azote organique.

La concentration maximale admissible pour l'eau de boisson est de 4,5 mg. par litre. Au delà de ce seuil, il peut y avoir une action methemoglobinisante par consommation excessive de l'eau.

4. Le cuivre

Le cuivre et ses dérivés sont répandus partout dans l'environnement et sont fréquemment présents dans les eaux de surface. Dans l'eau, la nature du cuivre dépend du pH, de la concentration en carbonates et des autres anions en solution.

Le cuivre joue un rôle important dans les métabolismes biologiques (enzymes). Il peut conférer une couleur et un goût désagréable à l'eau de boisson.

La concentration maximale admissible pour l'eau de boisson est 1,5 mg par litre.

*

*

*

A ce stade de nos observations, l'on peut dégager déjà certaines conclusions sur la minéralisation des eaux au Mali. La minéralisation dépasse généralement les normes européennes principalement avec les eaux de profondeur (forages).

Les chlorures alcalins et alcalino-terreux ne posent aucun problème de santé. Par contre, le fer presque régulièrement rencontré sauf dans certaines eaux de source présente des inconvénients. Enfin, des éléments comme le fluor souvent présent dans les régions de minerais de phosphate ou dans les eaux de forage du maestrichien pose de très graves problèmes de santé : des études en cours depuis plus d'une décennie tentent à cerner le problème.

Les autres minéraux se retrouvent à l'état de traces. Leur étude révèle des considérations biologiques plus poussées dans leur rôle d'oligo-éléments chez l'homme comme chez les végétaux.

*

*

*

V. LES CARACTERISTIQUES BACTERIOLOGIQUES

Le plus grand danger auquel est exposée l'eau de boisson est celui d'une contamination récente par les eaux d'évacuation ou d'infiltration, par des débris de matières organiques surtout d'origine animale.

L'eau potable doit être bactériologiquement pure. La surveillance de la qualité des eaux de boisson doit être régulière pour déceler les germes témoins dont la présence révèle une pollution. Pour une meilleure efficacité, cette surveillance doit être d'une certaine fréquence en fonction de l'état de l'eau considérée (traitée ou non).

Ainsi, l'analyse bactériologique va consister essentiellement à rechercher la présence des germes intestinaux ou "germes tests" qui signent une pollution fécale d'origine animale ou humaine.

Ces germes indicateurs sont des hotes normaux de l'intestin de l'homme et des animaux. Cependant, ils indiquent qu'il y a eu, qu'il existe ou qu'il peut apparaitre dans le futur des germes pathogènes.

Les germes tests les plus significatifs sont : Escherichia coli, les Streptocoques fécaux, les Coliformes, et les Clostridium.

Les analyses bactériologiques de l'eau ont donc pour objet de détecter la présence des coliformes, d'évaluer leur nombre (numération des germes) et d'identifier les espèces pathogènes. Les coliformes sont reconnus comme étant les indicateurs universels de pollution d'origine fécale. Leur présence dans une eau traitée et chlorée peut être attribuée à plusieurs causes :

- traitement inadéquat
- défaut dans le réseau de distribution
- recontamination
- techniques de prélèvement ou d'analyses douteuses.

D'après Vincent et Lapeysonnie, l'appréciation de la qualité bactériologique d'une eau en zone tropicale, sera fonction du nombre de coliformes dans un litre d'eau.

. 0 à 10 coliformes par litre	:	eau bonne
. 10 à 50 " " "	:	eau assez bonne
. 50 à 100 " " "	:	eau à surveiller
. 100 à 1000 " " "	:	eau suspecte
. au delà de 1000 " " "	:	eau mauvaise

Pour les Salmonella et les Schiguella, on aura recours à des recherches spécifiques.

Quant à la recherche de pollution virale de l'eau, elle présente de grosses difficultés de réalisation dans les zones rurales tropicales.

La notion de densité bactérienne évaluée pour chaque échantillon prélevé est indiquée par le "nombre le plus probable" (most probable number) d'organismes présents dans 100 ml d'eau. C'est l'indice MPN exprimant ainsi approximativement la quantité de coliformes.

CHAPITRE V

SANTE ET EAU

Au Mali, où l'économie est essentiellement basée sur l'élevage, les déficits en eau sont fortement ressentis malgré les ressources appréciables en eau que constituent les deux grands fleuves : le Sénégal et le Niger avec leurs affluents qui arrosent une grande partie du pays.

Mais s'il est vrai que l'eau est l'élément indispensable de la vie, il n'en demeure pas moins vrai qu'elle constitue le principal vecteur de transmission de la plupart des maladies endémiques. Ainsi apparait un certain nombre de défis qui sont autant de contraintes à la mise en pratique des politiques d'hydrauliques.

Les principales contraintes à la couverture des besoins en eau sont surtout d'ordre économique mais les problèmes sanitaires induits constituent un volet très important qui déborde très largement les problèmes des services de l'hydraulique.

C'est pourquoi, si l'on a pu dire que l'eau est source de vie, l'on peut ajouter que l'eau est source de mortalité parce qu'elle constitue le vecteur de la plupart des maladies endémiques, non seulement au Sahel mais dans toute l'Afrique tropicale.

Des données statistiques nombreuses, notamment celles publiées par l'Organisation Mondiale de la Santé, révèlent que 80 pour cent des maladies parasitaires proviennent de l'eau insalubre et causent la mort d'environ 50 000 personnes par jour dans le monde. Ainsi :

- plus d'un milliard d'hommes sont exposés au paludisme
- dix pour cent de la population mondiale souffrent de l'amibiase.
- deux cent millions de personnes sont atteintes de différentes formes de bilharziose.

- deux cent millions d'individus sont atteints d'onchocercose : affection parasitaire conduisant au stade ultime de la maladie à la cécité dite des rivières.
- les maladies diarrhéiques sont à l'origine de 80 pour cent des mortalités infantiles.

Par ces chiffres particulièrement éloquentes, l'on a pu affirmer que l'eau est bien le miroir de la santé. En effet, la répartition des points d'eau en fonction de la densité de peuplement permet d'évaluer dans une très large mesure le niveau de santé d'une population tout comme le nombre de lits d'hospitalisation en fonction de l'importance de la population.

C'est ce qui nous fait dire de façon peut être plus imagée que la santé de nos populations passe aussi par les puits, les canalisations et même le fond des canaris ou des calabasses.

Ainsi, à travers le mode de vie des populations façonné par les disponibilités en eau, nous pouvons tenter de situer le rôle de l'eau dans la transmission des maladies. A partir de ce premier objectif, nous étudierons les mesures d'assainissement face aux contaminations et aux pollutions.

*

*

*

1. LA CONTAMINATION DES EAUX

Elles sont très complexes en milieu rural comme en milieu urbain, tantôt liées à l'environnement géographique, tantôt liées aux activités de l'homme.

A des degrés divers, elles sont imputables :

- aux eaux usées
- aux excréments fécaux ou urinaires
- aux conditions de promiscuité avec des étables
- au voisinage des zones de traitement de déchets organiques divers.

Dans certains cas, les contaminations chimiques sont signalées. Pour une revue plus détaillée, nous présentons d'abord les pollutions biologiques et les pollutions chimiques bien que celles-ci prennent une part faible dans l'état sanitaire de nos populations.

A. Les contaminations biologiques

1. En zones urbaines

L'extraordinaire développement urbain dans bon nombre de jeunes états africains a dépassé actuellement toutes les prévisions pour l'extension et le contrôle des systèmes d'approvisionnement en eau ou des systèmes d'évacuation des eaux usées.

Les canaux et les caniveaux initialement conçus pour l'évacuation des eaux pluviales sont utilisés comme émissaires de latrines et de fosses septiques et aussi comme dépotoirs de toutes sortes de déchets. L'entretien et le curage font défaut.

D'autre part, au niveau des chaussées plus ou moins abîmées s'établissent des cloaques ou stagne un liquide

putride. Les fossés d'écoulement, quand ils existent, ont un débit insuffisant et contribuent davantage à l'extension des pollutions.

En périphérie, l'implantation de taudis, de bidons-villes sans lotissement, sans adduction d'eau et sans évacuation d'eaux usées, constitue un défi supplémentaire pour le maintien d'un état sanitaire acceptable.

Les fosses à ordures et à déchets divers, implantés dans la concession ou dans ses abords immédiats, les eaux stagnantes naturelles interviennent pour une part importante dans l'insalubrité de l'environnement et constitue un véritable foyer de développement de germes et de parasites.

Les eaux stagnantes naturelles en même temps qu'elles favorisent le développement microbien constituent des gîtes larvaires pour les moustiques responsables du paludisme et les autres insectes vecteurs de maladies.

Enfin, l'implantation parfois anarchique d'unités industrielles augmente notamment le volume des eaux usées qui sont rejetées sans traitement dans le fleuve ou sur des terrains vagues.

Face à ces périls urbains, l'on ne peut que recommander l'application stricte des règles de bonne pratique en matière de politique hydraulique et d'urbanisation :

- extension du réseau d'alimentation en eau dans le cadre d'un plan directeur

- amélioration des réseaux d'égouts surtout dans les nouveaux quartiers de haut standing

- adoption de fosses septiques à implantation bien étudiée au niveau des cités champignons périphériques de la ville de Bamako par exemple.

2. En zones rurales

Dans ces zones, l'évacuation des déchets est un problème qui se situe essentiellement au niveau de la concession, de la concession ou du hameau.

D'abord, les puits non protégés avec un voisinage sans périmètre de protection présentent dans l'ensemble de sérieux problèmes d'hygiène car il devient impossible de dire où se situe réellement la zone de salubrité, où se limite la zone de contamination possible.

Ensuite les mares, constituées par des eaux résiduelles qui se localisent sur les bas-fonds ayant servi à la fabrication de briques en terre. Ces mares utilisées par les enfants pour les baignades et le lavage sont une grande source d'infection microbienne et d'infestation parasitaire.

Paradoxalement, la dispersion de la population rurale limite dans bien des cas, le risque de propagation des maladies par les excréta humains. En l'absence de toute installation sanitaire, les excréta sont desséchés par le soleil et dans une certaine mesure sont stabilisés, neutralisés ou détruits par les organismes vivant dans le sol.

Néanmoins, il faut considérer que certains parasites ou germes des voies digestives restent viables pendant des années sous des formes résistantes et créent un risque durable d'infestation. C'est pourquoi dans les zones où le choléra est endémique, le manque de latrines pose de graves problèmes en cas d'épidémie.

Il s'agit d'un exemple parmi tant d'autres car de nombreuses affections sont liées à l'hygiène de l'eau.

Au niveau de ces zones rurales, des mesures correctives et préventives sont à envisager dans le cadre du développement rural et de l'animation rurale.

La construction de puits bien implantés avec des margelles et un périmètre de protection en rapport avec le type d'habitat rural et le mode de vie.

Les mesures de traitement ou d'épuration domestiques de l'eau doivent vulgariser et favoriser :

- les pratiques de filtration
- les techniques de désinfection simples comme celles utilisées par les équipes de santé ou par les militaires en campagne : solutions d'hypochlorite (type eau de javel) et le permanganate de potassium.

L'implantation étudiée de latrines contribuera à limiter les risques du péril fécal.

Pour appuyer toutes ces mesures ou toutes ces actions, un programme d'éducation sanitaire suivi doit être adopté.

Enfin, le succès de tous ces programmes de salubrité et d'éducation sanitaire dépend de la coopération active soutenue et spontanée d'une population résolue à notifier ses comportements en fonction des objectifs de survie liés à l'eau.

*

*

*

B. Les contaminations chimiques

1. Contaminations dues aux activités agricoles

Elles sont généralement imputables soit aux produits utilisés dans l'agriculture, notamment les pesticides organochlorés ou organophosphorés dont les traces résiduelles dans l'eau ou dans les végétaux s'accumulent dans l'organisme animal au niveau du tissu adipeux et des organes riches en lipides.

Cette accumulation déclenche à plus ou moins long terme des effets toxiques différés: manifestations pathologiques de l'inhibition de la cholinestérase. Ces manifestations peuvent être spectaculaires à la suite des périodes de sécheresse où les animaux accusent une importante perte de poids.

Les pesticides exercent également des effets toxiques chez l'homme.

L'accumulation des pesticides intervient en effet dans plusieurs cycles biologiques : selon la chaîne algues - poissons - oiseaux - animaux divers, entraînant parfois des modifications de l'environnement.

C'est ici qu'il faut également envisager les contaminations industrielles mais à l'état actuel du développement de nos pays, nous ne disposons pas encore de données d'ensemble.

2. Contamination par infiltration de substances ----- minérales -----

Le cas du fluor est observé dans plusieurs régions notamment, au voisinage des gisements de phosphates.

Sur le plan de la santé, le fluor intervient sur la dentition sur l'ossification.

a. Sur la dentition -----

A l'état de traces dans l'eau, le fluor est nécessaire au maintien d'une bonne santé des dents. En effet, une carence fluorée favorise le développement des caries dentaires tandis que l'excès est responsable de l'altération de l'émail dentaire qui est tachetée : plus ou moins brunâtre. L'atteinte dentaire peut revêtir une forme plus grave avec stomatite et dystrophies des dents particulièrement chez certaines populations par exemple dans la région de Djourbel au Sénégal.

Les problèmes de santé bucco-dentaires liés au fluor sont actuellement de portée internationale.

b. Sur l'ossification

L'excès de fluor dans l'eau de boisson entraîne au niveau du squelette des troubles de l'ossification avec une fragilité marquée, prédisposant aux fractures.

La maladie a été décrite en Afrique du nord sous le nom de Darmous ou maladie du coup de baton de l'anier : maladie de Spider Velu. Elle revet deux formes :

- l'ostéoporose avec des os poreux peu denses, très fragiles
- l'ostéopétrose avec productions osseuses anarchiques et denses toujours prédisposant aux fractures.

*

*

*

II. LA TRANSMISSION DES MALADIES A L'HOMME

Modes de contamination

Après cette approche l'on peut à présent mieux aborder les vrais problèmes de santé auxquels nos pays sont confrontés.

Il est évident que la maladie s'établit dès lors que certaines conditions sont remplies. L'infestation ou l'infection à point de départ hydrique peut alors prendre une ampleur telle que la chaîne de contamination se complique au point d'être difficilement maîtrisable.

Avec ces eaux polluées ou souillées, la contamination peut résulter de l'ingestion (voie digestive) ou simplement du contact (voie transcutanée).

A. Contamination par ingestion

L'infestation proprement dite commence par la pénétration des germes dans l'organisme. L'absorption de germes pathogènes se produit généralement avec l'eau de boisson ou l'eau de lavage des aliments. La maladie se déclare dès que les moyens de défense de l'organisme deviennent insuffisants.

Ainsi se transmettent les maladies diarrhéiques comme le choléra, la dysenterie bacillaire, la dysenterie amibienne et d'autres atteintes des voies digestives par des protozoaires (trichomonas, lamblia, bilharzies).

La poliomyélite et l'hépatite infectieuse peuvent également être transmises de la même façon.

La plupart des parasitoses intestinales de l'enfant relève aussi de ce mode de transmission par ingestion de kystes ou d'oeufs de parasites à travers divers véhicules dont l'eau est le plus citée (ascaris, taenia, anguillules, bilharzies).

Une affection parasitaire, la dracunculose due à une filaire : *Dracunculus medinensis* ou vers de guinée est transmise également par ingestion d'eau de rivière contaminée non filtrée.

B. Contamination par contact

La contamination par voie transcutanée est courante en milieu rural africain.

L'ankylostomiase est transmise par la pénétration directe des larves à travers la peau lorsque l'homme patauge pieds nus dans les eaux qui abritent ces larves.

L'infestation très sévère peut avoir des conséquences très graves dans les chantiers en brousse (travailleurs agricoles, forestiers etc).

La bilharziose urinaire est également transmise par les larves de schistosomes qui sont abritées par un mollusque hôte vecteur (Bullin) vivant le long de certaines rivières et dont le développement est favorisé par les barrages de retenue d'eau.

Enfin, une particularité de la contamination par contact est celle faisant intervenir les insectes surtout dans les zones où les points d'eau sont des endroits obligés de rassemblement des personnes ainsi que du bétail. C'est le cas par exemple des maladies à transmission dite "manuportée" favorisées par les insectes, principalement les mouches :

- fièvres typhoïdes et paratyphiques
- dysenterie bacillaire
- trachome : affection oculaire très répandue dans le Sahel.

*

* *

III. LES PRINCIPALES MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE

1. Le choléra

C'est la plus redoutée des maladies diarrhéiques, elle est très contagieuse, et très vite mortelle. Le choléra a fait une nouvelle entrée il y a près de 17 ans sur le continent africain où il semble s'être fixé après quelques poussées épidémiques meurtrières.

L'agent responsable, le vibrion cholérique vit dans l'eau et celle-ci joue un rôle important dans sa transmission.

Dans plusieurs cas ont été mis en cause les systèmes d'approvisionnement en eau : cas typique de l'épidémie de la région de Kayes en 1987.

2. Les fièvres typhoïde et paratyphiques

La fièvre typhoïde pose aussi un important problème de santé publique lié à une eau contaminée, bien que 80 % des cas d'infestation sont des formes légères.

Le péril fécal, à travers l'eau, particulièrement l'eau de boisson est la cause immédiate de la maladie dont l'évolution peut être mortelle.

Il faut signaler, qu'il ne s'agit heureusement pas de l'eau du robinet mais celle des puits et des marigots. L'eau du puits étant sans cesse contaminée par les germes provenant des latrines et constitue de ce fait un danger permanent pour les membres de la famille.

3. La dysenterie bacillaire

Maladie fréquente dans les régions tropicales en saison chaude, elle est due aux shigella qui provoquent une inflammation du gros intestin.

Parfois transmise par les mains souillées ou les aliments contaminés, elle a une origine hydrique surtout dans les agglomérations surpeuplées où la promiscuité compromet toute organisation sanitaire de contrôle et de surveillance d'installation d'alimentation en eau potable.

Endémique, la dysenterie bacillaire est très contagieuse et présente d'importantes recrudescences saisonnières.

4. L'amibiase

Elle est encore appelée dysenterie amibienne. C'est une affection parasitaire due à un protozoaire : *Entamoeba histolytica*, elle provoque d'abondantes diarrhées sanguinolentes.

L'homme étant le principal réservoir du parasite, toute contamination des canalisations d'eau par des effluents domestiques est susceptible d'entraîner la transmission de ce germe par l'eau de boisson. L'eau d'arrosage des légumes peut être en cause soit par la contamination directe soit par contamination par les engrais organiques domestiques, soit par utilisation des eaux usées pour l'arrosage.

Essentiellement endémique, elle peut présenter de rares poussées épidémiques contrairement à la dysenterie bacillaire. Dans sa forme intestinale, cette affection très anesthésiante est importante à la fois sur le plan médical et du point de vue économique. Elle peut surtout donner des complications hépatiques en particulier qui sont souvent mortelles.

5. La dracunculose

Il s'agit d'une filariose due à l'infestation des membres par le ver de Guinée (*Dracunculus medinensis*). C'est une des principales maladies invalidantes surtout dans les collectivités agricoles du Sahel.

Elle doit son origine hydrique au fait que l'eau contient l'hôte intermédiaire : le cyclops, petit crustacé de taille microscopique. Ce crustacé vit dans les eaux des rivières tropicales et héberge les formes larvaires infestantes, du parasite. C'est son ingestion avec l'eau qui entraîne l'infestation humaine.

La dracunculose est une maladie des zones rurales du Mali. La principale manifestation est la présence dans le tissu cellulaire sous-cutané d'un ver long de près de 90 cm

et siègeant le plus souvent au niveau de la jambe, de la cheville ou de la plante des pieds. Cette affection est bénigne en soi mais elle entraîne de longues incapacités professionnelles surtout pour les travaux des champs.

6. Les bilharzioses

Ce sont des helminthiases dues à des trématodes : les schistosomes. Leur origine hydrique vient du fait que l'eau est le biotope des hotes intermédiaires : des mollusques vivant dans les eaux douces.

La particularité de ces affections est liée à leur mode de contamination. En effet, les formes infestantes de parasites s'échappent des mollusques (hotes intermédiaires) naissent dans l'eau douce et pénètrent dans l'organisme humain par voie transcutanée lors des baignades ou tout simplement quand l'homme patauge dans l'eau.

Au Mali, c'est surtout la bilharziose urinaire ou vésicale qui est la plus répandue. L'hématurie en est la manifestation clinique essentielle. L'agent pathogène est *Schistosoma mansoni* qui infecte actuellement presque tous les cours d'eau.

La bilharziose vésicale est une maladie endémique dans notre pays surtout dans les localités riveraines du Niger et de ses affluents. Les taux d'infestation sont relativement plus élevés dans les villes comme Ségou et Mopti qu'à Bamako où la distribution d'eau potable sous adduction fait que la population va de moins en moins au fleuve.

Quant à la bilharziose intestinale, due à *Schistosoma haematobium*, elle est peu répandue. En effet, ses symptômes cliniques sont moins caractéristiques que ceux de la bilharziose vésicale et ils peuvent être confondus avec les manifestations de l'amibiase.

*

*

*

A travers cette revue des maladies parasitaires ou infestieuses liées à l'eau, nous constatons que les préoccupations des pays du Sahel pour une politique de l'eau en vue des besoins de l'agriculture, de la santé, et des autres activités de développement rencontrent de réelles difficultés que les seules données technologiques ne sauraient lever.

Ces difficultés qui sont autant de défis seront contournées dans le cadre de l'hygiène rurale qui nous intéresse au premier point par la recherche de moyens adéquats de traitement, de correction et de conservation de l'eau. L'aspect éducatif doit évidemment servir de guide à tout moment.

CHAPITRE VI

LES TRAITEMENTS DE L'EAU

Les différentes méthodes visent toutes à améliorer les qualités de l'eau en vue de la rendre potable. Elles consistent à faire subir à l'eau brute des modifications physiques, chimiques et parfois biologiques.

Les méthodes utilisées sont fonction des caractéristiques de l'eau brute et des moyens technologiques disponibles. Elles peuvent porter sur une grande échelle comme pour l'eau d'adduction des villes ou pour les eaux destinées aux industries.

Ici, nous envisageons les procédés de traitement domestiques à échelle réduite appliquant des technologies simples et peu onéreuses.

I. TRAITEMENT PAR EBULLITION

L'ébullition est un procédé satisfaisant pour détruire les organismes pathogènes, les bactéries, les spores, les kystes et les oeufs de parasites. Mais il faut noter que l'ébullition élimine également certains gaz dissous : oxygène et anhydride carbonique. Ainsi s'explique le dépôt de carbonate de calcium sur la paroi des récipients.

L'ébullition est le seul moyen de stériliser complètement l'eau. Pour être efficace, elle doit durer au moins cinq à dix minutes en portant la température de l'eau à 100 degrés C.

Malgré son avantage réel, cette méthode n'est pas toujours opérante pour les besoins d'une grande famille. Elle représente en effet une consommation très importante d'énergie et un surcroît de travail difficile à envisager pour les ménagères.

Notons aussi que l'eau bouillie est indigeste car elle est privée des gaz dissous. Il faut l'aérer par agitation prolongée : une bouteille de un litre remplie aux 2/3 ou aux 4/5 et fermée à l'aide d'un couvercle bien propre est agitée énergiquement pendant un certain temps.

Signalons enfin que pour l'eau destinée aux nourrissons, la méthode par ébullition doit être de règle.

II. TRAITEMENT PAR JAVELISATION

Ce traitement utilise l'action désinfectante du chlore généralement sous forme d'hypochlorite de sodium. Les différentes formes commerciales à des concentrations variables en chlore sont désignées sous les noms d'extrait de javel ou d'eau de javel.

La quantité de chlore à utiliser est fonction de plusieurs facteurs : l'acidité, la température, surtout la turbidité. Plus il y a de particules en suspension, plus la quantité de chlore utilisée est importante. Il est donc nécessaire, préalablement à la javelisation d'effectuer une filtration de l'eau.

D'une façon générale, deux à trois gouttes d'eau de javel "commerciale" suffisent pour un litre d'eau avec un temps d'action de 15 à 30 minutes.

Le chlore est amené sous forme de solution d'hypochlorite :

solution à 8 degrés chlorométriques (solution commerciale courante)

solution à 48 degrés chlorométriques (extrait de javel).

A coté des solutions d'hypochlorite, l'on peut utiliser des composés organiques générateurs de chlore tels que les chloramines (Tolamine, Clonazone, Pantoset, Chloramine T, etc).

Avec la chloramine T qui est le para-aminobenzene sulfonamide, chloré à l'azote, la réaction de formation de l'acide hypochloreux est la suivante :

Il faut remarquer que cette réaction peut se produire spontanément avec le produit mal conservé en atmosphère humide d'où la nécessité d'un conditionnement étanche et l'obligation de contrôle d'activité à l'utilisation.

III. TRAITEMENT PAR LE PERMANGANATE

Les propriétés désinfectantes sont dues aux propriétés oxydantes du permanganate selon la réaction :

Pour l'usage domestique, l'on dispose de deux formes de permanganate de potassium.

La première forme

C'est la solution à 1 % dont une à trois gouttes suffisent généralement pour un litre d'eau. L'apparition d'une couleur rose indique l'excès de permanganate. L'eau traitée est laissée au repos pendant 20 minutes. La coloration due à l'excès de permanganate est ensuite éliminée par addition de traces d'hyposulfite de sodium.

La deuxième forme

C'est le permanganate cristallisé qui se présente en comprimés : comprimés gris et comprimés blancs appelés comprimés de Lambert.

Comprimé gris-rose (composition)

. permanganate de potassium	=	0,60 g
. bioxyde de manganèse	=	0,50 g
. carbonate de calcium	=	0,20 g
. silicate de magnésie (talc)	=	3,70 g

Comprimé blanc (composition)

. hyposulfite de sodium	=	0,60 g
. silicate de magnésie (talc)	=	0,40 g

Pour l'emploi, on utilise un comprimé gris-rose pour 10 litres d'eau. Après agitation, on laisse en contact pendant 20 minutes, puis on ajoute le comprimé blanc. L'eau est décolorée avec formation d'un léger trouble qu'il faut éliminer par filtration.

Les tests préliminaires sont les mêmes qu'avec l'hypochlorite de sodium (propriétés oxydantes). L'excès de permanganate est évidemment révélé par une très légère coloration rose persistante. Cette coloration disparaît rapidement par addition de traces de thiosulfate de sodium.

L'on peut très avantageusement remplacer le permanganate de potassium pour des volumes d'eau limitée par les comprimés épurateurs de Lambert. A la quantité d'eau à épuiser l'on ajoute d'abord les comprimés gris à base de bioxyde de manganèse. Ensuite, après brassage et repos, l'on additionne les comprimés blancs d'hyposulfite de sodium qui éliminent l'excès d'oxydant. L'eau est ensuite filtrée et conservée.

IV. LA FILTRATION DE L'EAU

Les différents types de filtration, filtration clarifiante ou filtration stérilisante consistent à faire traverser à l'eau un substrat poreux ou une membrane à mailles très fines en vue de retenir les matières en suspension ainsi que certains organismes pathogènes.

Nous nous limitons aux différentes techniques de filtration domestiques en faisant remarquer que très souvent cette filtration précède une autre opération d'épuration plus élaborée.

1. Filtration domestique sur sable (figure 1- page 78)

Elle consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un récipient renfermant une couche sable convenablement disposée avec un lit de graviers simples ou de graviers et de charbon.

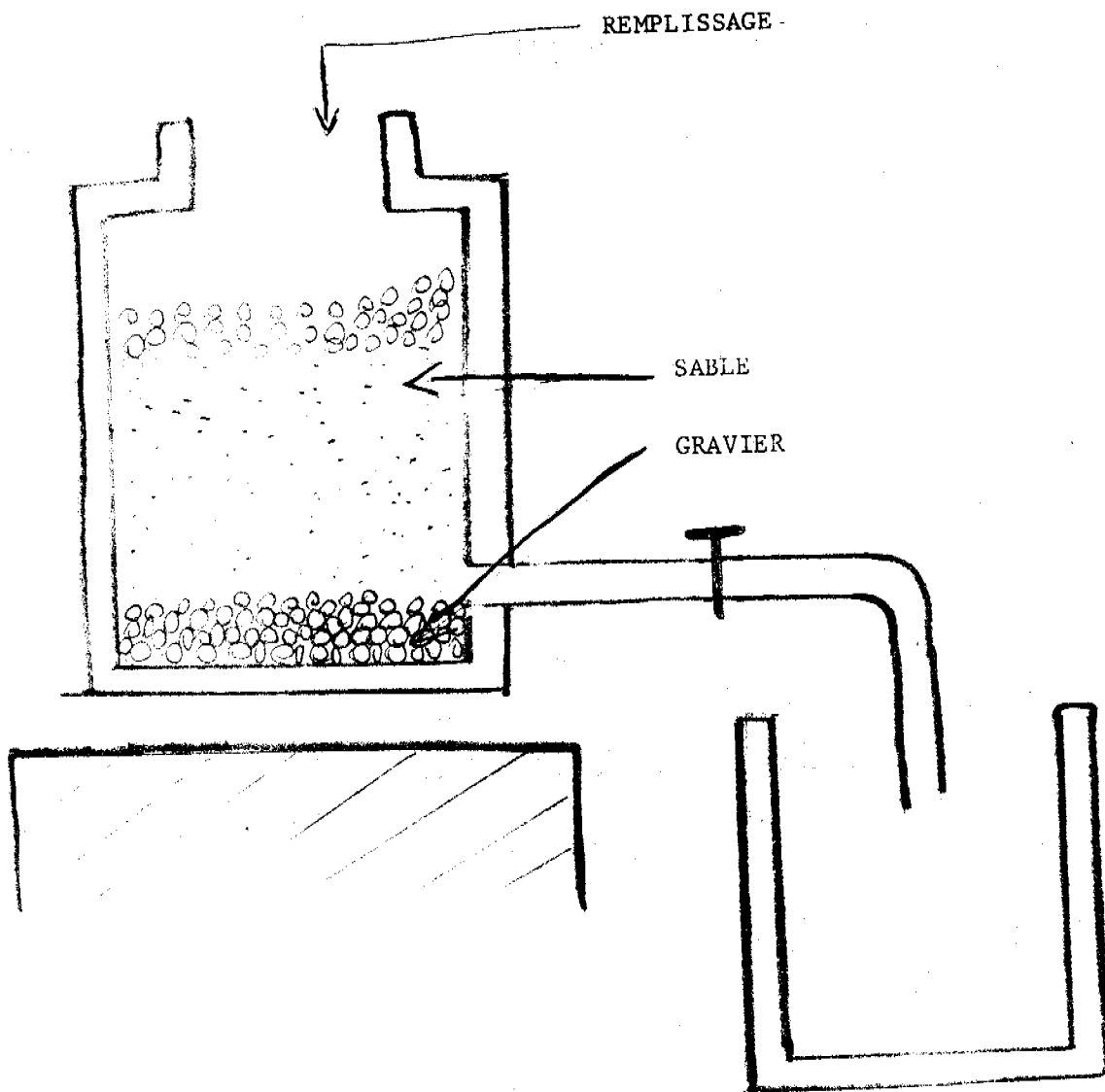
Un système d'écoulement avec robinet permet d'effectuer des prélèvements sans risque de souillure.

2. Bougies filtrantes

Les filtres sont des tubes en céramique ou en porcelaine spéciale de porosité bien déterminée. Ils sont branchés sur une canalisation d'eau sous pression ou immergés dans un récipient contenant l'eau à filtrer.

Avec le filtre immergé l'eau est évacuée par un tuyau de caoutchouc formant un siphon qu'il faut prendre la précaution d'amorcer.

Ces filtres donnent une eau stérile à condition d'être démontés et nettoyés périodiquement.



FILTRE DOMESTIQUE A SABLE

FIGURE N° 1

3. Filtres pouvant être fabriqués à domicile

Ils sont basés sur le principe de la filtration lente sur sable.

Dans les villages, au niveau familial, il peut être composé de récipients superposés :alebasses contenant le sable placées sur un canari servant de réservoir (figure no.2).

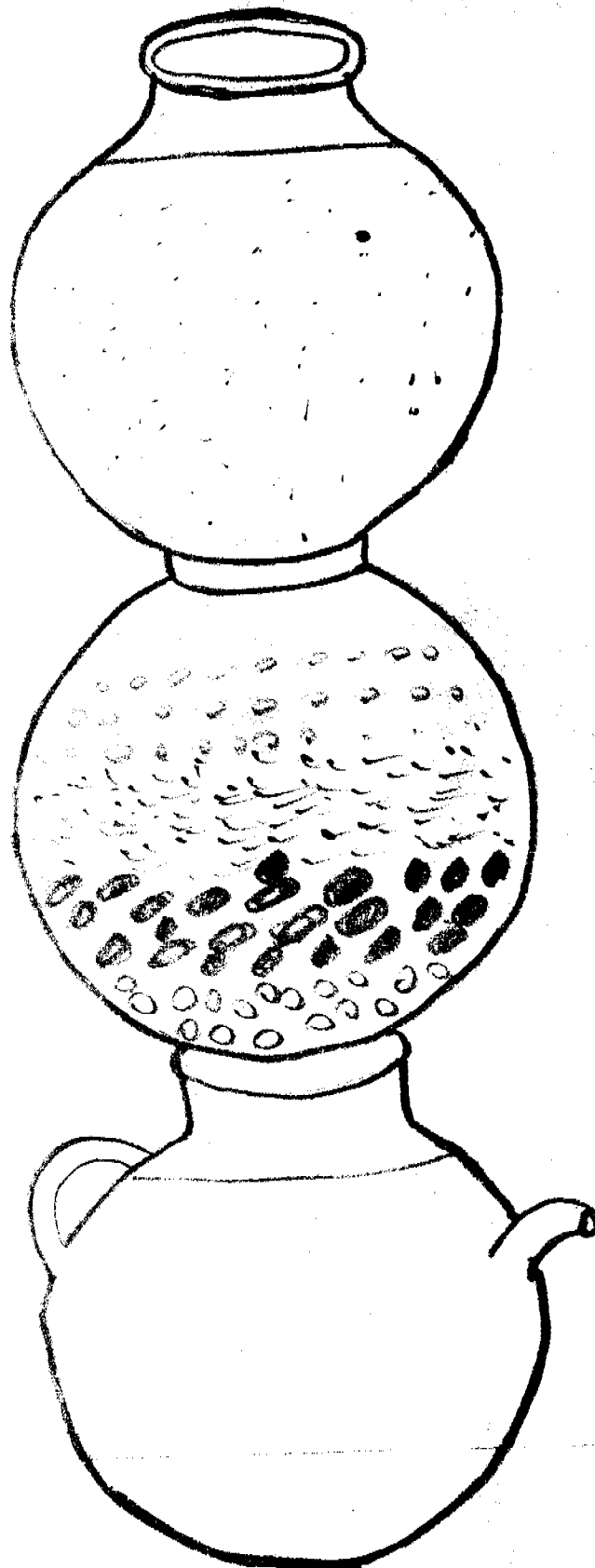
L'eau s'écoule aux goutte à goutte (régulation de l'ouverture au fond de laalebasse) du réservoir supérieur contenant l'eau brute vers le filtre composé de sables fins et de charbon. Du gravier est disposé au fond et au sommet de ce réservoir de filtration.

Ce type de filtre est désigné par le terme de "biologique" car il se constitue à la surface une flore bactérienne due aux éléments de l'eau retenue et qui a un effet purificateur essentiel.

Pour que cette couche reste vivante, il faut qu'elle demeure constamment humide. Or, l'entretien de ce filtre doit se faire en retirant une couche de 1 à 2 cm de sable et en rajoutant du sable propre qui doit être humecté avec de l'eau propre.

Il existe de nombreuses variantes, ne serait-ce que par la taille et la disposition des récipients ainsi que par le mode d'obtention de l'eau filtrée.

FILTRE POUVANT ETRE FABRIQUE A DOMICILE
FIGURE N° 2



EAU BRUTE

FILTRE A SABLE

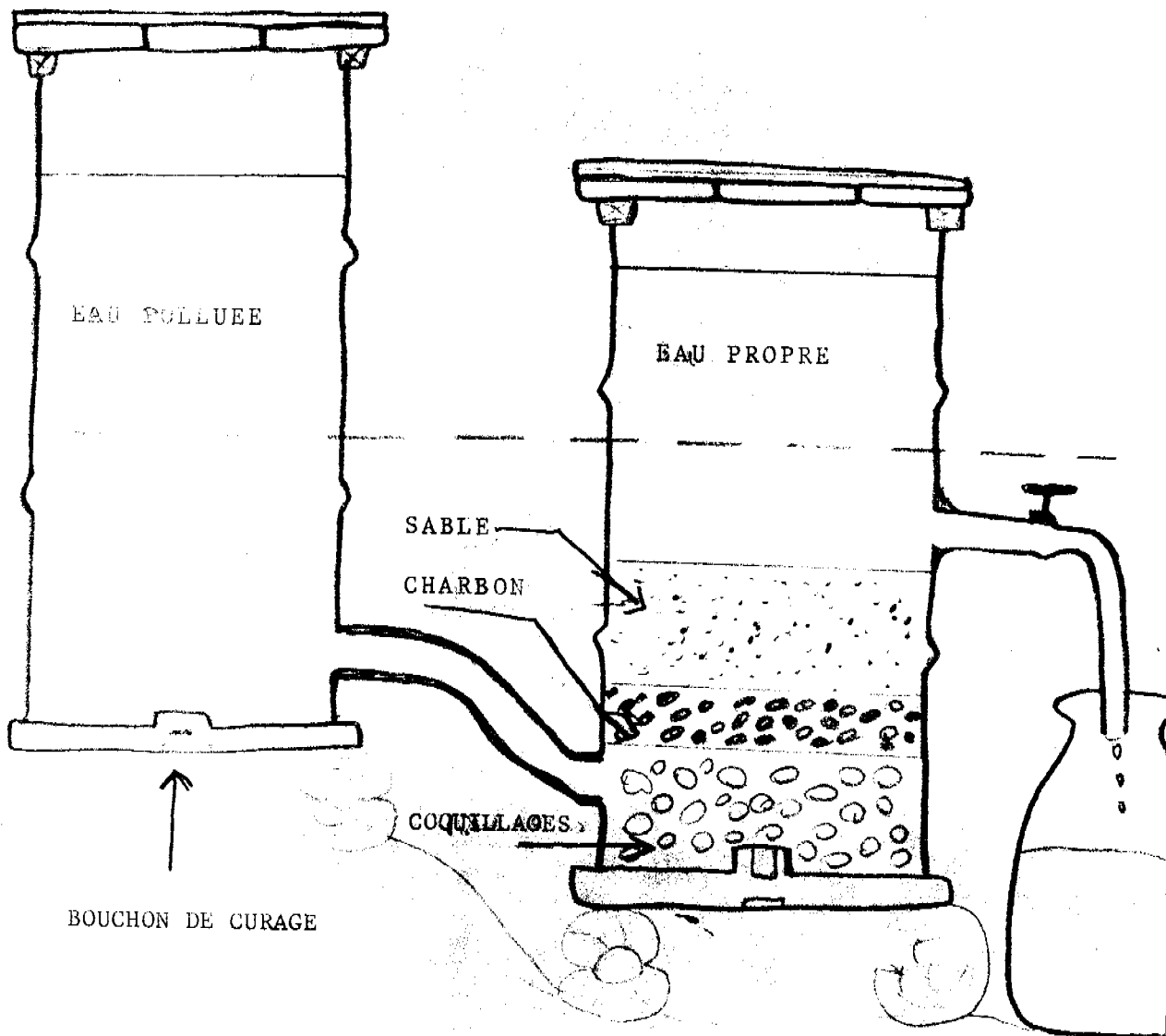
EAU FILTREE

C'est ainsi que dans les grandes collectivités villageoises ou dans les stations agricoles, le filtre est constitué de deux fûts placés côte à côte.

Le premier fût sert de réservoir pour l'eau à traiter. Il alimente par le bas le second fût qui est le filtre proprement dit, rempli de sable, de charbon, de gravier. Ce second fût est à un niveau inférieur par rapport au premier. L'eau filtre dans le réservoir de bas en haut, le prélèvement se fait par robinet (figure no.3).

Ce dispositif permet un nettoyage plus simple du système filtrant. Il suffit d'enlever le tuyau qui relie les deux récipients et de laisser s'écouler l'eau filtrée, propre sur le filtre qui se trouve ainsi nettoyé.

La régénération se fait périodiquement (de quelques semaines à deux ou trois mois selon la qualité de l'eau) par circulation en sens inverse et recharge périodique de l'ensemble du filtre après vidange et désinfection.



DISPOSITIF DE SYSTEME DE FILTRE CONSTITUE DE DEUX FUTS

FIGURE N° 3

LA DÉSINFECTION DES PUIITS

Les méthodes de désinfection appliquées sont particulièrement intéressantes pour les puits non protégés, les puits avec pompes manuels ainsi que pour les réservoirs de distribution.

Les principales méthodes que nous avons rencontrées reposent sur la désinfection par le chlore sous différentes formes : solution de concentration diverse 10 à 20 degrés chlorométriques, hypochlorite de calcium solide.

Première méthode : B.C.E.E.O.M. (1)

Après vidange et curetage, il faut laisser le puits se remplir à nouveau. L'opération est répétée trois fois. Le puits est ensuite traité par l'hypochlorite : 1 litre de solution de Javel à 8 degrés pour 4 mètres cubes d'eau.

Le temps de contact est de 3 à 5 jours. Enfin le puits est vidé une nouvelle fois avant d'être remis en service.

Une variante de ce procédé consiste à utiliser le permanganate de potassium à raison de 5 g par mètre cube avec une solution de sulfate d'alumine (5 g dilué dans 10 litres d'eau distillée). Après un temps de contact de 3 à 5 jours le puits sera vidé une dernière fois avant sa mise en service.

Dans ce procédé de désinfection par le chlore, en cas de surdosage, l'excès de chlore peut être éliminé par addition d'une quantité calculée d'hyposulfite de soude.

Deuxième méthode : Strobant et Hrichi

Cette méthode est basée sur une javelisation spéciale à partir de l'hypochlorite de calcium solide stabilisé et commercialisé sous le nom de "Tropical chloride of lime" à

(1) B.C.E.E.O.M. : Bureau Central des Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer

de 1,5 kg de chlorure de chaux pour 10 mètres cubes.

L'opération de désinfection proprement dite utilise une jarre en terre cuite percée de trous.

Un mélange de caillou et de sable lavé permet à l'hypochlorite placé dans la jarre d'agir sans colmatage. Le temps d'immersion est variable en fonction de la capacité du puits et du degré de contamination.

En fin de traitement, le chlore résiduel est évaluée colorimétriquement par un comparateur à l'orthotoluidine ou par titrage iodométrique.

Cette méthode largement utilisée présente l'avantage de sa simplicité au niveau des petites collectivités animées par des agents sanitaires qui maîtrisent parfaitement le procédé.

Troisième méthode

Elle est tirée de l'étude des procédés domestiques de Bangalore rapportés par l'OMS. Ces procédés se sont révélés d'application simple.

Le chlore liquide ne convient que pour le traitement de l'eau des réseaux de distribution urbain. Dans les régions rurales, on peut se servir de solution concentrée d'hypochlorite de sodium ou bien de chlorure de chaux, appellation commerciale de l'hypochlorite de calcium solide. Le choix étant essentiellement déterminé par les disponibilités locales.

1. Avec un dispositif à pot diffuseur

Il s'agit du même principe que pour la jarre en terre cuite percée de trous et recevant l'hypochlorite de calcium solide.

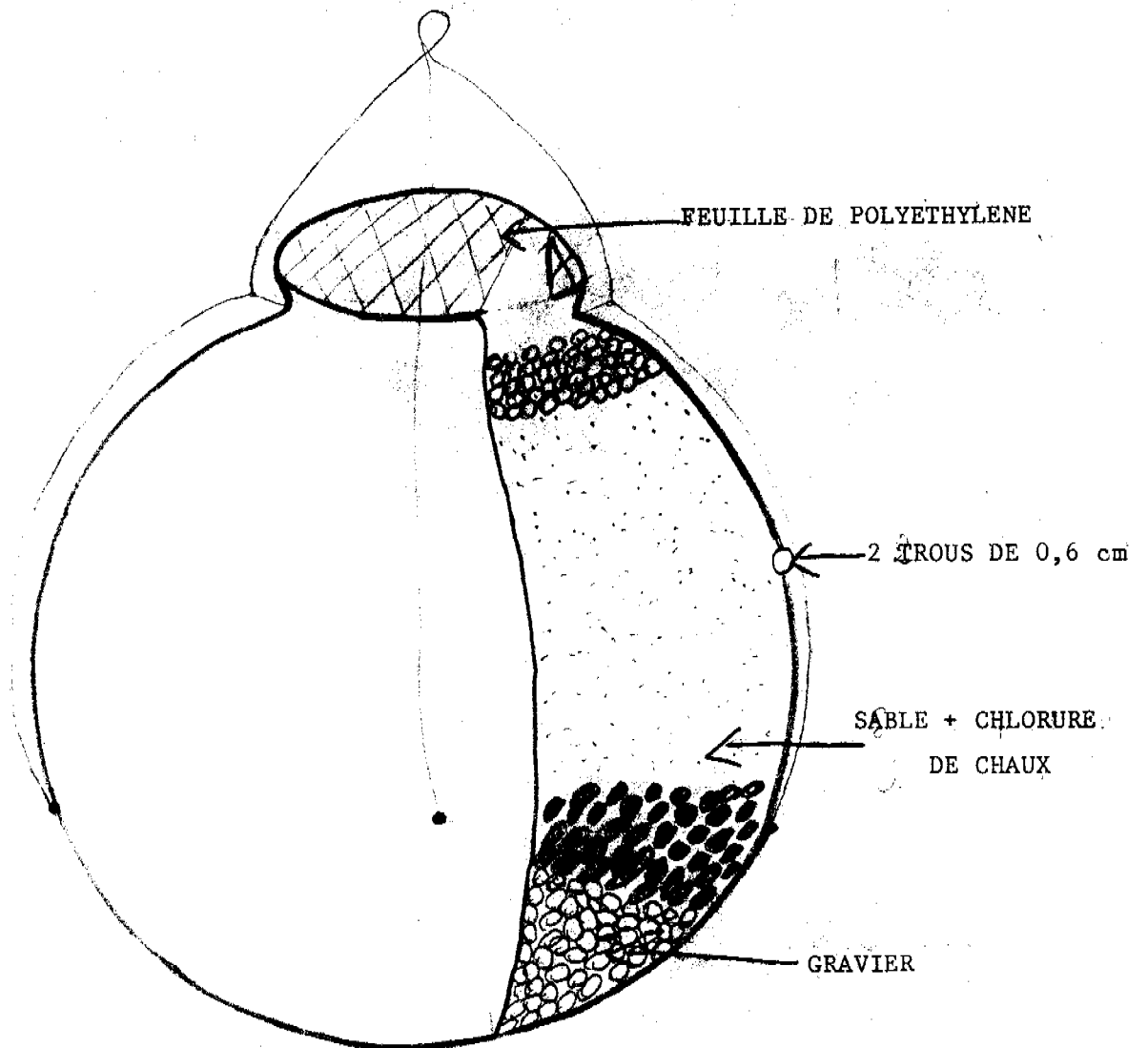
Un pot de terre approprié (figure no.4) rempli d'un mélange humide de chlorure de chaux et de sable est suspendu dans le puits à environ 1 mètre au-dessous du niveau de l'eau.

Le pot d'une contenance de 12 à 15 litres sera symétriquement percé à mi-hauteur de deux orifices de 0,6 cm de diamètre. Il contiendra au-dessous du niveau des orifices un mélange humide de 1,5 kg de chlorure de chaux et de 3 kg de sable grossier (calibre 1,4 - 1,6 mm).

Ce pot dont l'ouverture sera obstruée par une feuille de polyéthylène ou par une autre membrane imperméable est suspendu dans le puits à une distance relativement éloignée de l'endroit où l'eau est puisée.

L'on pourra prélever quotidiennement pendant une semaine 900 à 1 300 litres d'eau contenant entre 0,2 et 0,3 mg par litre de chlore résiduel.

Les chiffres concernant les dimensions du pot et les quantités de chlorure de chaux et de sable ne sont donnés qu'à titre indicatif. Dans chaque région, il faudra procéder à des essais afin de déterminer les quantités de mélange nécessaires compte tenu des dimensions et du débit des puits.



LE POT DIFFUSEUR

FIGURE N° 4

2. Avec un dispositif fait à la coque de noix de coco

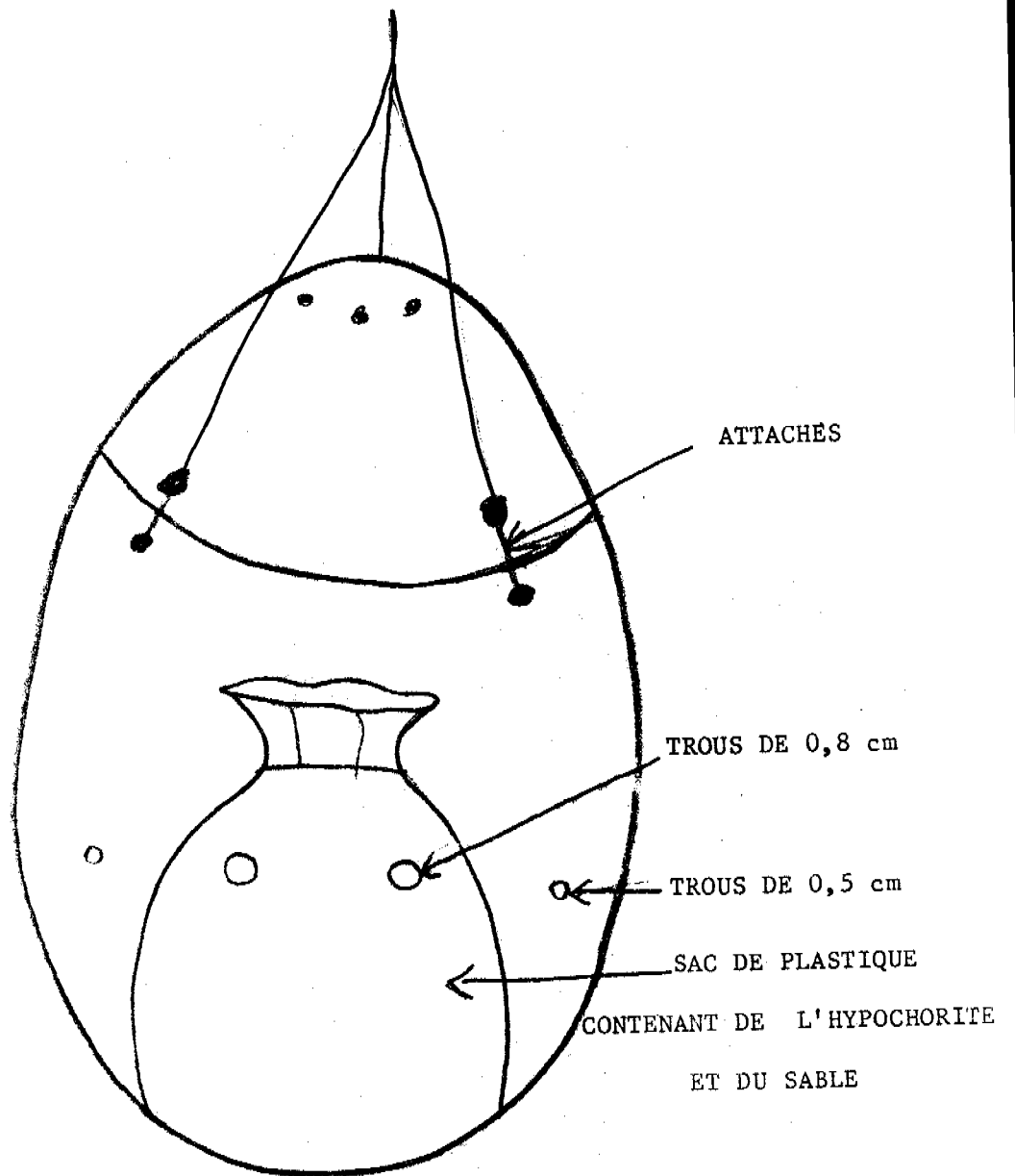
Après avoir vidé la noix de son contenu, l'on coupe la coque en deux parties. La partie inférieure va servir de réservoir à l'hypochlorite et au sable en quantité égale, placés dans un sachet en matière plastique. La partie supérieure va servir de couvercle une fois l'hypochlorite placé dans le sac (figure no.5).

On réunit ensuite les deux parties par des élastiques, passant dans des agrafes fixées en trois parties de la périphérie. Trois trous d'environ 0,5 cm de diamètre sont percés un peu au dessous de la section médiane et de la partie inférieure de la coque.

Précisons que le sac en matière plastique doit être soigneusement percé de deux trous pour permettre au désinfectant de diffuser dans l'eau de la coque puis dans l'eau à désinfecter.

Le dispositif de chloration ainsi constitué est plongé à environ 30 cm de profondeur. Il convient pour les petits puits domestiques et permet de prélever quotidiennement pendant 3 semaines 90 litres d'eau ne renfermant que 0,2 à 0,1 mg par litre de chlore résiduel.

Lorsque la teneur en chlore résiduel descend au dessous de 0,1 mg par litre, on remplace le contenu du sac ou éventuellement l'ensemble du dispositif.



DISPOSITIF A LA COQUE DE NOISE DE COCO

FIGURE N° 5

Cas des puits neufs

Les parties accessibles du puits sont d'abord lavées à la brosse avec une solution concentrée d'hypochlorite de sodium (10 à 20 degrés chlorométriques). Ensuite, l'eau du puits est traitée par la même solution d'hypochlorite et on laisse en contact pendant une période de 12 à 24 heures.

Après cette période de contact, le puits est vidé jusqu'à ce que l'eau ne présente plus de traces de chlore.

Si le puits intercepte un fort courant d'eau souterraine, la dose de chlore risque d'être entraînée par le courant sous-jacent, ce qui ne donne pas de solution.

En effet, l'on peut interpréter la disparition du chlore comme résultant d'une pollution importante alors que l'eau de la source n'est pas contaminée. Il faudra donc prévoir une concentration et une période contact suffisante pour parer cette éventualité. Mais dans tous les cas, il faut tester le chlore en excès au moyen d'une solution d'iodure de potassium.

*

*

*

Pour conclure cette partie, nous soulignerons que la vulgarisation de ces différents procédés dans nos zones rurales marquera un grand pas dans la lutte contre les maladies d'origine hydrique qui ravagent nos campagnes.

Les eaux de rivière, de source, et de puits (qui sont les plus couramment utilisés) méritent une attention particulière. Il est nécessaire de les examiner et de les analyser avant le premier usage et de renouveler ces investigations périodiquement (contaminations superficielles par infiltration ou contaminations profondes, accidentelles).

C H A P I T R E VII

LES PERSPECTIVES D'ACTION

Dans la politique actuelle d'hydraulique, l'objectif des autorités est toujours l'installation d'un réseau de distribution d'eau dans les zones urbaines et semi-urbaines et la mise en place dans les zones rurales, de dispositifs d'alimentation en eau (forages et puits couverts avec pompe). La population doit ainsi disposer à tout moment d'une eau saine, en quantité suffisante et d'accès facile de manière à permettre les mesures d'hygiène personnelles.

Cet objectif de politique hydraulique devient d'une actualité brûlante :

- face à un inventaire des besoins très larges et peu couverts
- face à une démographie galopante avec des types de peuplement et l'extension des maladies hydriques.

Force nous est de mettre l'accent sur des mesures plus directement accessibles et de portée sociale :

- un contrôle et une surveillance soutenus des réseaux
- une éducation sanitaire active des populations notamment en milieu rural.

En dernier ressort, c'est à l'échelon de la nation entière que cette politique d'hydraulique en pays sahélien doit porter.

I. SURVEILLANCE SANITAIRE DES EAUX

Dans les centres urbains et semi-urbains où il existe un réseau d'alimentation à partir des eaux de surface, celles-ci doivent être systématiquement épurées avant d'être livrées à la consommation.

Les services hydrauliques et les services sanitaires se doivent d'assurer la surveillance permanente des eaux. Cette surveillance doit être constante et porter essentiellement sur le périmètre de protection des sources, des puits ou du point de captage.

Elle prend une importance toute particulière au cours des longues périodes de sécheresse par exemple ou après des crues car des modifications importantes peuvent apparaître soit au niveau du captage ou du réseau de distribution.

La pression doit être constante dans le réseau de distribution car la sous-pression pourrait entraîner l'infiltration d'eaux insalubres.

De plus, il faut veiller à écarter du périmètre de protection des constructions insalubres.

Actuellement, c'est le service d'hygiène et de l'assainissement ainsi que le laboratoire de bactériologie de l'INRS qui s'occupent des analyses des eaux. Dans l'avenir, il serait heureux de voir en plus la Direction de l'Hydraulique et de l'Energie chargée de la recherche en eau et de l'exploitation des sources d'eau se doter d'un laboratoire d'analyse opérationnelles. Les données résultant de la surveillance et des contrôles permanents seraient d'un apport appréciable au service de santé qui assure seulement un appoint.

II. CONTROLE DES EAUX D'ALIMENTATION

Ici nous avons envisagé, à la suite de l'étude des caractéristiques de l'eau potable de dégager quelques considérations sur l'importance des contrôles.

Il s'agit de contrôle d'intérêt pratique en dehors de toute notion d'expertise.

Pour ces contrôles, qu'il s'agisse d'eaux de surface, d'eaux de sources, d'eaux de forages ou d'eaux traitées par épuration chimique, la règle d'or consiste à éviter des fautes de manipulation lors des prélèvements en vue de réaliser des conditions de prélèvement d'une asepsie rigoureuse. De plus, la contamination chimique sera écartée.

La fréquence des prélèvements doit être soutenue et passer de la routine. En effet, des circonstances nouvelles peuvent entraîner des conséquences non prévisibles dans la qualité des eaux suivies.

Les examens microbiologiques réalisés sur les prélèvements doivent détecter les contaminations éventuelles les plus courantes :

- contamination par *Escherichia coli* et par les bacilles coliformes
- contamination par les *Streptocoques fécaux*
- contamination par le *Clostridium perfringens*.

Ces germes, quelles que soient les modalités de leurs présences ou de leur transmission, traduisent toujours une contamination d'origine fécale.

Il en est de même pour la présence des bactériophages ou des virus dont la biologie est bien spécifique mais la présence toujours révélatrice de contamination microbienne.

Les examens chimiques doivent confirmer la constance de la composition chimique notamment la minéralisation, et pouvoir interpréter les légères variations saisonnières.

*

*

*

III. LES NORMES APPLICABLES A L'EAU DE BOISSON

Face aux normes françaises habituellement admises pour les eaux dans les pays francophones d'Afrique, le Mali dispose également de normes internationales recommandées par l'OMS. Mais il appartient aux services hydrauliques du Mali d'adapter ces normes et, avec des situations nouvelles, d'élaborer d'autres normes toujours en fonction des conditions locales.

Cela correspond à la définition fort significative de L. Strat qui déclare que "L'eau potable est celle qui plait à celui qui la boit et ne rend pas malade".

Donc en dehors des codifications diverses, les préoccupations majeures des populations du Sahel tendent simplement à assurer les besoins essentiels en eau de qualité acceptable ; car le problème de l'eau se traduit souvent en terme de survie.

Aussi convient-il en concluant de rappeler les aspects pratiques de l'approvisionnement des différentes collectivités dont les types de peuplement ont été façonnés en fonction de l'environnement géographique lié à l'eau. Ainsi nous préconisons :

Pour les petites collectivités : D'abord il convient

toujours de procéder à des traitements simples, accessibles,

filtration pour l'eau de boisson, filtration domestique ou chloration chimique. Ensuite le renforcement du réseau d'approvisionnement doit porter en priorité sur la création de puits convénables.

Pour les zones rurales : les puits traditionnels restent encore pendant longtemps la source la plus importante d'approvisionnement en eau.

Les cours d'eau occupent une place de plus en plus importante en milieu rural. L'essentiel des activités sera alors sur les conditions de prélèvement correctes, soutenues par des mesures d'hygiène acceptées par tous : filtration, traitement divers pour l'eau de boisson.

L'animation rurale qui doit promouvoir tous les aspects du développement devra alors mettre un accent particulier sur l'éducation sanitaire.

*

*

*

IV. LES PROBLEMES D'EDUCATION SANITAIRE

La population du Mali étant à majorité rurale, les problèmes de santé posent des difficultés particulières liées à des niveaux de compréhension très variés. La recherche de solution passe nécessairement par l'éducation et exige l'intervention de la collectivité entière. Cela nécessite non seulement une action soutenue de la part des équipes de santé mais aussi de la part du grand public qui doit marquer son intérêt et son appui à tous les aspects de la communication sur le thème de l'eau.

L'un des moyens les plus efficaces consistent à améliorer le personnel de la santé publique qui, dans le

celles de ses fonctions habituelles développera les idées forces que sont :

- Les besoins en eau en temps normal
- Les qualités de la bonne eau d'alimentation
- les besoins spéciaux en eau du nourrisson et de l'adolescent
- les bienfaits de l'eau dans l'hygiène de l'habitat
- Les maladies liées à l'eau par ingestion ou par contact
- L'intégration d'animateurs à l'ensemble des services de santé de base avec participation volontaire à l'entretien des ouvrages (puits, latrines, conduites d'évacuation...)
- L'adoption de comportements nouveaux dans les habitudes et le mode de vie des populations.

Les collectivités préférant de toute évidence suivre ceux qui les aident à se soigner, l'on peut préconiser la création de zones de démonstration animées par les autorités administratives. C'est au niveau de ces zones de démonstration et d'animation que pourront être exposés certains résultats de la recherche en santé publique sur la prévention des maladies liées à l'eau.

Il faudra donc revenir constamment sur l'importance des besoins en eau potable, non contaminée par des germes microbiens ou par des parasites, importance que seule l'éducation sanitaire permet d'évaluer et de mettre en relief.

Les programmes et les méthodes d'approche étant variés, il suffira de choisir et d'introduire les thèmes au niveau des diverses associations de femmes et de jeunes notamment. L'intervention de la radiodiffusion et même de la télévision sont souhaitables. Ce sera là une forme originale d'éducation sanitaire en direction des masses et surtout des populations rurales sorties de l'ignorance et ouvertes à des formes de vie toutes nouvelles.

C'est finalement par un cri d'alarme que l'on s'arrête sur ces données d'éducation sanitaire de portée incalculable.

En effet, s'il est vrai que le progrès économique pousse et stimule le progrès social, il n'en demeure pas moins vrai que le second n'est pas automatiquement la conséquence du premier. Les temps de prospérité économique ne sont pas toujours des temps de bien-être social pour tous.

Aussi avec les indépendances, les infrastructures économiques de nos pays se sont notablement développées mais les problèmes de santé demeurent toujours. La morbidité due aux maladies hydriques par exemple, ravage nos villes et campagnes et diminuent nos forces vives. Le taux élevé de mortalité infantile (188 pour mille) est aussi la conséquence de la consommation d'eau non potable et de d'insuffisance d'eau pendant de grandes sécheresses.

C O N C L U S I O N

A travers des paramètres riches et variés, nous avons dégagé les problèmes essentiels de l'approvisionnement en eau au Mali, sans prétendre pour autant les résoudre.

En effet, pays continental au centre de l'Afrique de l'ouest, le Mali par son étendue, présente un profil très diversifié depuis la zone des sables du Sahara jusqu'aux Monts Manding avec des cours d'eau très abondants mais inégalement répartis et une végétation de plus en plus importante du nord au sud.

De cette complexité géographique, découle ainsi que nous l'avons montré, une extrême diversité de peuplement. Pour ces populations nomades, sédentaires ou urbanisées, les réponses aux problèmes de l'eau sont toujours différentes malgré une dominante qui porte régulièrement sur l'aspect quantitatif des besoins. L'aspect qualitatif n'en demeure pas moins important et pose aussi de réels défis.

En effet, il s'agit à la fois de problèmes de la taille d'un grand pays alors que le Mali reste par ses moyens financiers dans le groupe des jeunes nations en développement.

Dans notre pays, environ 50 % de la population a moins de 15 ans et la mortalité infantile s'élève à 188 pour mille. Il y a là un danger certain tant pour la santé de la population, mais aussi pour le développement de notre pays qui menace d'être compromis.

L'état sanitaire constitue un handicap sérieux pour nos populations en majorité analphabètes qui restent ainsi exposés aux maladies les plus diverses auxquelles s'ajoutent les maladies d'origine hydrique.

Aussi avons nous tenté de trouver des réponses dans l'approvisionnement immédiat pour faire face aux principales contraintes liées à l'eau notamment dans le domaine de la santé.

Dès l'instant que les populations se sont regroupées pour faire face à leurs besoins en eau, les problèmes prioritaires se sont identifiés dans l'environnement sanitaire avec l'habitat, le mode de vie et les traditions.

Pour les petites collectivités, la multiplication des puits et des forages s'impose. Mais il convient d'être attentif et de ne pas perdre de vue les problèmes de contaminations : contamination par l'environnement ou contamination par le mode de vie ou le manque d'hygiène.

Pour les grandes agglomérations et les villes, ces problèmes de santé se situent non seulement à l'échelon communal mais surtout à l'échelle nationale : c'est là où nous avons étudié l'adduction d'eau dans les villes et les problèmes de pollution urbaine si aigus pour la santé.

Dans un cas comme dans l'autre, il nous fallait, en pharmacien de santé publique aborder et développer largement l'étude des maladies liées à l'eau.

Nous avons terminé en rappelant les mesures de prévention et de contrôle dont l'application correcte dans nos collectivités serait un grand pas vers la constitution d'un "barrage sanitaire" capable de rompre la chaîne des maladies transmissibles d'origine hydrique.

L'hygiène et la santé d'une nation sont de fidèles reflets de son degré de développement. Il semble indiscutable que, pendant plusieurs décennies encore, on aura besoin pour se développer de la participation des autres continents. Que cette aide ne soit pas le bâton du vieillard mais plutôt un élément fertilisant pour notre développement.

La place de l'éducation sanitaire apparaît alors naturellement. Elle implique une prise de conscience nationale et nous présente comme une condition sûre de progrès sanitaire en harmonie avec les autres programmes nationaux de développement en vue de l'auto-suffisance alimentaire, pivot de la politique nationale du Mali.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Les problèmes sanitaires dans l'alimentation en eau potable à partir des puits et forages au Mali
Mémoire ingénieur sanitaire : Ibrahim CAMARA

Strasbourg, 1980-1981

2. Premier Atelier National sur la Decennie Internationale de l'eau potable et de l'assainissement - DNHE - 1981

Bamako - Mali

3. 2e Atelier National sur la DIEPA - DNHE - 1983 -

Bamako - Mali

4. Mali - Notes et Etudes Documentaires
Gérard BRASSEUR

5. Les établissements humains au Mali
Gérard BRASSEUR

6. Groupes ethniques au Mali
Bokar N'DIAYE - Bamako, ed. populaires, coll. "HIER",

1970

7. Notre Librairie - Littérature malienne au carrefour de

l'oral et de l'écrit no.75-76

8. Normes internationales pour l'eau de boisson, OMS -
Genève 1972

9. Normes internationales pour l'eau de boisson 3e
édition - OMS- Genève 1972

- 10 Directives de qualité pour l'eau de boisson - OMS -
Volume 1 - Genève 1985
- 11 Directives de qualité pour l'eau de boisson - OMS -
Volume 2 - Genève 1986
- 12 Directives de qualité pour l'eau de boisson - OMS -
Volume 3 - Genève 1986
- 13 Analyse chimique et physico-chimique de l'eau
J. RODIER - 3e ed. Dunod - Paris - 1976

- 14 Les problèmes de l'eau potable au Mali
Thèse M. SIMAGA, Thèse P, 1972, Grenoble - France

- 15 Cours d'hygiène du milieu
Polycopes 4e année pharmacie
C.T. TANDIA ENMP - Bamako - Mali
- 16 Critères d'hygiène de la qualité de l'eau potable, OMS
et PNUE (Programme des Nations Unies pour
l'Environnement) - Genève - 1985
- 17 Place des colibacilles entéropathogènes dans
l'étiologie des diarrhées microbiennes des enfants
de 0 à 2 ans à propos de 216 prélèvements
Thèse Mamadou SAMAKE, thèse M, 1985 - no.7

ENMP - Bamako - Mali
- 18 L'almanach africain no.3 - 1979 - Agence de
Coopération Culturelle et Technique France

19. Coût et avantage de l'utilisation des fluorures pour la
prévention des caries dentaires
M.N. DAVIES OMS, Genève 1975

20. Chimie biologique de l'eau, tome II
L. GENEVOIS, Collection Eudide, Presses Universitaires
----- de France, 1964
21. Guide pour l'intégration de l'éducation sanitaire dans
les programmes de salubrité de l'environnement - OMS -
1975 - K.A. PISCHANOTI

22. Evacuation des eaux usées des collectivités - OMS -
1974 - Genève
23. Hygiène en milieu rural tropical BCEOM
24. Approvisionnement en eau dans les régions rurales des
pays en voie de développement.
Compte-rendu du colloque tenu à Zomba (Malawi) du 5 au
12 aout 1980 - OMS - Genève
25. Mesures d'hygiène simples contre les maladies
intestinales - G. Rajagopalam, Genève - OMS - 1975

26. Eléments d'hygiène et de santé publique sous les
tropiques - L. Lapey sonnie, Genève OMS

27. Application dans le Cap Bon d'une méthode de
désinfection de l'eau alimentaire
A. Strobant et A. Hrichi (1974)

28. Eau potable et assainissement 81-90 vers une meilleure santé : contribution de l'OMS à la DIEPA - Genève, OMS
29. Projet d'alimentation en eau des populations rurales sur le cercle de Kita (Mali)
 Evaluation à mi-projet (DNHE)
 Lame Hoffman - Etienne de Reyniès - Février 1987

30. Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles tome 1 - Editions Soin, 1965 - Raoul LE COQ

31. Surveillance de la qualité de l'eau de boisson, Genève, OMS, 1977
32. Approvisionnement en eau des zones rurales et des petites agglomérations, Genève, OMS, 1968
 WAGNER, E.G. et LANOIX, J.N.

33. Technique et contrôle du traitement des eaux, Genève, OMS, 1967 - COX C.R.

34. Précis d'hydrologie
 A. MORETTE, Masson et Cie, 1964

35. Contribution au contrôle de qualité de l'eau dans certains quartiers périphériques de Bamako. Thèse P.
 Bab. DIARRA, 1985, Bamako - Mali

TABLE des MATIERES

	Pages
<u>Introduction</u>	1 - 4
<u>Chap. I</u> Les caractéristiques de l'hydrographie au Mali	5 - 18
I Cadre géographique	5 - 8
1 Aperçu géologique	
2 Relief	
3 Sols	
4 Climat	
II Cours d'eau et eaux de surface	9 - 11
1 Le fleuve Niger	
2 Le fleuve Sénégal	
III Eaux souterraines	11 - 18
A Aquifères discontinus	
B Aquifères semi-continus	
C Aquifères généralisés	
<u>Chap. II</u> Les problèmes de peuplement liés à l'eau	19 - 27
I Répartition de la population	19 - 22
II La Société malienne	23 - 27
A Les groupes ethniques	
B L'organisation sociale	
<u>Chap. III</u> Importance des besoins en eau	28 - 33