



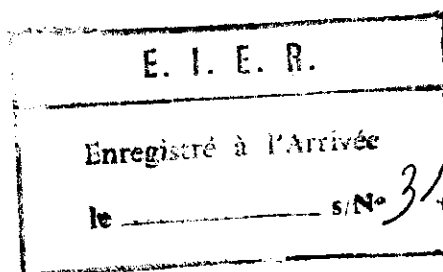
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1997

Présenté par :

NANA Mahamadi

SITUATION QUALITATIVE DE LA NAPPE PHREATIQUE A OUAGADOUGOU

MENTION :



Encadrement
J. R. GUILLERET

DEDICACES

CE TRAVAIL EST DÉDIÉ:

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

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

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

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

SOMMAIRE

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

PREMIERE PARTIE: INTRODUCTION ET GENERALITES

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

SOMMAIRE: suite

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

DEUXIEME PARTIE: ETUDE DE LA QUALITE DE LA NAPPE SOUTERRAINE

1. INTRODUCTION.....	17
2. EAUX DE LA NAPPE PROFONDE: FORAGES.....	17
2. 1. Objet de l'étude.....	18
2. 2. Paramètres d'analyses des eaux de la nappe souterraine.....	18
2. 2. 1. Paramètres physico-chimiques mesurés in situ.....	18
2. 2. 2. Paramètres physico-chimiques analysés.....	21
2. 2. 2. 1. TAC, TH et DBO ₅	21
2. 2. 2. 2. Les composés azotés.....	24
3. Analyse microbiologique.....	27
3. 1. Généralités.....	27
3. 2. Echantillons d'eau de forage ne renfermant aucun indicateur de pollution.....	27
3. 3. Echantillons d'eau de forages ayant un nombre de streptocoques fécaux supérieur aux coliformes thermotolérants.....	28
3. 4. Echantillons d'eau contenant des coliformes mais pas de streptocoques fécaux.....	28
4. EAUX DE LA NAPPE SUPERFICIELLE.....	29
4. 1. Paramètres physico-chimiques.....	30
4. 2. Analyse microbiologique.....	31
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33
GLOSSAIRES	35
ANNEXES	

REMERCIEMENTS

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

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

RESUME

La ville de Ouagadougou a connu une expansion spatiale et démographique depuis les années 1970, à la faveur de l'exode rural.

La superficie du territoire urbain a atteint 20 000 ha, avec une densité moyenne de 35 habitants par hectare. Ce développement urbain n'a pas été suivi:

- d'une part, par la mise en place de mécanismes d'assainissement adéquats tant collectif qu'individuel ;

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

Le niveau insatisfaisant de l'assainissement, le manque d'hygiène peuvent contribuer à la pollution de la nappe et surtout occasionner la prolifération des maladies hydriques. Aussi, un suivi de la situation qualitative de cette ressource vitale est nécessaire, d'autant plus que la pollution des eaux souterraines est plus insidieuse que celle des eaux de surface, plus difficile à détecter et qu'elle dure plus longtemps en raison des faibles vitesses de percolation.

Les résultats de nos analyses, ne constituent qu'une photographie de la situation de la nappe phréatique, observée entre Avril et Mai 1997.

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

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

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

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

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

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

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

LISTE DES ANNEXES**ANNEXE****TITRES**

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

LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

TABLEAU:

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

FIGURES

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

PREMIERE PARTIE :

INTRODUCTION ET GENERALITES.

1. CONTEXTE GENERAL DU MEMOIRE

1.1. Situation

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

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

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

1.2. Problématique

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

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

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

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

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

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

1.3. Les objectifs

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

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

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

1.4. Méthodologie

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

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

2. ASPECTS PHYSIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

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

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

2. 1. Croissance démographique

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

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

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

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

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

2. 2. Les besoins en eau potable

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

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

	1990	1995	2000	2005	2010
population(×1000 hbts)	671	941	1201	1533	1957
taux de desserte	85	90	90	100	100
consommation (l/j/hbt)	51	54	55	67	67
besoins eau potable (×10⁶m³/an)	18	26	33	63	63
besoins en eau brute (×10⁶m³/an)	23	32	40	78	78

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

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

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

2. 2 1. Les ressources en eaux de surface

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

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

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

2. 2. 2. Les ressources en eaux souterraines

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

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

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

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

3. LE CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

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

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

3.1. Aspects géologiques

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

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

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

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

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

- Les altérites à prédominance argileuse, sur lesquelles repose la ville de Ouagadougou n'offrent qu'une potentialité hydraulique assez réduite, localement améliorée par la présence de différents réseaux de fractures aux mailles parfois serrées, à condition toute fois que celles-ci ne soient pas colmatées par des argiles.
- Les filons de quartz et de pegmatite sont abondants; les épaisseurs d'altération peuvent atteindre par endroits 60 m. Des coupes géologiques traversant la ville dans les sens Nord-Sud et Ouest-Est mettent en évidence la structuration géologique suivante:
 - un important réseau de fractures, parfois d'importance régionale, susceptible de constituer un système de collecte des eaux souterraines ponctuellement exploitables grâce aux forages. Les directions de ces fractures orientent le relief et le réseau hydrographique.

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

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

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

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

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

3.2. Paramètres climatiques

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

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

3.3. Description du système aquifère

3.3 1. Données hydrogéologiques disponibles

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

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

3. 3. 2. Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères

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

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

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

- annexe I-2, épaisseur des altérations saturées.

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

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

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

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

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

- Les réservoirs aquifères des altérations superficielles et des alluvions

Ils ont été formés par le recouvrement des altérites, des argiles, des sables et des arènes fines. Ces nappes aquifères sont pour la plupart perchées, présentent un caractère temporaire et sont fortement assujetties aux aléas climatiques ; elles sont temporaires et alimentent près de 2 000 à 3 000 puisards qui captent en moyenne 1000 à 1500 m³/jour. La nappe phréatique a une profondeur qui fluctue entre 5 m et 10 m avec un niveau statique proche de la surface du sol en saison pluvieuse ; annexe I-4.

- Les réservoirs aquifères du socle altéré

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

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

- Les réservoirs aquifères du socle fissuré

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

La plupart des forages exploitent les deux dernières nappes aquifères.

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

Des investigations réalisées par Lahmayer international donnent les résultats suivants:

- ressources exploitables minimales: 2150 m³/jour soit 785000 m³/an ;
- ressources exploitables maximales: 5400m³/jour, soit 1900000m³/an.

La recharge de la nappe souterraine, c'est à dire la quantité d'eau renouvelée chaque année dans les aquifères est limitée par l'existence de bouchon argileux à de faibles profondeurs, par l'influence du ruissellement. On estime la recharge entre 25 à 80 m³/an, soit 3 à 10% de la précipitation annuelle (Iwaco 1986).

3. 3. 3. Représentation du système aquifère

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

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

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

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

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

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

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

La nappe des altérites reçoit les différentes pollutions de surface:

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

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

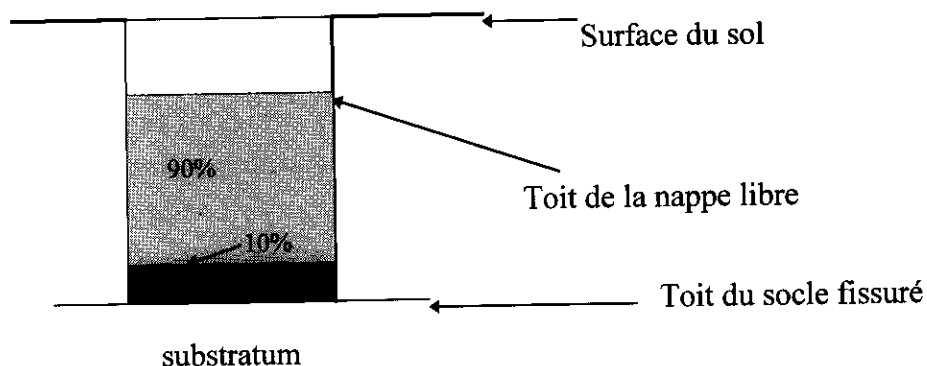


Figure 1: système aquifère

4 LE CONTEXTE DE L'ASSAINISSEMENT A OUAGA

4. 1. Généralités

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

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

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

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

4. 2. Les eaux usées et les excréta

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

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

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

L'assainissement individuel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. 3. les eaux pluviales

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

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

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

4. 4. Les ordures ménagères

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

4. 5. Santé publique

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

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

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

5. PROBLEMATIQUE MICROBIOLOGIQUE DE L'EAU DE CONSOMMATION

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

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

a) Les bactéries

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

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

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

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

Des espèces de bactéries pathogènes ou susceptibles de l'être, sont la cause de la plupart des maladies infectieuses telles le choléra, la fièvre typhoïde, la dysenterie, les gastro-entérites, les maladies diarrhéiques ... Elles jouent un rôle important dans la pollution de la nappe souterraine à partir des 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 hôtes traditionnelles des eaux sont:

Les entérobactéries

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

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

Les staphylocoques

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

Les streptocoques

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

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

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

b)Les Virus

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

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

- taille inférieure à $0.30\mu\text{m}$; ce qui leur permet de traverser les filtres qui arrêtent les bactéries.

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

C) Les protozoaires

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

D) les métazoaires:

On peut citer les helminthes.

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

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

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

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

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

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

- les coliformes totaux

ils regroupent les coliformes banaux et les coliformes thermotolérants.

- coliformes thermotolérants

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

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

Les streptocoques fécaux

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

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

6 LES BACTERIES DANS LE SOL

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

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

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

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

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

DEUXIEME PARTIE:

ETUDE DE LA QUALITE DE LA
NAPPE SOUTERRAINE.

1. INTRODUCTION

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

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

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

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

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

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

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

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

2. EAUX DE LA NAPPE PROFONDE: Forages

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

2. 1. objet de l'étude

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

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

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

Pour la localisation des forages se reporter à Annexe III.

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

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

température:

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

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

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

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

La réglementation française retient aussi 25° C comme maximum.

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

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

PH:

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

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

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

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

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

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

Conductivité électrique:

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

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

Conductivité	nombre d'échantillons	Pourcentage(%)	Minéralisation
$C < 100\mu\text{S/cm}$	1	3	minéralisation très faible
$100 \mu\text{S/cm} < C < 200\mu\text{S/cm}$	20	51	minéralisation faible
$200 \mu\text{S/cm} < C < 333\mu\text{S/cm}$	14	36	minéralisation moyenne
$333 \mu\text{S/cm} < C < 666\mu\text{S/cm}$	4	10	minéralisation moyenne à accentuée

TABLEAU 4: Minéralisation de l'échantillon de forages.

La valeur la plus faible est celle du poste d'eau autonome de Kalgondin (château du 4 Août): $70\mu\text{S/cm}$.

La plus forte valeur a été observée sur le forage du siège de l'office national des puits et forages: $490\mu\text{S/cm}$.

La valeur moyenne est de $227\mu\text{S/cm}$, avec un écart type de $92\mu\text{S/cm}$.

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

Les directives du conseil des communautés européennes relatives à la qualité des eaux de consommation humaine indiquent pour la conductivité un niveau guide de $400\mu\text{S/cm}$ à 20°C .

La réglementation française recommande des contrôles complémentaires dans le cas où la conductivité s'écarte de $400\mu\text{S/cm}$ à 20°C .

L'oxygène dissous:

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

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

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

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

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

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

2.2.2. Paramètres physico-chimiques analysés

2.2.2.1 TAC, TH et DBO₅

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.



(OH⁻ ET HCO₃⁻) sont incompatibles. Les échantillons analysés sont tels que: 4.5 < PH < 8.3, alors TA = 0. Cela revient à dire que les eaux ne contiennent pas de bases fortes, mais simplement des bases faibles.

$$\text{TAC.} = [\text{HCO}_3^-]$$

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

a 9 F

Titre hydrotémétrique ou dureté totale: TH

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

$$TH = TCa + TMg$$

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

TABLEAU 5: Valeurs des duretés

On admettra qu'une eau ayant une teneur inférieure à 75mg/l de CaCO₃ ou 30mg/l de calcium est douce et qu'au dessus, il s'agit d'une eau dure. Dans le cas de notre étude, seuls les forages ci-dessous présentent une dureté supérieure à cette barre:

- Forage du jardin municipal :TCa=55mg/l.
- " du jardin Naba Koom:TCa=36mg/l
- " du jardin de l'amitié :TCa=37mg/l.

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

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

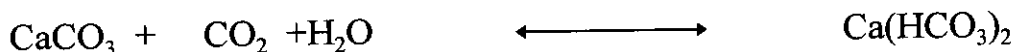
Dans le domaine de l'économie domestique, une dureté élevée contribue à l'accroissement de la consommation de savon ainsi que du temps de cuisson des légumes.

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

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

La réglementation française exige (15°F ou 75még/l).

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



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

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

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

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

DBO₅ : demande biologique en oxygène en cinq jours

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

La plus forte valeur est de 2.2mg/l constatée sur le forage du jardin du 8 Mars ; quant à la plus faible valeur, elle est enregistrée sur le forage du centre social de Tanghin. La valeur moyenne est de: 1.10mg/l avec un écart-type de 0.7mg/l.

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas avoir une DBO₅ significative, bien qu'il n'existe pas de normes pour les eaux potables. Mais il est admis qu'une DBO₅ inférieure à 1mg/l d'oxygène peut être considérée

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

La DBO₅ ne peut aucunement être considérée comme unique critère d'estimation de la qualité d'une eau, car dans les milieux suffisamment pollués, de faibles valeurs de DBO₅ peuvent être liées à la présence d'éléments toxiques inhibiteurs.

2. 2. 2. 2. Les composés azotés

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

Dans l'eau, il se trouve en solution sous forme combinée: nitrates (NO₃⁻), nitrites (NO₂⁻), azote ammoniacal (NH₃, NH₄⁺) et l'azote organique.

Teneurs en nitrates:

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

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

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

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

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

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

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