E. I. E. R.
Bibliothèque
OUAGADOUGOU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1997

Présenté par :

NANA Mahamadi

SITUATION QUALITATIVE DE LA NAPPE PHREATIQUE A OUAGADOUGOU

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée
le _____ s/N° 312/97

MENTION :

Encadrement
J. R. GUILLERET

DEDICACES

CE TRAVAIL EST DÉDIÉ:

- A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE ET À MA MÈRE ;

- A MA FAMILLE, À TOUS CEUX, QUI M'ONT SOUTENU ET ENCOURAGÉ TOUT LE LONG DE MON CURSUS SCOLAIRE ;

- A L'E.I.E.R. QUI M'A FORMÉ AU NOBLE MÉTIER D'INGÉNIEUR DE L'ÉQUIPEMENT RURAL ;

- ET, ENFIN, À TOUS MES CONDISCIPLES DE LA 26° PROMOTION, AVEC QUI J'AI PARTAGÉ UNE VIE COMMUNE PENDANT LES TROIS ANNÉES DE FORMATION.

SOMMAIRE

DEDICACES i
SOMMAIRE ii
REMERCIEMENTS iv
RESUME v
LISTE DES ANNEXES vii
LISTES DES TABLEAUX ET FIGURES viii

PREMIERE PARTIE: INTRODUCTION ET GENERALITES

1. CONTEXTE GENERAL DU MEMOIRE 1
   1. 1. Situation 1
   1. 2. Problématique 1
   1. 3. Les objectifs 2
   1. 4. Méthodologie 2
2. ASPECTS PHYSIQUES DE LA ZONE D'ETUDE 2
   2. 1. Croissance démographique 3
   2. 2. Besoins en eau potable 3
      2. 2. 1. Ressources en eaux de surface 4
      2. 2. 2. Ressources en eaux souterraines 4
3. LE CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE 5
   3. 1. Aspects géologiques 5
   3. 2. Paramètres climatiques 6
   3. 3. Description du système aquifère 6
      3. 3. 1. Données hydrogéologiques disponibles 6
      3. 3. 2. Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères 7
      3. 3. 3. Représentation du système aquifère 8
4. LE CONTEXTE DE L'ASSAINISSEMENT A OUAGA 9
   4. 1. Généralités 9
   4. 2. Les eaux usées et les excrétas 10
   4. 3. Les eaux usées pluviales 11
   4. 4. Les ordures ménagères 11
   4. 5. Santé publique 11
5. PROBLEMATIQUE MICROBIOLOGIQUE DE L'EAU

SOMMAIRE: suite

DE CONSOMMATION 12
5. 1. Dangers liés aux germes pathogènes présents dans les eaux 12
5. 2. Les bactéries indicatrices de pollution fécale 14
6 LES BACTERIES DANS LE SOL 15

DEUXIEME PARTIE: ETUDE DE LA QUALITE DE LA NAPPE SOUTERRAINE

1. INTRODUCTION 17
2. EAUX DE LA NAPPE PROFONDE: FORAGES 17
2. 1. Objet de l'étude 18
2. 2. Paramètres d'analyses des eaux de la nappe souterraine 18
2. 2. 1. Paramètres physico-chimiques mesurés in situ 18
2. 2. 2. Paramètres physico-chimiques analysés 21
2. 2. 2. 1. TAC, TH et DBO_5 21
2. 2. 2. 2. Les composés azotés 24
3. Analyse microbiologique 27
3. 1. Généralités 27
3. 2. Echantillons d'eau de forage ne renfermant aucun indicateur de pollution 27
3. 3. Echantillons d'eau de forages ayant un nombre de streptocoques fécaux supérieur aux coliformes thermotolérants 28
3. 4. Echantillons d'eau contenant des coliformes mais pas de streptocoques fécaux 28
4. EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE 29
4. 1. Paramètres physico-chimiques 30
4. 2. Analyse microbiologique 31

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONs 32

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 33

GLOSSAIRES 35

ANNEXES

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail de mémoire, mes sincères remerciements vont particulièrement à l'endroit :

- de la direction de la médecine préventive pour son accueil chaleureux ;
- à mon encadreur monsieur Jean René Guilleret, pour sa disponibilité, son soutien et ses précieux conseils ;
- je n'oublie pas, messieurs Kokou Denyigba, Traoré Saïdou, Byll Cataria, Sangaré Sidiki, du laboratoire de génie sanitaire de l'EIER pour leur encadrement et l'atmosphère de travail chaleureux qu'ils ont su agréablement entretenir lors de mon passage.

RESUME

La ville de Ouagadougou a connu une expansion spatiale et démographique depuis les années 1970, à la faveur de l'exode rural.
La superficie du territoire urbain a atteint 20 000 ha, avec une densité moyenne de 35 habitants par hectare. Ce développement urbain n'a pas été suivi:
- d'une part, par la mise en place de mécanismes d'assainissement adéquats tant collectif qu'individuel ;

- d'autre part, par l'approvisionnement décent de la ville en eau potable ; les besoins ont très vite dépassé les ressources disponibles. D'où le recours à l'exploitation de la nappe souterraine à travers de vastes programmes d'exécution de forages et de puits busés, en plus des puits traditionnels déjà existants.

Le niveau insatisfaisant de l'assainissement, le manque d'hygiène peuvent contribuer à la pollution de la nappe et surtout occasionner la prolifération des maladies hydriques. Aussi, un suivi de la situation qualitative de cette ressource vitale est nécessaire, d'autant plus que la pollution des eaux souterraines est plus insidieuse que celle des eaux de surface, plus difficile à détecter et qu'elle dure plus longtemps en raison des faibles vitesses de percolation.
Les résultats de nos analyses, ne constituent qu'une photographie de la situation de la nappe phréatique, observée entre Avril et Mai 1997.

Les caractéristiques physico-chimiques de la nappe profonde sont semblables à celles de la nappe superficielle:

- Les eaux sont légèrement acides, de faible conductivité, et d'une température moyenne de 32°C environ. La teneur en oxygène dissous est suffisante pour maintenir certaines qualités, telles que, le goût agréable, le degré d'asepsie, les réactions d'oxydo-réductions et l'activité de la flore microbienne. Les concentrations en composés azotés tels que les nitrites et l'ammoniac sont acceptables pour tous les puits et forages; par contre la teneur en azote organique est relativement importante.

Les concentrations en nitrates des eaux de certains forages du centre commercial bâti sur des alluvions d'anciennes rivières avec des sites de dépôts d'ordures, dépassent les normes internationales.

Plus de la moitié des forages ne donnent aucun signe de contamination bactériologique.

Il est nécessaire de suivre l'état sanitaire des utilisateurs des points d'eau présentant une pollution microbienne et aussi d'envisager la désinfection des forages par des sachets d'hypochlorite à effet retard.

Cette recherche pour être exhaustive , devrait se dérouler sur un cycle annuel complet et aussi s'organiser autour de plusieurs campagnes de prélèvements sur les mêmes ouvrages.

Néanmoins, elle a permis d'appréhender de façon ponctuelle, la situation de la nappe souterraine en cette fin de saison sèche.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE	TITRES
I	Généralités
II	Résumé des travaux pratiques
III	Tableau de localisation des points de prélèvement
IV	Résultats des analyses
V	Tableaux des normes relatives à l'eau de consommation humaine
VI	carte de repérage des points d'eau

LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

TABLEAU:

N°	TITRE	PAGE
1	Besoins prévisionnels en eau de la ville de Ouaga	3
2	Principaux agents bactériens pathogènes présents dans les fèces et les maladies transmises	13
3	Principaux groupes de virus pathogènes excrétés dans les fèces et les maladies transmises	14
4	Etat de minéralisation de l'échantillon de forages	20
5	Valeurs des duretés	22

FIGURES

N°	TITRE	PAGE
1	Système aquifère	9
2	Devenir des nitrates dans l'organisme	24bis
3	Cycle de l'azote	25bis
4	Schéma de contamination de la nappe phréatique	29

PREMIERE PARTIE :

INTRODUCTION ET GENERALITES.

1. CONTEXTE GENERAL DU MEMOIRE

1. 1. Situation

Le thème de ce mémoire, en dehors de son aspect didactique, s'inscrit dans le souci d'une meilleure connaissance des caractéristiques de la nappe souterraine à Ouagadougou.

Le sujet a été initié et proposé par la direction de la médecine préventive du ministère de la santé du Burkina Faso, à l'intention des élèves en fin de formation initiale, à l'école inter Etats d'ingénieurs de l'équipement rural.

Le temps consacré aux recherches a été pratiquement de deux mois: Avril et Mai 1997.

1.2. Problématique

La période de sécheresse des années 1970 qui a atteint les pays sahéliens a eu pour conséquence, une augmentation du taux de la croissance démographique de la ville de Ouaga, dans une mesure quatre fois plus que le taux national: l'effectif de la population initialement de 172661 en 1975 a atteint 941000 habitants en 1995.

C'est ainsi que des mesures d'accompagnement telles que les projets de développement sociaux ayant pour but:

- l'amélioration des conditions d'assainissement de la ville;
- la résolution des épineux problèmes d'approvisionnement en eau potable pour les citadins.

Malgré toutes ces dispositions, la question de la stratégie d'assainissement, de gestion des déchets ménagers et industriels demeure une vive préoccupation de l'heure.

Comme les disponibilités d'eau de surface ne suffisent pas pour couvrir l'ensemble des besoins de la ville sans cesse croissants et diffus, les eaux souterraines demeurent un précieux recours tant pour l'office national de l'eau et de l'assainissement que pour une partie de la population qui les consommait depuis longtemps sans aucune mesure de traitement.

Aussi est-il impérieux de suivre la qualité de la nappe aquifère, eu égard aux différentes formes de pollution qui, peuvent subvenir et aggraver les problèmes de santé publique déjà sensibles.

1.3. Les objectifs

La zone d'investigation, concerne les eaux souterraines de la partie de la ville de Ouagadougou circonscrite dans le boulevard circulaire ou boulevard de la jeunesse.

L'objectif initial concernait la qualité de la nappe phréatique, mais étant donné que la présente étude se déroule en saison sèche, la majeure partie des puits ont tari . C'est alors que nous nous sommes intéressés essentiellement:

- à la connaissance de la qualité des eaux fournies par les forages en fin de saison sèche,
- à la connaissance de la nappe phréatique alimentée par les barrages N°1, 2, et 3 ; à travers une série de prélèvements dans un échantillon de puits, des quartiers riverains, toujours pérennes.

1 .4. Méthodologie

L'approche de la recherche s'articule autour des points suivants:

- l'identification de la zone d'étude ;
- la recherche bibliographique pour appréhender, les aspects physiques, le contexte hydrogéologique et sanitaire de la zone d'étude ;
- le choix des points de prélèvements en gardant le souci d'une meilleure représentativité ;
- des campagnes de prélèvements et l'analyse des prises d'eau ;
- l'interprétation des résultats.

2. ASPECTS PHYSIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

La ville de Ouagadougou est située dans le plateau central du Burkina Faso ; elle est comprise entre les parallèles 12°20 et 12°25 de la longitude Ouest.

La zone d'étude concerne principalement les secteurs commerciaux, industriels, et résidentiels, mais aussi les anciens quartiers qui se sont développés autour du palais du Moro Naba empereur des Mossis.

2. 1. Croissance démographique

Capitale politique du pays et carrefour d'importantes voies de communications internationales reliant les ports des pays côtiers de la sous région au Mali et au Niger, Ouagadougou a dû se développer grâce à sa fonction d'échanges séculaires.

Les dures aléas climatiques et l'aspiration à de meilleures conditions de vie, que l'on pense trouver en ville, ont amorcé depuis 1973, l'extension anarchique du périmètre urbain, corollaire de l'exode rural massif.

Les principaux facteurs, qui ont par la suite favorisé l'augmentation du solde naturel, demeurent:

- les équipements sanitaires, la prévention des grandes épidémies (rougeole, choléra, méningite ...) ;
- la conservation du concept socioculturel selon lequel " l'enfant est un précieux don divin et une richesse irremplaçable..."

Malgré les grands efforts consentis pour la planification familiale, avec un taux d'accroissement estimé à 8% l'an, la population de Ouagadougou atteindra 1200000 en l'an 2 000 (estimation de Lahmayer international).

2. 2. Les besoins en eau potable

Le nombre d'habitants de la ville de Ougadougou est estimé à près d'un million selon le recensement de 1996.

Les besoins en eau de la ville ont fait l'objet d'une étude détaillée en 1986, reprise en 1992 sans modifications notables.

	1990	1995	2000	2005	2010
population(×1000 hbts)	671	941	1201	1533	1957
taux de desserte	85	90	90	100	100
consommation (l/j/hbt)	51	54	55	67	67
besoins eau potable ($\times 10^6 m^3$/an)	18	26	33	63	63
besoins en eau brute ($\times 10^6 m^3$/an)	23	32	40	78	78

TABLEAU 1: **Besoins prévisionnels en eau de la ville de Ouagadougou.**

L'office national de l'eau et de l'assainissement, une des directions rattachées du ministère de l'environnement et de l'eau, est chargé de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou. Mais sa mission rencontre de nombreuses difficultés à cause de l'expansion démographique.

Cependant, plusieurs projets ont été élaborés pour résorber le problème crucial de l'approvisionnement en eau de consommation des Ouagavillois.

2. 2 1. Les ressources en eaux de surface

Elles représentent 94% du potentiel en eau utilisée pour satisfaire les besoins de la ville de Ouagadougou. Ces ressources en eau de surface sont stockées dans les quatre barrages suivants:

- le barrage de Lumbila sur le Massili à 15 km de Ouagadougou ; d'une capacité de 38 millions de mètres cubes, le volume utilisable par l'ONEA est réduit à 9.3 millions de mètres cubes en année moyenne et 1.8 million de mètres cubes en année sèche.

- Les trois barrages en cascade situés dans la ville, d'une capacité totale de 6 millions de mètres cubes, d'un volume utile de 1.49 million de mètres cubes en année sèche et 2.3 millions en année médiane.

2. 2. 2. Les ressources en eaux souterraines

Les eaux souterraines contribuent pour une part relativement faible à l'alimentation de la ville, ceci au moyen de plusieurs milliers de puits privés, de forages équipés de pompes à main, de postes d'eau autonomes et des forages du réseau autonome de Pissy.

On a remarqué une concentration des captages d'eaux souterraines dans les quartiers périphériques.

Notre zone de recherche détient près de 85 % du réseau de distribution de l'ONEA.

L'exploitation de la nappe souterraine constitue un appoint non négligeable, mais surtout une source d'alimentation pour les familles non desservies par le réseau d'eau courante.

3. LE CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

L'étude qualitative de la nappe souterraine s'inscrit forcément dans une connaissance assez suffisante du contexte géologique et hydrogéologique .

Ce contexte dans le cas de la ville de Ouagadougou est d'une part, difficile à cerner et, d'autre part, présente une grande hétérogénéité.

3.1. Aspects géologiques

La majeure partie de la ville de Ouagadougou s'inscrit dans un contexte géologique de socle cristallin à dominance granito-gneissique, datant du précambrien inférieur (trois milliards d'années environ).

Le substratum est surtout connu à travers les coupes géologiques des forages exécutés dans le cadre de nombreux programmes d'hydraulique villageoise.

Les formations étant très hétérogènes, il est alors difficile de préciser leurs limites.

Il est à noter que l'on peut rencontrer dans les forages des granites calco-alcalins, des gneiss, des passages d'amphibolites et de migmatites avec de nombreux filons d'aplite, de pegmatite et de quartz.

Il est évitent, qu'une telle région lithologique est caractérisée par une faible épaisseur d'altération résultant de la lente dégradation de la roche mère.

- Les altérites à prédominance argileuse, sur lesquelles repose la ville de Ouagadougou n'offrent qu'une potentialité hydraulique assez réduite, localement améliorée par la présence de différents réseaux de fractures aux mailles parfois serrées, à condition toute fois que celles-ci ne soient pas colmatées par des argiles.

- Les filons de quartz et de pegmatite sont abondants; les épaisseurs d'altération peuvent atteindre par endroits 60 m. Des coupes géologiques traversant la ville dans les sens Nord-Sud et Ouest-Est mettent en évidence la structuration géologique suivante:

  - un important réseau de fractures, parfois d'importance régionale, susceptible de constituer un système de collecte des eaux souterraines ponctuellement exploitables grâce aux forages. Les directions de ces fractures orientent le relief et le réseau hydrographique.

- des phénomènes d'altération liés aux anciennes conditions climatiques, affectant les formations de socle et ce d'autant plus que la fracturation a permis une circulation des eaux en profondeur.

- Les cuirasses de plateaux sont dotées d'une bonne perméabilité et forment les meilleures nappes aquifères lorsqu'elles sont noyées , ce qui est généralement rare de par leurs positions topographiques.

- Les dépôts alluviaux provenant du démantèlement des cuirasses anciennes et des sables argileux comblent les entailles des bas-fonds.

- Les alluvions grossières perméables, particulièrement intéressantes pour l'exploitation des eaux souterraines semblent assez rares.

En conclusion, on peut dire que le contexte géologique de Ouagadougou ne permet pas la formation de bons réservoirs d'eaux souterraines ; Il influence surtout la répartition des nappes et aussi leurs possibilités d'exploitation.

3.2. Paramètres climatiques

La région de Ouagadougou fait partie de la zone climatique soudano-sahélienne. Elle est comprise entre les isohyètes 600 mm et 700 mm, fait partie du bassin collecteur du Massili et présente de fortes variations inter - annuelles.

A Ouagadougou, la pluviométrie moyenne calculée entre 1960 et 1986 est de 797 mm. La pluie efficace, paramètre qui régit la recharge des aquifères est en moyenne de 180 mm/an, avec toutefois des variations saisonnières.

3.3. Description du système aquifère

3.3 1. Données hydrogéologiques disponibles

La direction des ressources hydrauliques a inventorié 345 forages, 60 puits, 2000 à 3000 puisards, de techniques d'exécution rudimentaires, dans le périmètre urbain de Ouagadougou.

La localisation de certains ouvrages répertoriés par l'administration est difficile ; soient les inscriptions portées ont été effacées, soient elles ne figurent pas du tout. On peut compter parmi les ouvrages non référencés ceux réalisés par les organisations non gouvernementales, sans concertation, ni suivi, par les services techniques du ministère de l'environnement et de l'eau.

3. 3. 2. Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères

Il faut exclure d'emblée l'existence de nappes aquifères continues, représentant généralement de grandes masses d'eau. Dans le contexte de Ouagadougou, elles sont nombreuses, interconnectées ou isolées

La géométrie des réservoirs qui forment le système aquifère est décrite par les annexes suivants;

- annexe I-3, profondeur du toit du socle ou épaisseur totale du recouvrement altéré.

- annexe I-2, épaisseur des altérations saturées.

La profondeur du toit du socle granitique décroît du Sud vers le Nord et de 40 m à 10 m vers la zone des barrages.

La puissance des altérations saturées dans la ville de Ouagadougou est en moyenne de 15 m avec des valeurs extrêmes allant de 0 à 34 m.

Les épaisseurs les plus réduites, inférieures à 10 m, sont situées dans les quartiers de Tanghin et de Saabin-barrage.

Les puissances maximales concernent la partie Sud des barrages et du secteur 16 (pissy).

Les forages exécutées dans le socle cristallin de Ouagadougou , met en relief trois principaux aquifères superposées:

- Les réservoirs aquifères des altérations superficielles et des alluvions

Ils ont été formés par le recouvrement des altérites, des argiles, des sables et des arènes fines. Ces nappes aquifères sont pour la plupart perchées, présentent un caractère temporaire et sont fortement assujetties aux aléas climatiques ; elles sont temporaires et alimentent près de 2 000 à 3 000 puisards qui captent en moyenne 1000 à 1500 m^3/jour. La nappe phréatique a une profondeur qui fluctue entre 5 m et 10 m avec un niveau statique proche de la surface du sol en saison pluvieuse ; annexeI-4.

- Les réservoirs aquifères du socle altéré

Ils comprennent la partie sous-jacente, reflètent la structure de la roche mère ; on note une constitution faite d'arènes grossières.

Ce sont en général des aquifères d'assez bonne qualité, car en contact avec la frange fracturée du socle où la dégradation physico-chimique se résume essentiellement à la dégradation de la roche mère en sable et en arènes.

- Les réservoirs aquifères du socle fissuré

C'est la partie saine du socle, qui sous l'effet des contraintes tectoniques, présentent des discontinuités pouvant former des poches d'eaux souterraines.

La plupart des forages exploitent les deux dernières nappes aquifères.

Le sous-sol Ouagalais mobilise près de 2.2 millions de mètres cubes d'eau souterraine (estimation du BRGM 1993).

Des investigations réalisées par Lahmayer international donnent les résultats suivants:

- ressources exploitables minimales: 2150 m^3/jour soit 785000 m^3/an ;
- ressources exploitables maximales: 5400m^3/jour, soit 1900000m^3/an.

La recharge de la nappe souterraine, c'est à dire la quantité d'eau renouvelée chaque année dans les aquifères est limitée par l'existence de bouchon argileux à de faibles profondeurs, par l'influence du ruissellement. On estime la recharge entre 25 à 80 m^3/an, soit 3 à 10% de la précipitation annuelle (Iwaco 1986).

3. 3. 3. Représentation du système aquifère

L'hétérogénéité des formations aquifères ne permet pas une bonne connaissance de l'écoulement des eaux souterraines.

Néanmoins, on estime que le cheminement général de la nappe se fait vers les barrages ; les marigots affluents des barrages sont superposés à des zones de fracturations préférentielles, déformant très sensiblement la surface de la nappe (annexeI-5 et I-6).

Nous allons considérer un modèle défavorable, celui proposé par le bureau de recherches géologiques et minières, B.R.G.M, dans le cadre de l'étude de faisabilité pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Ougadougou.

Le B.R.G.M considère deux nappes aquifères différentes:

- Le premier aquifère regroupe toutes les formations géologiques reposant sur le substratum granitique. Elles forment un réservoir poreux et continu à surface hydrostatique qui recueille les eaux infiltrées depuis la surface du sol.
- Le deuxième milieu aquifère est la roche fissurée ; il forme un réservoir capacitif discontinu qui détient 10% du volume d'eau souterraine. La circulation d'eau est importante ; Le réservoir aquifère joue un rôle important.

La nappe de socle est exploitée par des forages à une profondeur de 50 à 60 m, pour permettre la fourniture d'un débit satisfaisant.

Le niveau statique de cette nappe dépasse couramment le niveau du socle fissuré.

La nappe des altérites reçoit les différentes pollutions de surface:

- eaux usées, déchets domestiques et industriels, pollutions de toute sorte .

La nappe de roche ne doit pas être en reste, car il y a un contact hydraulique certain entre les deux réservoirs.

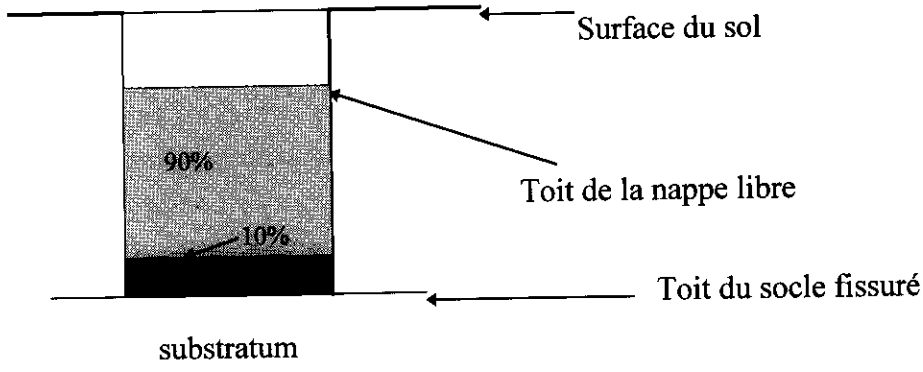


Figure 1: système aquifère

4 LE CONTEXTE DE L'ASSAINISSEMENT A OUAGA

4. 1. Généralités

La ville de Ouagadougou est peuplée d'environ 60% de la population urbaine du Burkina Faso .A l'instar de la plupart des capitales de la sous région, elle ne dispose pas d'infrastructures d'assainissement adéquates.

Les différents plans d'assainissement approuvés par les pouvoirs publics, n'ont toujours pas permis de mettre à la disposition des citadins, des services d'assainissement fiables et durables, capables de couvrir pleinement leurs besoins.

Les autorités ne sont pas restées insensibles à cette situation, car l'assainissement de la cité et les conditions sanitaires de la population sont liés. C'est ainsi qu'il a été adopté pour les cinq communes de la ville de Ouagadougou, une nouvelle approche, dénommée planification stratégique d'assainissement, qui a pour objectif fondamental, de proposer des solutions

technologiques, institutionnelles, financières, à faible coût pour toutes les couches sociales de la population et à court terme. Cette approche se veut dynamique et opérationnelle.

4. 2. Les eaux usées et les excrétas

Le niveau d'assainissement des eaux usées et des excréta restent à l'heure actuelle en deçà des objectifs globaux, malgré les efforts consentis.

Le système d'assainissement collectif n'est pas très développé, car ne concerne que le marché, l'hôpital et les industries, dont les eaux usées sont collectées par de petits réseaux d'égouts aboutissant , soit à des stations d'épuration à boues activées, ou à des ouvrages de prétraitement qui ne fonctionnent plus.

La grande partie des eaux usées est collectée dans le canal central et rejetée à l'aval du barrage N°3.

L'assainissement individuel

Il consiste en la collecte des eaux sales et des excrétas dans des ouvrages spécialisés. On peut d'emblée, relever les statistiques suivantes:

- Près de 40% de la population est raccordée au réseau d'eau potable ;
- 70% des concessions ne possèdent que des latrines traditionnelles à l'origine des mauvaises odeurs et de la prolifération des mouches ;
- 18% des habitants sont équipés de fosses étanches, 5% de fosses septiques ;
- enfin 7% des Ouagavillois ne possèdent aucune installation d'assainissement.

Dans la ville de Ouagadougou, l'évacuation des eaux usées domestiques reste une préoccupation, à cause des conséquences sanitaires.

Les enquêtes sanitaires révèlent que 74% des ménages rejettent les eaux usées, sur le sol, dans les caniveaux, dans la cour de leur concession.

Les eaux des toilette sont évacuées sur les voies publiques ou dans des puisards.

Cette situation est plus préoccupante dans les anciens quartiers situés dans le centre de la ville.

Les ouvrages de collecte des excrétas sont principalement, les latrines traditionnelles, les latrines à fosse étanche, les fosses septiques et les fosses

d'infiltration ; 500 tonnes de matières fécales provenant de ces dernières sont déversées dans l'environnement urbain sans traitement préalable.

Le coût d'exécution des latrines améliorées vulgarisées par l'ONEA et le CREPA, n'est pas financièrement à la portée du plus grand nombre des citadins. Les résultats d'une enquête sur la volonté à payer montrent que, près de 80% des ménages seraient prêts à financer eux mêmes la construction d'une latrine, si le coût à supporter était de l'ordre de 50 000 F.

4. 3. les eaux pluviales

Le réseau de drainage des eaux pluviales n'est pas très étoffé, il ne comprend que 165 km de caniveaux dont 18 km revêtus dans le centre ville.

Des actions ponctuelles sont envisagées, lors de la construction ou la réfection de nouvelles artères, par les particuliers ou au cours des lotissements.

Malheureusement, ces infrastructures, en dehors de leur insuffisance, sont mal entretenues et sont le plus souvent le site de dépôts des ordures ménagères qui bien sûr les obstruent.

4. 4. Les ordures ménagères

On estime à 380 tonnes la quantité d'ordures ménagères produites chaque jour. Mais malheureusement, seules 100 tonnes sont collectés par les services publics et les établissements privés. Subventionnés par le CREPA, plusieurs groupements féminins se sont organisés ces dernières années, dans la collecte des ordures ménagères.

4. 5. Santé publique

Il va sans dire que le faible niveau de l'assainissement a un effet sur la santé de la population de Ouagadougou.

Une consultation médicale sur quatre, est relative aux maladies hydriques, principalement les diarrhées et les gastro-entérites ; (d'après le plan stratégique de l'assainissement de la ville de Ouagadougou).

La direction de l'éducation pour la santé et l'assainissement est chargée de la planification, de la coordination, de la supervision, de l'évaluation des programmes d'information sanitaire, mais aussi de l'éducation sur l'assainissement. Mais ses capacités de planification des programmes d'assainissement restent extrêmement limitées par rapport aux besoins émanant de la réalité actuelle.

5. PROBLEMATIQUE MICROBIOLOGIQUE DE L'EAU DE CONSOMMATION

5. 1. Dangers liés aux germes pathogènes présents dans les eaux

On a couramment l'habitude de dire que l'eau est source de vie, mais paradoxalement elle peut être source de mort, car elle constitue le milieu de vie naturel des germes pathogènes qui entraînent une contamination bactériologique des eaux. Les agents infectieux les plus fréquents sont:

a) Les bactéries

Ce sont des unicellulaires, pour la plupart capables de se multiplier dans les milieux inertes. Elles possèdent d'une manière générale les pouvoirs suivants :

- pouvoir pathogène: toxicité et virulence ;
- pouvoir antigène: capacité de produire des anticorps dans un organisme.

Un gramme de matières fécales humides d'un homme en bonne santé contient en moyenne 10^{10} à 10^{16} cellules bactériennes vivantes.

Certaines de ces bactéries de par l'importance de leur population et leur omniprésence dans les fèces des êtres à sang chaud, sont utilisées comme indicatrices de pollution fécale.

Des espèces de bactéries pathogènes ou susceptibles de l'être, sont la cause de la plupart des maladies infectieuses telles le choléra, la fièvre typhoïde, la dysenterie, les gastro-entérites, les maladies diarrhéiques ... Elles jouent un rôle important dans la pollution de la nappe souterraine à partir des excrétas (urines et matières fécales).

Les bactéries pathogènes ne sont pas toujours présentes dans les excrétas contrairement aux bactéries indicatrices de pollution.

Les bactéries pathogènes hôtes traditionnelles des eaux sont:

Les entérobactéries

Elles regroupent les germes suivants, colibacille ou eschérichia coli, shigella, salmonella ; ce sont les germes rencontrés au niveau de l'intestin de l'homme ou des animaux.

Les entérobactéries pathogènes sont responsables des infections bactériennes les plus fréquentes.

Les staphylocoques

Les formes pathogènes ne provoquent pas de nuisance lorsqu'elles sont ingérées avec l'eau de boisson dans laquelle, elles ne trouvent pas en quantité suffisante les substances nutritives nécessaires à leur croissance.

Les streptocoques

Ils sont localisées au niveau des voies urinaires et de l'intestin, ne sont pas généralement pathogènes. On peut citer aussi les pseudonums, les vibrios cholériques, les clostidiums perfingrens...

Famille	**Genre**	**Espèce**	**Maladie**
Entérobactérie	Salmonelle	Salmonelle Typhy " paratyphy Autres salmonelle	Fièvre typhoïde " paratyphoïde Salmonelloses (entérite)
Entérobactériaceae	shigella	shigella dysenteriae Autres Shigella	Dysenterie Bacillaire, gastro entérite, diarrhée
Vibionaceae	Vibrio	Vibrio Cholerae Autres Vibrios	Choléra, Gastro-entérite, Diarrhée
Entérobactériaceae	Escherichia	Escherichia coli (types pathogènes)	Gastro-entérite, diarrhée
Entérobactériaceae	Yersinia	Yersinia, Entérocolitica	Diarrhée, Septicémie

TABLEAU:2: Principaux agents bactéries pathogènes présents dans les fèces et maladies transmises.

b)Les Virus

Les virus ou bactériophages sont des micro-organismes intracellulaires obligatoires qui possèdent les propriétés suivantes:

- invisibilité au microscope ordinaire.
- n'ont pas de métabolisme propre , ni les organites que possèdent les bactéries ;

- taille inférieure à 0.30µm ; ce qui leur permet de traverser les filtres qui arrêtent les bactéries.

Le dénombrement des virus fait appel à des techniques spécifiques. Ce volet de recherche n'a pas fait l'objet de nos analyses d'eau.

C) Les protozoaires

Les amibes sous forme de kystes peuvent subsister plusieurs semaines dans l'eau.

D) les métazoaires:

On peur citer les helminthes.

Virus	Maladie
Adenovirus	Affections respiratoires, Infections oculaires
Entérovirus poliovirus	poliomyélite, méningite, fièvre
Virus coxsakie	Méningite, fièvre, maladies respiratoires, myocardite
Echovirus	Méningite, encéphalie, affections respiratoires, fièvre
Virus A de l'hépatite	hépatite infectieuse
Rotrovirus	Vomissements et diarrhée
Réovirus	Diarrhées

TABLEAU 3: **Principaux groupes de virus pathogènes excrétés dans les fèces et maladies transmises.**

5. 2. Les bactéries indicatrices de la pollution fécale.

L'eau destinée à la consommation ne doit pas contenir d'organismes parasites ; elle doit être exempte de bactéries pathogènes. Ces dernières sont toujours en faible proportion par rapport à la flore intestinale. Ce qui rend leur recherche et leur quantification complexes.

les bactéries indicatrices de la pollution fécale sont des germes non pathogènes vivants dans le tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud. Leur présence dans l'eau indique que l'eau a été souillée par les fèces et donc probablement par les germes pathogènes. Par exemple eschérichia coli est un germe de contamination fécale. Sa présence dans l'eau de boisson laisse présager un risque: Celui de la présence de bactéries ou de virus pathogènes d'origine fécale.

Notre recherche microbiologique des eaux de boisson, porte essentiellement sur les indicateurs bactériens de pollution fécale ou germes test de contamination fécale, qui sont:

- les coliformes totaux

ils regroupent les coliformes banaux et les coliformes thermotolérants.

- coliformes thermotolérants

Un test négatif sur ces coliformes peut entraîner l'existence éventuelle de coliformes banaux.

Selon l'organisation mondiale de la santé, les coliformes thermotolérants regroupent tous les bacilles en forme de bâtonnet, aérobies et anaérobies facultatifs, gramm-négatifs, non sporogènes qui provoquent en moins de 48 heures, à 35-37°C, la fermentation du lactose avec production d'acide et de gaz. On les estime à 6 millions par gramme de fèces humains.

Les streptocoques fécaux

Ils désignent l'ensemble des streptocoques possédant la substance antigénique D de lancefield ; les streptocoques comprennent les entérocoques très résistants à un environnement hostile, et aussi les non entérocoques.

La recherche complémentaire des streptocoques fécaux permettra de connaître l'origine de la pollution humaine et animale. Un gramme de fèces humain renferme 3 millions streptocoques fécaux.

6 LES BACTERIES DANS LE SOL

La pollution des eaux souterraines par les micro-organismes à partir des systèmes d'assainissement autonomes (latrines, fosses septiques ...), implique une résistance pour la survie et des processus de migration dans le sol.

- L'adsorption: Il constitue le mécanisme le plus important de la rétention des bactéries et des virus dans le sol: les sols à particules très fines retiennent mieux les bactéries que les sols grossiers.

- La biodégradation: Les matières organiques, les nutriments inorganiques (nitrates, phosphore), permettent la formation d'un film biologique qui favorise la minéralisation des micro-organismes.

- La prédation: Les protozoaires et les métazoaires constituent les prédateurs des bactéries.

L'humidité, la température, le PH du sol et les rayons solaires, constituent les principaux facteurs influençant la survie des micro-organismes dans le sol.

DEUXIEME PARTIE:

ETUDE DE LA QUALITE DE LA NAPPE SOUTERRAINE.

1. INTRODUCTION

Les forages objets de cette recherche, sont ceux du centre de la ville de Ouagadougou.

Le choix a été fait sur la base de la carte d'inventaire établie par monsieur Hobah Rogoto dans le cadre de son mémoire d'études dont le thème est intitulé "Complément d'inventaire des forages et éléments de synthèse hydrogéologique de l'agglomération de Ouagadougou".

Sur le terrain, beaucoup de forages préalablement choisis étaient en panne. C'est alors que, dans le souci d'une meilleure représentativité de l'échantillon, le forage fonctionnel le plus proche a été retenu. Beaucoup d'entre eux ont été exécutés par des O.N.G ou des particuliers , et ne portent aucune référence.

Les puits sont ceux qui captent la nappe phréatique pérenne autour des barrages N°1, 2, 3. Les quartiers concernés ont relativement une forte concentration de populations ; ce sont: Paspanga, Dapoya, Kologhnaba, Ouidi, Tanghin, Saabin-barrage.

Tous les prélèvements ont été faits entre le 10 Avril et le 12 Mai 1997.

Les contraintes de temps, l'importance géographique de la zone d'étude, ne m'ont pas permis de faire une série de prélèvements sur le même site.

Les ouvrages choisis sont pour la plupart utilisés pour l'alimentation en eau de consommation des habitants: école, garderie, quartiers populaires...

Les postes d'eau autonomes ont été évités dans la mesure du possible, car le pompage dans le château remanie l'eau et peut entraîner une pollution qui n'est pas celle de la nappe souterraine.

2. EAUX DE LA NAPPE PROFONDE: Forages

Rappelons que dans le contexte hydrogéologique de la ville de Ouagadougou, les eaux de forages sont de façon générale, ceux des aquifères du socle fissuré.

2. 1. objet de l'étude

L'objet de l'étude est une meilleure connaissance de la qualité de la nappe souterraine à Ouagadougou, car la consommation d'eau potable n'est pas la seule préoccupation des collectivités rurales, mais aussi le souci du ouagavillois qui n'a pas facilement accès au réseau d'adduction de l'ONEA.

De plus dans le cadre des mesures d'urgence d'approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou, une centaine de forages à grands débits ont été exécutés pour pallier l'insuffisance des ressources en eau.

Le choix des analyses a porté sur une quarantaine de forages; la répartition a été uniforme, autant que possible.

Pour la localisation des forages se reporter à Annexe III.

2. 2. Paramètres d'analyses des eaux de la nappe souterraine

2. 2. 1. Paramètres physico-chimiques mesurés in situ

température:

Les mesures de température des échantillons d'eau prélevés ont été faites avec l'oxymètre. La température moyenne des eaux est de 31.6°C, avec un écart type de 1.2°C.

En cette période de l'année la température de l'air atmosphérique est bien supérieure à celle de l'eau ; ce qui suppose que l'eau souterraine non conservée subit une hausse de température.

Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit se situer entre 8° C et 15° C ; entre 20°C et 25° C, elle désaltère mal.

Les directives du conseil de la communauté européenne fixent à 12°C, le niveau guide de température de l'eau destinée à la consommation humaine et à 25° C la température à ne pas dépasser.

La réglementation française retient aussi 25° C comme maximum.

Mais l'OMS ne recommande aucune valeur ; la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé de l'homme. Son pouvoir désaltérant dépend des conditions de conservation au frais.

Cependant au niveau des forages, une température inférieure à 15°C favorise le développement des micro-organismes dans les tubages.

PH:

Le PH représente l'acidité de l'eau ; il est lié à la nature des terrains traversés. C'est l'un des paramètres importants de la qualité de l'eau.

Les mesures de PH ont été faites in situ. Le PH moyen est de 6.3 avec un écart type de 0.2. Les valeurs la plus faible et la plus forte sont respectivement, celles observées sur le forage du jardin d'enfants de la cité AN II et le forage SM9 à la limite Ouest de la cité SOCOGIB de Somgandé.

L'organisation mondiale de la santé ne fixe pas de valeur précise concernant l'eau destinée à la consommation humaine. Mais elle précise qu'un PH trop faible peut poser des problèmes de corrosion et un PH élevé peut entraîner des problèmes de goût , de consommation accrue de savon.

Les directives du conseil des communautés européennes précisent que l'eau ne doit pas être agressive et indique comme niveau guide: $6.5 \leq PH \leq 8.5$ avec une valeur maximale admissible de 9.5.

La réglementation française, quant à elle précise que le PH de l'eau potable doit être compris entre 6.5 et 9.

Au regard de toutes ces recommandations, nous pouvons dire que, la nappe souterraine a un PH acceptable.

Conductivité électrique:

La conductivité électrique nous permet d'estimer rapidement mais de manière très approximative la minéralisation globale de l'eau.

Les échantillons d'eau prélevés sur les 40 forages, supports de notre étude, présentent les caractéristiques suivantes:

Conductivité	nombre d'échantillons	Pourcentage(%)	Minéralisation
C < 100µS/cm	1	3	minéralisation très faible
100 µS/cm< C < 200µS/cm	20	51	minéralisation faible
200 µS/cm< C < 333µS/cm	14	36	minéralisation moyenne
333 µS/cm < C <666µC/cm	4	10	minéralisation moyenne à accentuée

TABLEAU 4 : Minéralisation de l'échantillon de forages.

La valeur la plus faible est celle du poste d'eau autonome de Kalgondin (château du 4 Août): 70µS/cm.

La plus forte valeur a été observée sur le forage du siège de l'office national des puits et forages: 490µS/cm.

La valeur moyenne est de 227µS/cm, avec un écart type de 92µS/cm.

Nous pouvons déduire au vue des deux analyses que la nappe profonde à une minéralisation faible à moyenne.

Les directives du conseil des communautés européennes relatives à la qualité des eaux de consommation humaine indiquent pour la conductivité un niveau guide de 400µs/cm à 20°c.

La réglementation française recommande des contrôles complémentaires dans le cas où la conductivité s'écarte de 400µS/cm à 20°C.

L'oxygène dissous:

L'oxygène dissous dans l'eau n'est pas un élément constitutif, sa solubilité dépend de la température, de la pression dans l'atmosphère et de la salinité.

Bien que dissous l'oxygène participe aux réactions d'oxydo-réduction et permet de maintenir plusieurs qualités de l'eau notamment, son goût et son degré d'asepsie.

Les mesures ont été faites avec l'oxymètre. Les forages équipés de château ont été évités dans la mesure du possible ; car le refoulement entraîne une aération de l'eau. Dans ces conditions les valeurs trouvées ne représenteront pas la situation effective de l'oxygène dissous de la nappe.

La valeur la plus forte est de 3.5mg/l (forage de l'école primaire publique du secteur 30) et la plus basse celle du forage du club de l'étrier Burkinabé dans le bois de Boulogne(1.0 mg/l). La valeur moyenne est de 1.8mg/l avec un écart-type de 0.6

Il n'y a pas de recommandation particulière sur la teneur en oxygène des eaux souterraines.

Seulement, il faut retenir que les valeurs trouvées sont suffisantes pour l'activité de la flore microbienne et au déroulement du cycle de l'azote.

2. 2 .2. Paramètres physico-chimiques analysés

2 .2. 2. 1 TAC, TH et DBO_5

Titre alcalimètrique complet: TAC

Le titre alcalimètrique complet mesure les alcalis libres, les carbonates, les hydrogénocarbonates, c'est à dire l'ensemble des fonctions basiques, fortes et faibles.

- $TAC = OH^- + CO_3^{2-} + HCO_3^-$

(OH^- ET HCO_3^-) sont incompatibles. Les échantillons analysés sont tels que: 4.5< PH <8.3, alors TA = 0. Cela revient à dire que les eaux ne contiennent pas de bases fortes, mais simplement des bases faibles.

$TAC. = [HCO_3^-]$

La plus forte valeur a été relevée sur le forage du jardin municipal, 275mg/l ; les plus faibles sur les forages du 4 Août de Kalgondin et de la grande mosquée de Gounghin nord: 40mg/l. la moyenne est de 88mg/l, l'écart-type est de 49mg/l.

Titre hydrotémétrique ou dureté totale: TH

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et représente la concentration de l'eau en calcium et en magnésium.

TH = TCa + TMg

	valeur minimale	valeur maximale	valeur moyenne	Ecart-type
TH (méq/l)	1.2	6.1	2.4	0.9
TCa (méq/l)	0.6	3.1	1.6	3.3
TMg (méq/l)	0	3.4	0.8	2.6

TABLEAU 5: Valeurs des duretés

On admettra qu'une eau ayant une teneur inférieure à 75mg/l de $CaCO_3$ ou 30mg/l de calcium est douce et qu'au dessus, il s'agit d'une eau dure. Dans le cas de notre étude, seuls les forages ci-dessous présentent une dureté supérieure à cette barre:

-Forage du jardin municipal :TCa=55mg/l.

- " du jardin Naba Koom:TCa=36mg/l
- " du jardin de l'amitié :TCa=37mg/l.

Il représente moins de 8% de l'effectif des forages étudiés.

Les nappes aquifères des terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux ont des duretés très faibles.

Dans le domaine de l'économie domestique, une dureté élevée contribue à l'accroissement de la consommation de savon ainsi que du temps de cuisson des légumes.

L'OMS ne recommande pas de valeur, pour l'eau destinée à la consommation humaine, mais indique qu'une dureté élevée peut provoquer la formation de dépôts tandis qu'une faible dureté peut engendrer des problèmes de corrosion.

Les directives du conseil des communautés européennes indiquent pour les eaux potables ayant subi un traitement d'adoucissement, une concentration minimale requise de 60mg/l de calcium.

La réglementation française exige 15°F ou 75méq/l.

La décomposition de la matière végétale enfouie dans le sol, peut entraîner la libération de grandes quantités d'anhydres carboniques qui provoquent dans les eaux souterraines par infiltration des eaux de pluie, la dissolution du calcium ; cela peut contribuer à des variations de la dureté.

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longleftrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

L'eau devient agressive vis à vis du calcaire, car la concentration en CO_2 libre devient supérieure à celle nécessaire pour l'équilibre.

Les trois forages ayant des fortes concentrations en calcium, se trouvent dans le centre de la ville, où existaient certainement des décharges publiques datant de très longtemps, dont la décomposition de la partie végétale a certainement entraîné l'augmentation de la dureté.

Les épidémiologistes ne s'accordent pas sur des conclusions formelles concernant l'influence des eaux douces dans la genèse des affections cardio-vasculaires et l'anatomie pathologique n'a pas confirmé l'action bénéfique des eaux dures. L'influence de la dureté de l'eau sur la mortalité infantile n'est pas non plus certaine.

Certains chercheurs pensent que les eaux dures peuvent limiter le transfert intestinal des ions métalliques toxiques (cadmium, cuivre, plomb, zinc) en même temps et contrairement aux eaux douces, elles évitent leur dissolution dans le milieu.

<u>DBO_5 : demande biologique en oxygène en cinq jours</u>

Par définition, c'est la quantité d'oxygène dissous dans l'eau exprimée en mg/l, utilisée pendant cinq jours pour la dégradation des charges organiques polluantes sous l'action des micro-organismes. C'est un phénomène, qui traduit une autoépuration naturelle des eaux.

La plus forte valeur est de 2.2mg/l constatée sur le forage du jardin du 8 Mars ; quant à la plus faible valeur, elle est enregistrée sur le forage du centre social de Tanghin. La valeur moyenne est de: 1.10mg/l avec un écart-type de0.7mg/l.

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas avoir une DBO_5 significative, bien qu'il n'existe pas de normes pour les eaux potables. Mais il est admis qu'une DBO_5 inférieure à 1mg/l d'oxygène peut être considérée

comme normale, entre 1 et 3 comme acceptable et au delà de 3 comme douteuse ou anormale. Seul le forage du jardin du 8 Mars a franchi cette barre.

La DBO_5 ne peut aucunement être considérée comme unique critère d'estimation de la qualité d'une eau, car dans les milieux suffisamment pollués, de faibles valeurs de DBO_5 peuvent être liées à la présence d'éléments toxiques inhibiteurs.

2. 2. 2. 2. Les composés azotés

L'azote est un élément chimique très répandu dans la nature, car constitue 78% de l'air atmosphérique, de plus il forme l'élément essentiel de la matière vivante. Il est indispensable à la vie de l'homme.

Dans l'eau, il se trouve en solution sous forme combinée: nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), azote ammoniacal (NH_3,NH_4^+) et l'azote organique.

Teneurs en nitrates:

La recherche de la teneur en nitrates vient en complément à l'analyse bactériologique, qui sera traitée plus loin.

Les excrétas humains et animaux renferment de nombreux composés azotés qui, en contact avec la flore microbienne du sol, font l'objet d'un processus de nitrification, qui les oxydent en nitrates

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacal, nitrites...) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par le même processus biologique.

Les principales sources de nitrates, dans les limites de la zone de recherche qui nous intéresse sont certainement, la décomposition des matières organiques , les effluents domestiques et les décharges publiques.

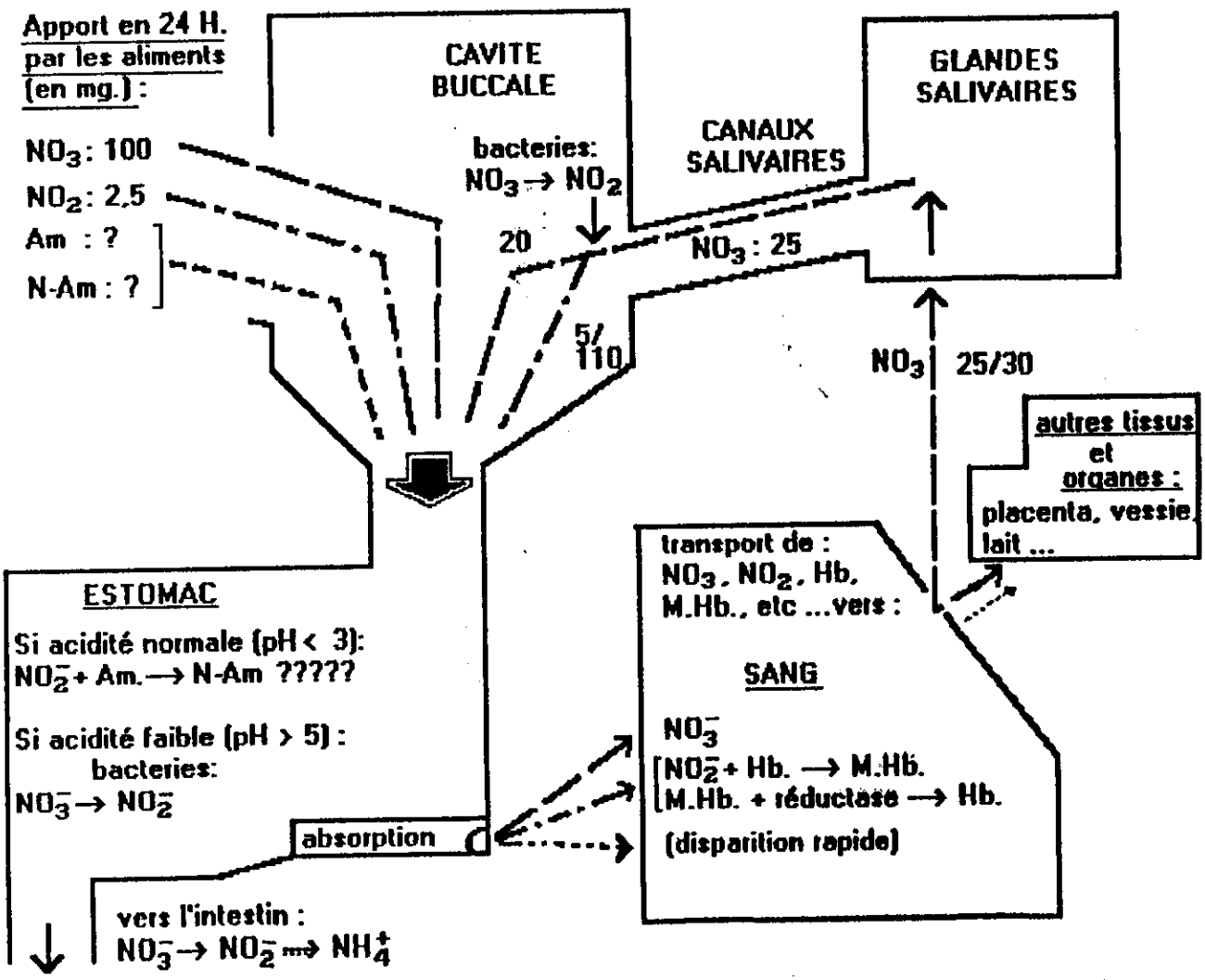
Les nitrates sont très solubles dans l'eau, leur pénétration dans le sol est lente, la vitesse de migration serait d'un centimètre par an: d'après (Levesque L. 1982: élimination des nitrates des eaux potables). Aussi, la teneur en nitrates dans les nappes souterraines est influencée par les variations des apports avec un retard correspondant au temps de transfert.

Les concentrations en nitrates dans les nappes sont d'autant plus élevées que celles-ci sont sensibles, peu protégées, influencées par l'urbanisation, les sites d'industrie, de l'agriculture ou de l'élevage intensif ; elles évoluent aussi avec la vitesse de circulation, de renouvellement des eaux dans les nappes.

L'OMS recommande pour les eaux de boisson humaine, une valeur limite de 50mg/l de nitrates et précise qu'il doit être tenu compte aussi de la consommation en nitrites de telle façon que la somme des rapports des

FIGURE: 2

Devenir des nitrates, nitrites et composés N-nitroso dans l'organisme.



NH_4^+	sels ammoniacaux
NO_3^-	nitrates
NO_2^-	nitrites
N-Am.	composé N-nitroso (nitrosamines, nitrosamides ...)
Am.	amines, amides ...

concentrations (nitrates et nitrites) par rapport à leurs valeurs guides respectives doit être inférieure à 1.

Les valeurs les plus fortes sont obtenues sur les forages du centre de la ville:

Jardin municipal:93mg/l; jardin de Naba Koom: 89mg/l

Jardin de l'amitié:72mg/l.

Les valeurs les plus faibles sont celles des forages des secteurs 13,14,27,28,29.

La valeur moyenne est de 12mg/l, l'écart type est de 22mg/l.

Les trois forages cités plus haut ont des concentrations en nitrates largement supérieures aux normes prescrites par l'OMS. La forte teneur en nitrates pouvant s'expliquer par la pollution élevée du centre ville ; décharges et effluents domestiques en décomposition. Comme les milieux sont oxygénés, cela signifie que la pollution est lointaine ou ancienne.

Sur le plan sanitaire, l'absorption excessive de nitrates constituerait un facteur goitrigène supplémentaire chez les sujets modérément carencés en iode. Une forte teneur en nitrates provoque chez le nourrisson, une maladie du nom de méthémoglobinemie ; Cette affection peut conduire à la mort par diminution ou suppression de l'oxygène dans les tissus.

Egalement, l'utilisation de l'eau riche en nitrates dans les élevages de poulets, de porcs et de veaux, aurait conduit à des mortalités importantes, par formation de méthémoglobine.

Nitrites:

Les nitrites proviennent de l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal sous l'action des bactéries nitreuses du type nitrosoma, soit de la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes.

En l'absence de pollution, il n'y a pas ou très peu de nitrites dans les eaux. Au delà d'une teneur d'un milligramme par litre la pollution est sensible.

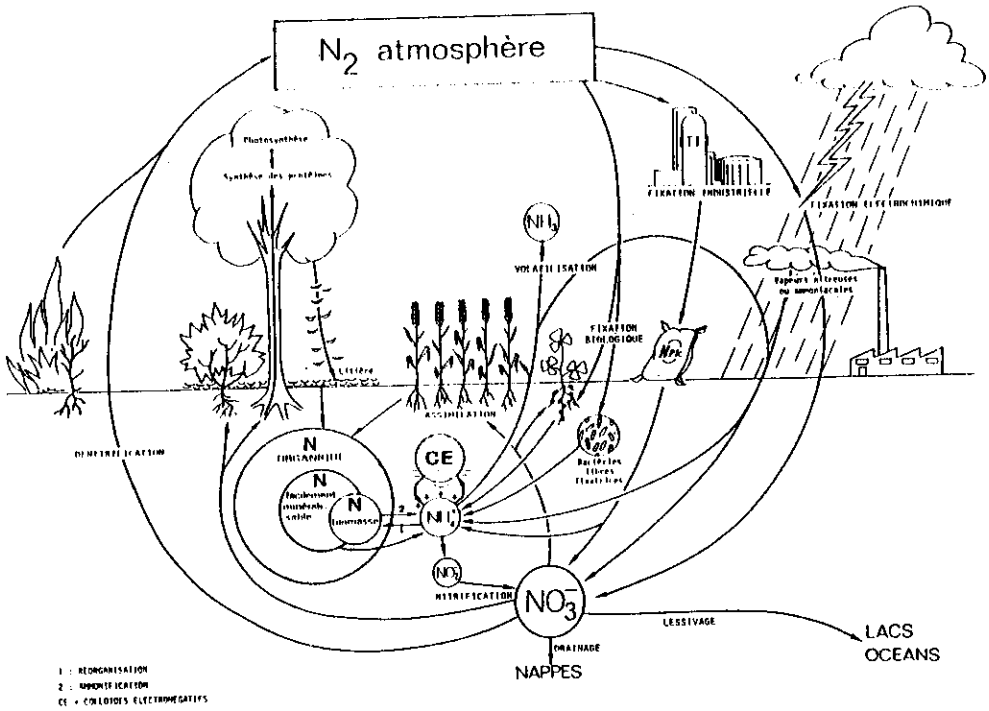
Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte, car on y associe souvent une détérioration de la qualité microbiologique. Mais, les eaux en contact avec certains terrains peuvent contenir des nitrites indépendamment de toute forme de souillure.

On trouve aussi quelquefois des nitrites dans les eaux pauvres en oxygène sans rapport avec la pollution microbienne.

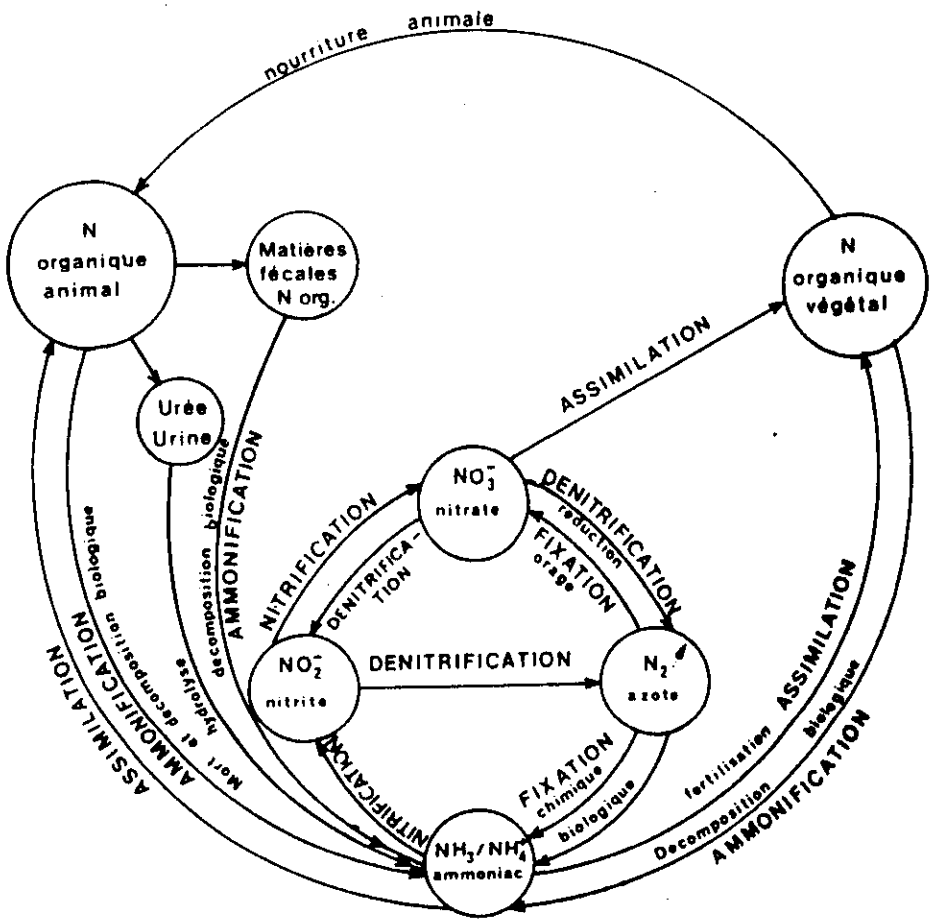
Normes:

L'organisation mondiale de la santé recommande une valeur guide provisoire de 3mg/l de NO_2^- et précise qu'il doit être tenu compte également de

Figure: 3 Le cycle de l'azote



A



B

la concentration en nitrates de telle sorte que la somme des rapports des concentrations (nitrates et nitrites), par rapport à leurs valeurs guides respectives doit être inférieure à 1.

Tous les forages étudiés ont une teneur en nitrites inférieure à la norme OMS et 38% d'entre eux ont des eaux pures en nitrites.

La valeur la plus élevée est de 0.44mg/l: forage HTN33 en bordure du barrage N°2. La valeur moyenne est de 0.06mg/l avec un écart-type de 0.1mg/l.

En médecine, en raison de leur pouvoir oxydant, la toxicité des nitrites est significative: action méthémoglobinisante comparative celle des nitrates.

L'ammoniac:

L'ammoniac contenu dans les eaux naturelles provient de la biodégradation de l'azote organique (protéines, acides aminés, urées..)

Une teneur élevée en azote ammoniacal dans les eaux de consommation traduit une pollution récente, car il est graduellement oxydé en nitrites et en nitrates. L'homme élimine 15 à 20 grammes d'urée par jour.

Normes:

Pour l'eau de boisson humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une géne pour le consommateur (goût, odeur) ; l'organisation mondiale de la santé recommande comme valeur limite pour l'ammoniac, 1.5mg/l.

Seuls les forages du jardin municipal et de la place Naba Koom ont des concentrations en ammonium supérieures aux normes de l'OMS fixées à 3mg/l.

Près de la moitié des eaux ont des teneurs nulles. La valeur moyenne est de 0.19 mg/l et un écart type de 0.7mg/l.

L'azote Kjeldahl

Il ne représente pas toutes les formes azotées contenues dans l'eau, mais seulement l'ensemble de ses formes réduites organiques et ammoniacales.

L'azote Kjeldahl est un indicateur de pollution du milieu et son contrôle permet de suivre l'évolution des contaminations.

Il provient des excréments humains et d'animaux; Pour un homme adulte ayant un régime équilibré, la quantité d'azote éliminé en 24 heures est de l'ordre de 10 à 20 grammes par jour dont 80% d'azote

Normes:

Les directives du conseil des communautés européennes indiquent comme teneur de l'azote Kjeldahl dans l'eau destinée à la consommation humaine une concentration maximale admissible de 1 mg/l.

La valeur la plus forte est de 19.7 mg/l, observée sur le forage du jardin d'enfants du secteur 7. Seuls les 10% des échantillons étudiés ont une teneur en deçà de la norme.

Au vue des résultats concernant l'azote ammoniacal, nous pouvons dire que 90% de nos échantillons ont des concentrations en azote organique élevées, ceci peut s'expliquer par la pollution provenant d'une foule de produits organiques azotés: décomposition de végétaux, des animaux ou de leur métabolisme (acides aminés, protéines, urée...)

La valeur moyenne est de 5mg/l avec un écart-type de 4mg/l.

3. Analyse microbiologique

3. 1. Généralités

La qualité bactériologique de l'eau de boisson conditionne l'état sanitaire de la population qui la consomme.

Les eaux de puits ou de forages suivant le contexte hydrogéologique et l'assainissement individuel ou collectif peuvent faire l'objet de pollutions diverses.

Cet état de pollution est, bien sûr maximal en saison pluvieuse soit par:

- contamination directe avec l'infiltration des eaux de ruissellement ;
- contamination indirecte par affaiblissement du système auto-épuration du sol suite à une remontée de la nappe.

La méthode d'analyse utilisée est la filtration sur membrane ; mise en culture et comptage dans les délais indiqués dans le protocole ; voir l'annexe II-3.

Les résultats de nos analyses concernent un seul et unique prélèvement effectué sur chacun des quarante forages.

3. 2. Echantillons d'eau de forage ne renfermant aucun indicateur de pollution.

On a dénombré 25 forages, soit 63% de l'effectif étudié, qui ne comportent aucun indice de pollution fécale.

Du fait de la présence des nitrates dans les eaux, la pollution peut être naturelle ou anthropique ; la prise en compte de ce paramètre dans l'analyse microbiologique est difficile.

Nous pouvons dire que dans le cas de ces forages, les concentrations de nitrates relevées sans présence d'indicateurs de contamination fécale, traduit une pollution minérale. D'autre part les teneurs en nitrites et en ammonium sont acceptées internationalement.

C'est le cas de la plupart des forages du centre de la ville, où il existait des anciens entrepôts d'ordures de toutes sortes, abandonnés sous la poussée de l'urbanisation galopante.

Pour la plupart, on note une teneur en azote organique supérieure aux valeurs indiquées par les normes de l'organisation mondiale de la santé.

3. 3. Echantillons d'eau de forages ayant un nombre de streptocoques fécaux supérieur aux coliformes thermotolérants.

Quatre forages sont dans cette situation:

- Ks_1: square Yennega; Ds_1: propriété du musée national.
- C_1: école Zida; Ds_2: forage dans la réserve publique de Dassasgo.

Les sites de ces forages se trouvent dans de vastes domaines publics, où il existait auparavant une forte concentration de populations déguerpies suite aux vastes programmes de lotissement des années 1985.

Ceci renforce l'hypothèse d'une pollution ancienne: latrines ou cimetières...

Les concentrations en nitrates et en nitrites répondent aux normes de l'OMS. Par ailleurs une approche de l'organisation mondiale de la santé permet d'évaluer l'origine de la pollution connaissant les concentrations en coliformes fécaux et streptocoques fécaux.

- $1 < CF/SF < 3$ la pollution est d'origine humaine.
- $0.7 < CF/SF < 1$: la pollution est d'origine animale.

Aucun de nos résultats ne permet de faire cette approche.

3. 4. Echantillons d'eau contenant des coliformes, mais pas de streptocoques fécaux.

On dénombre huit sites ; ces forages ont été l'objet d'une pollution récente: opérations d'entretien des forages, pénétration accidentelle d'eau à travers le massif filtrant...

4. EAUX DE LA NAPPE SUPERFICELLE

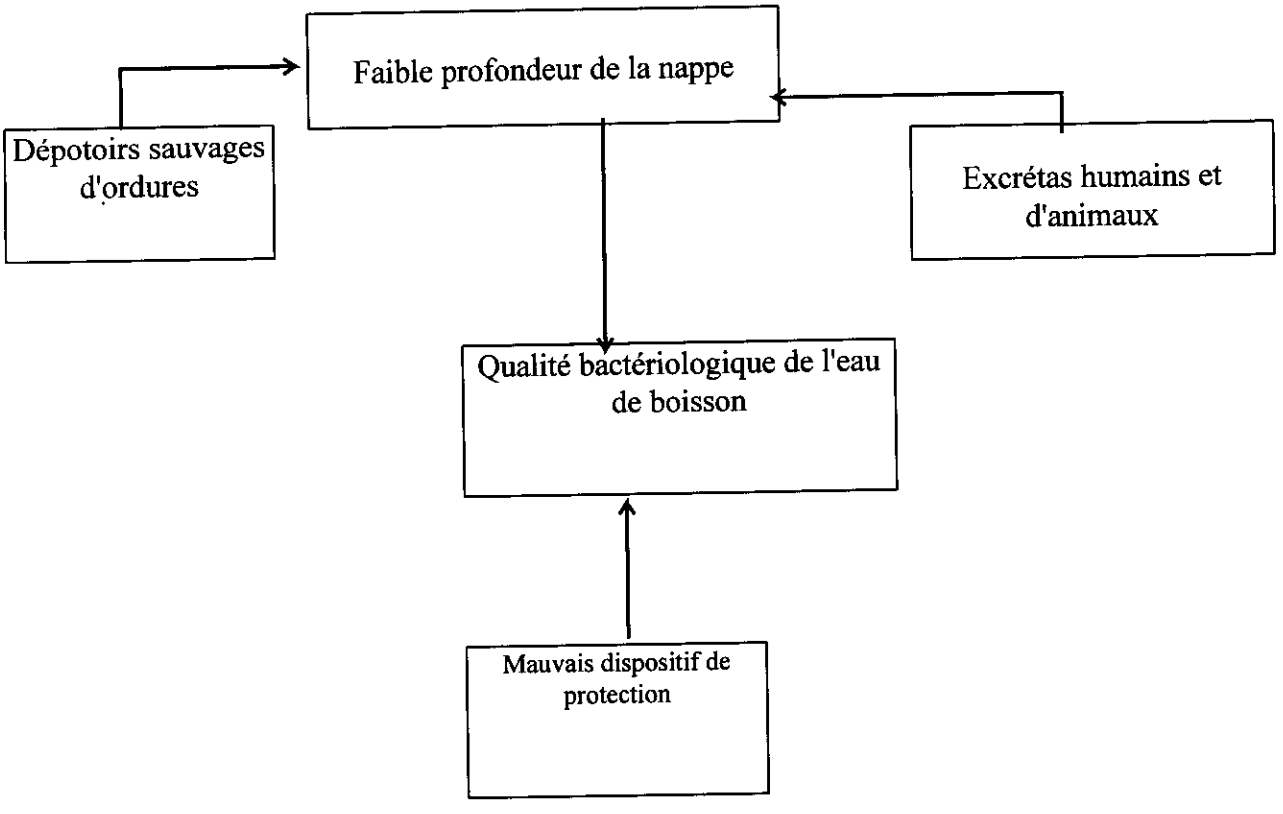


FIGURE 3: **Schéma de contamination de la nappe phréatique .**

source : Bulletin N°15 du CREPA.

L'analyse des eaux de la nappe superficielle se résume dans notre étude faite en saison sèche, aux ouvrages suivants:

- puits des quartiers riverains des trois barrages (Kologhnaba, Ouidi, Dapoya, Nemnin, Paspanga, Somgandé, Ouayalghin, Tanghin).
- deux puits toujours pérennes des quartiers Dassasgo et Kalgondin. Ces puits captent la nappe des altérites superficielles et des alluvions.

Sur les dix puits, support de notre recherche , huit sont utilisés pour l'eau de consommation humaine, malgré la présence en certains endroits d'adduction d'eau potable.

4. 1. paramètres physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques mesurées in situ, sont similaires à celles de la nappe profonde.

Les puits DY_3 à côté du Souka Park présente une importante minéralisation: 731µS/cm; il n'est pas utilisé pour l'alimentation en eau potable des habitants.

TAC, TH, DBO_5:

TAC:

Les échantillons étudiés ont un PH compris entre 4.5 et 8.3 ; ce qui entraîne que le TA = 0.

La valeur moyenne est de 78 mg/l, avec un écart-type de 75 mg/l.

La valeur médiane s'approche de celle trouvée dans l'analyse des nappes profondes.

TH:

La moyenne est de 14.4 mg/l. Ce qui coïncide avec la valeur trouvée sur la nappe profonde. L'écart-type est plus important: 12.2 mg/l.

TCa:

Moyenne: 5 mg/l ; écart-type: 4 mg/l

TMg:

Moyenne: 9 mg/l ; écart - type: 8 mg/l

On peut déduire de l'analyse des résultats, que de façon générale, la nappe phréatique étudiée a une dureté acceptable, au regard des normes universelles de l'organisation mondiale de la santé.

DBO_5:

La moyenne est de 0.80 mg/l ; écart - type: 0.3 mg/l.

La valeur moyenne est inférieure à 1 mg/l et toutes les valeurs sont inférieures à 1.5mg/l.

On peut dire que la nappe a une demande biologique en oxygène normale.

Composés azotés

Teneurs en nitrates:

Par rapport à notre échantillon de puits, 30% présentent une concentration en nitrates supérieure aux normes.

La valeur moyenne est de 48 mg/l, avec un écart-type de 62 mg/l.

On a observé que la distance réglementaire de 15 mètres entre le puits et les latrines n'est pas respectée dans la plupart des concessions. Néanmoins, on n'observe pas de pollution fécale dans l'ensemble.

La pollution en nitrates doit avoir une origine minérale ou biologique.

Teneur en nitrites et ammonium:

Les concentrations en nitrites et en ammonium sont toutes en deçà des normes prescrites.

Les moyennes sont respectivement de 0.15 mg/l et de 0.3 mg/l, le écart-type est de 0.3mg/l.

Azote Djedahl:

La teneur moyenne est de 4 mg/l avec un écart-type de 2 mg/l. Cette valeur dépasse les normes internationales recommandées. Cela peut s'expliquer par les diverses pollutions organiques que les puits reçoivent directement: terre végétale...

4. 2. Analyse microbiologique

Aucun des échantillons ne contient des streptocoques fécaux.

Sur le plan bactériologique, 60% des puits sont purs ; 30% contiennent des coliformes thermotolérants.

La pollution est récente et pourrait s'expliquer par les situations suivantes:

- margelle mal entretenue ou inexistante.
- mauvaise protection des puits ; pas de couvercle: l'eau reçoit directement les corps étrangers que le vent entraîne.
- matériels d'exhaure mal entretenus : puisette et corde traînent parfois dans la poussière.
- contamination par les infrastructures d'assainissement...

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.

A l'issue de cette brève recherche sur la qualité de la nappe souterraine de Ouagadougou, nous pouvons dire que les eaux des aquifères présentent des caractéristiques physico-chimiques acceptables dans la grande majorité.

Les teneurs en nitrates de certains forages du centre commercial sont importantes ; cette situation si elle se confirme demande un suivi et la prise de disposition pour que les ouvrages indexés ne soient pas utilisés pour l'approvisionnement en eau de boisson.

La moitié des forages présentent une contamination bactériologique certaine ; aussi faudra-t-il suivre l'état sanitaire des consommateurs et envisager systématiquement la désinfection des forages par de l'hypochlorite de calcium à effet retard.

D'une manière générale, on remarque que les abords des forages publics sont insalubres: flaques d'eau stagnante, détritus de tout genre. Les bénéficiaires à travers leur comité de gestion devrait être sensibilisés à leur entretien et à leur protection.

D'emblée le contexte général des données hydrogéologiques de la ville de Ouagadougou autorise peu une pollution de la nappe profonde par les latrines et les puisards. Des recherches doivent être menées pour mieux circonscrire les sources de contamination microbienne des forages.

En cette fin de saison sèche, la distance entre le toit de nappe phréatique et le fond des latrines ou des puisards est suffisante pour éviter une contamination fécale.

Les pollutions enregistrées au niveau des puits sont accidentelles ; cela fait observer la nécessité de mieux les protéger.

Nous recommandons une recherche sur la qualité bactériologique des eaux de boisson dans les étapes intermédiaires avant la consommation: transfert et conservation. L'analyse de ces résultats, permettra de mener une sensibilisation bien ciblée sur la conservation des eaux de consommation humaine.

Il faut promouvoir la recherche de désinfectants à base de produits locaux financièrement à la portée des populations

La nappe souterraine de Ouagadougou, bien que contenu dans des aquifères d'assez bonnes qualités physico-chimiques, est influencée en certains endroits par la pollution anthropique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1	JEAN RODIER	L'analyse de l'eau ; Dunod 1996
2	BABA MOUSSA	Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrine en Afrique subtropicale.
3	HOBAH ROGOTO	Complément d'inventaire des forages et éléments de synthèse hydrogéologique de l'agglomération de Ouagadougou, CIEH, BRGM 1993.
4	OMS	Directives de la qualité pour l'eau de boisson, VOL.1 recommandations.
5	BRGM	Approvisionnement en eau potable des quartiers périphériques de Ouagadougou. Etude de faisabilité,1993.
6	JEAN RENE GUILLERET	Travaux pratiques d'analyses physico-chimiques des eaux. EIER 1996
7	CREPA.	Bulletin N°15, Janv à Mars 1997.
8	Ministère de l'eau	Plan stratégique d'assainissement de la ville de Ouagadougou.
9	JEAN RENE Guilleret	Cours de traitement des eaux EIER 1995/1996.
12	Monique Tardat Henry	Chimie des eaux. Le griffon d'argile INC

13	MINISTERE DE L'AGRICULTURE	L'élimination des nitrates des eaux de boisson
14	JEAN RENE GUILLERET	Cours de microbiologie des eaux EIER 1994/1995.
15	KOKOU DENYIGBA	Cahier de travaux pratiques de microbiologie. Tome 1 EIER 1996/1997.

GLOSSAIRES

ADSOPTION	Fixation superficielle de certains éléments par les particules du sol
ALLUVIONS	Matériaux graveleux déposés par sédimentation par les cours d'eau.
ANOXIE	Diminution ou suppression de l'oxygène dans les tissus.
AMPHIBOLITES	Roche sombre renfermant du fer, du magnésium et du calcium.
AQUIFERES	Réservoir pouvant contenir une ressource d'eau souterraine.
ASEPSIE	Méthode préventive empêchant l'introduction de microbes dans l'organisme.
BACTERIES	Micro-organismes unicellulaires qui se reproduisent par simple division.
BIODEGRADATION	Action biochimique des micro-organismes (bactéries surtout) conduisant à la formation de la pollution organique en composés inorganiques.
BRGM	Bureau d'études et de recherches minières.
CALCAIRE	Groupe de roches très répandues, formées essentiellement de carbonate de calcium.
COLONIE (bactéries)	Ensemble des cellules identiques issues d'une cellule unique qui s'est multipliée par simple division
CRISTALLINES (ROCHES)	Roches métamorphiques ou éruptives qui se sont transformées par cristallisation.
EAU SOUTERRAINE	Ensemble des eaux saturant les pores, les fissures ou

	les chenaux d'un sol (aquifère).
EXCREMENTS	Matières solides ou fluides évacuées du corps de l'homme par les voies naturelles.
EXCRETA	Ensemble des matières fécales et les urines.
EIER	Ecole inter-états d'ingénieurs de l'équipement rural.
FACIES	Ensemble des caractères du sol qui renseignent sur son origine.
GASTRO-ENTERITE	inflammation simultanée de l'estomac et de l'intestin grêle.
GNEISS	Roche métamorphique composée de quartz, de feldpath et de mica.
GRANITE	Roche magmatique composée de quartz, de feldpath, et de mica noir
HELMINTHES	Vers parasitaires pluricellullaires notamment les vers ronds, les vers plats segmentés et les vers plats non segmentés.
LITHOLOGIE	Nature des roches contenues dans une formation géologique.
METABOLISME	Ensemble des transformations subies dans un organisme vivant par les substances qu'il absorbe.
METAMORPHIQUE	Ensemble des roches provenant de la transformation de roches sédimentaires, à l'état solide sous l'action de la température et de la pression.
MICROFLORE	Ensemble des micro-organismes animaux et végétaux vivant dans un milieu considéré.
MIGMATITES	Roches métamorphiques, formées d'un mélange sombre et claire.
NAPPE CAPTIVE	Nappe limitée supérieurement par une couche imperméable ; la libération se fait par jaillissement.

NAPPE LIBRE	Nappe dont la partie libre se trouve dans l'aquifère. La libération est provoquée par l'action de la gravité.
NAPPE PHREATIQUE	Première nappe libre généralement exploitée par les puits traditionnels.
ONEA	Office national de l'eau et de l'assainissement.
OUAGALAIS	Qui est de la ville de Ouagadougou.
OUAGAVILLOIS	Habitant de la ville de Ouagadougou.
PEGMATITE	Roche de structure et de texture minérales grossières.
PISSY	Quartier de Ouaga.
Prédateur	Organismes qui se nourrissent des autres organismes.
PROTOZOAIRES	Micro-organismes unicellulaires du règne des eucaryotes se multipliant par mitose ou par reproduction sexuée.
SOCLE	Plate-forme, soubassement.
SUBSTRATUM	Elément sur lequel se repose une couche géolgique.
µm	Micron. Unité de mesure de longueur: 10^{-6}m.

ANNEXES

ANNEXE I

ANNEXE I - 1 : OCCUPATION TERRITOIRE URBAIN.

ANNEXE I - 2 : EPAISSEURS DES ALTÉRATIONS SATURÉES.

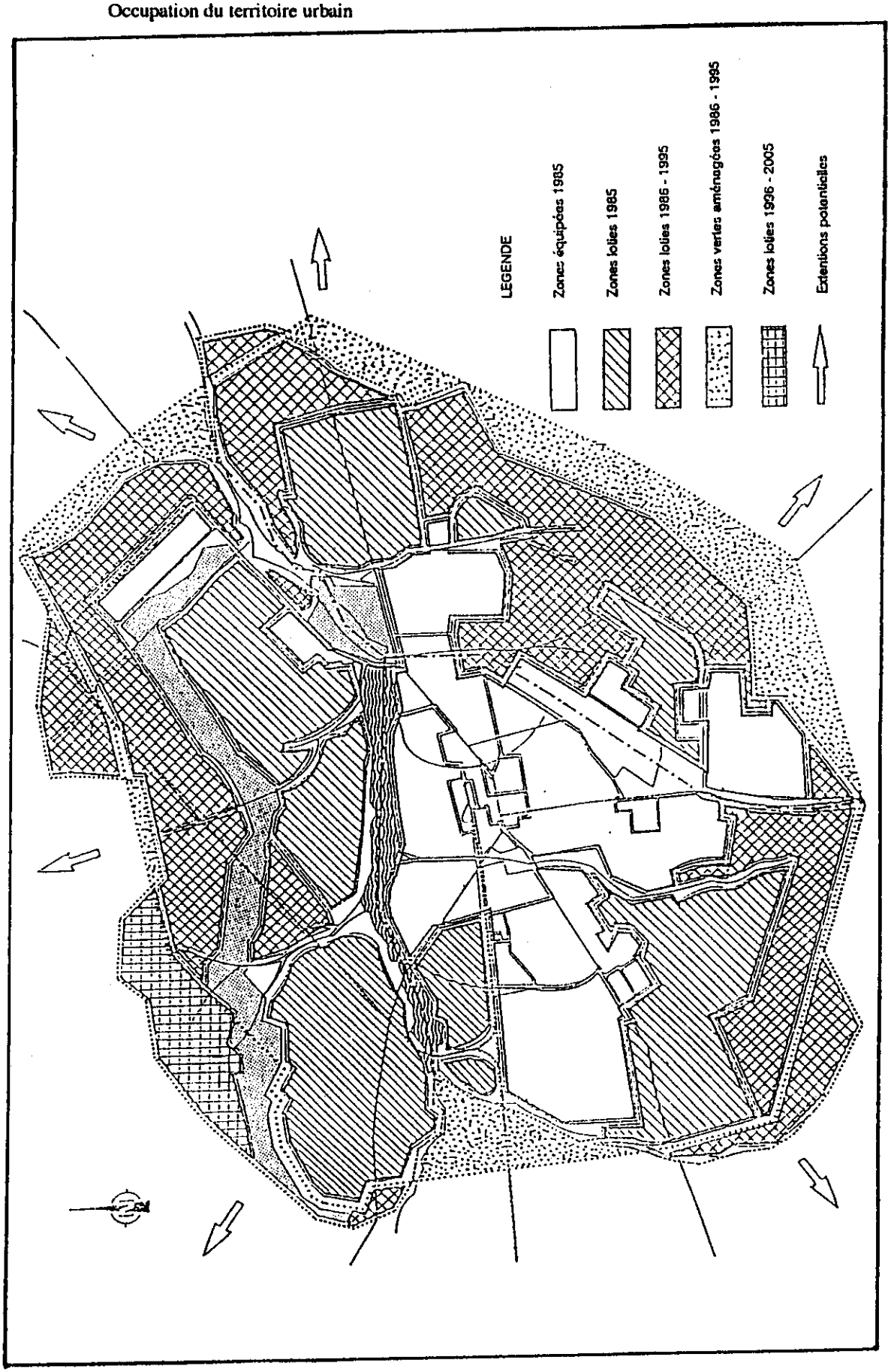
ANNEXE I - 3 : PROFONDEUR DU TOIT DU SOCLE.

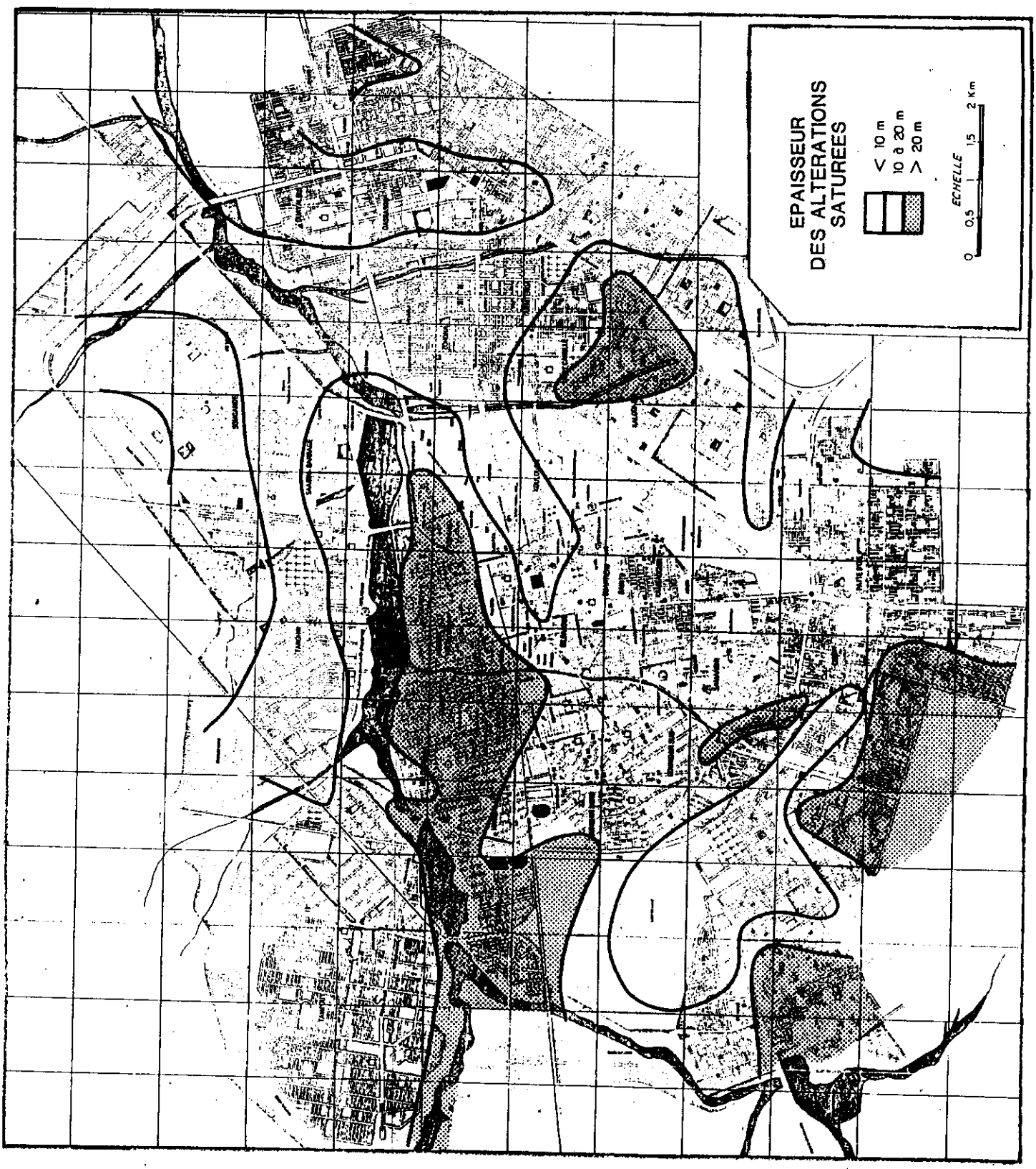
ANNEXE I - 4 : PROFONDEUR DU NIVEAU STATIQUE SOUS LE SOL.

ANNEXE I - 5 : CARTE PIÉZOMÉTRIQUE SCHÉMATIQUE.

ANNEXE I - 6 : OBSERVATION PIÉZOMÉTRIQUE.

Occupation du territoire urbain

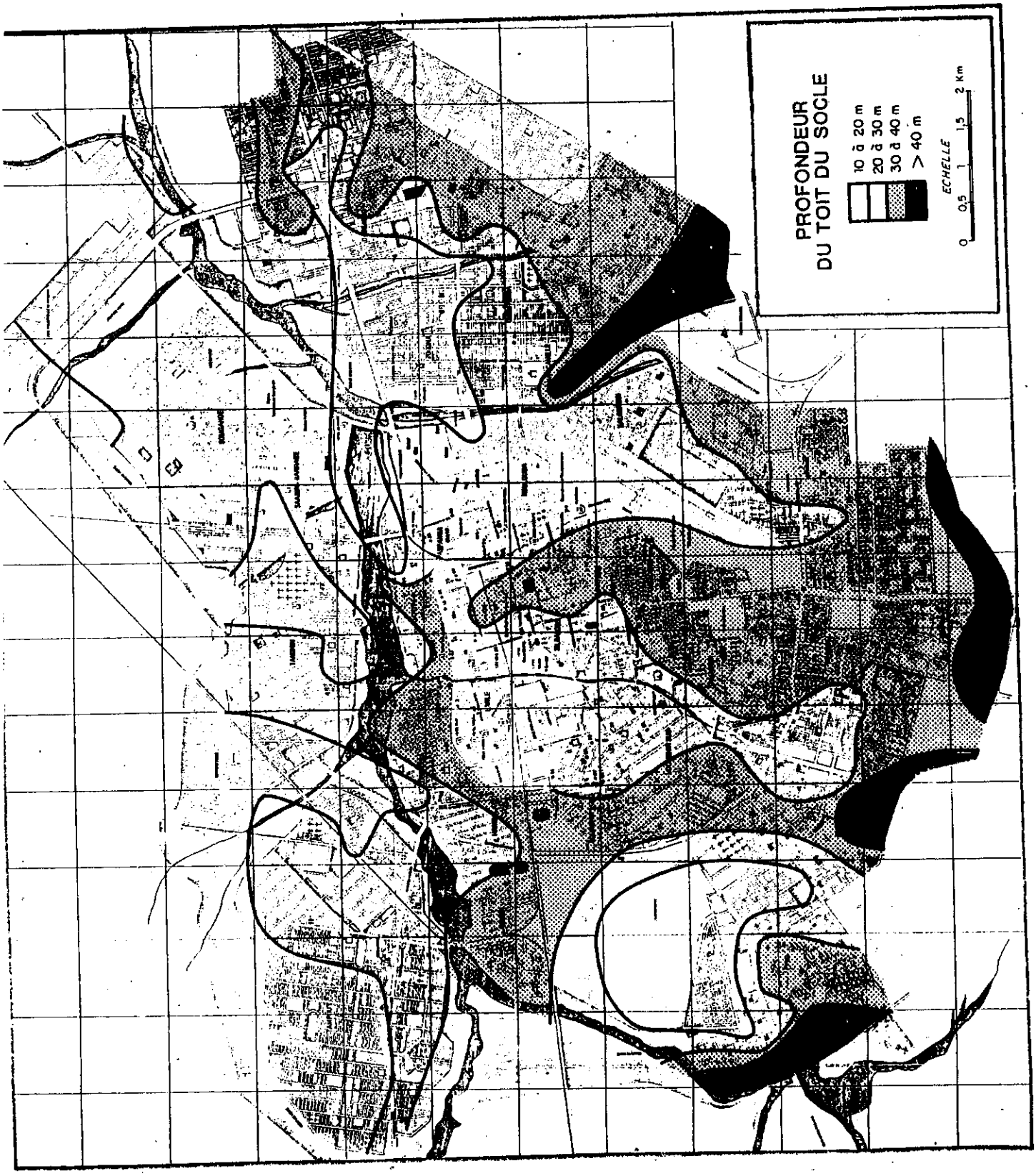




source:

Rapport BRGM R 36838 4S/INT/93

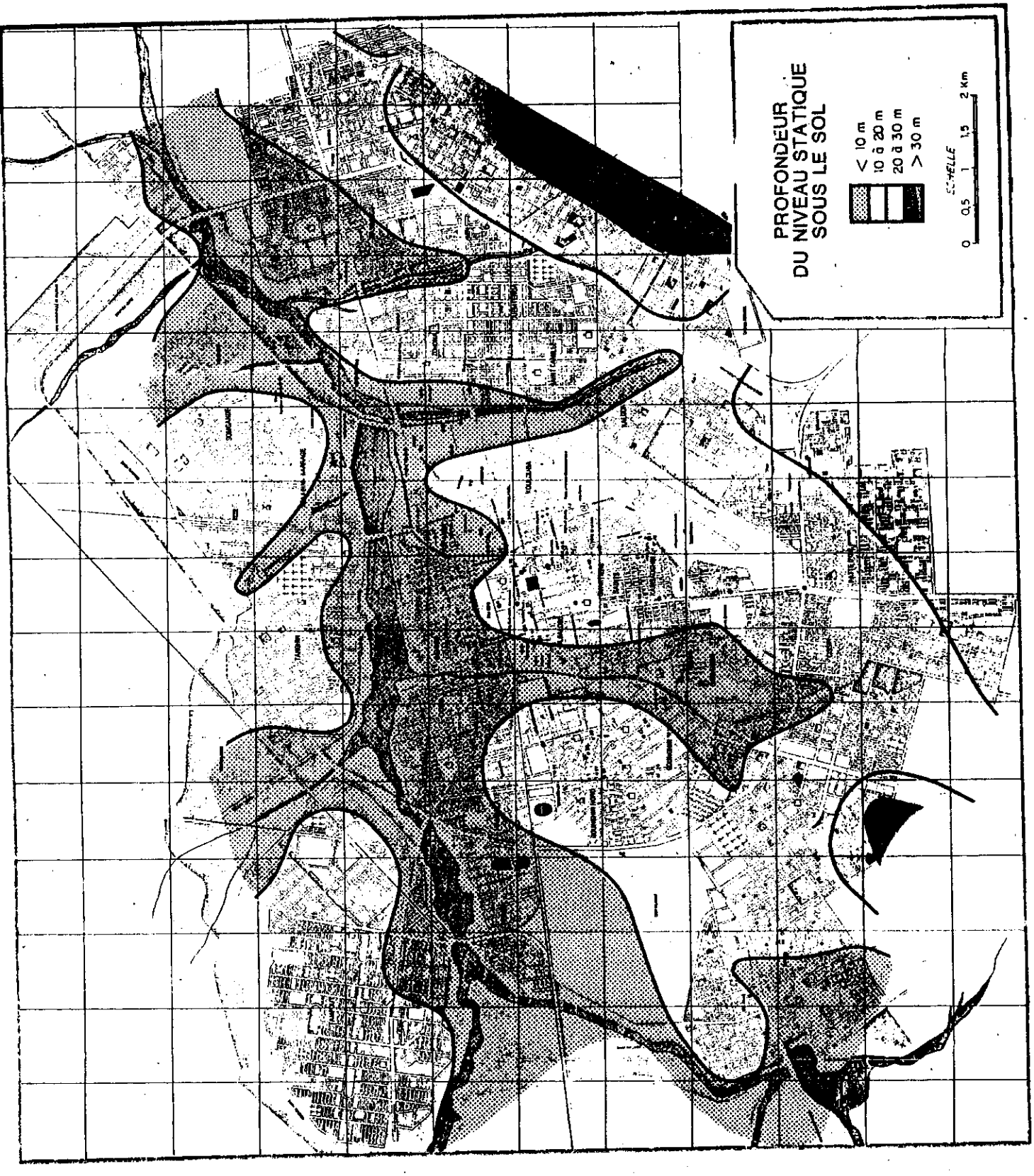
ANNEXE 1 - 3



source:

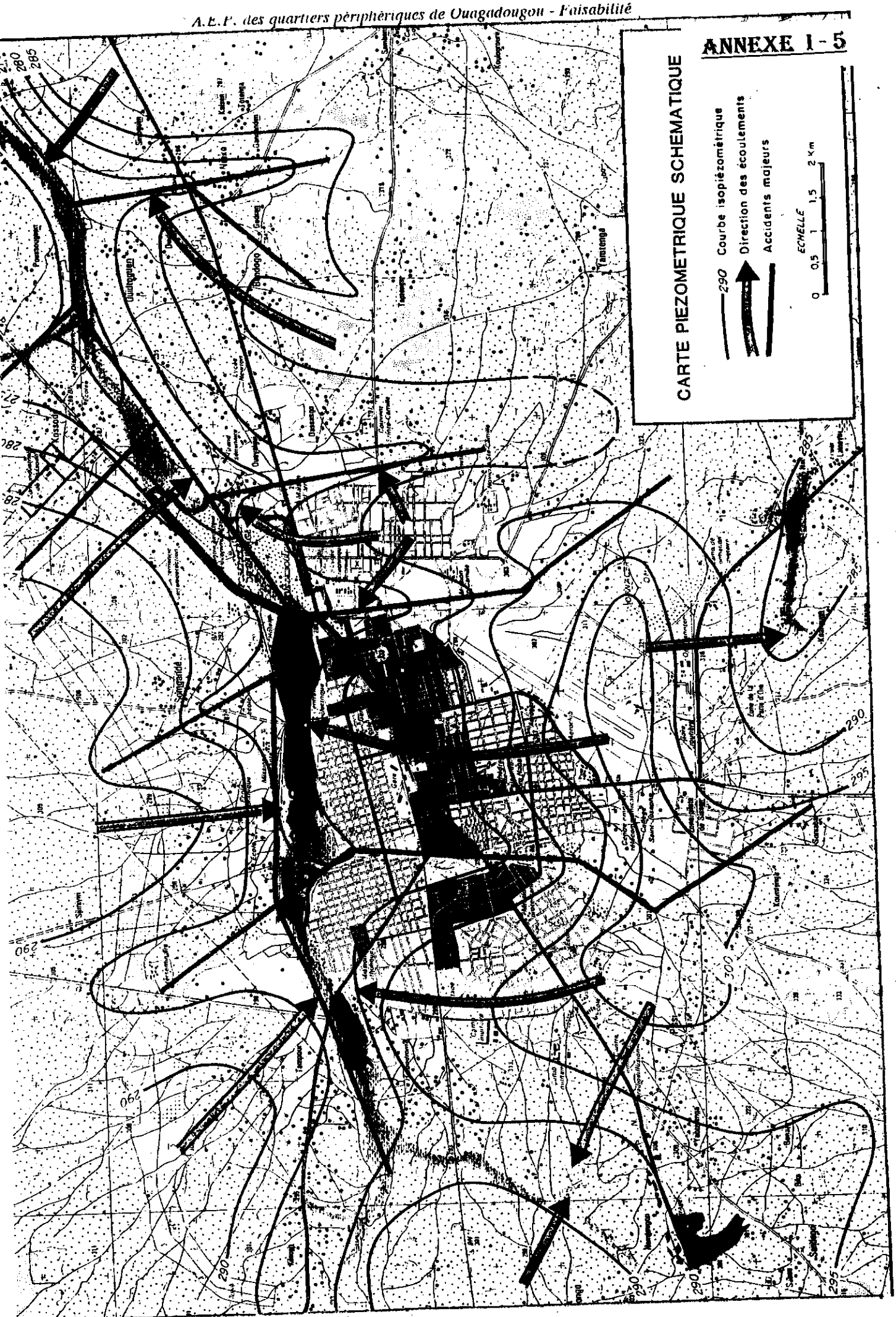
Rapport BRGM R 36838 4S/INT/93

ANNEXE I - 4

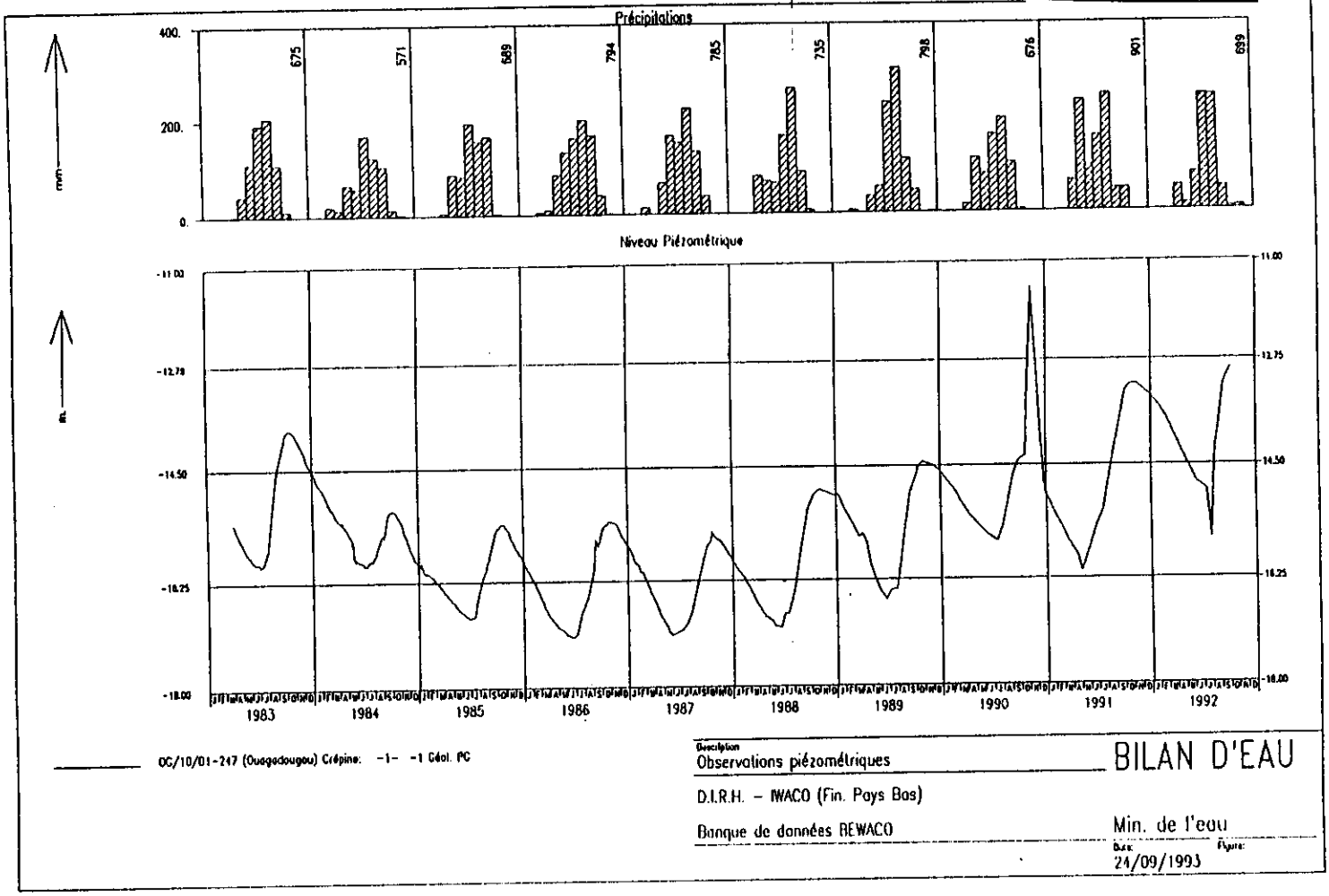


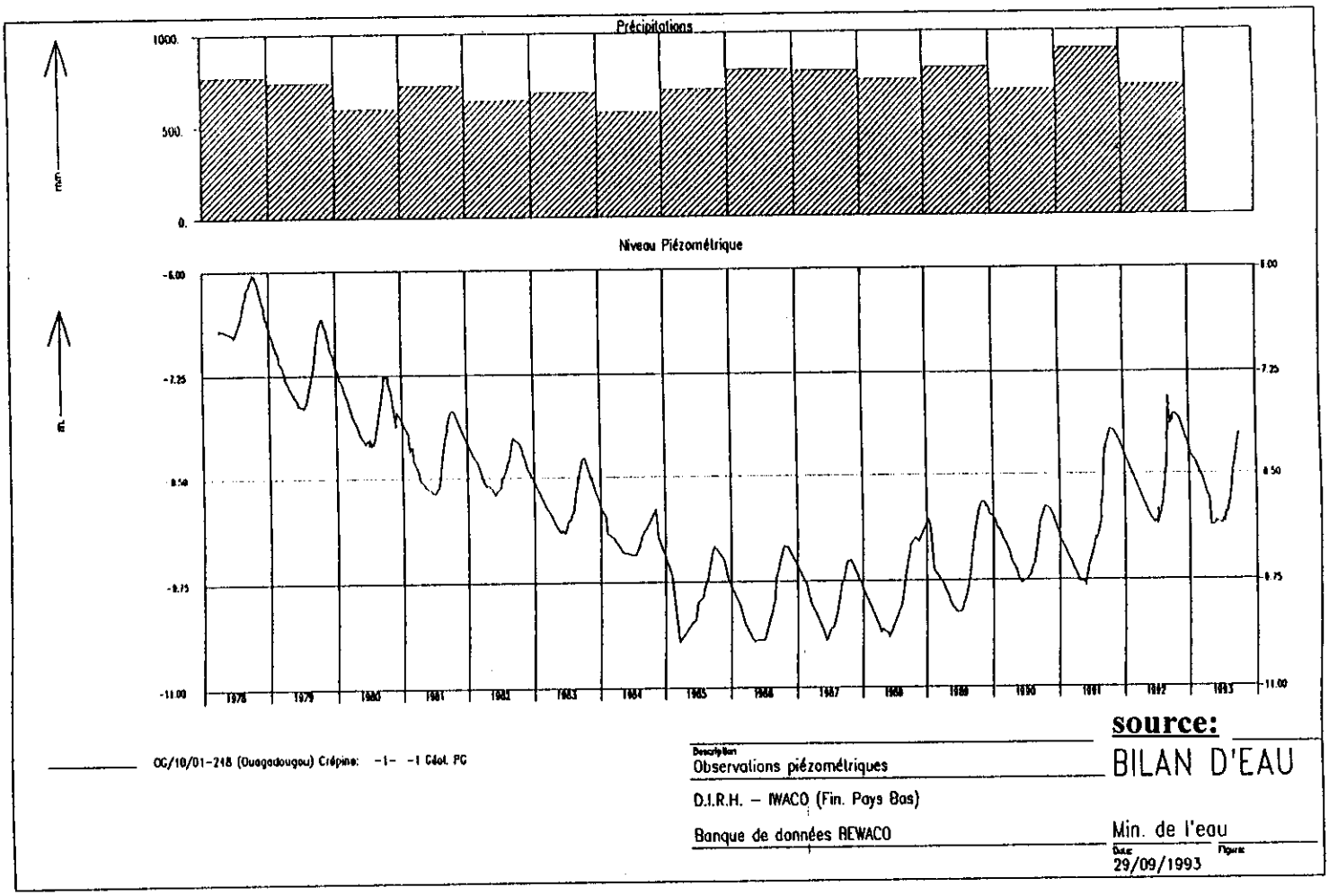
source:

Rapport BRGM R 36838 4S/INT/93



Source: Rapport BRGM R 36838 4S/INT/93


Précipitations
400.
200.
0.
mm
675
571
689
794
785
735
798
676
901
659
Niveau Piézométrique
m
-11.00
-12.75
-14.50
-16.25
-18.00
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
OC/10/01-247 (Ouagadougou) Crépine: -1- -1 Géol. PC
Description
Observations piézométriques
BILAN D'EAU
D.I.R.H. – IWACO (Fin. Pays Bas)
Banque de données REWACO
Min. de l'eau
Date
24/09/1993
Figure


Précipitations
1000.
500.
0.
mm
Niveau Piézométrique
m
-6.00
-7.25
-8.50
-9.75
-11.00
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
source:
OC/10/01-248 (Ouagadougou) Crépine: -1- -1 Géol. PC
Description
Observations piézométriques
BILAN D'EAU
D.I.R.H. – IWACO (Fin. Pays Bas)
Banque de données REWACO
Min. de l'eau
Date
29/09/1993
Figure

ANNEXE II :

RESUME DES TRAVAUX PRATIQUES:

ANNEXE II - 1: DURETÉ.

ANNEXE II - 2: COMPOSÉS AZOTÉS

ANNEXE II - 3: MÉTHODE D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE.

1. 1 TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET: TAC

1. 1. 1 Principe:

Le principe de la mesure s'appuie sur la neutralisation des fonctions basiques de l'eau prélevée par un acide minéral dilué: acide sulfurique 0.02 N.

Le point équivalent est détecté grâce à un indicateur coloré ; l'indicateur mixte solution alcoolique.

Equation de neutralisation: $HCO_3^- + H^+ \longrightarrow H_2CO_3$

$4.5 < PH < 8.3$ TA=0 ; Le dosage concerne uniquement le TAC.

1. 1. 2 mode opératoire:

- Mettre 100 ml de l'échantillon d'eau dans un erlen ; y ajouter quelques gouttes d'indicateur mixte, on obtient une solution de coloration bleue.
- Introduire le barreau aimanté et actionner l'agitateur magnétique.
- Ajouter à l'aide de la butte électrique, de l'acide sulfurique 0.02N.

Au point de neutralisation, l'échantillon vire au rouge et on note le volume de l'acide.

1. 1. 3 Expression des résultats:

soient:

- Na: la normalité de l'acide sulfurique = 0.02
- Va: le volume de l'acide utilisé = Va
- Nb: la normalité recherchée
- Vb: le volume de la prise d'eau = 100 ml

$Nb = Na \times Va/Vb$ et $TAC = 0.02 \times Va/100$

En méq:

$TAC\ (méq) = 1000 \times TAC$ (normalité)

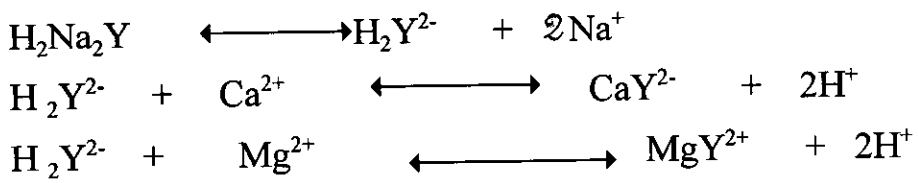
$TAC\ (°F) = 5 \times TAC\ (méq)$

1. 2 TITRE HYDROTIMETRIQUE: TH

Les éléments qui forment la dureté de l'eau sont essentiellement, le calcium et le magnésium. TH = TCa = TMg

1. 2. 1 Principe:

Le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique NAH_2Yforme à un PH donné, des complexes stables:CY^{2-} et Mg^{2-}.



$$H_2Na_2Y \longleftrightarrow H_2Y^{2-} + 2Na^+$$
$$H_2Y^{2-} + Ca^{2+} \longleftrightarrow CaY^{2-} + 2H^+$$
$$H_2Y^{2-} + Mg^{2+} \longleftrightarrow MgY^{2+} + 2H^+$$

- Dans un erlen contenant 100 ml d'échantillon, ajouter:
  - . 4 ml de solution tampon,
  - . une pincée de noir d'ériochrome,

On obtient une coloration violette ; le dosage se fait avec l'EDTA (H_2Y-Na) à 0.02 N

Au point d'équilibre, l'échantillon vire au bleu et on note le volume de l'EDTA.

1. 2. 2 Exploitation des résultats

- V1: le volume de la prise d'essai =100 ml,
- N1: la dureté totale en normalité,
- V2: le volume de EDTA en ml,
- N2: la normalité de l'EDTA =0.02.

$$N1 = 0.02 \times Vedta/100$$

TH (méq) =1000×N1 (normalité) ; TH (°F) = 5×TH (méq).

1. 3 TITRE EN CALCIUM : TCa

1. 3. 1 Principe :

Il est identique à celui du TH ; l'indicateur spécifique est le murexide.

1. 3. 2 Manipulation

A 100 ml de prise d'essai, on ajoute:

- 2 ml de solution tampon, NaOH (1M),
- une pincée de murexide ; on élève le PH à 12 et on précipite les différents hydroxydes métalliques, celui du magnésium en particulier.

Le dosage se fait avec l'EDTA 0.02N ; au point équivalent, la solution passe du rouge - violet au bleu persistant.

Observation:

Si Vedta < 3 ml on double le volume de la prise d'essai ; si V > 25 ml, il faut réduire le volume de moitié.

1. 3. 3 Expression des résultats:

V1: le volume de la prise d'essai = 100 ml,

N1: la dureté totale (normalité),

V2: le volume en ml de L'EDTA: Vedta ; N2: la normalité de l'EDTA = 0.02.

$N1 = 0.02 \times Vedta/100$

$TCa\ (méq) = 1000 \times N1$; $TCa\ (°F) = 5 \times TCa\ (méq)$; $TCa(mg/l) = 4 \times TCa\ (°F)$

1. 3. 4 Calcul de TMg

TMg = TH - TCa.

2. 1 LES NITRATES:

Le dosage des nitrates est complexe et délicat.

La méthode choisie dans le cas de nos analyses est la spectrophotométrie qui exige un échantillon limpide.

Les analyses sont effectuées dans un délai de quarante huit heures pour éviter l'évolution des nitrates en nitrites.

2. 1. 1 Principe:

Les nitrates donnent des paramitrosalicylatesde sodium identifiés par la coloration jaune et dosés par spectrophotométrie, en présence de salicylate.

2. 1. 2 Etablissement de la courbe étalon.

La courbe étalon permet de déduire les valeurs de concentrations des différents échantillons.

Numéros des béchers	T	I	II	III	IV
Solution étalon d'azote nitrique 5 mg/l (ml)	0	1	2	5	10
Eau permutée (ml)	10	9	8	5	0
Solution d'azoture de sodium (ml)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Acide acétique (ml)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Correspondance en mg/l de $N\text{-}NO_3^-$	0	0.5	1	2.5	5

- Attendre 5 minutes, puis évaporer au réchaud électrique (GERHARDT), entre 75°C et 80°C, éviter les éclaboussements et la calcination.

- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium mélanger et évaporer.

- Après refroidissement, humecter le résidu avec 1 ml de d'acide sulfurique.

- Attendre 10 mn, ajouter 15 ml d'eau permutée , puis 10 ml de NaOH à 1N, qui permet de développer la couleur jaune.

La lecture des absorbances des différentes solutions se fait à l'aide du DR/2000 HACTCH et permet de construire la courbe d'étolonnage.

2. 1. 3 Mode opératoire:

- Mettre 10 ml de chaque échantillon à doser dans un bécher ; opérer des dilutions pour les concentrations dépassant 10 mg/l.

- Alcaliniser à la soude 1M et doser comme pour la courbe d'étalonnage.

Les lectures sont faites de la même manière et les valeurs des concentrations des essais déduites à partir de la courbe.

$$NO_3^- = 4.43 \times N\text{-}NO_3^-$$

2. 2 LES NITRITES:

2. 2. 1 Principe:

En milieu acide et en présence de n-1 naphyl éthylène diamine, ou de réactif de diazotation, on obtient la diazotation de la sulfanilamide par les nitrates.

2. 2. 2 Mode opératoire:

Pour établir la courbe étalon, on introduit dans une série de fioles jaugées de 50 ml, les solutions suivantes:

N° fioles	T	1	2	3	4	5
Solutions de nitrites: 1 mg/l	0	1	2.5	5	7.5	10
Eau distillée	Compléter à50 ml					
Correspondance en mg/l nitrites	0	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2

- Remplir une fiole jaugée de 50 ml d'eau à analyser jusqu'au trait de jauge Pour faire développer la coloration , y ajouter:

Première possibilité

- 1 ml de sulfanilamide (agiter vigoureusement et attendre 5 mn)

- 1 ml de N-1 naphtyléthylène diamine (bien homogénéiser et attendre 10 mm.La lecture se fait à λ =543 nm avec le spectrophotomètre 20D.

Deuxième possibilité

- 1 ml de réactif de diazotation ; la lecture se fait avec la DR/2000 à λ = 507 nm

Les concentrations en nitrates des prises d'essais sont déduites de la courbe étalon.

2. 3 L'ammonium:

2. 3. 1 Principe:

Le réactif de Nessler donne en présence d'ions ammonium, un iodure de dimercuriammonium, qui permet le dosage photocolorimétrique de l'ion ammonium.NH_4^+.

La méthode est applicable aux teneurs en ammonium supérieures à 0.1 mg/l.

2. 3. 2 Mode opératoire:

- Introduire 25 ml de chaque échantillon dans une cuve,
- Mettre 25 ml d'eau distillée dans la cuve témoin,
- Ajouter dans chaque cuve:
  - .1 ml de réactif de Nessler,
  - . 1 ml de réactif de Hatch (alcool polyvinylique).

- Afficher le code 380 correspondant à l'azote nitrique sur l'écran de la DR/2000, on lit la longueur d'onde: $\lambda = 425$ nm.

- introduire la cuve témoin dans la loge de l'appareil et régler la lecture à 0.00.

- commencer les lectures des concentrations respectives.

2. 4 Azote Kjeldahl.

2. 4. 1 Principe:

Le principe est la minéralisation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action coordonnée de l'acide sulfurique concentrée et des catalyseurs de minéralisation.

- Norganique $+H_2SO_4$ +catalyseurs $\longrightarrow$ NH^+_4, SO_4^{2-}
- NH^+_4 + NaOH $\longrightarrow$ $NH_3 + H_2O$ $+Na^+$

Dosage de l'ammoniac par acidimétrie:

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH$$

$$2NH_4OH, H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

2. 4. 2 mode opératoire:

.Minéralisation:

-.Mettre le digesteur (LIEBISCH) sous tension,

- Introduire dans chaque tube de minéralisation:

. 100 ml de prise d'essai,

. 10 ml d'acide sulfurique concentré,

. une pincée catalyseur de minéralisation (dangereux)

- 2 billes de verre.

Placer les tubes dans les loges et les raccorder au collecteur du digesteur.

Le chauffage se fera graduellement:

- à 180°C pendant une heure ;
- à 280°C l'heure suivante ;
- 380°Cle reste de la digestion.

Laisser refroidir après l'opération de minéralisation.

Distillation:

- Ajouter dans chaque tube à distiller:

- 100 ml d'eau distillée pour dissoudre à nouveau d'éventuels précipités.

- Introduire dans un erlen de 250 ml, 30 ml d'acide borique à 25g/l et 1 ml d'indicateur NTK.

- Régler le débit d'eau à 1l/mn et vérifier le niveau de la soude dans le flacon.

- Mettre le digesteur sous tension et vider le vase intermédiaire.

- Placer le tube sur le plateau basculant et le erlen sur le socle de réception.

- Introduire environ 50 cm^3 de soude dans le tube, à l'aide du robinet supérieur.

- Actionner le robinet de distillation ; recueillir 100 ml de distillat dans le erlen. Le milieu vire au vert en présence d'azote Kjeldahl.

Dosage:

Il se fait avec de l'acide sulfurique 0.1N versé à la burette électrique. Au point équivalent, la solution devient bleue foncée. On note le volume V0 d'acide utilisé.

2. 4. 3 Expression des résultats:

N1: la normalité de l'acide = 0.1N

V2: le volume de la prise d'essai =100 ml

N2: la normalité de la solution d'ammoniac

$N2 = 0.1 \times V0/100$; la concentration de l'azote est: $T2\ (mg/l) = N2 \times 1000 \times 4$

3 METHODE D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

3. 1 Principe:

Le principe de cette méthode est basé sur la filtration de 100 ml d'échantillon à analyser, sur une membrane stérile de porosité 0.45µm.Il permet la rétention des bactéries, des champions et de nombreux autres germes.

La membrane est mise soigneusement sur une boîte pétri contenant des nutriments.

Les coliformes totaux et les streptocoques fécaux sont mis à incuber dans l'autoclave à 37°C, respectivement pendant 24 heures et 48 heures ; quant aux coliformes thermotolérants, ils sont maintenus à 44°c et pendant 24 heures.

On procède au comptage des colonies et les résultats sont exprimés en nombre de colonies pour 100 ml d'échantillon.

Colonies	Micro-organismes
AVEC TTC	
*Jaune avec halo jaune.....	E.coli
*Rouge, éventuellement avec halo jaune bleuâtre....	Coliformes sans E.coli
*Rougeâtres avec halo bleuâtre.....	Germes lactose négatifs,
Incolore.....	Monilia (levures) et autres

3. 2 Milieux de culture

Les milieux de culture utilisés sont respectivement les suivants:

- pour les coliformes, l'heptadécysulfate de sodium (tergitol-7) avec comme additif du chlorure de triphénil 2, 3, 5-tétrazolium (TTC).Le tergitol inhibe la flore secondaire indésirable et ralentit la croissance des proteus.

La dégradation du lactose en acide est révélée par le virage au jaune de l'indicateur de PH, le bleu de bromothynol.

Le TTC est réduit très rapidement par presque les coliformes thermotolérants (eschérichia coli) et enterobacter aérogènes,

en une formazine colorée en rouge, ce qui permet une identification précoce des colonies jaunes des E.coli.

- pour les streptocoques avec le Slanetz et Barthley qui est un inhibiteur de gram-négatif.

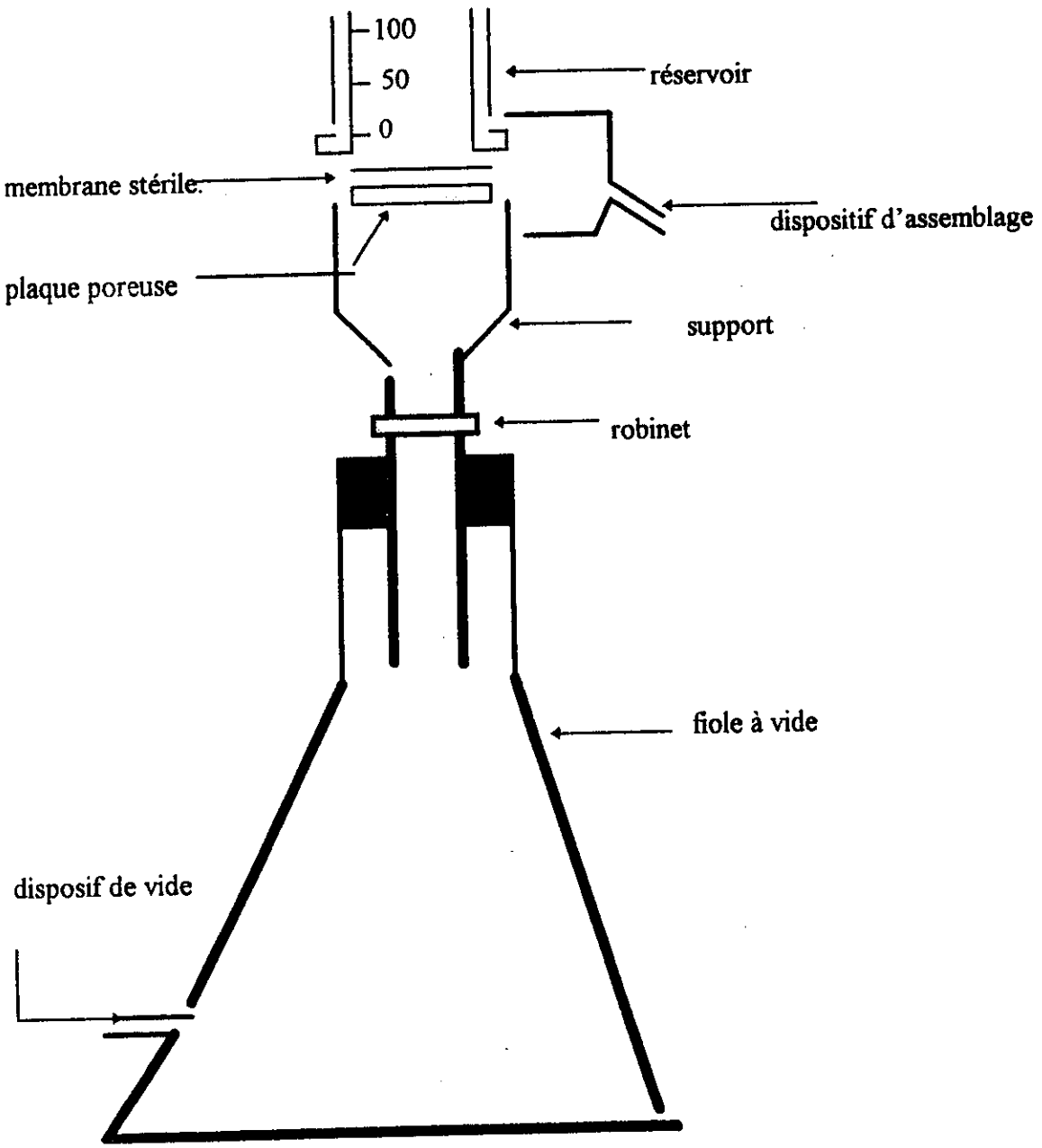
3. 3 Mode de prélèvement

Le prélèvement des échantillons a été fait dans les conditions suivantes:

- débarrasser le robinet ou le bec de sortie de la pompe d'exhaure de tout matériel accessoire (raccord, tuyau...) ;
- faire couler les eaux résiduelles de la conduite d'amenée ;
- brûler le bec de la pompe à l'aide du chalumeau portatif ;
- laisser refroidir pendant cinq minutes au moins ;
- faire couler à nouveau l'eau pendant une minute ;
- prélever l'échantillon dans un flacon en verre stérilisé en veillant à tout risque de pollution

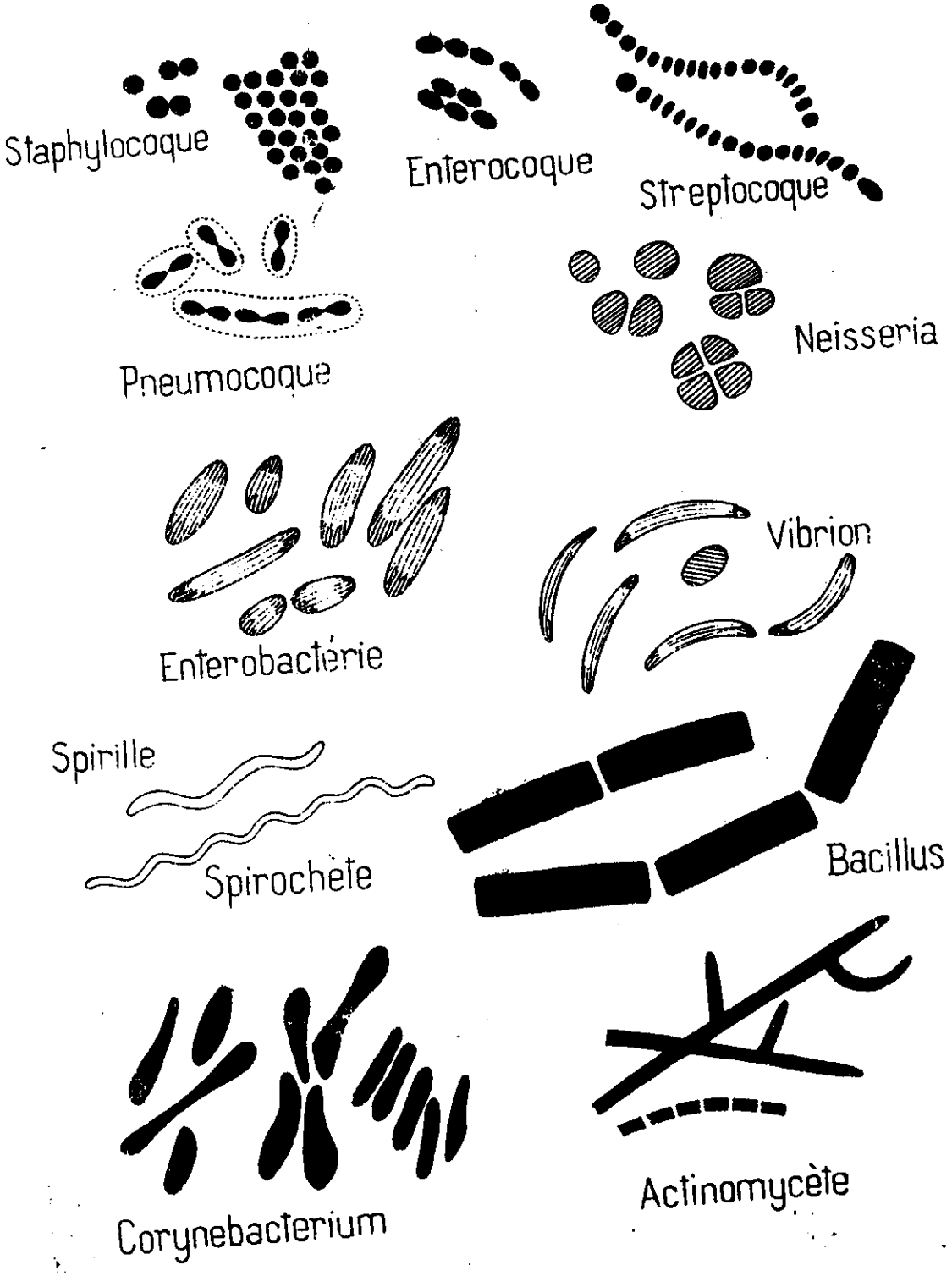
Les échantillons sont conservés dans une glacière maintenue au frais.

L'analyse bactériologique doit impérativement se faire , au plus tard dans les dix heures qui suivent le prélèvement.



Coupe shématique du disposotif de filtration

Quelques exemples morphologiques.



Quelques exemples morphologiques

ANNEXE III:

LOCALISATION DES POINTS DE PRÉLVÈMENT.

ANNEXE III

Tableau des forages:

Secteurs	Adressage	Quartiers	Localisation
1	QS_1	quartiers Saints	Jardin municipal
2	B_1	Bilbalgo	jardin du 8 mars
3	Ps_1	Paspanga	Jardin Naba Koom
4,5	K_1	Koulouba	Jardin de l'amitié
6	Ks_1	Kamsaoghin	Jardin d'enfants cité an II
6	Ks_2	Kamsaoghin	Square Yennega
7	S_1	Sammandin	Jardin d'enfants du secteur 7
8	GS_1	Gounghin Sud	FT51
8	GS_2	Gounghin Sud	Grande mosquée(PEA)
9	GN_1	Gounghin Nord	Grande mosquée
9	GN_2	Gounghin -Nord	Ecole Baonghin
10	H1	Hamdalaye	Eglise apostolique
11	KO_1	Kologhnaba-Ouidi	Paroisse de Kologhnaba
11	KO_2	"	SM12
12	ND	Nemnin-Dapoya	HTN33
13	Z	Zogona	Ecole internationale(PEA)
14	SC_1	Saint-camille,	Espace or
14	SC_2	kalgondin	Eglise protestante
15	P_1	Patted'oie	FT41
16	C_1	Cissin	Ecole Zida
16	C_2	Cissin	canal moro naba, circulaire
23	T_2	Tanghin	Ecole Tanghin Taabila

Tableau des forages: suite.

Secteurs	Quartiers	Adressage	Localisation
23	Tanghin	T_3	Centre social
24	Saabin-barrage	Sb_1	FT23
24	Saabin-barrage	Sb_3	à côté du Zoo (PEA)
25	Somgandé	SO_1	Limite de la zone lotie
25	"	SO_2	Ecole Woobtondo
25	"	SO_3	SM19
25	"	SO_4	Dispensaire
31	Ouayalghin	O_1	Ecole Ouayalghin C
27	"	O_2	Siège ONPF.
28	Dassasgho	Ds_1	Cour musée national
28	"	Ds_2	côté nord église
29	Wemtenga	W_1	Mosquée des étudiants
29	"	W_2	Garderie secteur 29
29	"	W_3	forage public
29	"	W_4	côté Nord cimetière Dagnoïn
30	Kalgondin	Kl_3	Château du 4 Août (PEA)°
30	Kalgondin	Kl_1	Ecole du secteur 30

Tableaux des puits

Secteurs	*Ad	Quartiers	Localisation
28	Ds_2	Dassasgo	Zone 1
30	Kl_2	Kalgondin	Lycée technique
27	O_3	Ouayalgin	cité des cinéastes
12	Ps_1	Paspanga	Hôtel de France
12	Dy_1	Dapoya	Unesco bar
12	Dy_2	Dapoya	A côté du SM12
12	Dy_3	Dapoya	Souka park
10	KO_3	Kologhnaba	Barrage N°2
24	Sb_2	Kologhnaba	Barrage N°2
23	T_1	Tanghin	Eglise Protestante

N B : *Ad : adressage des puits

ANNEXE - IV:

RÉSULTATS DES ANALYSES.

ANNEXE IV - 1: VALEURS DES CARACTÉRISTIQUES MESURÉES IN SITU.

ANNEXE IV - 2: RÉSULTATS DES ANALYSES D'EAU.

Valeurs des paramètres mesurés in situ. (forages)

Sect paramètres	*Ad	Quartiers	localisation	PH	teneur oygène	conductivité :µs/cm	température
1	QS1	Quartiers saints	jardin municipal	6.2	1.8	386	32.9
2	B1	Bilbalgo	jardin du 8 mars	6.6	1.6	181	31.4
3	P1	Paspanga	Jardin Naba Koom	6.34	1.8	331	37.5
4,5	K1	Koulouba	jardin de l'amitié	6.5	1.3	262	31.9
6	KS1	Kamsaoghin	Jardin d'enfants cité an ii.7	5.7	2.5	104	31.7
7	S1	Sammandin	Jardin d'enfants secteurs 7	6.04	1.6	189	32.5
16	C1	Cissin	Ecole zida	6.2	4.0	147	31.9
16	C2	Cissin	Canal moro naba-route circulaire	6.00	1.7	164	31.8
14	SC1	Saint-Camille, Kalgodin	espace or	6.3	1.1	203	31.2
4	Ps1	Paspanga	club de l'étrier	6.5	1.0	205	28.2
27	O1	Ouayalghin	école ouayalghin C	6.5	2.3	311	30.5
28	Ds1	Dassasgho	parcelle musée national	6.2	1.8	161	31.4
29	W1	Wemtenga	mosquée des étudiants	6.2	1.8	184	31.6
13	Z	Zogona	école internationale	6.5	4.7	235	33.7
29	W2	Wemtenga	garderie secteur 29	6.4	1.3	188	31.7
29	W3	Wemtenga	forage public	6.3	1.6	190	31.7
14	Kl1	Kalgodin	école secteurs 30	6.2	3.5	119	32.2
14	SC2	Kalgodin	école protestante	6.2	1.6	162	33.2

Sect	*Ad	Quartiers	Localisation	PH	teneur en oxygène :mg/l	conductivité:µs/cm	température °c
27	O2	Ouayalghin	ONPF	6.00	1.2	490	28.9
29	W4	Wemtenga	à côté cimetière Dagnoin	6.2	1.4	407	31.1
30	Kl3	Kalgodin	Château du 4 Aôut (PEA)	6.4	2.7	70	29.7
15 ..	P1	Patte d'oie	à côté école Tôeybin FT41	6.3	2.0	156	32
8	GS1	Gounghin Sud	FT51	6.1	1.2	166	32
8	GS2	Gounghin Sud	Grande mosquée (PEA)	6.3	1.6	169	31
9	GN1	Gounghin Sud	Grande mosquée	6.1	2.1	130	31
8	GN2	Gounghin Nord	école Baonghin	6.3	1.4	284	31
10	H1	Hamdalaye	église apostolique	6.4	1.1	320	32
11	KO1	Kolognaba-ouidi	église de kologhnaba	6.7	2.6	326	31
11	KO2	"	SM12	6.5	1.2	320	31
12	ND	Nemnin-Dapoya	HTN33	6.5	1.4	345	31
25	SO1	Somgandé	-	6.4	1.9	173	32
25	SO2	"	école woobtondo	6.3	1.6	180	32
25	SO3	"	SM9	6.8	1.9	292	35
25	SO4	"	dispensaire	6.5	2.4	289	34

valeurs des paramètres mesurés in situ:

(Puits)

Sect	*Ad	Quartiers	Localisation	PH	teneur en oxygène:mg/l	conductivité; µs/cm	température °c
27	O3	Ouayalghin	cité des cinéates	5.3	2.3	288	30
12	Ps1	Paspanga	à côté de hôtel de France	6.4	1.3	768	29.4
12	Dy1	Dapoya	unesco bar	5.95	1.3	151	29.7
12	Dy2	"	à côté forage SM12	6.4	1.4	242	29.5
12	Dy3	"	à côté Souka Park	6.1	1.6	731	29.6
10	KO3	kolghnaba-Ouidi	à côte du barrage N°2 -		2.9	97	29.8
24	Sb2	"	-	5.7	1.3	293	30.7
28	Ds_2	Dassasgo	Zone 1	5.6	1.2	320	31.1
30	Kl_2	Kalgondin	Puits lycée technique	6.3	5.0	136	31
23	T1	Tanghin	église apostolique	5.9	2.2	220	30.1

ANNEXE IV - 2

Tableau des résultats des analyses des eaux de forages

*Ad[1] / Paramères	QS1	B1	ps1	k1	Ks1	Ks2	S1	C1	C2	SC1	Ps1	O2	Ds1	Ds2	W1	Z	W2	W3	Kl1	SC2	N
Coliformes Thermo :	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	3	0	0	6	0
Coliformes Totaux	0	0	0	0	0	4	0	2	0	0	11	0	15	0	0	0	4	0	0	8	0,01
Streptocoques fécaux	0	0	0	0	0	15	0	2	0	0	0	0	34	>100	0	0	0	0	0	0	0
Nitrates :mg/l	93	45	89	72	10	19	11	7	2.5	0.04	0.54	0.14	0.06	0.06	0.48	0.56	0.10	0.08	0.01	3.1	50
Nitrites :mg/l	0.1	0.08	0.24	0.05	0.01	0.03	0	0	0	0.1	0.03	0	0	0	0.02	0	0.07	0.01	0	0	3
Ammoniac :mg/l	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.04	0	0	0	0	0.81	0	0	0	1.5
Azote Djedahl :mg/l	3.2	11.2	3.5	3.9	7.6	0	19.7	15.4	5.6	3.1	0.7.	0.7	3.5	4.2	4.3	2.8	5.9	4.3	2.2	2.4	1
Azote Organique :mg/l	02	11.2	0.5	3.9	7.60	0	19.7	15.4	5.6	3.1	0.7	0.7	3.5	4.2	4.3	2.8	5.1	4.3	2.2	2.4	-
DBO_5 : mg/l	2.2	3.1	1	2.2	0.1	1.3	1.3	0.5	1.3	2	0.2	1.5	0.9	0.5	0.7	1	1.4	1.6	0.5	0.2	3
TAC : méq/l	4.5	2	3.7	2.8	1.2	1.8	2.6	1.8	2	1.3	1.1	1.4	1.4	1.1	1	1.2	1	1.2	0.7	1.1	-
TAC :mg/l de$CACO_3$	225	100	184	138	58	91	129	92	100	65	57	70	68	55	49	60	50	60	30	60	-
TH : méq/l	6.1	2.2	4.3	2.6	1.4	1.9	2.3	1.6	1.7	2.9	2.5	2.9	2.1	2.5	2	2.9	2.3	2.9	1.6	2.6	-
TCA :még/l	2.7	0.9	1.8	1.8	0.6	0.6	0.8	0.7	0.9	2.7	2.5	2.7	1.7	1.4	2	2.1	1.6	2.8	1.3	2.3	-
TMg : méq/l	3.4	1.3	2.5	0.8	0.8	1.3	1.5	0.9	0.8	0.2	0	0.2	0.4	1.1	0	0.8	0.7	0.1	0.3	0.3	-

[1] **N**: normes deL'OMS ; ***Ad**: adressage des forages ; **Thermo**: thermotolérants.; les résultats microbiologiques sont exprimés en unités pour 100 ml

ANNEXE IV - 2

Tableau des résultats d'analyse de forages des eaux de forages: (suite)

	02	W4	Kl3	P1	GS1	GS2	GN1	GN2	H1	ND1	KO1	KO2	SO1	SO2	SO3	SO4	Sb1	Sb3	T2	T3	N
Coliformes thermo	0	>100	>100	0	0	0	0	1	0	0	0	0	.0	0	0	0	2	0	3	0	0
oliformes totaux	0	>100	>100	0	0	0	0	50	0	0	3	0	2	0	0	0	7	0	5	3	0
Streptocoques fécaux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitartes :mg/l	19	14	3	4	21	0	4	3	2	8	4	0	4	1	14	17	10	0	4	6	50
Nitrites	0.02	0.05	0	0	0.12	0	0	0.37	0.06	0.44	0	0.04	0	0.13	0.05	0	0.1	0	0	0	3
ammoniac :mg/l	0.04	0	0.01	0	0.01	0	0.13	0.18	0.10	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.08	0.08	1.5
Azote Djedahl :mg/l	0.7	4.2	3.6	3.5	3.6	2.7	3.9	11	6	13	5	9	7	6	4	11	3.6	3.6	6	5.7	1
azote organique :mg/l	0.7	4.2	3.6	3.5	3.6	2.7	3.8	10	6	13	5	9	7	6	4	11	3.6	3.6	5.9	5.7	-
DBO_5 :mg/l	0.9	1	2.1	0.8	1.2	1.1	2.1	1.3	0.7	0.7	1.3	1	0.5	0.5	0.5	0.4	2.2	0.7	0.9	0.1	3
TAC :méq/l	2.1	1.2	0.6	1	1.10	0.8	0.6	2.4	3.6	2.2	1.8	2.4	1.6	1.8	2.8	2.2	1	0.8	1.1	1.4	-
TAC mg/l de $CACO_3$	100	60	30	50	60	40	30	120	180	110	90	120	80	90	140	110	50	40	55	70	-
TH :méq/l	4.7	3.2	1.2	2.2	2.2	1.9	1.9	2.6	3.2	2	1.8	2.4	1.2	1.2	2.4	2.2	2	1.7	1.6	2.9	-
TCA :méq/l	2.3	3.1	0.8	1.7	1.7	1.8	1.7	1.2	1.4	1.8	1.6	1.6	0.7	0.7	1.3	1.3	1.8	1.6	1.2	2.4	-
TMg :méq/l	2.4	0.1	0.4	0.5	0.5	0.1	0.2	1.4	1.8	0.2	0.2	0.8	0.5	0.5	1.1	0.9	0.2	0.1	0.4	0.5	-

***ad :** adressage des forages ; **thermo** : thermotolérants ; **N :** normes de l'OMS.

N.B : les résultats microbiologiques sont exprimés en unités pour 100 ml.

Tableau des résultats d'analyses de eaux de puits.

Ad	Ds2	Kl2	*O3	*Ps1	*Dy1	*Dy2	*Dy3	*KO1	*Sb2	*T1	N
coliformes fécaux : :u/100ml	0	0	0	0	1	0	0	1	0	5	0
coliformes totaux :u/100ml	3	0	0	0	3	0	0	3	0	10	0
septocoques fécaux :u/100ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nitrates : :mg/l	20	4	49	97	16	3	216	6	55	16	50
nitrites :mg/l	0.03	0	0.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	3
ammoniac(mg/l)	0.31	0	0.00	1.13	0.11	0.29	0.35	0.33	0.28	0.01	1.5
azote kjedahl :(mg/l)	0.7	5.7	2.0	3.9	4.9	5.5	8.4	5.6	3.8	4.1	1
azote organique :(mg/l)	0.4	5.7	2	2.8	4.8	5.2	8.1	5.3	3.5	4.1	-
DBO(mg/l)	0.9	0.9	0.8	0.7	1.20	0.10	1.30	1.10	0.6	0.70	3
TAC :(méq/l)	0.7	0.7	0.4	2.9	0.5	1.2	4.1	0.4	1.2	0.5	-
TAC: (mg/l) caco3	35	35	20	145	25	60	205	20	60	25	-
TH(méq/l))	2	2.2	3.2	4.6	0.8	1.8	7.7	0.7	1.9	1.1	-
TCA(méq/l)	0.9	1.8	2.5	4.2	0.6	1.6	6.2	0.4	0.8	1.0	-
TMg(méq/l)	1.1	0.4	0.7	0.4	0.2	0.2	1.5	0.3	1.1	0.1	-

ANNEXE V :

TABLEAU DES NORMES RELATIVES À L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE.

ANNEEXES V - 1: NORMES PHYSICO-CHIMIQUES

ANNEXES V - 2: NORMES MICROBIOLOGIQUES.

NORMES RELATIVES AUX EAUX DE CONSOMMATION

Paramètres	Directive CEE		Directive CEE	France	Recommandations OMS
	N°	N.G.	CMA		
Bore $\mu g.l^{-1}$ B	30	1 000			
Détergents $\mu g.l^{-1}$ lauryl sulfate	31		200	200	
Composés organochlorés $\mu g.l^{-1}$ (autres que pesticides 55)	32	1	Réduire haloformes le plus possible		
Fer $\mu g.l^{-1}$ Fe	33	50	200	200	300
Manganèse $\mu g.l^{-1}$ Mn	34	20	50	50	100
Cuivre $\mu g.l^{-1}$ Cu	35	100 (sortie usine) 3 000 (12 h dans réseau)		1 000	1 000
Zinc $\mu g.l^{-1}$ Zu	36	100 (sortie usine) 5 000 (12 h dans réseau)		5 000	5 000
Phosphate $\mu g.l^{-1}$ P_2O_5	37	400	5 000	5 000	
Fluor $\mu g.l^{-1}$ F	38	1 500 (8 à 12 °C) 700 (25 à 30 °C)		1 500	1 500
Cobalt $\mu g.l^{-1}$ Co	39				
Matières en suspension $mg.l^{-1}$	40	Absence			
Oxydant résiduel $\mu g.l^{-1}$ Cl_2	41				
Baryum $\mu g.l^{-1}$ Ba	42	100			
Argent $\mu g.l^{-1}$ Ag	43		10	10	50
Arsenic $\mu g.l^{-1}$ As	44		50	50	
Berylium $\mu g.l^{-1}$ Be	45				5
Cadmium $\mu g.l^{-1}$ Cd	46		5	5	100
Cyanure $\mu g.l^{-1}$ CN	47		50	50	50
Chrome $\mu g.l^{-1}$ Cr	48		50	50	1
Mercure $\mu g.l^{-1}$ Hg	49		1	1	50
Nickel $\mu g.l^{-1}$ Ni	50		50	50	50
Plomb $\mu g.l^{-1}$ Pb	51		50 (eau courante)		
Antimoine $\mu g.l^{-1}$ Sb	52		10	10	10
Sélénium $\mu g.l^{-1}$ Se	53		10	10	
Vanadium $\mu g.l^{-1}$ V	54				
Pesticides et apparentés $\mu g.l^{-1}$	55			total des substances 0,5	
— par substance			0,1	0,1	0,03
• aldrine et dialdrine				0,03	
• hexachlorobenzène				0,01	
— au total			0,5	0,5	
— P.C.B. et P.C.T				0,5	

ANNEXE V - 1

NORMES RELATIVES AUX EAUX DE CONSOMMATION

Paramètres	Directive CEE		Directive CEE	France	Recommandations OMS
	N°	N.G.	CMA		
Couleur $mg.l^{-1}$ Pt-Co	1	1	20	15	15
Turbidité $mg.l^{-1}$ SiO_2	2	1	10		
unité JACSON		0,4	4	2	5 (1 en vue de la désinfection)
Odeur-dilution	3	0	2 à 12 °C 3 à 25 °C	2 3	sans effet sur le consommateur
Saveur-dilution	4	0	2 à 12 °C 3 à 25 °C	2 3	
Température °C	5	12	25	25	
pH	6	6,5-8,5		6,5-9	6,5-8,5
Conductivité $\mu S.cm^{-1}$ à 20 °C	7	400			
Chlorure $mg.l^{-1}$ Cl	8	25		250	250
Sulfate $mg.l^{-1}$ SO_4	9	25	250	250	400
Silice $mg.l^{-1}$ SiO_2	10				
Calcium $mg.l^{-1}$ Ca	11	100			
Magnésium $mg.l^{-1}$ Mg	12	30	50	50	
Sodium $mg.l^{-1}$ Na	13	20	150	150	200
Potassium $mg.l^{-1}$K	14	10	12	12	
Aluminium $mg.l^{-1}$ Al	15	0,05	0,2	0,2	0,2
Alcalinité d °F	—			50	
Dureté totale d°F	—		Conc. minimale 2,5 pour eaux adoucies		50
	16		Conc. minimale 15 pour eaux adoucies		
Résidu sec $mg.l^{-1}$ (180 °)	17		1 500	1 500	
Oxygène dissous (% saturation)	18		Saturation > 75 % excepté pour les eaux souterraines		
CO_2 libre $mg.l^{-1}$ CO_2	19		L'eau ne devrait pas être agressive		
Nitrate $mg.l^{-1}$ NO_3	20	25	50	50	44
Nitrite $mg.l^{-1}$ NO_2	21		0,1	0,1	
Ammonium $mg.l^{-1}$ NH_4	22	0,05	0,5	0,5	
Azote Kjeldahl $mg.l^{-1}$ N	23		1	2	
Oxydabilité (K MnO_4) $mg.l^{-1}$ O_2	24	2	5	5	
Carbone organique total $mg.l^{-1}$ C	25				
Hydrogène sulfuré $\mu g.l^{-1}$ S	26		indétectable organoleptiquement	indétectable organoleptiquement	indétectable organoleptiquement
SEC $mg.l^{-1}$	27	0,1	—	—	
Hydrocarbures dissous $\mu g.l^{-1}$	28		10	10	
Phénols (indice phénol) $\mu g.l^{-1}$	29		0,5	0,5	

NORMES RELATIVES AUX EAUX DE CONSOMMATION

Paramètres	Directive CEE		Directive CEE	France	Recommandations OMS
	N°	N.G.	CMA		
H.P.A. $\mu g.l^{-1}$	56		0,2	0,2	0,1
Total pour les substances suivantes :					
– fluoranthène					
– benzo (3,4) fluoranthène					
– benzo (11,12) fluoranthène					
– benzo (1,12) perylène					
– indeno (1,2,3 – cd) pyrène					
– benzo (3,4) pyrène					
Coliformes totaux (100 ml)	57		0	0,01	0,01
Coliformes fécaux (100 ml)	58		0	0	0
Streptocoques fécaux (100 ml)	59		0	0	0
Clostridium sulfitoréducteurs dans 20 ml	60		NPP $\leqslant$ 1	0	0
Dénombrement des germes totaux dans 1 ml (eau potable) 37 °C	61	10			
22 °C		100			
Dénombrement des germes totaux dans 1 ml (eaux conditionnées) 37 °C	62	5	20	20	
22 °C		20	100	100	
Composés organiques $\mu g.l^{-1}$					
– benzène					10
– tétrachlorure de carbone					3
– Chlordane					0,3
– Chlorobenzène					0,1 à 3
– Chloroforme					30
– 2.4.D.					100
– D.D.T.					1
– 1.2.Dichloroéthane					10
– 1.1.Dichloroéthène					0,3
– Heptachlore et heptachloreepox.					0,1
– Hexachlorobenzène					0,01
– γ HCH (Lindane)					3
– Methoxychlore					30
– Pentachlorophénol					10
– Tétrachloroéthène					10
– Trichloroéthène					30
– 2.4.6.Trichlorophénol					10
Radioactivité					
Activité α $Bq.l^{-1}$					0,1
Activité β $Bq.l^{-1}$					1

ANNEXE V - 1

NORMES US

Couleur	3-15 mg/l Pt/Co
Turbidité	5 N.T.U.

Produits chimiques minéraux

Argent	0,05 mg/l
Arsenic	0,05 mg/l
Baryum	1,00 mg/l
Cadmium	0,01 mg/l
Calcium	80 à 100 mg/l
Chlorures	250 mg/l
Chrome	0,05 mg/l
Cuivre	1 mg/l
Cyanures	0,20 mg/l
Fer	0,3 mg/l
Fluor à 12 °C et en dessous	2,40 mg/l
de 12,1 °C à 14,6 °C	2,20 mg/l
de 14,7 °C à 17,6 °C	2,00 mg/l
de 17,7 °C à 21,4 °C	1,80 mg/l
de 21,5 °C à 26,2 °C	1,60 mg/l
de 26,3 °C à 32,5 °C	1,40 mg/l
Magnésium	80 à 100 mg/l
Manganèse	0,05 mg/l
Mercure	0,002 mg/l
Nitrates (en N)	10 mg/l
(en NO_3^-)	45 mg/l
Plomb	0,05 mg/l
Sulfates	400 mg/l
Sélénium	0,01 mg/l
Uranyle (UO_2)	5 mg/l
Zinc	5 mg/l

Détergents (ABS)	0,2 à 0,5 mg/l
Hydrocarbures chlorés	
aldrine	0,001 mg/l
DDT	0,05 mg/l
dieldrine	0,001 mg/l
endrine	0,0002 mg/l
lindane	0,004 mg/l
toxaphène	0,005 mg/l
methoxychlore	0,10 mg/l
autres organochlorés	0,01 mg/l
Epoxyde de chlorophénol	
acide dichlorophénoxyacétique (2,4 D)	0,10 mg/l
acide dichlorophénoxypropionique (2,4,5 T.P.)	0,01 mg/l
Organophosphorés	0,01 mg/l
Phénols	0,001 mg/l

Radioactivité

Radioactivité α totale (Ra 226 inclus, Rn et U exclus)	15 pCi/l
Radium 226 et Radium 228	5 pCi/l
Radioactivité β, γ : la dose reçue pour l'organisme entier et pour tout organe interne ne doit pas dépasser	4 mrem/an

- Réglementation et exigences - Normes

En l'absence de réglementation dans le contexte africain en général et en particulier du type d'eau dans chaque état, les décrets des CEE et/ou de l'OMS font état de directives applicables... à savoir :

- l'exigence fondamentale de qualité = absence de tout micro-organisme pathogène

- en raison de la présence de certains micro-organismes d'origine non fécale, il est nécessaire de compléter cette règle par des examens complémentaires en tenant compte des réalités du milieu.

Tableau I : *Normes françaises, européennes, américaines et de l'OMS relatives aux paramètres microbiologiques pour l'eau destinée à la consommation*

PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	UNITE	OMS		CEE		FRANCE DECRETS 89-3-90-330		USA	
		NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA	NG	CMA
• Germes indicateurs									
- coliformes totaux	u/100 ml	0(a)	-	-	0(a)	-	0(a)	-	0(a)
-coliformes thermotolérants	u/100 ml	0	-	-	0	-	0	-	0
- streptocoques fécaux	u/100 ml	-	-	-	0	-	0	-	-
-spores de bactéries sulfito-réductrices	u/20 ml	-	-	-	1	-	1		-
- Flore hétérotrophe aérobie		-	-						
37°C/24h	u/ ml	-	-	10	-		(b)	-	-
22°C/72h	u/ ml			100	-		(b)	-	
• Germes pathogènes		-	-	absence		absence			
- Salmonelles	u/5l			(c)	-	-	0	-	-
- Staphylocoques	u/100 ml	-	-	(c)	-	-	0	-	-
- Entérovirus	u/10 l	-	-	(c)	-	-	0	-	-
- Bactériophages fécaux	u/50 ml	-	-	(c)	-	-	0	-	-

(a) absence dans au moins 95% des échantillons

(b) valeurs de référence : Eaux désinfectées : sortie station 2(37°C) et 20(22°C) u/ml
Eaux distribuées : 10(37°C) et 100 (22°C) u/ml

(c) à rechercher pour compléter l'examen microbiologique d'une eau. De plus, il est précisé que les eaux ne devraient pas contenir d'organismes parasites, d'algues, ni d'autres animalcules

NG niveau guide

CMA concentration maximale admissible

Source : Tiré de TSM N° 3 1995 90è ANNEE

ANNEXE V I:

REPRÉSENTATION DES POINTS DE PRÉLÈVEMENTS.

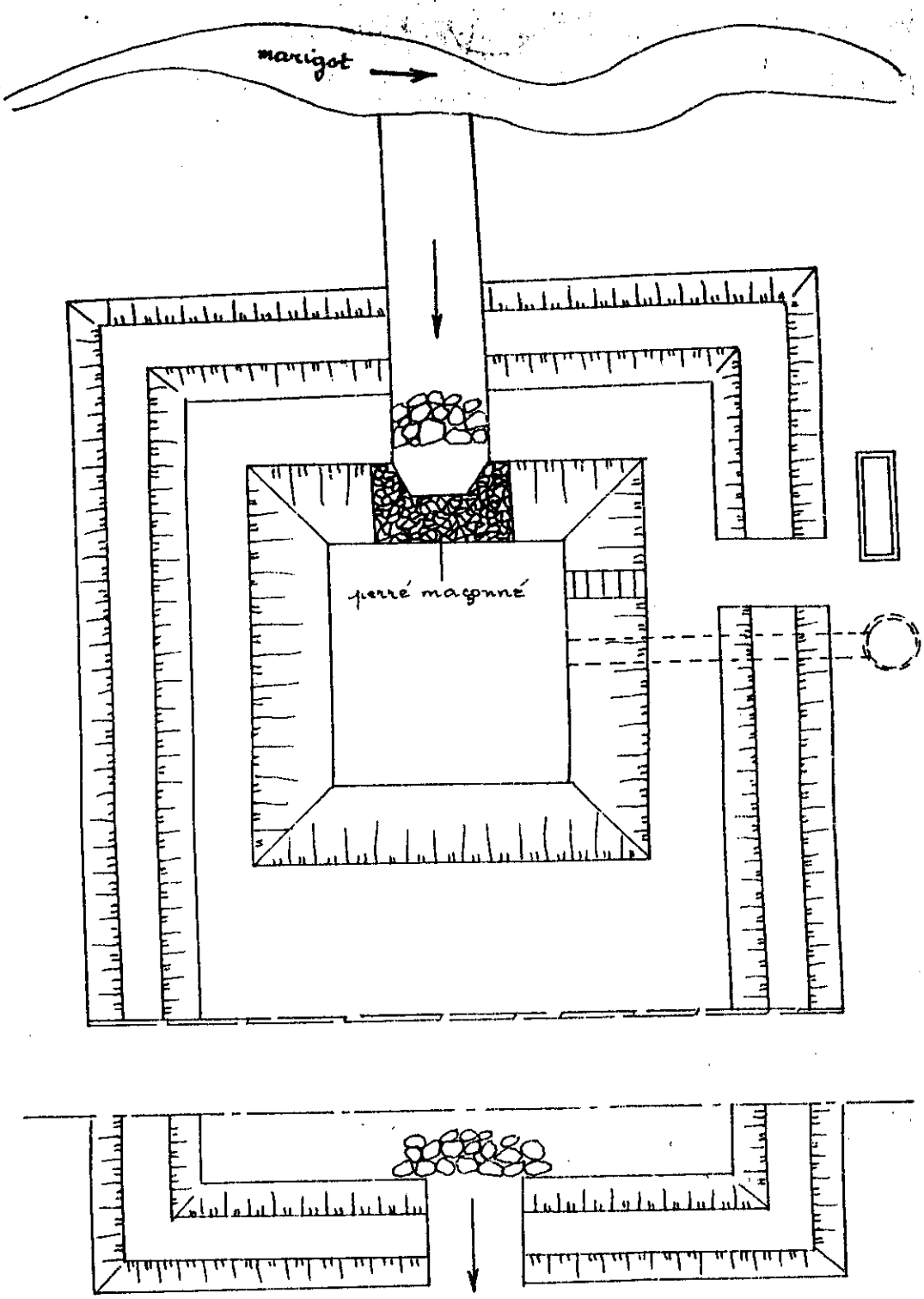
3	Sols peu évolués sur schistes	nul ou très faible	faible	Texture, pente.	Variable (k)	assez faible	Mil, sorgho sur pentes faibles	Lutte anti-érosive.
4 5 6	Sols peu évolués sur matériau gravillonnaire	faible	faible	profondeur, texture	k	faible	à éviter	Lutte anti-érosive
8	vertisols modaux sur alluvions argileuses	important	bonne	Porosité, drainage, cohésion en sec. Relief	k,p	assez forte	canne, sorgho, maïs, coton.	Labours précoces,binages,drainage.
9	vertisol à caractères moyennement développés à recouvrement sableux	moyen	moyenne	structure, porosité, drainage.	équilibre des bases	moyenne	sorgho, légu-mineuse arachide	culture sur billons,drainage, travail superficiel.
10	vertisols à hydromorphie d'ensemble	important	bonne à très bonne	asphyxie prolongée	k	moyenne à faible	riz, de submersion, fourrages	maîtrise de l'eau drainage
17	sols ferrugineux peu lessivés modaux	faible	faible	réserve minérale, érosion	somme des bases k .p.	très faible	arachide, niébé, sésame	lutte anti-érosive. Rétention pour l'eau
18	sols ferrugineux peu lessivés à drainage limité	médiocre	médiocre	érosion, réserve minérale	p.k	faible	mil, arachide, sorgho	rétention pour l'eau, billons isohypses.
21	sols ferrugineux, lessivés sans concrétions, sols ferrugineux lessivés hydromorphes sur matériau sablo-argileux à argile	important	moyen à médiocre	richesse minérale richesse minérale drainage	ca - Mg ca - k	moyen à faible	sorgho, mil, arachide	réajustement de la fumure travail profond amélioration de la structure et drainage
22 et 23	sols ferrugineux lessivés à taches et à concrétion	moyen	médiocre à moyen	stabilité structurale de surface	somme de base - P	moyenne	sorgho, coton	billon isohypses, binages, amélioration de la rétention de l'eau
31	sols hydromorp	variable	bonne pour la	hydromorphie	k	moyenne à forte	riz ,culture exondées ou de crue	drainage, cultures sur billon

	hes à pseudogley structurés sur matériau alluvionnaire		rizicultu re					
34	sols hydro-morphes structurés sur matériau argileux à argilo-sableux	moyenne à important	moyenne	Propriétés physiques (de surface surtout) asphyxie	N.K	moyenne	sorgho, coton	binage précultural, billons
35	sols hydromorphes vertiques sur alluvion	importante	moyenne à bonne	propriétés physiques de surface	k	assez forte	sorgho, coton	binages, labours profonds, billons
39	sols hydromorphes faciès modal sur matériau limono-argileux à argileux	variable	bonne pour la rizicultu re	hydro-morphie	k.ca	assez forte	riz, sorgho, cultures marai-hères	drainage, billons

Annexe A8 Tableau des unités agronomiques

Unités pédologiques	Identification	Profondeur	observation
2, 3, 4, 6,	sols gravillonnaires	> 40 cm	possibilité de reboisement à étudier
8, 10	(vertisols) sols à drainage interne et externe très faible à nul, partiellement ou totalement submerg en raison des pluies, structure fine à moyen en surface, porosité insuffisante, très forte capacité d'échange, satrés, sols argilo-sableux à argileux en surface	> 100 cm	
9	sols sableux à sablo-argileux en surface, argileux et vertiques en profondeur	> 100 cm	
17	sol sableux en surface, sablo-argileux en profondeur, drainage interne libre	> 100 cm	sols fragiles portant de belles forêts sêches à préserver.
18	sols sableux en surface et sablo-argileux en profondeur , teneur en bases faibles, assez désaturés. Drainage interne limité en profondeur, horizon supérieur massif à cohésion faible.	> 100 cm	
19	sols sableux à sablo-argileux en profondeur, présence des sols peu épais gravillonaires. Les sols sableux de cette unité sont des sols dunaires érodés, difficiles à regénérer	(40 - 100 cm)	
21, 23	sols sableux en surface, argilo-sableux en profondeur	> 100 cm	présence gravillonnaire à faible valeur agricole
22	sols sableux en surface et sablo-argileux en profondeur , horizon supérieur massif moyenne ou faible, teneur en bases faibles, assez désaturés, la désaturation souvent augmente en profondeur		
31, 34	sols sablo-argileux à argilo-sableux en surface, argileux en profondeur		l'utilisation de ces sols nécessite la connaissance préalable du regime hydrique reel
35	(titre même que 31, 34) présence de sols sans valeur agricole	> 100 cm	

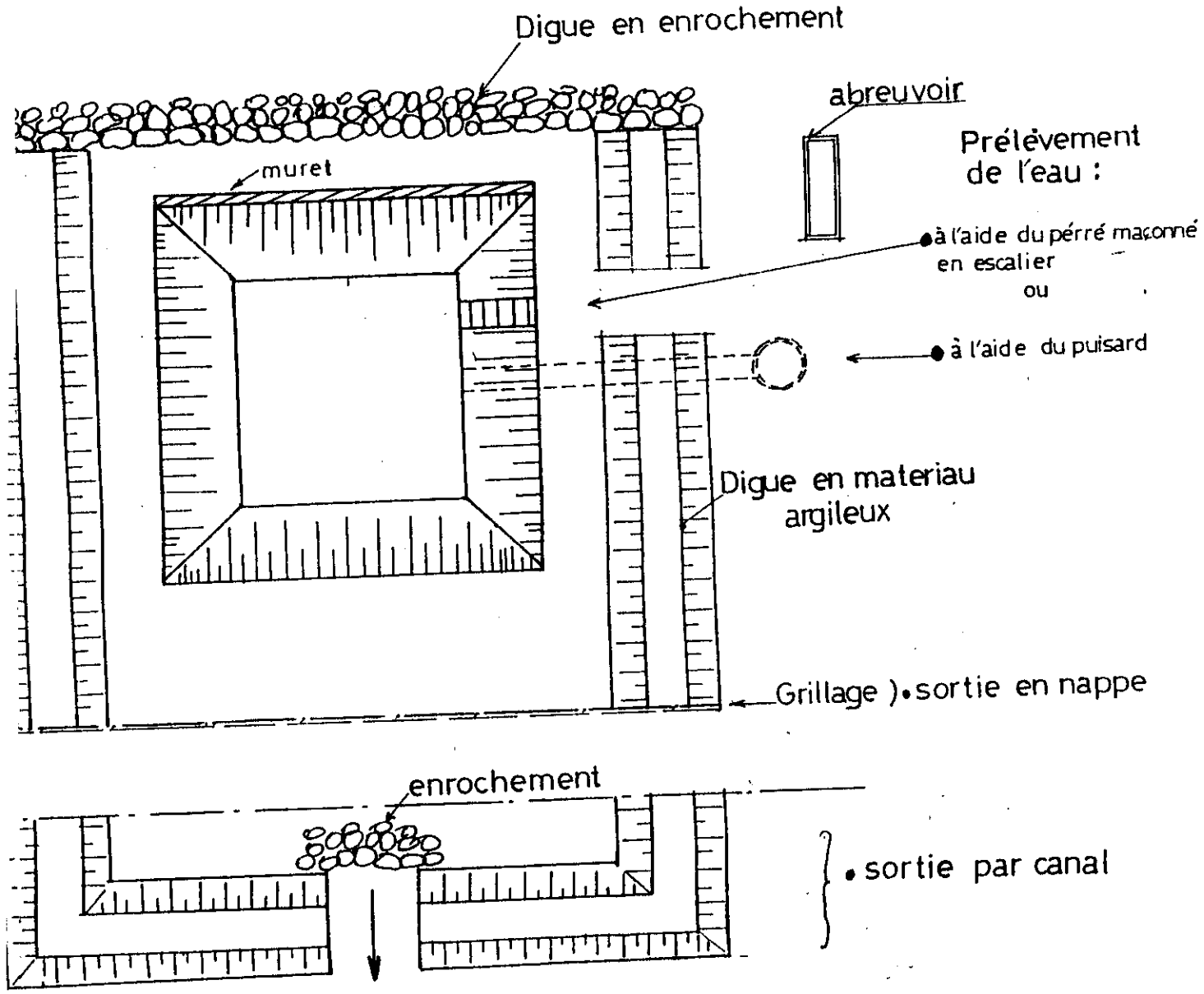
MARE TYPE 1



N.B.: La légende est identique à celle de la mare type II.
cf. schéma page suivante.

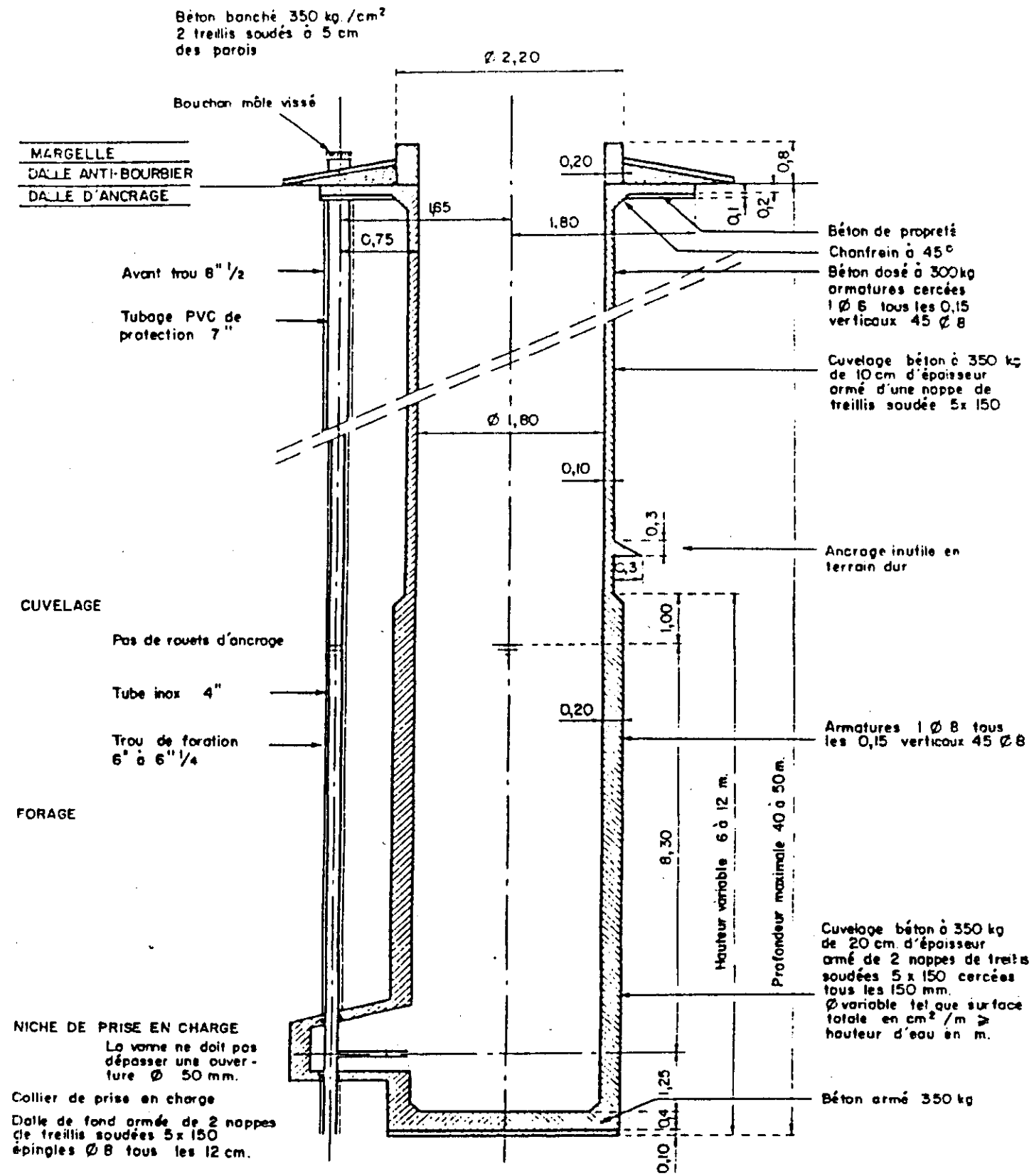
MARE TYPE 2

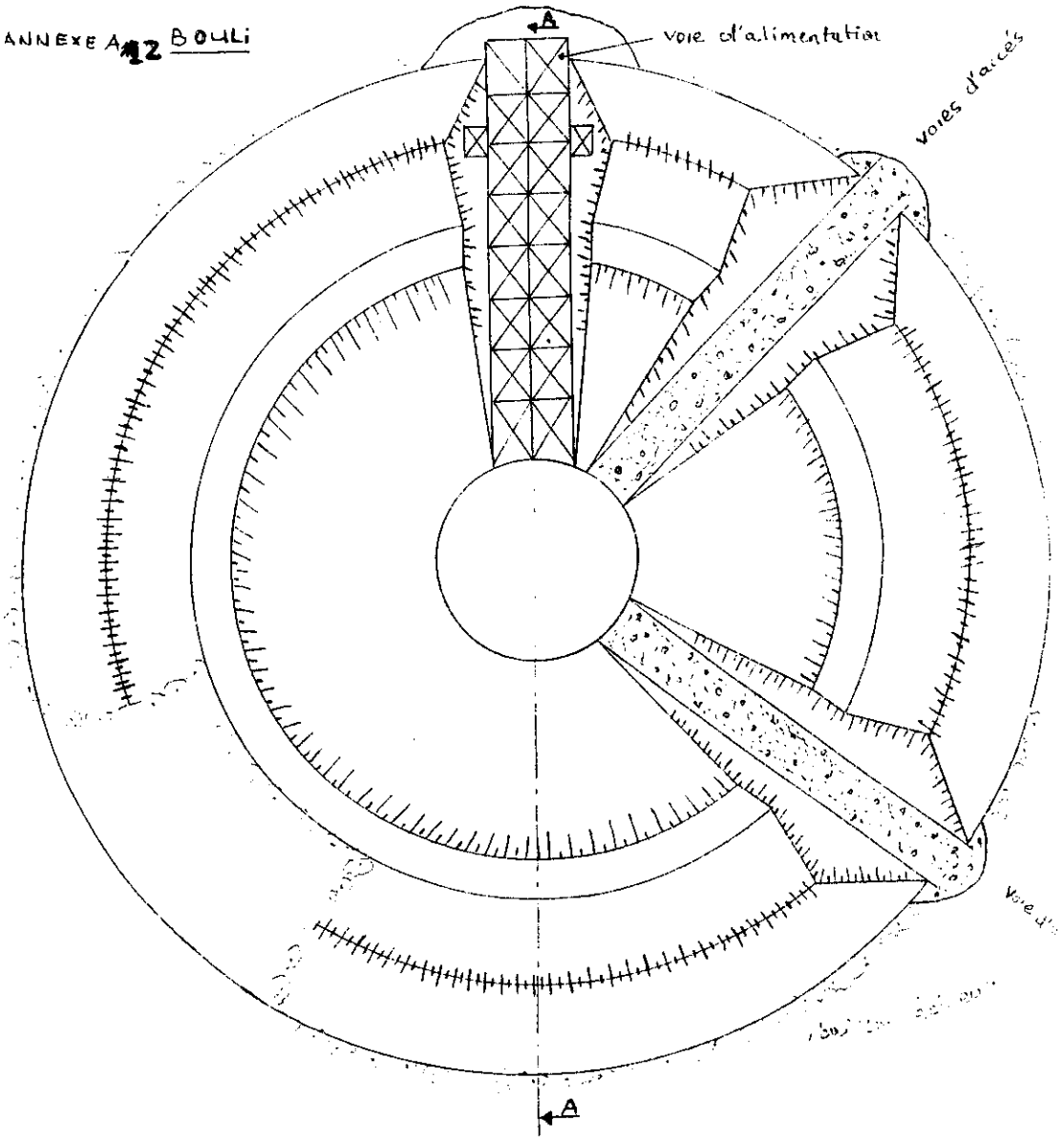
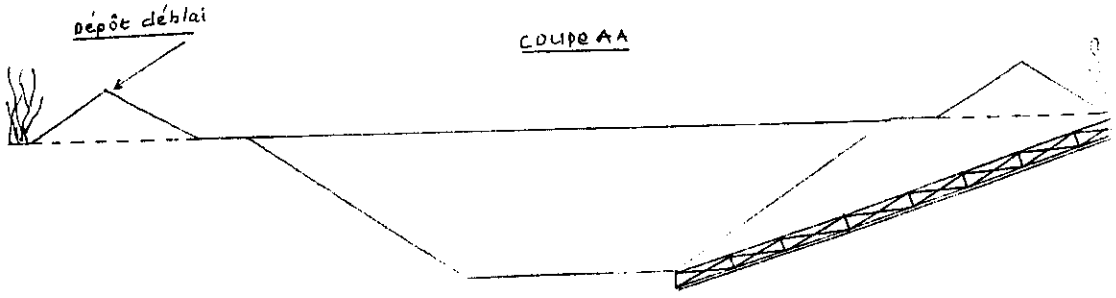
AMONT



AVAL

COUPE SCHEMATIQUE D'UN CONTRE-PUITS



Source : Projet CEAO/BRGM Mauritanie

ANNEXE A 12 BOULI