

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1998

Présenté par :

BILA Victor

Situation qualitative de la nappe à Bobo-Dioulasso

MENTION :

E. I. E. R.	
Enregistré à l'Arrivée	
le	N° 331/98

Encadrement
J. R. GUILLERET

DEDICACE

Ce présent travail est dédié:

– A la mémoire de ma mère, celle là qui avait su jouer son rôle primordial de l'éducation maternelle d'une mère pour son fils, son amour profond qu'elle ne cessait de partager avec moi;

– A mon épouse NDEBA Rose Rosine
et à mes enfants:

BILA Stévie Léonce

BILA Nupcia

BILA ATIABA Flora Bienvenue

BILA Ornela Mavie

pour avoir accepté et supporté mon absence pendant toute la durée de ma formation d'Ingénieur à l'E.I.E.R, je leur dois ce travail.

– A toute ma famille et tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu et encouragé durant tout mon cursus scolaire.

– A l'administration de l'E.I.E.R. et tout le corps professoral, pour leur compétence à la formation polytechnique du métier d'Ingénieur de l'Equipement Rural.

– A tous mes collègues de la 27^{ème} promotion, avec qui j'ai partagé une vie commune pendant les trois (3) années de la formation;

J'exprime à tous ma profonde reconnaissance.

REMERCIEMENTS

Ce modeste travail a été possible grâce à la contribution, morale physique, matérielle, et financière, de certaines personnes ou structures; qu'il me soit ici très sensible de leur adresser mes sincères remerciements..

Il s'agit de:

– La Direction de la médecine préventive (Ministère de la santé burkinabé), qui a bien voulu mettre ce sujet à notre disposition.

– La Direction de l'Hydraulique et des hauts bassins ma structure d'accueil à Bobo-Dioulasso et tout son personnel, en particulier Monsieur YE Ernest Ouébani, Ingénieur de Génie rural;

Je leur exprime ma profonde gratitude pour l'ensemble des documents, informations et moyens mis à ma disposition; leurs remarques et conseils ont permis d'étendre mon champ de recherches.

– Monsieur Jean René Guilleret mon encadreur de mémoire, responsable du laboratoire de Génie Sanitaire à l'E.I.E.R, pour son assistance matérielle et technique pendant toute la période du mémoire.

– Messieurs Dieudonné Afangnon et BYLL CATARIA, techniciens de laboratoire et tout l'ensemble de personnel de laboratoire de Génie Sanitaire, pour la bonne ambiance de l'équipe, leur assistance et encadrement durant tous nos travaux d'expérimentation.

– A tous ceux qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à la rédaction et à la saisie de ce document.

Je leur exprime ma profonde reconnaissance.

RESUME

L'eau pour qu'elle soit potable, doit être exempte de toute substance, susceptible de nuire à la santé de l'homme.

La reconnaissance d'une nappe, à partir d'un forage ou d'un puits crée un regard sur l'aquifère et peut occasionner sa contamination. De même un pompage crée une dépression et augmente les vitesses de circulation d'eau dans l'aquifère. Du fait de ces perturbations, les conditions d'équilibre sont rompues, l'eau souterraine peut être polluée au cours de son écoulement vers le point de captage. Il y a donc lieu de s'assurer que l'eau souterraine captée n'est pas souillée, ensuite de la préserver qualitativement et quantitativement par des mesures importantes et spécifiques.

Une eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle se trouve dans des conditions particulières telles que:

- elle contient des substances indésirables,
 - Les concentrations des éléments chimiques ou des germes microbiologiques ne respectent pas les normes exigées pour les eaux destinées à la consommation.
 - Elle renferment des organismes pathogènes.
- L'eau souterraine peut donc être polluée diversement (pollution chimique et microbiologique).

La ville de Bobo-Dioulasso a connue ces dernières années une très forte augmentation de sa population, due à un niveau moyen de développement industriel; par l'implantation de certaines activités économiques dans la ville. Ceci à encourager des mouvements massifs des populations vers la ville.

Ainsi les nombreuses activités de l'homme liées à son existence créent des problèmes sanitaires sur lui-même et son environnement.

Bobo-Dioulasso est exposé à plusieurs foyers de pollution d'origine diverses(chimique et domestique).

Il n'existe pas de système d'assainissement adéquat.

La plupart des industries implantées dans la ville ne possèdent pas des systèmes d'assainissement des eaux usées efficaces et parfois même inexistantes. Les eaux usées sont déversées dans les caniveaux des eaux pluviales.

Les terrains traversés par ces eaux ont une perméabilité élevée. Les risques de contaminations de la nappe sont très certaines.

Bobo-Dioulasso est la zone la plus arrosée dans la région sud-ouest du Burkina. Cette zone présente plusieurs sources naturelles. L'Office Nationale des eaux et de l'Assainissement exploite le débit naturel des sources de Nasso situées à 15 Km de la ville sans pompage de l'aquifère pour l'approvisionnement en eau de la ville.

Outre le réseau de l'O.N.E.A qui alimente la ville de Bobo en eau potable, une bonne partie de la population est alimentée à partir de nombreux puits et forages implantés dans la ville.

Le Projet d'inventaire des ressources en eau (RESO) a inventorié **8000 puits et une vingtaine de forages** exploités par les particuliers et les collectivités.

L'étude de la nappe souterraine que nous avons réalisé, nous fait observer que:

- **La nappe superficielle** exploitée par des puits présente une forte contamination. Par contre la nappe profonde beaucoup productive présente encore une qualité assez satisfaisante. Ainsi d'autres analyses sont nécessaires pour confirmer nos résultats.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GENERALITES	3
1.1. INTRODUCTION GÉNÉRALE	4
1.2. OBJET DE L'ÉTUDE	5
1.4. DÉMARCHE DE TRAVAIL SUIVIE	7
CHAPITRE 2: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	9
2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE	10
2.2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE	11
2.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE	11
2.4. CONTEXTE DE L'APPROVISIONNEMENT	15
2.4.1. <i>Les infrastructures existantes</i>	15
2.4.2. <i>Les besoins actuels et futurs</i>	16
2.4.3. <i>Les ressources exploitées et exploitables</i>	17
2.4.4. <i>La satisfaction des besoins actuels et futurs</i>	18
2.4.5. <i>Problèmes et perspectives</i>	19
2.5. CONTEXTE DE L'ASSAINISSEMENT À BOBO-DIOULASSO	20
2.5.1. <i>Introduction</i>	20
2.5.2. <i>Assainissement urbain</i>	21
2.5.3. <i>Assainissement industriel</i>	24
CHAPITRE 3 :LA SITUATION MICROBIOLOGIQUE DE L'EAU DE	
CONSOMMATION	28
3.1. INTRODUCTION	29
3.2. DANGERS LIÉS AUX GERMES PATHOGÈNES PRÉSENTS DANS LES EAUX	30
3.2.1. <i>Les bactéries pathogènes</i>	30
3.2.2. <i>Les virus</i>	32
3.2.3. <i>Les bactéries indicatrices de la pollution fécale</i>	33
CHAPITRE 4 : ANALYSE DES EAUX DE LA NAPPE	
SOUTERRAINE ET INTERPRÉTATION DES RESULTATS	35
4.1. INTRODUCTION	36
4.2. ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE ET PHYSICO-CHIMIQUE	36
4.2.1. <i>Méthodologie de travail</i>	36
4.2.2. <i>Choix des paramètres à analyser</i>	38

4.3. RÉSULTATS DES ANALYSES	45
4.3.1. TABLEAU N° 1 Détail de prélèvement des échantillons.....	46
4.3.2. TABLEAU N° 2 Résultats d'Analyse Physico-chimique et Microbiologique de la nappe à Bobo-Dioulasso (forages)	47
4.3.3. TABLEAU N° 3 Résultats d'Analyse Physico-chimique et Microbiologique de la nappe à Bobo-Dioulasso (puits).....	48
4.3.4. TABLEAU N° 4 Résultats d'Analyse Physico-chimique et Microbiologique de la nappe à Bobo-Dioulasso (puits).....	49
4.3.5. Réglementation concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation	50
4.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	50
4.4.1. Recherche des coliformes	50
4.4.2. Analyse physico-chimique	51
4.4.3. Paramètres généraux de pollution	56
CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET RECOMMANDATIONS	63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	67
ANNEXE 1	68
ANNEXE 2.....	69

Chapitre I : GENERALITES

1.1. Introduction Générale

Cette étude s'inscrit dans le cadre académique d'un mémoire de fin d'étude, pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de l'Équipement Rural.

Le thème de ce mémoire intitulé " **Situation qualitative de la nappe souterraine à Bobo-Dioulasso** ", est l'un des sujets proposés par la Direction de la médecine préventive du Ministère de la santé (Burkina Faso), à l'intention des élèves Ingénieurs de notre école en fin de leur formation.

Le temps nécessaire pour la réalisation de cette étude est de deux (2) mois (Avril et Mai 1998).

La maîtrise et le traitement de ce thème nous permettra d'avoir une connaissance assez complète, des effets engendrés par la pollution industrielle et urbaine sur les nappes aquifères, qui sont également les sources d'alimentation en eau de la ville, à partir de nombreux puits et forages.

Ainsi notre travail vise à effectuer des analyses physico-chimiques et bactériologiques, afin de recueillir des données objectives qui seront utilisées pour:

- apprécier la qualité de l'eau de la nappe souterraine
- apprécier les risques causés par la pollution de la nappe sur la santé publique et l'environnement.
- Faire des propositions pratiques à l'intention des Ingénieurs et techniciens de génie sanitaire, sur des méthodes d'implantation des puits et latrines.
- Faire des recommandations sur les mesures spécifiques d'assainissement et d'alimentation en eau potable, pour l'amélioration des conditions sanitaires des populations urbaines de Bobo-Dioulasso.

Ce rapport, comportant cinq (5) chapitres se présente comme suit:

Dans le chapitre 2, nous présentons les aspects physiques de la zone d'étude. Nous décrivons également les conditions sanitaires de la ville de Bobo-Dioulasso; notamment le fonctionnement des installations du système d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement de la ville. Les manquements des systèmes de fonctionnement sont également exposés dans ce chapitre.

Le chapitre 3 représente la partie théorique du mémoire essentiellement consacrée à la définition des micro-organismes présents dans les eaux, le mécanisme de leur mode de contamination et des risques sur la santé publique.

Le chapitre 4 est la partie essentielle du mémoire. Il est consacré sur l'ensemble des travaux d'expérimentation effectués. Les résultats des analyses et les différentes mesures effectuées au laboratoire sont également présentés et interprétés dans ce chapitre.

Dans le chapitre 5, nous présentons la synthèse de tous les travaux effectués en indiquant le besoin des résultats acquis et les perspectives de recherches par des propositions ou recommandations.

Nous signalons également qu'une dernière partie est consacrée aux annexes pour des informations complémentaires du rapport. Dans cette partie figurent des cartes nécessaires pour la zone d'étude, les résultats des analyses y figurent également et les différents protocoles de dosage des paramètres recherchés sur la physico-chimie et la bactériologie.

I.2. Objet de l'étude

Chaque année des problèmes de pollution de l'environnement sont soulevés dans la ville de Bobo-Dioulasso, du fait des rejets sans traitement des eaux usées; et en particulier celles des industries de la ville.

Ainsi notre étude a pour objet, de rendre compte de la situation actuelle, de la qualité de l'eau de la nappe souterraine; par des mesures réelles d'analyses; afin de disposer des informations suffisantes, quant aux mesures à prendre sur les risques que peuvent courir l'environnement et la santé publique.

La ville de Bobo-Dioulasso est alimentée en eau potable, à partir d'une source naturelle exploitée par l'ONEA. Les puits et les forages sont aussi exploités par des collectivités, des particuliers et des industries de la ville.

Notre travail concerne donc plus précisément , à faire des observations physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la nappe souterraine, prélevées à partir des puits et des forages implantés dans la ville de Bobo-Dioulasso.

Un choix d'échantillonnage est fait dans la zone d'étude en tenant compte de certains critères, nous permettant d'avoir une bonne représentativité (foyers et types de pollution, types d'ouvrage, secteurs..).

A la suite des résultats obtenus, des recommandations seront proposées pour permettre d'améliorer la situation.

1.3. La Problématique

L'approvisionnement en eau potable et l'assainissement demeurent aujourd'hui des préoccupations essentielles, pour améliorer la situation sanitaire des populations dans nos pays, malgré les difficultés socio-économiques.

Le développement industriel d'un pays et les activités humaines, suite à des concentrations maximales des populations dans les centres urbains, posent à ce jour de sérieux problèmes de pollution d'origine diverses, et notamment fécale, susceptibles de menacer quotidiennement la santé publique et l'environnement.

Cette pollution, quelle qu'en soit son origine industrielle ou domestique constitue un facteur de nuisance pour l'humanité et l'écologie; tant que les mesures spécifiques d'assainissement et de protection pour l'approvisionnement en eau ne sont pas prises.

A Bobo-Dioulasso, ce problème existe. La nappe d'eau souterraine et les eaux de surface sont exposées à plusieurs foyers de pollution dans la ville et dont nous ferons état dans ce rapport.

Les mesures spécifiques d'assainissement des eaux usées, de gestion d'ordures ménagères et des déchets industriels ne sont pas efficaces, ou parfois inexistantes; et par conséquent restent une préoccupation certaine pour les autorités du Burkina.

Les fosses septiques qui sont comme ^{1 station} des lieux d'aisance des populations sont souvent réalisées comme de simples fosses, creusées en pleine Terre. Les fosses septiques fonctionnelles, plus coûteuses posent des problèmes socio-économiques et ne sont réalisées que par une catégorie de personnes privilégiées dans la ville.

La population de Bobo-Dioulasso est en partie approvisionnée en eau potable par l'ONEA. Une autre partie de la population utilise les eaux souterraines à partir des puits et forages sans traitement préalable, pour subvenir aux besoins des ménages et de consommation générale.

Ainsi, est-il fondamental; sinon primordial de réaliser un suivi de la qualité de la nappe aquifère, sensiblement menacée par les foyers de pollution, qui affectent la santé publique et l'environnement.

I.4. Démarche de travail suivie

Pour mener à bien notre étude, nous avons procédé de la manière suivante:

❶ **La Compréhension du sujet de mémoire:** Des entretiens avec la Direction de la médecine préventive, nous ont permis de connaître leurs attentes sur le sujet proposé, par la précision des termes de référence.

❷ **L'Identification de la zone d'étude :** La zone d'étude concernée, est la ville de Bobo-Dioulasso située au sud-ouest du Burkina Faso .

❸ **Une visite de reconnaissance de terrain** à Bobo-Dioulasso. Cette visite a été effectuée durant une dizaine de jours et nous a permis de:

- Prendre contact avec la Direction de l'hydraulique et des hauts bassins, qui est notre structure d'accueil à Bobo-Dioulasso.
- rechercher et lire les documents pour se familiariser avec la situation existante.
- recueillir les données physiques et sanitaires de la zone d'étude dans les documents existants.

Pendant notre séjour à Bobo-Dioulasso, nous avons réalisé trois sorties sur le terrain, sous la direction de Monsieur YE, Ingénieur Génie Rural de l'E.I.E.R, et chef du sous programme "Inventaire des ressources en eau dans le sud-ouest du Burkina (RESO)".

Ainsi, suite à ces visites de terrain, nous avons réalisé la suite du programme suivant un accord avec l'encadreur de la structure d'accueil.

❹ **L'Identification et choix des points de prélèvement.** Le choix des points de prélèvement a été fait non seulement en fonction de type d'ouvrage captant la nappe souterraine (puits et forage); mais aussi en tenant compte des différents foyers de pollution dans la ville et des formations géologiques de la nappe.

Pour cela, vu les difficultés de transport sur le terrain, le temps et les moyens limités pour :

- réaliser les prélèvements à Bobo-Dioulasso
- transporter les échantillons de Bobo-Dioulasso à Ouagadougou

nous avons limité nos enquêtes à 23 points de prélèvements : soient 7 forages et 16 puits

⑥ **La Campagne de prélèvement** : Les échantillons à analyser sont prélevés en début de semaine et dans les premières heures de la journée. Ces échantillons sont transportés à Ouagadougou le même jour pour des besoins d'analyses bactériologiques et physico-chimiques (conditions de transport et de prélèvement voir 2^{ème} partie du rapport).

Nous avons réalisé une seule campagne de prélèvement en deux phases dont 7 forages et 16 puits:

1^{ère} phase : 12 échantillons

2^{ème} phase : 13 échantillons

⑦ **L'Analyse des échantillons et interprétation des résultats** *et Commentaires*

⑧ **Conclusions générales et recommandations.**

Chapitre 2: Présentation de la zone d'étude

2.1. Situation Géographique et Climatique

Deuxième ville du Burkina Faso, Bobo-Dioulasso est située au sud-ouest, et à 365 Km de la capitale Ouagadougou. Chef lieu de la province du Houet, elle compte 25 secteurs, repartis dans trois arrondissements (Dô, Dafra, Kansa);

Connue sous le nom Sya , La ville de Bobo-Dioulasso couvre une superficie de 80 km². Elle a pris naissance au carrefour de plusieurs axes commerciaux (SOGREAH 1994 et programme RESO 1997).

La région sud-ouest du Burkina Faso d'une superficie de 60.400 Km², présente un relief plus marqué, qui est la conséquence de son histoire géologique. Dans sa partie Nord-Ouest, un bassin gréseux constitue un plateau élevé, avec des altitudes moyennes de 400 m à 600 m . Un élément marquant ce relief est la falaise de Banfora, longue de 80 km et dont la hauteur atteint 150 m.

De Bobo-Dioulasso à Banfora, la falaise constitue un mur rocheux quasi-continu et vertical, constituant une limite naturelle bien marquée .De nombreuses vallées entaillent le plateau en isolant les promontoires et les buttes .

A l'Est de Bobo-Dioulasso, la falaise se réduit rapidement et disparaît dans le paysage. Le reste de la zone présente un relief plus bas et monotone (250 m à 400 m).

La région de Bobo-Dioulasso est une zone de climat sud-soudanien avec deux saisons bien marquées :

- Une saison sèche de Novembre à Mai - Juin,
- et une saison des pluies de Juin - Octobre .

Les températures présentent une variation saisonnière importante selon l'alternance des saisons .

- Deux saisons fraîches (minimum 10°C),
- Deux saisons chaudes, la première en Mars-Avril (maximum moyen 37°C), la seconde en octobre (34°C) .

L'évaporation de la nappe libre est estimée à 6 mm/j en moyenne annuelle .Elle peut toutefois monter à 10 mm/j en saison sèche. Selon les études précédentes entre 10 et 25 % de la précipitation s'infiltrent dans le sol .

2.2. Contexte Hydrologique

Bobo-Dioulasso est en majeure partie située sur le bassin versant du Houet, l'agglomération déborde légèrement à l'est sur le bassin de la Niamé, et au sud-est l'urbanisation atteint les limites du bassin de la Komoé, matérialisé par la falaise de Banfora .

Au sud-ouest la zone de l'aéroport, une partie importante du lotissement de Lafiabougou, et au sud de la zone industrielle empiètent largement sur la tête du bassin du Kou. Ceci constitue une des contraintes majeures du site.

En effet, la prise d'eau potable de Bobo-Dioulasso, source située à Nasso, est en principe alimentée par le bassin du Kou, cette région est l'une des plus arrosées du pays. Les précipitations moyennes annuelles se situent entre 900 mm au Nord et 1200 mm au Sud de la zone .

2.3. Contexte Géologique et Hydrogéologique

Dans la zone d'étude, on rencontre deux grandes unités géologiques :

- Le socle cristallin précambrien, constitué des roches ignées et métamorphiques. Il est caractérisé par une faible porosité et perméabilité.
- La couverture sédimentaire (sédiments marins et précambriens d'une épaisseur de plus de 1000 m dans cette région), constitue la bordure sud-ouest du bassin de Taoudéni. Ces couches ont un faible pendage (quelques degrés) vers le nord-ouest et consistent surtout en des grès, localement interrompus par des argilites et des calcaires.

De manière plus détaillée, les formations de la couverture sédimentaire allant de la base vers le sommet se présentent comme suit :

- Les grès inférieurs (G.I),
- la formation des grès de kawara-sindou (Gks): constituant l'essentiel de la falaise de Banfora, elle repose en discordance sur le socle cristallin. Son épaisseur varie de 90 m (Bobo) à 350 m (près de Banfora).
- la formation des grès fins à glauconiaux de Takalédougou (Gfg), d'épaisseur variant entre 100 m - 500 m, est composée d'une lithologie à grès quartzites fins à moyens glauconiaux à la base : C'est la formation sur laquelle, la ville de Bobo-Dioulasso se trouve.
- La formation des grès à granules de quartz (Ggq), d'épaisseur variant de 300 m à 600 m , marquée par la présence des grès quartzitiques , à passées de grès grossiers .
- Les silstones, argilites et carbonates de Guena-Sourkoudinga (Sac)
Cette formation d'épaisseur estimée à 300 m, est composée de lithologie à grès quartzites, silstone, argilites, calcaires et dolomitiques.
- Les dolérites et gabbro-doléritiques: La couverture superficielle d'une épaisseur de 0 à 40 m (latérites , altérites et des alluvions) est composée de sables, graviers , argiles et se situe principalement dans la vallée du Kou.

La figure n°3 annexe 1 présente le contexte géologique de la zone de Bobo-Dioulasso et **la figure n°4** la colonne stratigraphique du sédiment sud-ouest de Burkina.

Dans la zone qui nous intéresse, la transition entre le socle et les formations sédimentaires est marquée par la falaise de Banfora, une falaise verticale, localement haute de 150 m et de 80 km qui forme un phénomène remarquable dans un paysage caractérisé autrement par des collines à faible pente.

Il faut noter que plusieurs rapports des études réalisées font état de beaucoup de fractures dans la zone. Il est donc important de signaler que ces fractures qui se trouvent entre autres dans la zone industrielle et la zone où les déchets industriels sont déversés, peuvent donner lieu à une perméabilité élevée de la couche des altérites et à la nappe.

Sur le plan **Hydrogéologique**, la zone de Bobo-Dioulasso est caractérisée par cinq aquifères productifs, profonds, distincts et individualisés. Ces aquifères sont situés dans les unités géologiques identifiées dont :

- un aquifère dans le grès de base (Gks),
- un aquifère dans la partie supérieure du grès fin glauconieux (Gfg),
- deux aquifères dans le grès à granules de quartz dont un dans la partie supérieure et l'autre dans la partie inférieure. Ils sont séparés par des grès fins imperméables.
- et enfin un aquifère sous le calcaire du Sac.

◆ Paramètres hydrogéologiques des aquifères

La transmissivité, perméabilité et porosité des formations sédimentaires et des altérites sont données en tableau n° 1 (SOGREAH 1994 et GWK 1989).

Formation	Epaisseur (m)			Transmissivité T (m ² /s)			Perméabilité K (m/s)
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	
Gks			90			1.00E-3	1.11 E-5
Gfg (Bobo)	100	500	300			7.00 E-04	2.33 E-06
Ggq	300	600	315	9.00 E-03	1.50 E-02	1.20 E-02	3.81 E-05
Sac			300	5.60 E-04	1.10 E-02	5.78 E-03	1.93 E-05
Latérite	5	40					

Tableau n° 1: Transmissivité et perméabilité des formations d'après SOGREAH

Remarques:

Sur la base de ces valeurs données, on peut conclure qu'en général, ces formations constituent des bons aquifères.

Localement, la Transmissivité peut être beaucoup plus importante à cause de la présence des zones fracturées et karstifiées. SOGREAH explique la présence des sources de Nasso, situées à 15 km à l'ouest de Bobo-Dioulasso par la présence des phénomènes de karstification dans le grès de base (GKS).

Par contre les nappes superficielles des formations latéritiques, altérites et d'alluvions sont de faibles capacités, vulnérables et en relation étroite avec les pluies.

Elles peuvent être en continuité directe avec les aquifères profonds. Le risque de pollution est élevé pour ces nappes par le fait qu'elles sont le domaine de nombreux puits perdus et latrines de la ville de Bobo-Dioulasso.

La totalité de la zone industrielle, la zone des décharges industrielles et la plus grande partie de la ville de Bobo-Dioulasso sont sises de la zone de recharge des sources de Nasso. Aucune couche imperméable ne protège les aquifères sur lesquels Bobo est située et qui alimentent les sources de Nasso.

Par contre une petite valeur protectrice peut être attribuée aux latérites, altérites qui recouvrent les aquifères. Et l'amplitude de la protection dépend directement de l'épaisseur de ceux-ci.

La vitesse d'écoulement de l'eau souterraine peut varier entre 0,1 m/mois (grès fins, non fracturés) et plus de 100 m/mois (zones fracturées).

Aussi des études ont montré que le temps requis pour qu'une contamination de la nappe au droit de Bobo-Dioulasso n'atteigne les sources de Nasso à 15 km de distance peut varier de 12 à plus de 1500 ans (source Inventaire des ressources en eau / Rapport Final / Avril 1997)

Le suivi de la piézométrie de Bobo-Dioulasso renseigne qu'il existe un écoulement général de la nappe, du Sud vers le Nord, en direction de niveau de base régional imposé par le Kou dont le Houet est un affluent. Ce drainage de la nappe au profit du réseau superficiel est beaucoup plus accentué au centre ville.

2.4. Contexte de l'approvisionnement en eau potable de la ville

Bobo-Dioulasso est non seulement le second centre urbain; mais aussi la ville économique du Burkina Faso. Avec une population estimée à 350.000 habitants (en 1995), la problématique de son alimentation en eau se situe à un niveau tout à fait différent des autres centres urbains du pays et en particulier ceux du sud-ouest.

Grâce donc à l'existence de grandes sources situées à une vingtaine de kilomètre de la ville près de Nasso (environ 10.000 m³/h), l'alimentation en eau de Bobo-Dioulasso ne poserait aucun problème de ressource même à long terme, s'il n'existait pas une compétition avec d'autres utilisateurs établis en aval des ressources (cas surtout pour l'irrigation).

De nombreuses études ont concerné l'alimentation en eau et l'inventaire des ressources de la ville de Bobo-Dioulasso. Entre autres, nous citerons deux études plus importantes et plus complètes dont le rapport SOGREAH de 1994 et le programme RESO en cours. Une synthèse de ces rapports nous permet de mettre en valeur quelques données essentielles de la ville:

2.4.1. Les infrastructures existantes

La ville de Bobo-Dioulasso est alimentée en eau à partir des sources de Nasso. Deux sources sont captées (ONEA I et ONEA II), on y prélève actuellement le débit naturel sans pompage de l'aquifère. La station de pompage est équipée de pompes immergées KSB et Guinard d'un débit de 300 m³/h chacune. La capacité des deux sources est d'environ 1800 m³/h en étiage. Le refoulement est assuré par quatre autres pompes de surface de type KSB de 225 m³/h chacune.

L'eau est d'excellente qualité, assez chargée en gaz carbonique; elle subit une aération, une neutralisation à la chaux (correction du pH), et simplement une désinfection. Une conduite de refoulement en fonte de diamètre 600 mm, longue de 18 km amène l'eau traitée de la station de Nasso aux réservoirs et châteaux de la ville.

La source d'énergie est fournie par la société nationale Burkinabé d'électricité (SONABEL) à partir de deux transformateurs de 630 KVA. Un groupe de 360 KVA assure le secours et l'appoint.

Le réseau de distribution de type maillé est long de 221 Km et constitué de conduites en fonte, de diamètre 80 à 500 mm (51,5 km) et de conduite en pvc, diamètre 63 à 315 mm (152,4 km). Son rendement n'est que de 67 %, un tiers de la population est donc perdu: soit par des fuites dans le réseau (22,4 %); soit par des branchements pirates (absence de compteurs ou mauvais compteurs placés).

La capacité utile de stockage au centre de Bobo-Dioulasso est d'environ 6000 m³ repartis dans 5 châteaux et réservoirs.

Outre le réseau de l'Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA), Bobo-Dioulasso dispose d'autres infrastructures. Leur recensement a été mené dans le cadre de l'inventaire des ressources en eau dans le sud-ouest (RESO) du Burkina. Il existe pour cela:

- **une vingtaine de forages**, exploités pour la plupart par des industries, des collectivités (centres scolaires, de santé, prison,...) ou des particuliers. Ces forages sont équipés de pompes électriques ou solaires.
- **une dizaine de puits modernes à grands diamètres**. Leur profondeur varie de 8 à 26 m, avec un niveau d'eau entre 4 et 16 m.
- **environ 8000 puits traditionnels** d'une profondeur entre 5 et 15 m, avec le plus souvent une lame d'eau de moins d'un mètre en saison sèche. La plupart de ces puits sont pérennes.

Certains puits (modernes ou traditionnels) sont équipés de pompes électriques et solaires; d'autres par contre sont généralement exploités en utilisant des récipients.

La ville de Bobo-Dioulasso ne dispose pas de cours d'eau pérenne ni de retenue. Le Houet semble permanent vers le quartier sakabi, mais le faible écoulement en saison sèche provient des rejets industriels et domestiques drainés par ce cours d'eau.

2.4.2. Les besoins actuels et futurs

Les besoins en eau de la ville de Bobo-Dioulasso, avec une population de 350.000 habitants en 1995, s'élèvent à une valeur théorique de 17.500 m³/j: soit un pompage continu de 740 m³/h. On verra plus loin que ce chiffre est supérieur à la consommation sur le réseau.

L'Office Nationale de l'eau et de l'Assainissement alimentant un grand nombre de gros consommateurs (industries, administrations, collectivités), la consommation moyenne rapportée à l'ensemble de la population est proche de 50 l/jour/habitant .

La consommation moyenne pour les branchements particuliers est de 549 l/jour; avec une estimation de 12 habitants par branchement, cela fait une consommation de 46 l/jour/hab.

Pour une estimation **en 2006**, en considérant un taux d'accroissement de **4 %** (hypothèse assez faible); on aura **540.000 habitants** avec un besoin quotidien de **27.000 m³**, soit un pompage continu de **1125 m³/h** .Il faut cependant prévoir une production plus importante pour tenir compte des pertes du réseau, de l'ordre de **1500 m³/h** si l'on considère son état actuel.

2.4.3. Les ressources exploitées et exploitables.

Les ressources exploitées sont les sources ONEA I et ONEA II du site de Nasso-Kokoroué. La source voisine de la Guinguette, inexploitée actuellement, débite environ **6000 m³/h** et la source de Pessou environ **400 m³/h**.

L'origine de ces sources considérables provient du débordement en un site géographique unique de deux aquifères importants: le Ggq et le Sac dont les eaux se mêlent et contribuent à l'importance du débit.

Les autres ressources exploitables sont des aquifères inférieurs du Gks (qui exigent pour son exploitation à Bobo-Dioulasso des forages de l'ordre de 500 m de profondeur) et du Gfg (accessibles facilement autour de la ville) et qui fournissent des eaux de bonne qualité.

Le rapport SOGREAH analyse en détail les potentialités de ces aquifères et propose trois scénarios possibles d'exploitation.

- L'utilisation maximale des sources actuellement captées et du forage F₃ jusqu'à un débit de pointe de **48.000 m³/jour**.
- l'utilisation des sources actuellement captées et du forage F₃ à raison de **1000 m³/h** pour le tout, plus une surexploitation des sources à raison de **1.800 m³/h**, plus un champ de forages (**15 à 30**) captant le Gks.
- la même proposition pour les sources et le **forage F₃**, plus un champ de **30 à 50 forages** captant le Gfg autour de la ville.

Chacune de ces solutions impose des contraintes naturelles, techniques et financières spécifiques, examinées en détail dans le rapport SOGREAH.

2.4.4. La satisfaction des besoins actuels et futurs

La production en 1995 a été de 5.428.000 m³ pour une consommation de 3.622.000 m³, soit respectivement 14.900 et 9.900 m³/jour. Ce chiffre de consommation, et même de production, est très inférieur aux prévisions établies dans l'étude SOGREA pour la même année.

On a vu que la consommation aux branchements privés en 1995 était de 46 l/jour/hab. Aux bornes fontaines, l'ONEA estimait une consommation de 13.700 litres/jour/borne et une fréquentation moyenne de 1.200 hab/borne, on obtient un chiffre de 11,4 l/j/hab. L'ONEA évalue le taux de desserte à 77 %.

On peut donc conclure de ces chiffres que si l'ONEA satisfait une très grande partie des besoins de la ville, une autre partie non négligeable recourt encore à d'autres ressources, c'est-à-dire les puits qui captent l'aquifère superficiel et les forages privés captant l'aquifère profond.

Selon les analyses effectuées régulièrement par le Centre Muraz, l'eau de distribution de l'ONEA répond aux critères de potabilité (les prélèvements sont faits en divers endroits, de la station de captage jusqu'aux bornes fontaines).

Par contre, l'eau des puits est contaminée chimiquement et bactériologiquement par les nombreux foyers de pollution domestiques, artisanaux et industriels de la ville. Lors de l'inventaire courant Octobre 1996, des mesures des conductivités effectuées sur plusieurs puits des quartiers Sikasso-cira, Accart-ville, Koko et Sarfalaho ont dégagé des niveaux élevés de l'ordre de 350 à 500 µs/cm (source Programme Inventaire des ressources en eau).

Certains habitants sont conscients de cette situation et consomment l'eau potable aux bornes fontaines, réservant l'eau de puits aux autres usages domestiques.

La satisfaction des besoins futurs pose un double problème:

- l'équipement technique et,
- le partage de la ressource.

Le problème de l'équipement technique est essentiellement un problème financier et donc de gestion de l'ONEA.

Le problème du partage de la ressource fait qu'un accroissement excessif du captage des sources ONEA risque de léser les utilisateurs aval de la vallée du Kou, dont les périmètres irrigués sont de gros consommateurs. Déjà actuellement, les exploitants évoquent la contrainte du manque d'eau pour irriguer les terres disponibles.

Dans tous les scénarios envisagés en long terme, un barrage est envisagé dans la vallée du Yengué (d'un volume utile de 35 millions de m³) pour garantir un débit acceptable pour l'irrigation de la vallée du Kou, malgré l'accroissement du prélèvement des sources pour l'AEP de Bobo-Dioulasso.

2.4.5. Problèmes et perspectives

Parmi les difficultés auxquelles est confronté le centre ONEA de Bobo-Dioulasso, on peut citer les problèmes suivants:

- La station de traitement est sous dimensionnée vis à vis du débit de production atteint ces dernières années. En conséquence, le réajustement du pH est de plus en plus difficile.
- Le réseau de la ville comporte encore à l'heure actuelle beaucoup de tronçons vétustes en fonte ductile et en fonte grise, ainsi que les branchements anciens en galvanisé ou en plomb qui sont très dangereux pour la santé.

Ces matériaux sont probablement à l'origine de fuites non négligeables et posent des problèmes de maintenance. De plus, certains tronçons ont été anciennement posés sans enregistrement précis de leur localisation; la récente étude AEP Bobo menée par Sahel-consult / KFW (IGIP) sur la réduction des déficits en eau à contribuer à mettre à jour le plan du réseau et à localiser certains tronçons perdus.

- Un château d'eau de 1500 m³ est actuellement inexploitable en raison de sa cote topographique supérieure de 5 m à celle des réservoirs.
- Le relief de la ville engendre des pressions disparates dans le réseau. On constate ainsi des fuites aux points de haute pression et un manque d'eau chronique dans les zones élevées, surtout en saison chaude (quartiers de Sarfalaho, Bolomakoté entre autres).

- Le rendement du réseau diminue régulièrement, il est passé de 85 % en 1988 à 67 % en 1995. L'ONEA est peu encline à investir dans les quartiers périphériques de la ville où le tissu urbain est anarchique (habitat spontané).

Ces quartiers sont peu susceptibles de constituer pour elle une source de revenus suffisante, les populations étant trop démunies pour s'abonner au réseau. Le service de l'eau y relève largement du secteur informel (vendeurs de barriques).

2.5. Contexte de l'assainissement à Bobo-Dioulasso

2.5.1. Introduction

Si la disponibilité et la valorisation des ressources en eau sont les soucis fondamentaux des populations et des autorités Burkinabés, il est également vrai que le courant en faveur de l'environnement, justifié par des réalités écologiques, touche aujourd'hui tous les pays du monde entier.

Cela peut être à terme salutaire pour les pays comme le Burkina Faso, où le développement industriel reste encore modeste; car il n'a pas commis trop de dégâts environnementaux. La chance d'éviter les erreurs commises dans les pays industrialisés au cours de ce siècle existe; il faut donc savoir la saisir maintenant.

Dans le secteur particulier de l'eau le souci majeur de protéger l'environnement provient d'un double intérêt:

- Maintenir un niveau acceptable de la qualité des ressources en eau pour satisfaire les divers besoins des populations.
- Protéger l'environnement pour lui-même afin de maintenir les équilibres écologiques naturels, ou au moins d'éviter les équilibres artificiels dont les conséquences apparaissent souvent néfastes pour la biosphère et l'humanité en particulier.

La protection elle-même des ressources en eau présente un double aspect: quantitatif (partage des ressources entre les utilisateurs, impacts de prélèvement sur les volumes disponibles et /ou renouvelables); et qualitatif (pollution chimique et bactériologique des eaux).

Le dernier aspect, résume donc l'intérêt principal, de rechercher et d'identifier les sources de polluants, faire prendre les mesures de sécurité et de prévention qui s'imposent pour la survie de l'environnement et la santé publique.

Donc en terme clair, il s'agit de lutter contre toute sorte de pollution urbaine ou industrielle susceptible de contaminer les eaux de surface et la nappe.

2.5.2. Assainissement urbain

2.5.2.1. Les sources de pollution

Les sources de pollution en milieu urbain sont très diversifiées. Deux types de sources sont à distinguer: Les sources diffuses et les sources ponctuelles.

- Les sources diffuses sont réparties sur toute l'agglomération urbaine. Ce sont les conséquences des activités domestiques: ordures ménagères, rejets inappropriés d'eaux usées, latrines.
- Les sources ponctuelles sont dues à des activités spécifiques localisées, ou l'existence de fortes concentrations humaines: Industries, artisanats polluants (teinturerie), garages, dépôts de carburant, hôpitaux, abattoirs, hôtels, prisons, camps militaires, cimetières et les décharges officielles ou non.

La ville de Bobo-Dioulasso est concernée par ces différentes sources de pollution et elle compte pour cela un très grand nombre des foyers de pollution.

2.5.2.2. Mesures actuelles d'assainissement à Bobo-Dioulasso

• *Eaux usées*

Actuellement, en absence d'un réseau spécifique, les eaux usées s'écoulent dans les caniveaux de drainage des eaux pluviales. On peut dire qu'aucune mesure réelle d'assainissement n'existe pour la pollution urbaine à part le cas de quelques industries de la ville.

Le réseau pluvial dirige les eaux usées dans trois(3) directions principales:

- Vers le nord-ouest de la ville, à proximité immédiate du nouveau stade. En saison sèche, les rejets liquides ne parviennent pas au bout du canal. Celui-ci est en partie en terre et en partie bétonné; mais l'infiltration est plus accentuée lorsque l'écoulement ne parvient pas au bout du canal. C'est un risque évident de contamination de la nappe.

En saison des pluies, une mare très polluée s'y forme. Cet endroit est le lieu des cultures maraîchères étendues.

- Une bonne partie des eaux de la ville est rejetée vers la partie Est, dans le cours d'eau naturel du Houet. Le Houet est un cours d'eau temporaire; mais les rejets qui y sont déversés le rendent pérenne. Il reçoit des eaux très polluées, notamment celles de l'hôpital et de l'abattoir. Plusieurs cas de pics de pollution se sont déjà produits, entraînant la mort de nombreux poissons (source Rapport de l'Expert en pollution 02/98)

Tout le long du Houet diverses activités domestiques et agricoles sont pratiquées (lessive, toilette, et jardinage).

- Enfin une partie des eaux usées est envoyée vers une aire de lagunage au sud de la ville; mais il s'agit là surtout des eaux industrielles.

- ***Eaux usées domestiques (assainissement individuel)***

Le traitement des eaux usées domestiques est présentement circonscrit pour les particuliers au niveau de la cour elle même par le moyen des fosses septiques, ou puisard et puits perdus; et plus généralement des latrines qui sont de simples fosses creusées en pleine terre. Les fosses septiques fonctionnelles semblent très rares. Dans le cas où le niveau de la nappe est proche de la surface, un risque de contamination existe.

On observe souvent des situations, où les latrines et les puits traditionnels sont proches; c'est notamment le cas dans les zones les plus basses de la ville de Bobo-Dioulasso.

Par ailleurs certaines personnes, notamment dans les secteurs les plus denses, utilisent les caniveaux d'eaux pluviales comme déversoir d'eau de lavage où le trop plein du puisard.

D'autres par l'implantation des puisards dans le domaine public, en contradiction avec la réglementation, représentent un obstacle au passage des réseaux et un risque évident de pollution en cas de rupture des conduites d'alimentation d'eau.

- ***Marché central***

La zone du marché central présente une forte nuisance du fait qu'il n'existe pas d'installation de lavage. Les matières organiques se décomposent sur place. Ce phénomène est aggravé à cause du colmatage des caniveaux et de l'absence d'entretien des aires recevant des matières périssables.

Un autre facteur de pollution supplémentaire, est l'utilisation par certaines personnes, des caniveaux d'eaux pluviales comme des latrines publiques. Ceci est tout à fait sensible dans le périmètre du marché central et les zones marchandes qui le bordent.

- ***Les ordures ménagères***

Les habitants déposent de façon régulière les ordures ménagères en des points fixes de la ville. Il n'empêche que le vent ou les animaux dispersent quelque peu les tas d'ordures.

D'autres part, des rejets anarchiques se font aux bords des marigots en particulier sur les berges du Houet et ses affluents. Une partie de ces dépôts est évacuée dans le Houet lors des crues.

- ***Les cimetières***

On constate que leur implantation n'a jamais pris en compte le critère Hydrogéologique (Direction de l'écoulement des eaux).

A titre d'exemple d'une telle situation pour cette ville de Bobo-Dioulasso, un cimetière situé sur les hauteurs du quartier SARFALAHO est juste en amont de l'écoulement souterrain par rapport à la ville. Heureusement que le niveau piézométrique est assez profond à cet endroit (environ 13 m), permettant au sol de jouer son rôle épurateur.

De plus, dans le cas particulier de cette ville de Bobo-Dioulasso, la forte expansion spatiale de la ville a provoqué un enclavement de certains cimetières.

2.5.3 .Assainissement industriel

2.5.3.1. Les sources de pollution

La ville de Bobo-Dioulasso est censée donner lieu à une pollution industrielle; par l'implantation, il y a quelques années de plusieurs industries dans la ville.

Les sources de pollution industrielle sont très nombreuses. Selon les rapports des enquêtes effectuées par Infraconsult (1994), les polluants des eaux résiduaires sont de nature très variée: substances minérales et organiques , basiques et acides, métaux lourds, hydrocarbures, graisses etc..

Les rejets des gros consommateurs non industriels (Camp militaire, caserne, prison, administrations...) sont pour la plupart des rejets assimilables aux rejets domestiques. Le camp militaire rejette probablement une quantité importante d'hydrocarbures (entretien des véhicules divers); mais les données sur ce point ne sont pas accessibles.

Le volume global moyen des rejets industriels au sens strict est d'environ 1327 m³/jours, soit 62 % de la consommation.

Parmi ceux-ci, on peut évaluer qu'il y a environ 847 m³ d'eaux très chargées et 840 m³ d'eaux peu ou pas chargées. Par eaux peu ou pas chargées, on entend les eaux de refroidissement, les eaux de lavage domestiques et les eaux d'arrosage (source Rapport de H.SALVAYRE, Expert en pollution et hydrogéologie).

2.5.3.2. Mesures d'assainissement industriel

Dans la zone industrielle, quelques industries ont installé des dispositifs d'assainissement, mais ceux-ci en général sont sous-dimensionnés ou pas assez efficaces (bassins de décantation, ou d'évaporation).

L'essentiel des eaux polluées sont rejetées dans les puits perdus, dans la nature, ou dans les deux canaux principaux suivants :

– Le canal Brakina qui part de la zone industrielle va vers la gare, et aboutit au nord-ouest de la ville. Les eaux s'infiltrent tout au long du canal et aboutissent en saison des pluies plus ou moins diluées dans une aire d'épandage où sont pratiquées les cultures maraîchères.

Aucun traitement n'est appliqué à ces rejets qui finissent par s'infiltrer vers la nappe superficielle (altération du Gfg) ou s'évaporer.

– Un canal en terre dirige les eaux vers une zone de lagunage au sud-ouest de la ville. Cette zone est le site le plus pollué de Bobo-Dioulasso. Elle recueille notamment les eaux usées très chargées en soude, en graisse et en savon de la CITEC.

Une récupération artisanale des déchets est organisée dans les conditions sanitaires extrêmement précaires.

La Société Industrielle du Faso (SIFA) et la SONABEL collectent leurs déchets les plus toxiques dans les citernes qui sont vidées régulièrement par des camions citernes et déversés dans la plaine. Les huiles usagées de la SONABEL sont rejetées dans une carrière au nord-ouest de la ville. Elles s'infiltrent vers la nappe d'altération du Gfg, à l'aval de la ville.

Signalons aussi que d'autres industries ne sont pas restées indifférentes aux problèmes posés par l'assainissement dans la ville, notamment:

– La CITEC qui prévoit l'installation dans les meilleurs délais d'une unité de traitement complet des eaux usées pour faire disparaître cette aire de lagunage.

– L'abattoir prévoit également une unité de traitement des eaux usées et des déchets.

2.2.3.4. Impact sur l'environnement et les ressources en eau

L'impact sur l'environnement et les ressources en eau est encore très mal connu :

Sur **les eaux de surface** les effets sont facilement constatés après une mesure, par la dégradation évidente des cours d'eau dans la ville (grandes quantités de détritiques divers, eau sale).

L'impact sur les eaux de surface est donc très sensible aussi bien pour le Houet, le Niamé et la vallée amont du Kou. On peut signaler que dans le Kou et le Houet des accidents ont déjà à plusieurs reprises causé de fortes dégradations écologiques (empoisonnement en masse de poissons) et même des décès, probablement dus à la consommation de poissons contaminés.

On sent intuitivement que l'usage domestique d'eaux comme celles du Houet (lessive, toilette) présente des risques pour la santé. Les légumes cultivés sur les sites où les collecteurs canalisent les rejets des eaux usées, ou arrosés avec les eaux chargées de métaux lourds, hydrocarbures, et substances organiques d'hospitaliers ne sont pas recommandables.

Sur **les eaux souterraines**, cette connaissance est encore moins cernée pour l'impact. Dans la ville de Bobo-Dioulasso, il est sûr qu'une grande partie des polluants s'infiltrent vers la nappe superficielle; mais l'impact sur la qualité de l'eau reste encore à démontrer et à quantifier.; car il n'existe pas de suivi chimique des nappes en aval de la ville pour évaluer la situation réelle des divers éléments polluants.

La nappe superficielle subit certainement des altérations chimiques et bactériologiques; les puits traditionnels des zones basses (quartier Koko) dans la ville de Bobo-Dioulasso sont susceptibles d'être contaminés bactériologiquement.

La nappe captive du Gfg sous la ville est protégée; mais il est évident que dans les parties aval des vallées du Houet et du Kou, l'infiltration des eaux polluées contamine les aquifères.

Conclusions

L'impact sur l'environnement et les risques pour la santé au niveau de la ville de Bobo-Dioulasso, nous permettent de tirer les conclusions suivantes:

La pollution de l'eau et du sol provoque pour l'homme et l'écosystème, des effets néfastes, dus à une augmentation des concentrations des éléments indésirables présents dans ceux-ci:

Ainsi nous pouvons constater que:

1. Pour la santé de l'homme

◆ Actuellement et à moyen terme, les risques les plus importants sont posés par la pollution chimique et bactériologique de l'eau de surface tout d'abord et en deuxième lieu la nappe phréatique.

◆ La santé publique est menacée au voisinage direct des zones de lagunage ou à leur aval immédiat en cas de débordement. Le risque pour les eaux souterraines est minimisé par le pouvoir épurateur du sol par la dilution dans les aquifères. Cependant, la situation géographique de la ville en amont par rapport aux sources de Nasso, qui sont à la fois un exutoire très important de plusieurs aquifères et la ressource en eau potable de l'ONEA est un argument suffisant pour justifier la mise en place d'un système de surveillance de qualité des eaux souterraines et de surface (Source Programme RESO - Rapport final).

◆ La ville de Bobo-Dioulasso est donc actuellement exposée à des plus grands risques.

◆ Dans environ une dizaine d'années, la pollution de la nappe profonde posera un risque important que celle de l'eau de surface et de la nappe phréatique, si aucune mesure n'est prise. Remarquons que dans Bobo-Dioulasso, la zone industrielle et la zone où les rejets sont déversés se trouvent dans la zone de recharge des sources de l'ONEA à partir de laquelle la ville est approvisionnée en eau potable.

2. Pour l'écosystème

Les risques posés par la contamination de l'eau de surface sont et restent les plus importants. Pour l'écosystème, des concentrations beaucoup plus basses peuvent être létales pour certaines espèces de flore et de faune. De plus il existe le risque d'asphyxiation pour les plantes et les faunes du sol suite aux déversements importants d'hydrocarbures, solvants etc.

Chapitre 3 :LA SITUATION MICROBIOLOGIQUE DE L'EAU DE CONSOMMATION

3.1. Introduction

Les maladies transmises par l'eau et l'air restent un problème majeur en de nombreux pays du monde. Même aujourd'hui, et surtout dans nos pays en voie de développement, ce sont souvent des maladies gastro-intestinales, caractérisées par des diarrhées, des crampes abdominales, et occasionnellement des fièvres.

On signale qu'au moins 200 millions de personnes souffraient de diarrhées aiguës dans le monde. Cependant, il est constaté que dans les pays à bonne hygiène de l'eau, les diarrhées ne représentent pas un chiffre élevé.

D'après les études réalisées aux USA en 1973, les diarrhées correspondent à 62 % des maladies d'origine hydrique dont 60 % des cas sont enregistrés pendant les périodes de loisir.

Par contre les maladies dues aux insuffisances de traitement sont très faibles. Ces maladies sont dues aussi à des circonstances où risques.

On distingue deux types de risques: Les risques directs et les risques indirects; par exemple, le contact direct avec l'eau polluée et l'air pollué, l'ingestion d'eau d'alimentation dont le risque chimique est prépondérant.

On envisage deux aspects de problèmes:

Le premier aspect est lié à des modifications fortuites ou délibérées de la quantité d'eau. Là également, on distingue trois types de risques: le risque à court terme, moyen et long terme.

Les risques à court terme qui sont essentiellement biologiques, caractérisés par des bactéries, les virus, les levures, les champignons, les protozoaires et les helminthes.

Les risques à moyen terme concernent les risques chimiques. Ce sont les nitrates, les nitrites, le fluor, les sulfates de magnésium, le sodium et la dureté.

Les risques à long terme incluent, les phénomènes d'accumulation des métaux toxiques et les risques du cancer. Ce sont les éléments indésirables, les métaux directement toxiques (arsenic, mercure, cadmium, plomb et le chlore), éléments minéraux divers toxiques (lithium, nitrates, aluminium, amiante et radionucléique).

On devra s'intéresser à limiter les risques à court, moyen et long terme dans le cadre d'analyse et de contrôle, pour éviter la fréquence des maladies, qui représentent un facteur nuisible pour l'humanité.

3.2. Dangers liés aux germes pathogènes présents dans les eaux

L'eau constitue le milieu naturel de très nombreux organismes dont certains présentent, un réel danger pour les populations. Ces organismes sont qualifiés de pathogènes et conduisent à la contamination bactériologique des eaux.

L'origine de la contamination des eaux de consommation se trouve en général:

- soit dans les déversements intempestifs d'eaux usées à l'endroit des sites d'approvisionnement, rivières, lacs, cours d'eau etc..
- soit dans les infiltrations de ces eaux usées en un point quelconque du réseau d'eau potable ou dans la nappe.

Les agents les plus infectieux sont:

3.2.1. Les bactéries pathogènes

Les bactéries sont des micro-organismes vivants, capables de créer plusieurs nuisances chez l'homme, par leur pouvoir multiple.

- Le pouvoir pathogène; caractérisé par sa toxicité (l'intrusion chez l'hôte d'une substance favorisant le processus infectieux), où par sa virulence (capacité de se multiplier dans l'être vivant).
- Le pouvoir antigène: qui est la capacité de produire des anticorps dans un organisme.

Les matières fécales d'une personne en bonne santé contiennent un grand nombre d'espèces bactériennes : un (1) gramme de fèces humide contient en moyenne entre 10^{10} et 10^{12} cellules bactériennes vivantes(source, thèse Monsieur BABA Moussa).

Certaines de ces bactéries, de part l'importante de leur population, et leur omniprésence dans les matières fécales humaines, sont souvent utilisées comme des indicateurs de pollution fécale.

Des espèces bactériennes pathogènes, ou potentiellement pathogènes sont responsables de la plupart des maladies infectieuses, qui sévissent en Afrique subtropicale; notamment le choléra, fièvre typhoïde, dysenterie, gastro-entérite, maladies diarrhéiques etc..

Généralement transmises à l'homme par voie digestive, liée à la consommation d'eau ou d'aliments contaminés, les bactéries pathogènes jouent un rôle déterminant dans la pollution bactériologique de la nappe souterraine à partir des excréta (urines et matières fécales).

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

Les bactéries pathogènes présentes dans les eaux sont:

- *Les Entérobactéries*

Elles regroupent certains germes comme: le colibacille ou *Escherichia coli*, shigella, salmonella; Ces germes se rencontrent aux niveaux de l'intestin de l'homme ou des animaux, ce qui justifie leur nom.

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

- *Les staphylocoques*

Ces germes pathogènes peuvent provoquer chez l'homme, des suppurations locales, abcès, furoncles méningites, ostéomyélites, pleurésie, ou même des infections généralisées du type septicémie.

Les staphylocoques pathogènes ne provoquent généralement pas de nuisances lorsqu'ils sont ingérés avec l'eau de boisson dans laquelle ils ne trouvent pas en quantité suffisante, les substances nutritives nécessaires à leur croissance.

- *Les streptocoques*

Ces germes sont localisés au niveau des voies urinaires et de l'intestin. Ils ne sont pas généralement considérés comme pathogènes; mais peuvent le devenir et provoquer des infections urinaires et des endocardites. Ces germes sont particulièrement résistants.

Ces bactéries sommairement présentées sont considérées comme des bactéries "**traditionnelles**" des eaux. On peut également citer les pseudomonas, les vibrions cholériques, les clostridium perfringens ...

Tableau 2: Principaux agents bactériens pathogènes présents dans les fèces et les maladies transmises.

Famille	Genre	Espèce	Maladie
Entérobactériaceae	Salmonella	Salmonella typhi Salmonella paratyphi autres salmonellas	Fièvre typhoïde Fièvre paratyphoïde Salmonelloses(entériites)
Entérobactériaceae	shigella	shigella dysenteriae autres shigella	dysenterie bacillaire gastro-entérite, diarrhée
Vibrionaceae	Vibrio	Vibrio cholérae autres vibrios (types pathogènes)	choléra Gastro-entérite, diarrhée
Entérobactériaceae	Eschérichia	Echérichia coli types pathogènes)	Gastro-entérite, diarrhée
Entérobactériacea	Yersinia	yersinia enterocolitica	Diarrhée , septicémie

3.2.2. Les virus

Les virus (ou bactériophages) sont des micro-organismes invisibles au microscope ordinaire. Les particules virales ne possèdent pas les organites des bactéries (ribosomes) et n'ont pas de métabolisme propre.

- Leur reproduction a lieu nécessairement dans les cellules vivantes et elles sont par conséquent des parasites intracellulaires obligatoires.
- Leur taille inférieure à 0.3 µm leur permet de traverser les filtres qui arrêtent habituellement les bactéries.

Les virus pathogènes particulièrement importants sur le plan sanitaire et responsables de certaines maladies telles que: la méningite, la poliomyélite, l'hépatite infectieuse, etc.; sont présentés dans le **tableau 2**

Le dénombrement des virus fait appel à des techniques spécifiques. Et ce volet de recherche n'a pas fait l'objet de notre étude.

• Les protozoaires

Les amibes sous forme de kystes peuvent subsister pendant plusieurs semaines dans l'eau, elles sont à l'origine de certaines maladies graves: dysenteries, et méningites.

• *Les helminthes*

Les helminthes sont des vers parasites pluricellulaires eucaryotes (maladies ou vers parasites). Elles sont généralement transmises par voie digestive par l'intermédiaire des oeufs embryonnaires et des kystes de 30 à 70 μm de diamètre.

Tableau: 3 Principaux groupes pathogènes excrétés dans les fèces et les maladies transmises.

VIRUS	MALADIES
Adenovirus	affections respiratoires, infections oculaires
Enterovirus	
Poliovirus	poliomyélite, méningite, fièvre
Virus Coxsakie	Méningite, fièvre, maladies respiratoires myocardite
Echovirus	Méningite, encéphalite, affections respiratoires, fièvre
Virus A de l'hépatite	Hépatite infectieuse .
Rotavirus	Vomissements et diarrhées
Réovirus	Diarrhées

3.2.3. *Les bactéries indicatrices de la pollution fécale*

L'eau destinée à la consommation ne doit pas contenir d'organismes parasites, susceptibles de provoquer des maladies ou malaises, mais en particulier elle doit être exempte des bactéries pathogènes.

Les dénombrements des bactéries pathogènes sont difficiles et imprécis parce qu'elles sont toujours en faible proportion par rapport à la flore habituelle.

Les bactéries indicatrices de pollution fécale sont des germes non pathogènes, vivant exclusivement dans le tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud. Leur présence indique sans aucun doute que l'eau a été contaminée par les fèces et éventuellement par les germes pathogènes.

Par exemple, *Eschérichia coli* est un germe pathogène de contamination fécale. Sa présence dans l'eau de boisson traduit un risque qui est celui de la présence de bactéries ou de virus pathogènes d'origine fécale.

A cause des concentrations très variables des bactéries pathogènes dans les matières fécales, il n'est pas possible de tester directement tous les micro-organismes. Une approche beaucoup plus pratique, est de tester un groupe particulier de bactéries communes aux matières fécales des animaux à sang chaud et qui, par conséquent peut être utilisé comme indicateur de pollution d'origine fécale.

Les indicateurs couramment utilisés servent seulement à indiquer la pollution d'origine fécale. Ils ne peuvent pas être utilisés pour mesurer le degré de pollution ou détecter des micro-organismes. A partir de la mise en évidence de la contamination fécale, on déduit la présence très probable des germes pathogènes.

D'où notre recherche bactériologique des eaux de consommation a porté essentiellement sur les indicateurs bactériens de contamination fécale ou les germes test de contamination fécale dont:

- *Les coliformes totaux*

Ils regroupent les coliformes thermotolérants et les coliformes banaux .

- *Les coliformes thermotolérants:*

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

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

- *Les streptocoques fécaux*

Ils désignent l'ensemble des streptocoques possédant la substances antigènes 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 de streptocoques fécaux.

Chapitre 4 : ANALYSE DES EAUX DE LA NAPPE SOUTERRAINE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

4.1. Introduction

L'eau qui s'infiltré au travers des sols perméables, forme une nappe lorsqu'elle atteint une couche imperméable. La qualité de l'eau de la nappe dépend de:

- l'épaisseur de la couche (strate) qui recouvre le sol de rétention d'eau (cette couche permet le filtrage de l'eau et doit retenir les contaminations indirectes causées par les latrines, les engrais chimiques, etc.) ;
- la porosité du sous sol qui influence la filtration naturelle.

Par le terme nappe souterraine, nous distinguons ici deux (2) types de nappes :

- ◆ **les nappes superficielles** de formation latéritique, altérite et d'alluvions sont de faible capacité, vulnérables et en relation étroite avec les pluies. Leur épaisseur varie de 0 à 40m. Ces nappes sont exploitées par les puits ;
- ◆ **les nappes profondes** dont l'épaisseur varie de 100 à 600 m se situent dans les aquifères profonds de Bobo-Dioulasso. Elles sont exploitées par les forages.

Ainsi, les échantillons analysés seront prélevés sur les deux (2) types de nappe. L'échantillonnage et les conditions de prélèvement sont décrits ci-dessous.

4.2. Analyse bactériologique et physico-chimique

4.2.1. Méthodologie de travail

4.2.1.1. Choix des sites de prélèvement

L'étude étant basée sur la nappe souterraine de Bobo-Dioulasso, le choix des points de prélèvement a été fait sur la base des critères suivants:

1°)- Les types de pollution: chimiques et domestiques en fonction de leurs foyers ont guidé notre choix.

2°)- Certains quartiers périphériques autour de la zone industrielle ou à l'aval immédiat de la zone industrielle (cas des secteurs 19 et 20) ne sont pas encore desservis par l'ONEA et consomment les eaux puits.

3°)- Les zones de fortes concentrations massives des populations, où les activités de l'homme engendrent de sérieux problèmes de pollution de diverses origines.

4°)- Les zones basses situées de part et d'autre du réseau pluvial, qui drainent les eaux très chargées des industries ou autres, favorisent la contamination de la nappe.

5°)- Et enfin la formation géologique de certains aquifères productifs, exploités par les puits et les forages a aussi guidé notre choix.

En commun accord avec la structure d'accueil à Bobo, nous avons retenu **23 points de prélèvements: soient 7 forages et 16 puits** dans les différents secteurs de la ville.

4.2.1.2. Méthode d'échantillonnage

Le prélèvement des échantillons d'eau de la nappe à Bobo-Dioulasso dans les puits et les forages en vue des analyses au laboratoire a été effectué selon la procédure suivante:

a°)- Préparation de matériel pour le prélèvement

- Flacons en verre de 500 ml **pour la microbiologie**,
 - laver soigneusement à l'eau savonneuse et rincer à l'eau de robinet propre; ensuite à l'eau distillée.
 - Faire sécher au laboratoire, recouvrir les bouchons de papier aluminium et stériliser à l'autoclave à 120°C pendant 24 heures.
- Flacons en plastique de 1litre **pour la physico-chimie**
 - Ensuite étiqueter les flacons à l'aide du ruban adhésif en portant les indications suivantes:
 - date, heure et lieu de prélèvement , nature de l'échantillon, secteur et quartier, propriétaire du site.

b°)- Mode de prélèvement

Deux types de prélèvement: **les puits** à grands diamètres(ouverts) et **les forages**.

• *Eaux des puits:*

- Achat d'un petit seau neuf de 3 litres et d'une corde de 25 m ,permettant de puiser l'eau dans chaque puits retenu.
- Prélèvement de l'échantillon du puits dans le flacon en plastique ou en verre selon la nature de l'analyse. Des précautions ont été prises pour que le seau ne touche les parois du puits; afin d'éviter toute contamination.

- ***Eaux des forages:***

- Faire couler les eaux résiduelles, de la conduite de sortie;
- Brûler le bec de sortie de la pompe à l'aide de chalumeau portatif;
- Faire couler l'eau pendant environ 3 mn avant de faire le prélèvement.
- Prélever l'échantillon dans le flacon en verre ou en plastique selon la nature de l'analyse en veillant à tout risque de pollution.

- Tous les échantillons prélevés sont conservés dans les glacières maintenus au frais.

- Les prélèvements sont effectués à Bobo-Dioulasso pendant les premières heures de la matinée; et ensuite transportés sur Ouagadougou durant 5 heures de temps au moyen de transport en commun.

- L'analyse bactériologique est ensuite réalisée dans les 10 heures qui suivent le prélèvement; par contre les échantillons prévus pour la physico-chimie sont de nouveau conservés au frais au laboratoire et ramenés à la température du laboratoire avant chaque examen.

4.2.2. Choix des paramètres à analyser

Pour mesurer la qualité de l'eau de la nappe à Bobo-Dioulasso, nous avons réalisé une recherche physico-chimique et microbiologique en s'appuyant sur les paramètres ci-dessus

4.2.2.1. Analyse des paramètres physico-chimiques

On distingue les essais in situ et les essais au laboratoire

*** Essais in situ**

Certaines caractéristiques physiques et chimiques sont susceptibles de connaître une évolution lors du transport des échantillons au laboratoire. Pour cela leurs mesures doivent être effectuées sur le terrain.

◆ *La température*

La température de l'eau souterraine a été mesurée avec l'oxymètre. Les mesures sont effectuées à chaque prise d'essai pour les besoins des analyses bactériologiques.

Au moment de la campagne de prélèvement (mois d'avril), la température de l'air à Bobo-Dioulasso était voisine de 37°C (mois d'Avril); ce qui pouvait entraîner également une augmentation de celle des eaux souterraines.

Une eau destinée à la consommation ayant une température élevée, n'a pas de risque direct sur la santé publique; mais plutôt de fortes augmentations climatiques en absence de pluies provoquent un rabattement de la nappe. Une température trop élevée entraîne une sursaturation des gaz dissous, ce qui augmente le développement planctonique.

◆ *La turbidité*

Elle définit l'aspect plus ou moins trouble de l'eau. La turbidité d'une eau est due aux particules en suspension, à l'argile, aux matières organiques, polluants et aux micro-organismes.

La mesure de turbidité constitue donc un procédé de choix pour la qualité d'une eau. La méthode utilisée est la photométrie d'absorption, qui est la mesure des propriétés absorbante de la lumière.

◆ *La conductivité*

La conductivité électrique d'une eau, traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique. Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera plus élevée.

Il existe donc une relation entre la conductivité d'une eau et sa minéralisation; d'où l'intérêt que présente la mesure de la conductivité, mesure quasi instantanée, pour connaître la minéralisation d'une eau.

L'appareil utilisé est le conductivimètre électrique. Ce procédé permet une estimation approximative et rapide de la minéralisation de l'eau.

◆ *Le pH*

La mesure de pH ou du potentiel hydrogène permet d'évaluer l'acidité ou la basicité de l'eau. Elle désigne l'un des paramètres importants de la qualité l'eau. Les mesures ont été réalisées in situ avec un pH-mètre de terrain, potentiomètre.

* Essais au laboratoire

Le choix des paramètres chimiques a été porté sur les éléments ci-dessous pour déterminer la qualité chimique de la nappe à Bobo-Dioulasso.

◆ *Dureté totale ou titre total: TH*

La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés. Elle représente la somme des concentrations en calcium et en magnésium dans l'eau:

$$TH = T_{Ca} + T_{Mg}$$

Une dureté élevée, dans le domaine de l'économie domestique augmente le temps nécessaire à la cuisson des légumes et à la consommation abusive du savon. Dans l'industrie la dureté est indésirable.

◆ *Modification de la dureté*

La matière végétale enfouie dans le sol, par décomposition peut entraîner la libération de grandes quantités d'anhydrides carboniques, qui provoquent dans les eaux souterraines par infiltration des eaux de pluie, la dissolution de calcium. Cela peut contribuer à des variations de la dureté selon l'équation:



Dans ce cas l'eau devient agressive vis à vis du calcaire; car la concentration en CO_2 libre devient supérieure à celle nécessaire pour l'équilibre.

◆ *Titre Alcalimétrique Complet: TAC*

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

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

Avec (OH^- et HCO_3^-) incompatibles; donc ne peuvent cohabiter.

Le principe de la méthode est basée donc sur celui de l'acidimétrie, à savoir la neutralisation des fonctions basiques par un acide minéral dilué.

4.2.2.2. Choix des paramètres généraux de pollution

* Pollution organique

La pollution industrielle est caractérisée par des matières organiques dégradables ou non, dues aux rejets industriels (industries chimiques, pharmaceutiques, agricoles) et aussi aux rejets des collectivités urbaines ou rurales.

Ces eaux résiduaires, contiennent des substances qui consomment indirectement de l'oxygène.

On apprécie la matière organique en faisant appel à deux mesures :

La demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO).

◆ *Demande Chimique en Oxygène: DCO*

C'est la quantité d'oxygène mis en jeu pour l'activité chimique du milieu.

On mesure la DCO, généralement pour le suivi des stations de traitement d'eaux usées. Cependant, on peut également effectuer la DCO sur les eaux brutes en cas de forte pollution observée.

La DCO, même si elle tend à être supplantée par la mesure de carbone organique, cependant, elle demeure un indicateur majeur en matière de pollution. La mesure de la DCO se fait selon des normes précises; on utilise la méthode de HACH par spectrophotométrie avec 2 heures de minéralisation. Elle utilise comme oxydant le $K_2Cr_2O_7$, en milieu sulfurique et nécessite la présence de catalyseurs.

◆ *Demande Biologique en oxygène : DBO₅*

C'est par définition 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 auto-épuration naturelle des eaux.

Il s'agit donc d'une méthode d'évaluation de la fraction des composées organiques biodégradables, plus restrictive, que les méthodes basées sur les oxydations chimiques de l'ensemble des substances.

Remarque :

Ce test, malgré son importance majeure comme indicateur de pollution, n'a pu être réalisé dans le cadre de nos recherches, à cause des coupures intempestives d'électricité enregistrées tout au long du mois d'Avril.

D'autres indicateurs de pollution organique dans l'eau restent à signaler, mêmes s'ils n'ont pas fait l'objet de notre étude.

◆ *Le rapport* $\frac{DCO}{DBO_5}$ *donne une indication sur la biodégradabilité.*

◆ *L'Oxygène dissous: OD*

L'eau pour qu'elle soit agréable à boire, il faut une certaine quantité d'oxygène dissous et d'autre part, quand l'oxygène dissous est faible, la corrosion est plus importante. Très souvent les eaux souterraines manquent d'oxygène et il faut les aérer avant de les utiliser.

◆ *Les matières inhibitrices: MI*

Ce sont des substances rejetées telles: le plomb, le mercure, le cyanure empêchant la vie de se développer.

● Les produits azotés et du phosphore

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

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

Toutes ces analyses doivent être effectuées après blocage des réactions biologiques au moment du prélèvement.

◆ *Teneur en nitrates*

La recherche des nitrates dans les eaux vient en complément de l'analyse bactériologique, que nous aborderons nécessairement au chapitre suivant. Les excréta humains renferment de nombreux composés azotés, qui en contact avec la flore microbienne du sol, font l'objet d'un processus de nitrification qui les oxyde en nitrates.

Toutes les formes d'azote présentes dans l'eau (N. organique, ammoniacal, nitrites...) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par des processus d'oxydation biologique.

Dans la zone de Bobo-Dioulasso qui fait l'objet de notre zone d'étude, les principales sources des nitrates, sont bien évidentes la décomposition des matières organiques, les effluents domestiques, et les décharges publiques; les rejets industriels, le développement des élevages, le recours aux engrais chimiques etc.

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. en 1982; " Elimination des nitrates dans les eaux potables "). Aussi la teneur en nitrates dans les nappes souterraines est influencée par la variation 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'industries, de l'agriculture ou de l'élevage intensif; elles évoluent également avec la vitesse de circulation, de renouvellement des eaux dans les nappes.

Pour mémoire: Une eau ayant de fortes teneurs en nitrates, utilisée en élevage des poulets, porcs, et des vœux aurait conduit à des pertes importantes de ces animaux, par la formation de méthémoglobine.

◆ *Les Nitrites: NO_2^-*

Dans les eaux naturelles, les nitrites peuvent être présents à faible dose, et proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, sous l'action des bactéries nitreuses du type nitrosoma, soit de la réduction des nitrates par une bactérie dénitrifiante .

En effet, les eaux en contact de certains terrains, ou particulièrement pauvres en oxygène, peuvent contenir des nitrites sans pour autant qu'il y ait pollution. D'autre part des nitrites peuvent se former à partir des chloramines provenant de la chloration de l'eau.

On devra notifier que: toute eau contenant des nitrites doit être considérée comme suspecte. Cependant seuls des tests complémentaires portant, d'une part sur les diverses fractions azotées; ainsi que la présence éventuelle des matières organiques, d'autre part sur le contrôle bactériologique permettant de savoir si l'on est en présence d'une eau souillée ou non.

Une eau portant des nitrites présente un danger du point de vue sanitaire, par l'action méthémobinisante des nitrites et un certain pouvoir mutagène.

◆ *L'Ammonium: NH_4^+*

Dans les eaux naturelles, on rencontre assez fréquemment l'azote ammoniacal; ce qui traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique.

Dans les eaux profondes, et sous l'influence de certaines bactéries, des processus d'ammonification peuvent se manifester au détriment des nitrates. L'origine de l'ammonium provient des déversements d'eaux usées domestiques et industrielles, des lessivages.

Une teneur élevée en azote ammoniacal dans les eaux de consommation traduit généralement une pollution récente, car il est graduellement oxydé en nitrites et en nitrates. L'homme élimine généralement 10 à 20 grammes d'urées par jour.

◆ *Azote KJELDAHL: NTK*

L'Azote KJELDAHL ne représente pas toutes les formes azotées, contenues dans l'eau, mais seulement l'ensemble de ces formes réduites organiques et ammoniacales. L'expression " Azote KJELDAHL" trouve son origine dans le nom de celui qui a mis au point la méthode universellement utilisée pour doser les fractions azotées concernées.

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

L'Azote KJELDAHL a pour origine les excréta humains et d'animaux. L'homme adulte ayant un régime équilibré, élimine 10 à 20 grammes d'azote par jour; soit 80 % d'azote.

◆ *Le phosphore total: P*

Ils sont facilement retenus par le sol et leur présence dans les eaux naturelles peut avoir diverses origines:

- nature des terrains traversés, utilisation des engrais chimiques, décomposition de la matières organique.

Les phosphates dans l'eau sont à l'origine de plusieurs inconvénients:

- * peuvent perturber les réactions de coagulation, floculation et adoucissement.
- * contribuent largement au développement des algues dans les réservoirs et les canalisations.
- * constituent un facteur essentiel dans les phénomènes d'eutrophisation.

Le phosphate peut exister sous diverses formes, d'acides et sel dérivés:

- * métaphosphorique : PO_3^{2-}
- * pyrophosphorique : $\text{P}_2\text{O}_7^{3-}$
- * orthophosphate : PO_4^{3-}

◆ *Les phosphates.*

Dans les eaux naturelles dont le pH est généralement compris entre 5 et 8, le phosphore n'existe que sous la forme d'orthophosphate.

- * Les produits minéraux

On retient comme paramètre à analyser:

◆ *Les sulfates*

La concentration en solution de sulfates dans les eaux naturelles est extrêmement variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion élevée de sulfates minéraux, la concentration peut atteindre 30 à 50 mg/l ; mais cette valeur est largement dépassée dans les régions gypseuses, c'est à dire celles renfermant du gypse, du sulfate de calcium.

Le problème posé par les sulfates est qu'ils peuvent se réduire sous l'influence des bactéries sulfato-réductrices à l'état des sulfures et conduire à la précipitation de fer.

Précisons que le traitement des eaux, dans le domaine de coagulation floculation, fait appel au sulfate d'aluminium peut en résulter une augmentation artificielle de l'eau de consommation en sulfates.

Sur le plan sanitaire, les sulfates ont une action laxative, mais l'organisme humain peut supporter les doses relativement élevées.

Les sulfates peuvent faciliter certains processus de corrosion et au delà de 500 mg/l les ^{eaux} deviennent impropres à l'usage agricole.

4.2.2.3. Choix des paramètres microbiologiques

Pour déterminer la qualité microbiologique de la nappe souterraine, l'analyse a portée sur les germes principaux suivants, aussi bien pour les échantillons des puits (captant la nappe phréatique) que ceux des forages prélevés (captant la nappe profonde) : **les coliformes totaux**, **les coliformes fécaux** (ou les thermotolérants) et **les streptocoques fécaux**.

4.3. Résultats des analyses

Les résultats des analyses réalisées sont présentés dans les tableaux suivant l'ordre ci-dessous:

- Le tableau N°1 donne le détail de prélèvement des échantillons.
- Le tableau N°2 donne les résultats d'analyse physico-chimique et microbiologique des eaux de la nappe profonde.
- Les tableaux N°3 et N°4 donnent les mêmes résultats pour les eaux de la nappe superficielle:

- Le tableau N°5 donne la réglementation concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation.

E.I.E.R

Département de Génie sanitaire

Laboratoire de chimie des eaux

03 BP. 7023 Ouagadougou 03

4.3.1. TABLEAU N° 1 Détail de prélèvement des échantillons

Date : 14 et 20/04/98

Ville : Bobo-Dioulasso

N° d'ordre	Echantillon	Référence de l'échantillon	N° de secteur	Nom du Quartier
1	F1	Forage CET TOUNOUMA	16	St Etienne de TOUNOUMA
2	F2	Forage CET HAMDALAYE	1	Centre commercial Centre Ville
3	F3	Forage Communauté Chrétienne "Soeurs de l'Assomption"	17	SARFALAHO vers nouveau Boulevard
4	F4	Forage Communauté Chrétienne "Soeur Marie et Makélé"	17	SARFALAHO
5	F5	Forage Communauté Chrétienne "Soeur Urséline"	15	OUEZZIN Ville
6	F6	Forage Mission Catholique	2	Médina-Coura
7	F7	Forage SAVANA	19	Zone Industrielle
8	P1	Puits traditionnel M. MADOU	2	DIARABOUGOU
9	P2	Puits traditionnel M. ZIGANI	13	DOGONA
10	P3	Puits tradit. M. MAKAN KEITA	16	St Etienne de TOUNOUMA
11	P4	Puits tradit. Centre de formation religieuse	4	KOKO
12	P5	Puits tradit. M. ALASSANE	17	SARFALAHO
13	P6	Puits moderne CEG ALMALAR	17	SARFALAHO
14	P7	Puits tradit. Jardin AROUNA amont canal HOUET	6	BOLOMAKOTE
15	P8	Puits tradit. Jardin M. SANOU en aval canal HOUET	6	BOLOMAKOTE
16	P9	Puits tradit. M. BARO Souleymane	1	Centre Ville (point bas)
17	P10	Puits traditionnel	3	Centre Ville
18	P11	Puits tradit. Grande Mission Catholique	2	Centre Ville Médina-Coura
19	P12	Puits Mod. Mr. Théodore	20	Zone Industrielle
20	P13	Puits tradit. Face M. Théodore	20	Aval Zone Industrielle
21	P14	Puits tradit. Zone Industrielle	20	Aval Zone Industrielle
22	P15	Puits tradit. Parcelle n° 316 M. ADAMA	19	
23	P16	Puits tradit. Parcelle n° 292 Mme SANA Mariam	19	LAFIABOUGOU

E.I.E.R
Département de Génie sanitaire
Laboratoire de chimie des eaux
 03 BP. 7023 Ouagadougou 03

4.3.2. TABLEAU N° 2 Résultats d'Analyse Physico-chimique et Microbiologique de la nappe à Bobo-Dioulasso

Echantillon	Forage F1	Forage F2	Forage F3	Forage F4	Forage F5	Forage F6	Forage F7	
Température (°C)	26,5	27,4	26,8	27,4	25,9	26,8	28,2	
pH à 25 °C	6,4	5,7	5,4	6,3	5,3	7,4	8,1	
Conductivité électrique à 20 °C (µs/cm)	78	31	122	23	35	30	68	
Turbidité (NTU)	10	2	2	8	9	1	11	
Titre Alcalimétrique Complet TAC (° F)	1,7	1,8	4,2	1,6	1,8	1,2	1,8	
TCa (° F)	1,5	1,1	2,7	0,8	0,8	1,0	0,9	
TMg (° F)	0,5	0,3	1,7	0,4	0,3	0,3	0,5	
Dureté totale TH (° F)	2,0	1,4	4,4	1,2	1,1	1,3	1,4	
DCO (mg/l)	51	40	30	16	8	8	0	
NTK (mg/l)	2,8	2,8	2,8	2,8	5,6	5,6	2,8	
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,36	0,42	0,33	0,36	0,40	0,42	0,57	
Nitrites NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nitrates NO ₃ ⁻ (mg/l)	18,9	3,5	12,7	0,4	0,4	1,7	2,6	
Sulfates SO ₄ ²⁻ (mg/l)	6,03	7,90	10,00	0,00	1,77	0,31	0,00	
Phosphates PO ₄ ³⁻ (mg/l)	1,53	3,07	1,82	2,15	1,22	2,15	14,74	
Phosphore total P (mg/l)	0,5	1,0	0,6	0,7	0,4	0,7	4,8	
Recherche et dénombrement des coliformes totaux /100 ml	chargé >100	0	0	0	0	chargé >100	0	
Recherche et dénombrement des coliformes fécaux /100 ml	chargé >100	0	0	1	0	chargé >100	0	
Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux /100 ml	11	0	0	0	0	chargé >100	0	

E.I.E.R
Département de Génie sanitaire
Laboratoire de chimie des eaux
 03 B.P. 7023 Ouagadougou 03

4.3.3. TABLEAU N° 3 Résultats d'Analyse Physico-chimique et Microbiologique de la nappe à Bobo-Dioulasso

Echantillon	Puits P1	Puits P2	Puits P3	Puits P4	Puits P5	Puits P6	Puits P7	Puits P8
Paramètres								
Température (°C)	28,9	29,0	28,6	28,1	29,5	27,0	27,4	27,6
pH à 25 °C	4,8	5,6	4,5	5,4	5,9	6,2	5,3	4,7
Conductivité électrique à 20 °C (µs/cm)	945	71	651	786	43	32	151	396
Turbidité (NTU)	21	33	1	4	13	11	7	9
Titre Alcamétrique TAC (° F)	0,2	2,2	3,7	5,9	1,0	0,4	1,4	0,6
TCa (° F)	6,9	1,5	4,4	2,9	0,5	0,7	2,2	2,8
TMg (° F)	4,3	0,7	2,5	1,7	0,2	0,5	1,1	0,7
Dureté totale TH (° F)	11,2	2,2	6,9	4,6	0,7	1,2	3,3	3,5
DCO (mg/l)	8	176	200	8	184	16	16	144
NTK (mg/l)	11,2	2,8	2,8	7,0	4,2	2,8	4,2	4,2
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	6,26	0,30	12,70	1,38	0,00	0,00	0,00	1,13
Nitrites NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02
Nitrates NO ₃ ⁻ (mg/l)	341,0	5,3	139,0	63,8	6,2	8,8	34,7	48,8
Sulfates SO ₄ ²⁻ (mg/l)	2,0	6,0	0,1	77,0	17,8	18,3	5,8	0,0
Phosphates PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,92	0,92	2,15	0,92	0,92	1,22	1,82	3,99
Phosphore total P (mg/l)	0,3	0,3	0,7	0,3	0,3	0,4	0,6	1,3
Recherche et dénombrement des coliformes totaux /100 ml	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100
Recherche et dénombrement des coliformes fécaux /100 ml	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100
Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux /100 ml	chargé >50	chargé >100	23	chargé >100	7	chargé >100	chargé >100	chargé >100

E.I.E.R**Département de Génie sanitaire****Laboratoire de chimie des eaux**

03 BP. 7023 Ouagadougou 03

4.34. TABLEAU N° 4**Résultats d'Analyse Physico-chimique et Microbiologique
de la nappe à Bobo-Dioulasso**

Echantillon	Puits P9	Puits P10	Puits P11	Puits P12	Puits P13	Puits P14	Puits P15	Puits P16
Paramètres								
Température (°C)	28,6	28,2	26,9	28,2	28,5	28,6	29,5	28,4
pH à 25 °C	5,7	5,4	5,4	5,4	5,5	5,6	5,3	5,1
Conductivité électrique à 20 °C (µs/cm)	56	32	54	113	39	22	61	162
Turbidité (NU)	28	14	29	24	17	12	13	9
Titre Alcalimétrique TAC (° F)	1,2	1,0	1,5	0,6	1,4	1,1	0,2	0,7
TCa (° F)	0,8	0,6	0,9	1,2	1,2	0,9	0,3	0,9
TMg (° F)	0,6	0,2	0,9	0,5	0,1	0,7	0,4	0,7
Dureté totale TH (° F)	1,4	0,8	1,8	1,7	1,3	1,6	0,7	1,6
DCO (mg/l)	16	40	48	24	0	8	0	16
NTK (mg/l)	4,2	5,6	5,6	5,6	4,2	2,8	4,2	2,8
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,08	0,00	0,26	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrites NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,07
Nitrates NO ₃ ⁻ (mg/l)	9,7	2,6	4,4	19,8	0,9	0,5	12,7	12,7
Sulfates SO ₄ ²⁻ (mg/l)	11,7	4,7	16,0	6,0	4,2	13,4	4,2	1,0
Phosphates PO ₄ ³⁻ (mg/l)	11,97	1,22	1,22	0,92	2,76	1,53	1,22	3,68
Phosphore total P (mg/l)	3,9	0,4	0,4	0,3	0,9	0,5	0,4	1,2
Recherche et dénombrement des coliformes totaux /100 ml	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100
Recherche et dénombrement des coliformes fécaux /100 ml	chargé >100	chargé >100	chargé >50	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100
Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux /100 ml	chargé >50	chargé >100	3	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100	chargé >100

4.3.5. Réglementation concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation

Tableau : 5

Paramètres	Valeurs ≤ recommandées par la CEE	Valeurs ≤ recommandées par la France	Valeurs ≤ recommandées par l'OMS
Température (°C)	12	25	
pH [H ⁺] à 25 ° C	6,5 - 8,5	6,5 - 9	6,5 - 8,5
Conductivité à 20 °C (µs/cm)	400		
Turbidité (mg/l)	1		
TA (° F)	0		
TAC (° F)		50	
TH (° F)	50	50	
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,5	0,5	1,5
Azote Kjeldahl NTK (mg/l)	1	2	
Sulfates SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250	250	400
Nitrites NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,1	0,1	< 1
Nitrates NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	50	50
Phosphore total P (mg/l)	2		
Phosphates PO ₄ ³⁻ (mg/l)	5		
DCO (mg/l)			10 - 30
DBO5 (mg/l)			6
CT (/100 ml)	03	0	0
CF (/100 ml)	0	0	0
SF (/100 ml)	0	0	0

4.4. Interprétation des résultats

4.4.1. Recherche des coliformes

- Normes :

Les diverses normes s'accordent à des valeurs nulles pour 100 ml d'échantillon; en dehors de la Direction de la communauté CEE qui fixe les coliformes totaux au nombres de 03 ml pour 100 ml.

a)- Nappe profonde :

Les résultats des analyses présentées dans le tableau N°2 nous permettent de conclure que les forages n° 1 et n° 6 sont contaminés bactériologiquement; car ces forages renferment de nombreux germes pathogènes; Par contre tous les autres forages étudiés ne présentent pas risque de pollution.

La nappe profonde présente une bonne qualité bactériologique; car environ 80% de échantillons observées donnent des résultats sains.

b)- Nappe phréatique (*superficielle*)

La situation est plus alarmante au niveau de cette nappe; car tous les échantillons observés montrent une très forte contamination de ces germes recherchés. Nous pouvons donc dire que la nappe phréatique a une qualité d'eau très souillée bactériologiquement; cette pollution est certainement d'origine fécale.

4.42. Analyse physico-chimique

◆ La température

a) Normes

- La direction de la C.E.E. fixe le niveau guide (NG) de la température à 12°C et la valeur maximale à 25°C.
- Le réglementation Française retient également la valeur maximale à 25°C
- L'O.M.S. ne recommande aucune valeur pour la température de l'eau destinée à la consommation. Mais toutefois on retient que l'eau destinée à la consommation est supposée bien désaltérante lorsque sa température se situe entre 8 et 15°C ; par contre à plus de 20°C, elle désaltère mal.

b) Résultats

Les températures des eaux mesurées (voir tableaux N°2,3,4)donnent des valeurs qui fluctuent entre 25,9 et 29,5°C. La plus faible température est observée dans les eaux de la nappe profonde (Forage 5 du secteur 15, quartier Ouézzin ville) et la plus grande valeur de température dans les eaux de la nappe phréatique (puits 5 de Mr. Alassan secteur 17 et puits 15 de Mr. ADAMA, secteur 19).

La température moyenne des eaux souterraines à Bobo-Dioulasso est de 27,9 °C **On peut ainsi retenir que les eaux souterraines en période de saison sèche subissent une forte augmentation de température.**

◆ *La turbidité*

Les valeurs de turbidité observées sont très variables, tant au niveau de la nappe profonde qu'au niveau de la nappe phréatique. Ces valeurs oscillent de **1 NTU** (Forage F6 de la Grande Mission Catholique, secteur 2 au centre ville) et **33 NTU** (puits P2 de Mr. MAKAN KEÏTA ,au secteur 16 St.-Etienne).

◆ *La conductivité*

Les valeurs de conductivité se résument dans le tableau suivant:

Tableau 4: Classification de la minéralisation

Conductivité C ($\mu\text{s/cm}$)	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%)	Minéralisation
$C < 100$	15	65	minéralisation très faible
$100 < C < 200$	4	17,5	minéralisation faible
$200 < C < 333$	0	0	minéralisation moyenne
$333 < C < 666$	4	17,5	minéralisation accentuée

Les valeurs de conductivité mesurées sont très hétérogènes et varient de **22 $\mu\text{s/cm}$** (puits P14, secteur 20, zone industrielle) à **945 $\mu\text{s/cm}$** (puits P1 de Mr. MADOU , secteur 2 à Diarabougou). Ces deux valeurs extrêmes sont observées sur la nappe superficielle exploitée par les puits de la ville.

Conclusion : Ces observations nous permettent de conclure que les eaux souterraines ont une faible minéralisation; car **75% des mesures** réalisées indiquent des valeurs inférieures à **200 $\mu\text{s/cm}$** .

◆ *Le pH*

Les résultats des analyses sont présentés dans les tableaux N° 2,3,4

Tous les puits de la nappe phréatique présentent une eau acide, avec des valeurs de pH variant de **4,5** (puits P3 secteur 16 ,St.-Etienne) à **6,2**.(puits P6, CEG ALMALAR , au secteur 17).

Le pH moyen est égal à **5.3** et l'écart type égal à **0,4**

A titre indicatif les eaux contenues dans les cuirasses latéritiques et les alluvions en zone de socle ont un pH moyen de 6.5 (d'après étude C.F.I.G.R.E. 1984)

La nappe profonde quant à elle présente des valeurs de pH inférieures à 6.5 pour les cinq(5) premiers forages mesurés dans les secteurs 1 ; 15 ; 16 ; et 17.

Les forages F6 et F7 donnent des valeurs de pH situées dans l'intervalle de **6.5 < pH < 8.5** fixé par la réglementation de la CEE et L'OMS.

Conclusion: Les eaux de la nappe souterraine ont un pH acide

◆ *La dureté :* $\frac{TH}{H}$

a) Réglementation

- L'OMS ne fixe pas les valeurs de dureté pour l'eau destinée à la consommation; mais toutefois indique qu'une valeur de dureté élevée peut provoquer la formation des dépôts ; alors qu'une faible dureté de l'eau peut provoquer la corrosion.

- La direction de la CEE précise pour l'eau potable ayant subi un traitement d'adoucissement , sa concentration minimale de dureté requise doit être égale à 60 mg/l de carbonate de calcium (CaCO_3).

- La réglementation Française recommande une concentration maximale admissible de 50 mg/l.

b) Observations des résultats

1. Nappe profonde

Les sept(7) forages analysés donnent des valeurs de dureté, qui sont résumées dans le tableau ci dessous.

Tableau : Valeurs résumées de dureté pour la nappe profonde.

Paramètres	Valeur minimale	valeur maximale	Moyenne	Ecart type
TH (mg/l)	11	20	18	11
Tca(mg/l)	8	27	13	6.3
TMg(mg/l)	3	17	5.7	4.8

Le tableau ci dessous nous permet de faire une classification des résultats observés.

Tableau : Classification de la Dureté.

Valeur de Dureté: TH (mg/l)	TH<15	15 - 50	50 - 100	100 - 200	> 200
Nombre d'échantillons	5	2	0	0	0
pourcentage (%)	71	29	0	0	0
Classification de l'eau	très douce	douce	Moyenne ment dure	dure	très dure

A la suite de ces observations et recommandations, nous pouvons dire que la nappe profonde a une eau très douce et douce; car toutes les valeurs mesurées sont inférieures à 50 mg/l.

La plus faible valeur est observée sur le Forage n°5, de la communauté Chrétienne, au secteur 15, du quartier Ouézzin ville; et la valeur maximale mesurée sur les forages est donnée par le forage n°1 (20 mg/l) du C.E.G Tounouma, au secteur 16 St.-Etienne.

2. Nappe superficielle

De même, nous résumons, les mesures observées sur les seize(16) puits dans le tableau ci-dessous.

Tableau : Valeur de dureté de la nappe superficielle.

Paramètres	Valeur minimale	valeur maximale	Moyenne	Ecart-type
TH (mg/l)	7	112	27	26
Tca(mg/l)	3	69	18	17
TMg(mg/l)	1	43	13	10

La valeur la plus faible de dureté totale (7 mg/l) est donnée par les puits n° 5 de Mr. Alassan, secteur 17 au quartier 17 et le n° 15 de Mr. ADAMA Sidibé; au secteur 19, situé en aval de la zone industrielle;

Par contre la valeur maximale (112 mg/l), supérieure à la norme fixée est donnée par le puits n° 1, de Mr. MADOU, secteur 2, DIARABOUGOU.

Ainsi le tableau ci-dessous nous permet de faire une classification des résultats des analyses réalisées:

Tableau : Classification de la Dureté.

Valeur de Dureté: TH (mg/l)	TH<15	15 - 50	50 - 100	100 - 200	> 200
Nombre d'échantillons	6	8	1	1	0
pourcentage (%)	38	50	6	6	0
Classification de l'eau	très douce	douce	Moyenne-ment dure	dure	très dure

Conclusion: Les résultats observés, montrent que 50% des échantillons donnent une eau douce et 38% donnent une eau très douce. Ainsi nous pouvons conclure que les eaux souterraines de la nappe superficielle sont de qualité douce, susceptibles de provoquer une corrosion.

◆ **Titre alcalimétrique complet: TAC**(voir tableau des résultats)

Les valeurs de pH de nos échantillons varient entre 4,5 et 8,1; ce qui signifie clairement que les eaux que nous avons à analyser ne contiennent pas de bases fortes ; mais plutôt de bases faibles.

On a donc $TA = 0$ (cela justifie aussi la valeur du PH de l'eau naturelle).

$$\Rightarrow TAC = [HCO_3^-]$$

Conclusion:

Les échantillons analysés, qu'ils soient des eaux de la **nappe superficielle** ou de la **nappe profonde** donnent des concentrations de TAC inférieures à la norme recommandée de 50 °F.

4.4.3. Paramètres généraux de pollution

♦ Demande chimique en oxygène: DCO

a) Normes

La méthode de la DCO est applicable pour des valeurs de concentrations comprises entre 30 et 700 mg/l. On détermine la concentration moyenne en DCO.

Si la concentration moyenne en DCO est inférieure ou égale à 30 mg/l, l'eau est qualifiée bonne. Dans le cas contraire, la situation est à signaler.

b) Résultats des mesures.

1. Nappe profonde

On résume les résultats mesurés dans le tableau suivant :

Tableau des valeurs résumées en DCO

valeurs de DCO (mg/l)	Nombre des échantillons	pourcentage des mesures (en %)	Observations de la qualité
< ou =30 mg/l	5	71	bonne
30 < DCO < 700	2	29	mauvaise
> 700 mg/l	0	0	très mauvaise

Nous pouvons nous permettre d'affirmer que la nappe profonde présente une qualité d'eau satisfaisante en DCO; car environ 71% des mesures réalisées donnent des concentrations en DCO inférieures ou égales 30 mg/l.

La valeur moyenne en DCO de la nappe profonde est de 22 mg/l; et l'écart type donne 17 mg/l. Ce qui entraîne des valeurs dispersées autour de la moyenne.

Les concentrations supérieures à 30 mg/l sont observées sur les forages: n°1 du C.E.T Tounouma, au secteur 16, du quartier St.-Etienne (**51 mg/l**), et le n°2, du CET HAMDALAYE, secteur 1, centre commercial au centre ville (**40 mg/l**).

Ces deux forages montrent des signes manifestes de contamination organique.

2. Nappe superficielle

Elle donne des valeurs suivants:

Tableau des valeurs résumées en DCO de la nappe superficielle.

valeurs de DCO (mg/l)	Nombre des échantillons	pourcentage des mesures (%)	Observations de la qualité
< ou =30 mg/l	10	63	bonne
30 < DCO < 700	6	37	mauvaise
> 700 mg/l	0	0	très mauvaise

La nappe superficielle indique que 63 % des points de mesure donnent des concentrations en DCO inférieures ou égales à 30 mg/l. et 37 % donnent des concentrations en DCO situées dans l'intervalle de 30 à 700 mg/l.

Les plus fortes valeurs sont observées respectivement sur les puits n° 2 (176 mg/l), n°3 (200 mg/l) , n°5 (184 mg/l) et le n° 8 (144 mg/l) ; ces puits sont donc contaminés par la pollution organique; *(forte demande chimique en oxygène)*

par contre les valeurs les plus faibles (0 mg/l et 8 mg/l) sont données aussi respectivement par les puits n° 13; n° 15 et n° 4 ; n° 14. Ces puits n'ont pas encore été contaminés par la pollution organique.

La nappe superficielle de Bobo-Dioulasso donne une concentration moyenne de 56 mg/l et un écart type de 70 mg/l. D'où la dispersion des valeurs autour de la moyenne.

Ainsi nous pouvons conclure par rapport à la concentration moyenne observée, que la nappe superficielle a une eau affectée par la pollution organique.

◆ Teneur en nitrates

a) Normes

- La direction de la CEE recommande pour les eaux destinées à la consommation, une concentration maximale admissible 50 mg/l de nitrates.
- L'OMS quand à elle, fixe cette valeur à 45 mg/l de nitrates; et précise qu'il doit être tenu compte aussi de la concentration en nitrites de telle manière que, la somme des

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

b) Résultats des mesures

1. Nappe profonde:

Les sept (7) points des mesures observées, donnent des teneurs en nitrates qui varient de 0,4 mg/l à 18,9 mg/l, toutes inférieures aux normes recommandées. Ce qui est intéressant.

La concentration moyenne en nitrates est de **6 mg/l**, avec un écart type de **6mg/l** également.

On retient de ces observations que la nappe profonde ne présente pour l'instant pas de contamination en nitrates.

2. Nappe superficielle

Les seize (16) points de mesures réalisées donnent des teneurs en nitrates qui fluctuent entre **0,5 mg/l** et **341 mg/l** ; parmi lesquels trois points ont des valeurs supérieures à **50 mg/l** de nitrates.

Les fortes concentrations en nitrates (341 mg/l; 139 mg/l et 64 mg/l) sont trouvées respectivement dans les puits n°1, de Mr. MADOU, secteur 2, à Diarabougou ; N° 3 de Mr. MAKAN KEITA, secteur 16 à St.-Etienne de Tounouma ; et le puits n°4, du centre scolaire religieux, secteur 4, à Koko. Généralement plusieurs puits traditionnels n'ont pas de protection parfaite (margelle insuffisant). La concentration moyenne en nitrates est de **44 mg/l** et un écart type de **84 mg/l**.

Ainsi, en dehors des trois(3) puits ayant un taux de contamination très élevées en nitrates, les autres puits donnent de faibles contaminations, parfois même négligeables.

On peut donc retenir que les trois(3) puits de la nappe superficielle portent une contamination en nitrates.

◆ Les nitrites: NO_2^-

a) Normes

– L'OMS recommande à ce que la concentration en nitrites des eaux de boisson soit inférieure à 1 mg/l.

– La direction de la CEE fixe cette valeur à une concentration maximale de 0,1 mg/l de nitrates.

b) Résultats des analyses

Les tableaux N° 2, 3 et 4 en annexe montrent que toutes les sept (7) mesures réalisées sur les forages et les seize (16) mesures sur les puits donnent des teneurs en nitrites inférieures ou égales à 0,1 mg/l, répondant ainsi à la réglementation exigée.; dont 17 points de mesure sur 23 donnent des valeurs nulles. La valeur moyenne est de 0,01 mg/l et l'écart type 0,03 mg/l de nitrites.

On peut conclure que les eaux de la nappe souterraine ne présentent pas encore des signes de pollution en nitrites.

◆ Ammonium: NH_4^+

a) Normes

- La réglementation Française recommande une concentration maximale admissible pour les eaux destinées à la consommation la valeur de 0,5 mg/l d'ammonium;
- L'OMS retient comme teneur limite en ammonium la valeur de 1,5 mg/l.

b) Résultats

1. Nappe profonde

Toutes les eaux des forages prélevées indiquent des valeurs de teneur en ammonium inférieures à 0,5 mg/l. La concentration moyenne est de 0,42 mg/l et un écart type de 0,08 mg/l.

On peut retenir que la nappe profonde ne présente pas de pollution en ammonium (NH_4^+).

2. Nappe Superficielle

Deux points de mesure donnent des teneurs en ammonium supérieures à 0.5 mg/l. Ce sont les eaux des puits n° 1 (6,26 mg/l) et le puits n°3 (12,7 mg/l).

Les 14 puits restants donnent de faibles concentrations en ammonium qui sont inférieures à 0,5 mg/l et par fois des concentrations nulles.

La concentration moyenne obtenue est de **1,4 mg/l** et un écart type de 3,3mg/l

Selon ces observations, on peut dire que les eaux des deux puits n° 1 et n° 3 sont souillées en ammonium et on ne doit pas en faire usage de consommation directe sans traitement préalable.

◆ Azote KJELDAHL: NTK

a) Normes

- La direction de la CEE fixe pour l'eau destinée à la consommation, une concentration maximale admissible de 1 mg/l d'Azote KJELDAHL.
- La réglementation française fixe la même valeur à 2 mg/l de NTK.
- L'OMS quand à elle ne fixe aucune valeur.

b) Résultats obtenus

1. Nappe profonde:

Les mesures observées sur tous les forages donnent des concentrations qui varient entre 2,8 mg/l à 5,6 mg/l de NTK, dépassant ainsi les normes. La concentration maximale (5,6 mg/l) est observée sur les forages: Forage n° 5 de la Communauté Chrétienne, au secteur 15 à Ouézzin et le forage n° 6 de la grande Mission catholique, secteur 2, à Médinacoura.

La concentration moyenne est de 3.6 mg/l de NTK ,avec un écart type de 1,3 mg/l.

On peut retenir suite à ces analyses que la nappe profonde porte une pollution en NTK.

2. Nappe superficielle (phréatique)

Les mesures observées sur les puits donnent des concentrations en NTK plus élevées et fluctuent entre 2,8 mg/l à 11,2 mg/l. La concentration maximale est donnée par le puits n° 1 de Mr. MADOU, au secteur 2 à Diarabougou.

La valeur moyenne de NTK observée sur les 16 points de mesure est égale à 4,6 mg/l et un écart type de 2,1 mg/l.

Au vu de ces résultats, les conclusions restent les mêmes, aussi bien sur la nappe profonde que sur la nappe superficielle; donc polluée.

◆ *Le Phosphore total: P*

a) Réglementation

La direction de la CEE recommande une concentration maximale admissible de 5 mg/l de phosphates et de 2 mg/l de phosphore total pour les eaux de boisson.

b) Résultats observés

1. Nappe profonde

Un seul échantillon sur les sept observés donne des concentrations élevées en phosphates (14,74 mg/l) et en phosphore (4,8 mg/l). Bien, évidemment les autres donnent des valeurs inférieures aux normes fixées.

Ces valeurs varient de 1,22 mg/l à 3,07 mg/l de teneur en phosphates, et de 0,4 à ~~0,7~~^{4,8} mg/l de teneur en phosphore.

La concentration moyenne en phosphates est de **3,81 mg/l**, avec un écart type de **4,49 mg/l**.

On peut retenir que, seul le forage n° 7 (de SAVANA, dans la zone industrielle) porte une contamination en phosphates. La nappe souterraine n'est pas totalement souillée en phosphates car 86 % des échantillons observés présentent des résultats très satisfaisants.

2. Nappe superficielle

Les mesures des échantillons donnent des valeurs qui varient entre 0,92 et 11,97 mg/l de phosphates et de 0,3 mg/l à 3,9 mg/l de phosphore.

La plus forte valeur est donnée par le puits n°9 de Mr. BARRA Souleymane, au secteur 1 point bas du centre ville.

La concentration moyenne obtenue en phosphates est de **2,33 mg/l**, avec un écart type de **2,66 mg/l**.

Comme pour la nappe profonde, ici également nous avons également un seul puits qui est pollué; il s'agit **du puits n° 9**.

La nappe phréatique n'est pas menacée par la pollution, car 94 % des échantillons mesurés donnent des résultats satisfaisants.

◆ *Les sulfates*

a) Normes

- La directive de la CEE et la réglementation Française fixent la valeur maximale admissible de teneur en sulfate à 250 mg/l.
- L'OMS quand à elle recommande une valeur 400 mg/l de sulfate.

b) Résultats

La nappe souterraine ne donne pas de pollution en sulfates; car les échantillons des eaux prélevées dans la nappe profonde et phréatique ont des concentrations plus faibles que les normes recommandées.

Conclusions générales et Recommandations

A l'issue de notre travail de mémoire de fin d'étude, et par rapport à nos objectifs visés, nous pouvons retenir de manière succincte ce qui suit :

a)- Nappe superficielle.

L'étude bactériologique de cette nappe réalisée sur un certain nombre de puits modernes et traditionnels montrent une présence massive de germes pathogènes (recherchés) dans les eaux. Cette forte contamination des eaux de la nappe due notamment à l'absence d'une bonne protection (margelle insuffisante); surtout en ce qui concerne les puits traditionnels et du fait que cette nappe est en liaison étroite avec de nombreux puits perdus et puisards, latrines ou des simples fosses creusées en plaines terres , installés dans des parcelles comme des lieux d'aisance.

Les eaux pluviales qui drainent les eaux usées, polluées par de nombreux foyers, s'infiltrent facilement dans le sol perméable de texture grossière (formation de Latérite, altérite et d'alluvions) et occasionnent la contamination de la nappe.

L'eau des puits, consommée par une bonne partie de la population est à l'origine de plusieurs maladies que nous avons présentés dans le tableau chapitre 3.

L'analyse physico-chimique a permis de détecter certains points de pollution de la nappe souterraine, d'origine chimique et organique (teneurs élevées en NTK, DCO, NH_4^+ , PO_4^{3-} et NO_3^-).

Il faut noter que plusieurs rapports des études réalisées font état de beaucoup de fractures dans la zone. Il est donc important de signaler que ces fractures qui se trouvent entre autres dans la zone industrielle et la zone où les déchets industriels sont déversés, peuvent donner lieu à une perméabilité élevée de la couche des altérites et à la nappe.

Cette infiltration rapide des eaux polluées à travers les sols provoque une contamination directe de la nappe.

Il serait souhaitable que de nouvelles mesures soient faites pour confirmer nos résultats; afin de prendre des dispositions nécessaires qui s'imposent.

On pourra aussi faire remarquer que pendant la période de saison des pluie, ces risques de contamination seraient encore plus nombreux à cause de la recharge de la nappe.

Ainsi de façon générale, les nombreux puits implantés à ciel ouvert dans les différents quartiers de Bobo-Dioulasso sont effectivement exposés à la poussière et à toute autre forme de pollution par infiltration dans le sol ou par ruissellement des eaux pluviales.

Ces eaux contaminées, susceptibles de nuire à la santé publique, ne doivent pas être utilisées par les populations comme l'eau de consommation.

Cependant le produit "eau" étant une source nécessaire pour la survie de tout organisme vivant, la population ne peut donc utiliser que la source d'eau la plus disponible et qui lui est directement accessible. C'est donc une politique d'hygiène qui est à mettre en place et à laquelle pourraient contribuer aussi bien les Ministères de l'eau, de la santé et de l'éducation, ainsi que la municipalité.

Et parallèlement une campagne de sensibilisation et d'information devra être lancée auprès des populations par les services habilités (santé et hygiène) pour l'abandon définitif de ces ouvrages mal entretenus qui n'expirent confiance à personne quant à la potabilité de l'eau.

Du fait que la prise d'eau potable de Bobo-Dioulasso, source située à Nasso, est en principe alimentée par le bassin du Kou, il faut donc par conséquent limiter au maximum les rejets des eaux de drainage où des eaux usées vers cette zone et interdire toute nouvelle construction en tête de bassin versant (voir carte des bassins versants en annexe 1).

b)- Nappe profonde

L'étude bactériologique de la nappe profonde donne une qualité d'eau assez satisfaisante en dehors de deux unités: forages N°1 du CET Tounouma, secteur 16 à St.-Etienne et le forage N°6 de la Grande Mission Catholique, du secteur 2 à Médinacoura qui présentent une eau souillée.

Cette contamination de la nappe profonde peut être: soit accidentelle, c'est à dire par le contact direct des tuyauteries de puisage; ou soit à cause de leur faible profondeur de captage, car ces ouvrages sont implantés dans les points bas de la ville et parfois en aval immédiat d'un cimetière du quartier (cas du forage N°1).

En outre, on peut faire remarquer que les abords de plusieurs forages et puits sont insalubres par le manque d'entretien: d'où l'existence de flaques d'eau stagnantes, détritiques de tout genre.

Les comités chargés de gérer ces forages doivent prendre conscience pour leur entretien et protection.

Les eaux des forages sont souvent considérées comme des eaux propres pour la consommation; mais ceci est de moins en moins vérifié.

Pour cela il est souhaitable qu'une désinfection systématique par l'hypochlorite de calcium soit nécessaire avant leur consommation.

L'analyse physico-chimique de la nappe profonde montre une qualité acceptable de l'eau pour l'ensemble des points de mesure étudiés; par contre des teneurs élevées en DCO, NTK et en PO_4^{3-} observées sur certains forages (F1, F2, F7) sont l'indice de pollution chimique et organique. Ces forages doivent faire l'objet d'un suivi régulier par des campagnes de mesure.

Cette situation si elle se confirmait par d'autres analyses, conduira à l'interdiction de consommer ces eaux, *sans traitement préalable.*

Ainsi nous pouvons retenir de manière générale que la nappe de Bobo-Dioulasso, malgré le fait qu'elle se situe dans de bons aquifères profonds et productifs, et de qualité d'eau satisfaisante est aussi menacée en certains points de la ville par la pollution.

Pour remédier à cette situation même à long terme des mesures importantes doivent être envisagées; à savoir:

- Améliorer les conditions sanitaires de la ville par la construction d'un système d'assainissement adéquat, en particulier dans la zone industrielle et les zones des rejets industriels; l'extension du réseau d'eau potable et l'augmentation du nombre d'abonnés, l'éducation des populations, et une désinfection systématique par l'hypochlorite de calcium de l'eau des forages avant toute consommation.
- Un plan de construction des latrines améliorées dans toute la ville, ou la construction des fosses septiques avec système de vidange de trop plein par des services de voirie, ce qui permettra certainement d'arrêter l'extension de la pollution microbienne.

- On devra veiller à respecter la distance normalisée de 15 m entre les ouvrages d'eau et les puits perdus.

- Des dispositions pratiques devront être prises pour le ramassage et la collecte des ordures ménagères, afin d'éviter leur décomposition dans la ville et le remplissage des caniveaux d'eaux pluviales.

.- Les différentes industries de la ville doivent construire chacune d'elles un système complet de traitement des eaux usées et de traitement des déchets solides afin d'éviter que la situation ne puisse se dégrader davantage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Jean RODIER** L'analyse de l'eau, Volume 1 et 2
DUNOD 1986
- [2] **OMS** Directives de la qualité pour l'eau de
boisson, Volume 1-Recommandations
- [3] **Jean René
GUILLERET** Travaux pratiques d'analyses
physico-chimiques des eaux-EIER-1996
- [4] **Jean René
GUILLERET** Cours de Traitement des eaux
EIER-1995/1996
- [5] **BABA Moussa** Etude de la pollution bactériologique de
la nappe phréatique à partir d'une latrine en
AFRIQUE subsaharienne
- [6] **BABA Moussa** Etudes préliminaires sur la pollution
d'eau souterraine par les systèmes
d'assainissement individuel en AFRIQUE
subtropicale
- [7] **Programme RESO** Inventaire des ressources en eau dans le sud
ouest du Burkina (Rapport final-Avril 1997)
Volume 1 à 16
- [8] **SOGREAH** **Rapport - 1997**

[9] Rapport SDAU

Schéma Directeur d'Aménagement Urbain de la
Ville de Bobo-Dioulasso

**[10] Jean René
GUILLERET**

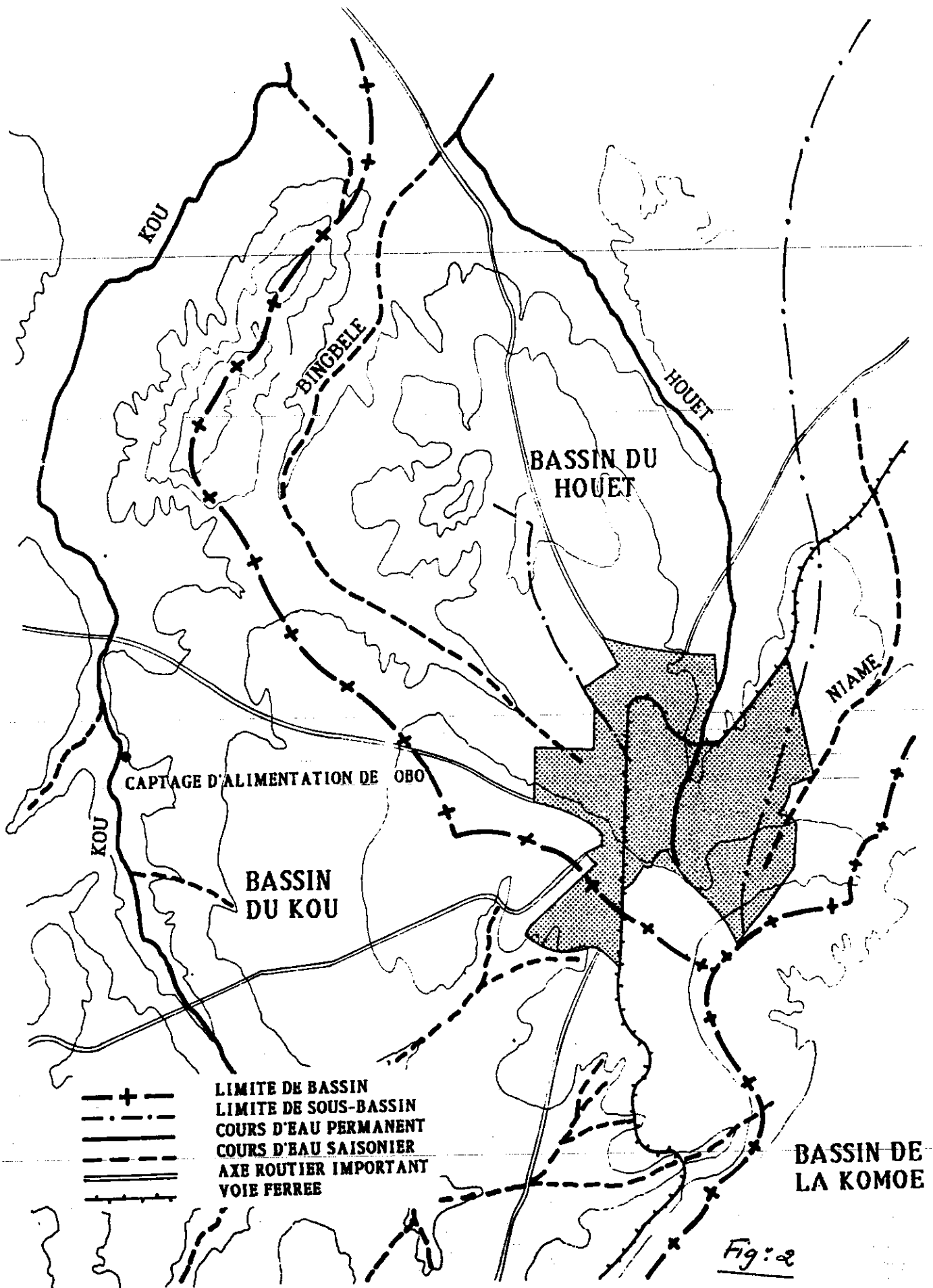
Cours de Microbiologie des eaux
EIER - 1994/1995

[11] Kokou DENYIGBA

Cahier des Travaux Pratiques de
Microbiologie - Tome 1 EIER-1996/1997

ANNEXE 1

2.2.2.-01 Grands bassins versants.



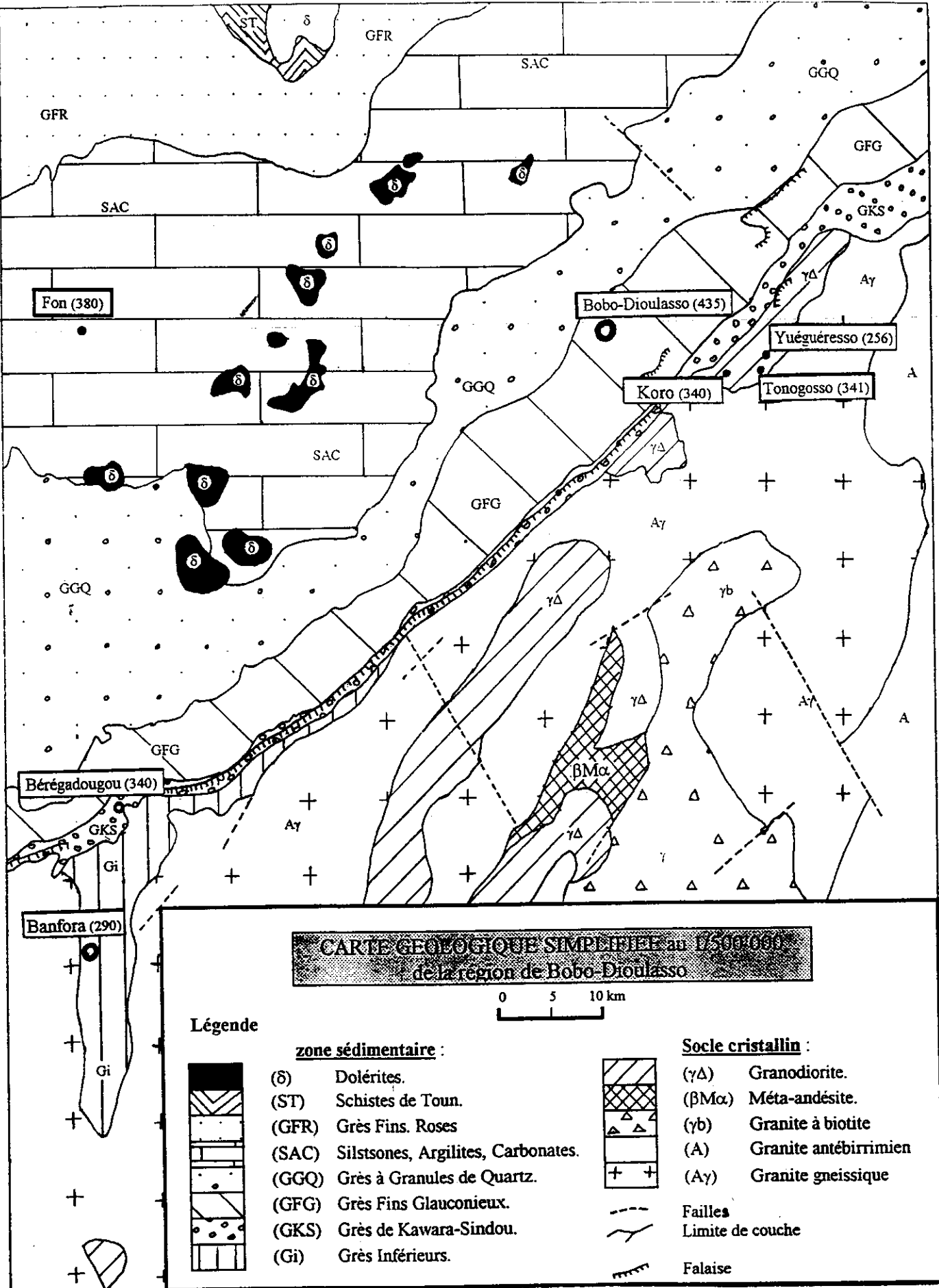


Fig 3 : Contexte géologique de la zone de Bobo-Dioulasso

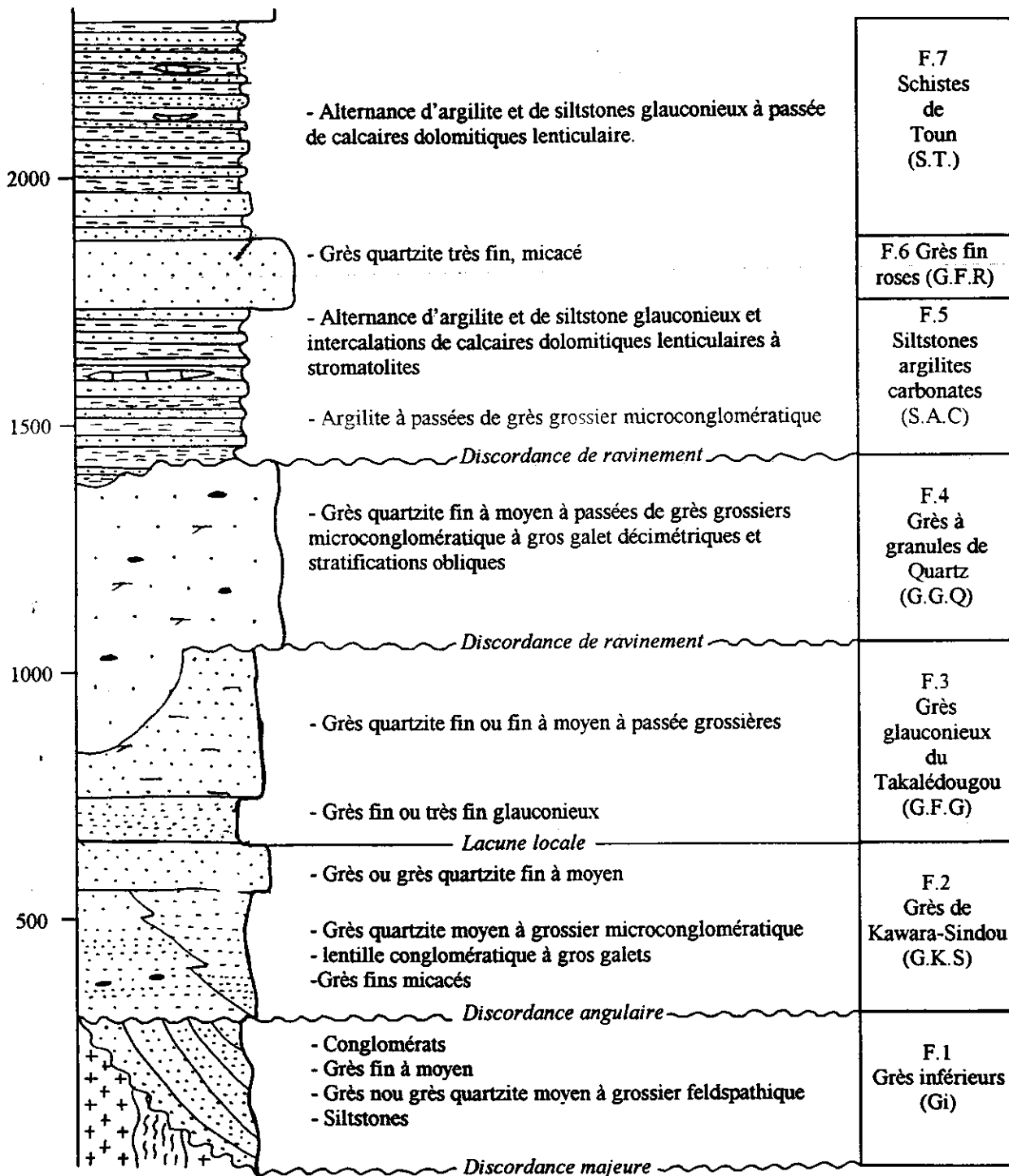


Fig. 4 : Echelle litho-stratigraphique des terrains sédimentaires du Sud-Ouest Burkinabé

C 2.3.3-12 Découpage administratif.

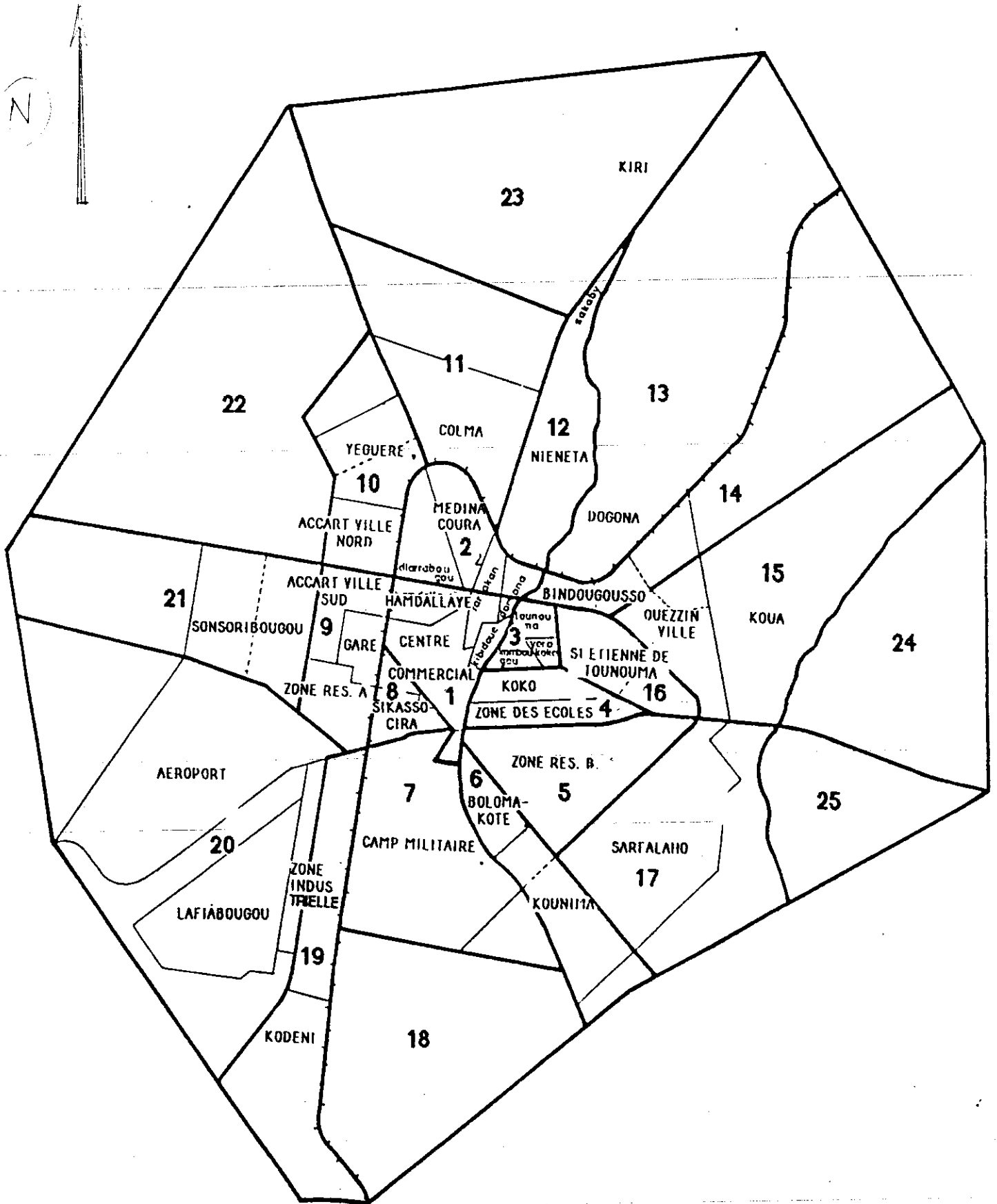
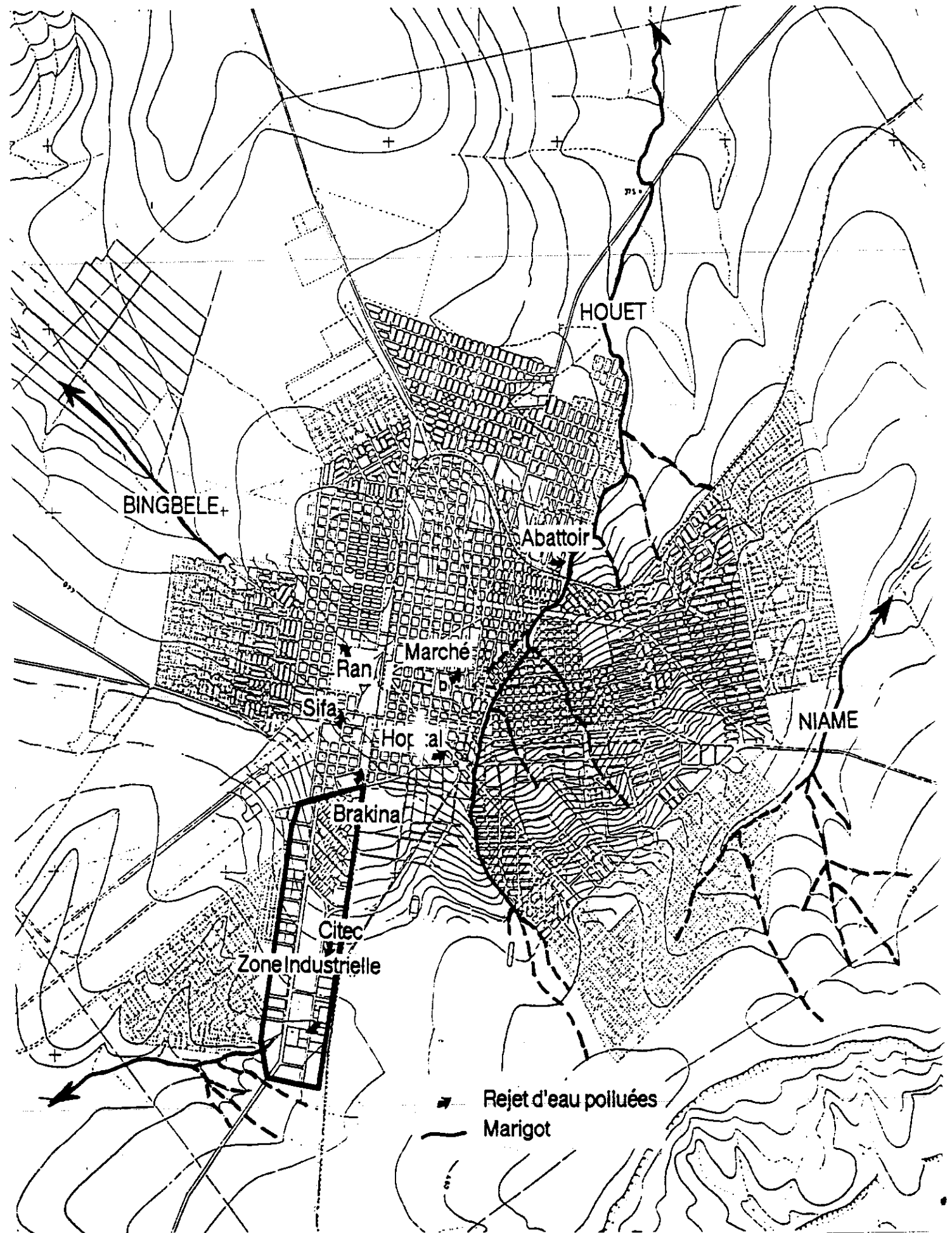


Fig: 5

2.6.3 - 01 Evacuation des eaux polluées



ANNEXE 2

Protocole d'expérimentation au laboratoire

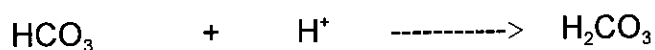
A. ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

1. Titre Alcalimétrique complet: TAC

1.1. Principe:

Le principe de la méthode 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 de solution alcoolique.

Equation de la neutralisation:



On a : $4.5 < \text{pH} < 8.3$
avec $\text{TA} = 0$ c'est à dire que le dosage ne concerne que le TAC (cas d'acide faible).

1.2. Mode opératoire:

- Mettre 100 ml de l'échantillon d'eau dans un erlen
- y ajouter quelques d'indicateur mixte, on obtient une solution de coloration bleue.
- Introduire le barreau aimanté et actionner l'agitateur magnétique.
- Titrer avec de l'acide sulfurique 0.02N. Au point de neutralisation, l'échantillon vire au rouge et on note le volume de l'acide: V_a

1.3. Expression des résultats:

Soient:

- N_a : la normalité de l'acide sulfurique . $N_a = 0.02 \text{ N}$
- V_a : le volume de l'acide utilisé
- N_b : la normalité recherchée
- Le volume de la prise d'essai $V_b = 100 \text{ ml}$

$$\Rightarrow N_b = N_a \times \frac{V_a}{V_b} \quad \text{et}$$

$$TAC(N) = 0.02 \times \frac{V_a}{100} (\text{éqg})$$

et $TAC(\text{méq}) = 100 \times TAC(\text{normalité}).$

$$TAC(^{\circ}F) = 5 \times TAC(\text{méq})$$

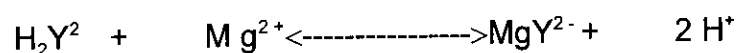
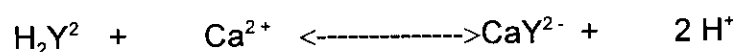
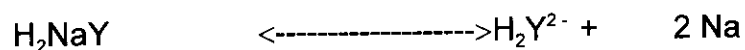
2. Dureté totale ou titre hydrotimétrique : TH

La dureté totale, TH est la somme des concentrations en ions calcium et magnésium.

2.1.Principe

Dans certaine conditions de pH, le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique, le NaH_2Y , forme avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} des complexes particulièrement stables, CaY^{2-} et MgY^{2-} .

On a les réactions suivantes :



2.2 Manipulation

- Introduire 100 ml d'échantillon dans un erlen ;
- Ajouter 4 ml de solution tampon,
- une pincée de noir d'ériochrome ; on obtient une coloration violette.
- Titrer avec l'EDTA ($\text{H}_2\text{Y} - \text{Na}_2$) à 0.02 N ; au point d'équilibre, le mélange vire au bleu et on note le volume de l'EDTA .

2.3 Expression des résultats

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

N1 : la dureté totale en normalité;

V2 ; le volume de l'EDTA en ml

N2 : la normalité de l'EDTA ; N2 = 0.02 N

On a ainsi :

$$N_1 = \frac{0.02}{100} \times V_{EDTA}$$

$$TH(\text{még}) = 1000 \times N_1(\text{normalité})$$

$$TH(^{\circ}F) = 5 \times TH(\text{még})$$

3 Dureté calcique ou titre en calcium : Tca

La dureté calcique, Tca correspond à la teneur globale en sels de calcium .

3.1 principe

Le principe est identique à la celui de la mesure du TH , si ce n'est que l'on utilise un indicateur spécifique de calcium, le murexide, après avoir précipiter par élévation du pH à 12, les divers hydroxydes métalliques, celui du magnésium en particulier.

3.2 Manipulation

Dans 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 mélangés à celui du magnésium en particulier.

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

Observations:

Si $V_{EDTA} < 3$.ml, on double le volume de la prise d'essai ,et

si $V_{EDTA} \geq 25$ ml , il faut réduire le volume de moitié.

3.3 Expression des résultats

Appelons par:

V_1 : le Volume de la prise d'essai; $V_1 = 100$ ml

N_1 : la dureté totale (Normalité)

V_2 : le volume en ml de l'EDTA utilisé, V_{EDTA}

N_2 : la normalité de l'EDTA, $N_{EDTA} = 0.02 \text{ N}$

$$N_1 = 0.02 \times \frac{V_{EDTA}}{100} (\text{normalité}) \text{ ou éqg.}$$

$$Tca(\text{méq}) = 1000 \times N_1 ; \text{ ou}$$

$$Tca(^{\circ}F) = 5 \times Tca(\text{méq}) ; \text{ et}$$

$$Tca(\text{mg} / l) = 4 \times Tca(^{\circ}F)$$

Ainsi par différence , on obtient la dureté magnésienne.

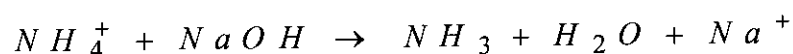
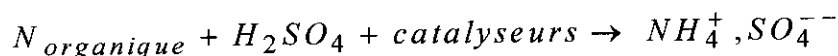
$$TMg = TH - Tca$$

4. Dosage de l'azote KJELDAHL : NTK

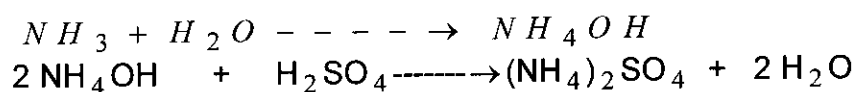
4.1 Principe

Il est basé par la minéralisation de l'azote organique sous forme de sulfate d'ammonium par l'action conjuguée de l'acide sulfurique et des catalyseurs de minéralisation.

Le schéma de la réaction est le suivant:



• Dosage de l'ammonium par acidimétrie



4.2. Mode opératoire

Minéralisation

Mettre le digesteur (LIEBISCH) sous tension dès l'arrivée au laboratoire.
Introduire successivement dans chaque tube de minéralisation ;

- 100 ml d'échantillon dans l'éprouvette,
- 10 ml d'acide sulfurique concentré, et avec précaution;
- une pincée de catalyseur de minéralisation (dangereux);

- quelques billes de verre (3 ou 4).

- Placer les tubes dans les loges du digesteur et les accorder au collecteur;

Mettre en marche la trompe à eau reliée au collecteur, le chauffage se fera graduellement.:

à 120°C pendant une heure ;

à 280°C l'heure suivante ; et

à 380°C le reste de la digestion.

Lorsque des fumées blanches apparaissent , laisser la minéralisation se faire durant 45 mn. A l'issue de ce laps de temps , atteindre le digesteur,

Laisser refroidir , puis retirer le collecteur.

NB: S'il est apparu un précipité, le dissoudre en ajoutant un adoucisseur, en ajoutant doucement un peu distillée (opération dangereuse , à réaliser avec beaucoup de précaution).

4.3. Distillation

– Introduire dans chaque tube à distiller ; 100 ml d'eau distillée pour diluer l'échantillon trop acide

– Introduire dans un erlen de 250 ml , 25 ml d'acide borique à 25 g/l et 1ml d'indicateur NTK : Indicateur de TASHIRO

– Ajouter la quantité d'eau distillée nécessaire pour le tube soit en contact de l'acide borique

– Introduire doucement environ 50 cm³ de soude à 10 N dans à l'aide du robinet supérieur marqué " NaOH "

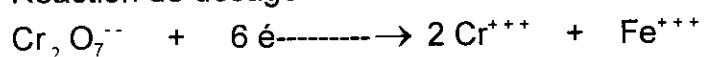
– Refermer le robinet

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

4.4. Titrage

Titrer le contenu de l'erlen par de l'acide sulfurique 0.1N à l'aide de la burette électrique. Au point équivalent , la solution verte redevient à sa couleur initiale (violette). On note le volume V_1 , de l'acide utilisé,

Réaction de dosage



Mode opératoire

On vérifie au préalable le titre de la solution ferreuse et on procède à un essai à blanc.

1 Vérification du titre de la solution ferreuse

Introduire 10 ml de la solution de bichromate (à 0.04 M ou 0.24 N) dans un bêcher à l'aide de pipette .

Compléter à environ 100 ml avec la solution d'acide sulfurique dilué (4M)

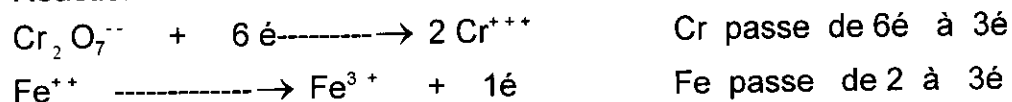
Ajouter quelque gouttes de ferroïne

- Titrer avec la solution ferreuse jusqu'au passage du mélange à la coloration rouge violacé.

On note le volume V_1 ; de solution ferreuse utilisé.

Expression des résultats

Réaction rédox



donc une solution molaire en $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ correspond à 6 N
et une solution molaire en Fe^{2+} correspond à 1N

Soient :

V_1 : le volume de solution ferreuse utilisée

N_1 : la normalité de Fe^{2+}

V_2 : le volume de dichromate

N_2 : la normalité de solution de dichromate : soit : $0.04 \times 6 = 0.24 \text{ N}$

on a donc :

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2 \quad N_1 = \frac{N_2 \times V_2}{V_1} = \frac{0.24 \times 10}{V_1}$$

$$N_1 = \frac{2.4}{V_1}$$

Expression des résultats de NTK

Soit :

$(V_1 - V_0)$: le volume d'acide nécessaire à la neutralisation .

N_1 : la normalité de l'acide (0.10 N)

V_2 : le volume de la prise d'essai (100 ml)

N_2 : la normalité de la solution d'ammoniac

On a : $N_1 \times (V_1 - V_0) = N_2 \times V_2$

$$N_2 = \frac{N_1 \times (V_1 - V_0)}{V_2}$$

La concentration de l'azote est notée :

$$T_2 (\text{mg} / \text{l}) = N_2 \times 1000 \times 14$$

5 Dosage de la DCO

5.1 Principe

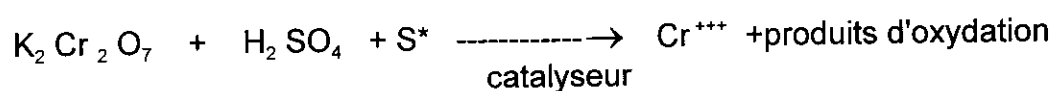
En milieu acide et en présence des catalyseurs, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par le dichromate de potassium dans des conditions opératoires bien définies.

Un agent masquant permet d'éviter l'interférence éventuelle des chlorures. L'excès de dichromate introduit est dosé par un réducteur, le sulfate ferreux; on peut aussi remonter à la quantité de dichromate consommée par les matières oxydables.

Un indicateur approprié permet de détecter la fin du dosage.

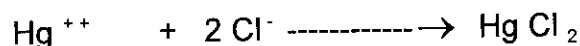
Equation de la réaction

- Oxydation des substances S^* présentes dans l'eau



- Intervention d'un agent masquant

Pour éviter l'oxydation des ions chlorures en chlore, on utilise le sulfate de mercure(II) qui complexe les ions Cl^-



5.2 Essai à blanc

L'objectif est de valuer la consommation de dichromate par les réducteurs qui pourraient se trouver dans le mélange et qui ont pour origine un manque de pureté des réactifs et l'utilisation d'une verrerie douteuse.

On effectue cet essai parallèlement à la détermination de la DCO (Voir ci-dessous), mais en remplaçant la prise d'essai par 10 ml d'eau distillée. On note : V_B , le volume de solution ferreuse utilisée pour obtenir le changement de coloration.

5.3 Détermination de la DCO

5.3.1 Protocole

Introduire dans l'ordre dans un ballon de 250 ml

10 ml d'échantillon à l'aide de l'éprouvette

5 ml de dichromate à la pipette

15 ml d'acide sulfurique concentré (dangereux) , à l'aide d'une éprouvette ;procéder à cette opération avec précaution et agitant doucement le vase d'un mouvement circulaire .Au cours de l'opération, poser le ballon sur le lit de glace, afin d'éviter que le dégagement de chaleur n'entraîne la disparition des matières volatiles.

Porter à ébullition pendant 120 m

Laisser refroidir le ballon

Retirer le ballon du dispositif de chauffage et du réfrigérant.

Compléter à environ à environ 70 ml avec de l'eau distillée et laisser refroidir à la température ambiante.

5.3.2 Dosage

Transvaser le contenu du ballon dans un erlen de 250 ml

Rincer le ballon avec le minimum d'eau distillée et joindre les eaux de lavage au mélange .

Introduire quelque gouttes de ferroïne dans le mélange .

Titrer par la solution ferreuse jusqu'au passage de la coloration bleu vert au brun rouge;

On note V_e ; le volume de la solution ferreuse utilisée.

- *Expression des résultats*

On appelle :

V_B : le volume de solution ferreuse utilisé pour l'essai à blanc

V_e : le volume de solution ferreuse utilisé pour l'échantillon

V_o : le volume de la prise d'essai (10 ml).

N_1 : la normalité de la solution ferreuse .

La concentration de la DCO exprimée en mg/l est :

$$\text{DCO (mg/l)} = \frac{8000 \times N_1 (V_B - Ve)}{V_o}$$

Cette méthode est application aux eaux dont la DCO est comprise entre 30 et 700 mg/l.;

Procéder à une dilution dans le cas ou ces limites maximum sont atteintes .

6 .Dosage des nitrates: NO_3^-

Méthode de réduction au cadmium (réactifs en gélules)

6.1. Principe:

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent un composé de couleur le paranitro-salicylate de sodium lequel permet un dosage de photolorimétrique.

Mode opératoire:

- Remplir chaque flacon colorimétrique avec 25 ml d'échantillon
- Remplir un autre flacon avec de l'eau distillée avec 25 ml d'eau distillée (le blanc).
- Ajouter le contenu d'une gélule de Nitra Ver 5 à chaque flacon.
- Boucher le flacon
- Afficher le code 353 dans le programme correspondant au dosage de nitrate, concentration moyenne , réactif en gélules sur l'écran du DR/2000. On lit la longueur d'onde $\lambda = 400 \text{ nm}$
- Agiter le flacon vigoureusement et attendre 5 mn pour la réaction du produit.
- Placer le blanc dans le puits de mesure et fermer le capot pour étonner le spectrophotomètre de lecture direct. L'appareil affiche la valeur 0.0 mg/l N NO_3^- M.
- Commencer la lecture des concentration respectives.
- Le résultat est donné en mg/l d'azote. On obtient les résultats en mg/l de nitrate (NO_3^-) en multipliant les résultats par mg/l d'azote par (N NO_3^- - M) par 4.4.

7 Dosage de phosphore total: P

Principe

En milieu acide et présence de molybdate d'ammonium (NH_4^+), les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique.

Celui-ci peut être réduit par l'acide ascorbique sans forme d'un nouveau , complexe de couleur bleue, susceptible d'être utilisée dans le cadre d'un dosage calorimétrique.

Afin d'éviter l'hydrolyse de certaines formes organiques qui aboutiraient à la formation d'orthophosphates, on accélère le développement de la coloration grâce à un catalyseur, l'émétique, tartrate double d'antimoine et de potassium.

Mode opératoire:

- Remplir un flacon calorimétrique avec 25 ml d'eau distillée (le blanc).
- Remplir un autre flacon calorimétrique avec 25 ml d'échantillon
- Ajouter 1 ml de réactif molybdovanadate à chaque flacon . Agiter pour mélanger. En présence de phosphate, une coloration jaune se développe. Le réactif donne une légère coloration jaune au blanc. La période de réaction est de 3 minutes.

Méthode molybdovanadate (en mg/l P).

- Entrer le numéro 481 du programme mémorisé pour doser le phosphate ortho.

On lit la longueur d'onde $\lambda = 430 \text{ nm}$ (nanomètre).

- Placer le blanc d'essai dans le puits de mesure; fermer le capot pour étalonner l'appareil.
- Presser zéro, l'affichage indique 0.00 mg/l P Mov.
- Commencer les mesures des concentrations respectives. Le résultat est donné en mg/l de phosphore.

B. Description des travaux pratiques de microbiologie

Méthode d'analyse :

La méthode utilisée est celle par filtration sur membrane qui concerne généralement les eaux potables.

Principe :

Ce procédé est basé sur la filtration de 100 ml d'échantillon à analyser, sur une membrane de cellulose stérile, de porosité 0.45 μm . Il permet la rétention des bactéries, des champignons et de nombreux autres germes présents dans l'eau.

La membrane est ensuite placée soigneusement sur une boîte à pétri contenant des nutriments.

- Les coliformes totaux et les streptocoques fécaux sont mis à incuber dans l'autoclave à 37°C, respectivement pendant 24 h et 48 h.

- Les coliformes thermotolérants sont maintenus à 44°C dans l'autoclave pendant 24h.

On procède au dénombrement direct des colonies pour 100 ml d'échantillon.

Milieu de culture:

On utilise deux milieux de culture différents :

a)- Gélose lactosé au TTC et au tergitol 7 (Chapman, modifié R; Bittiaux).

Ce milieu propice pour les coliformes, contient l'heptadécylsulfate de sodium (Tegitol-7) et le chlorure de triphényl-2,3,5-tétrazolium (TTC) qui est réduit rapidement par presque tous les coliformes thermotolérants (sauf *Escherichia coli* et *Enterobacter aerogenes*), en une formazine colorée en rouge, ce qui permet une identification précoce des colonies jaunes des *E. Coli*.

Le tergitol-7 inhibe les gram + et la flore secondaire indésirable ralentit la croissance des protozoaires.

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

Interprétation

Colonies	Micro-organismes
Avec TTC	
* jaune avec halo jaune	Echérichia coli
* Rouge éventuellement avec holojaune bleuâtre	Coliformes sans Echérichia coli
* Rougeâtre avec halo bleuâtre	Germes lactose négatifs
* Incolore	Monilia (levures) et autres

Pour les streptocoques, on prépare le slantz et barthley qui est un hibiteur des gram négatifs.