

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS
SUPERIEUR, SECONDAIRE ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DU MALI
UN PEUPLE-UN BUT-UNE FOI



UNIVERSITE DE BAMAKO

Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie

Année universitaire 2008-2009

N°...../

Thèse

EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE PUIITS DU MARAÎCHAGE DANS LE DISTRICT DE BAMAKO

Présentée et soutenue publiquement le..../..../2009
à la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie

Par Mr. DIARRA Siratigui

Pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie
(Diplôme d'Etat)

Jury

Président : Pr. Moussa HARAMA
Membre : Pr. Massa SANOGO
Codirecteur : Mr. Almoustafa FOFANA
Directeur : Pr. Benoît Y. KOUMARE

DEDICACES

Par la grâce de Tout Puissant ALLAH qui dispose toutes nos propositions en projets, je dédie cette thèse à :

Mon grand père feu Keffa Diarra

Grand père, je n'ai pas de prix pour tes œuvres dans ma vie.

Ce que je suis, je le suis par ton éducation et tes bénédictions.

Dors en paix ; que la terre te soit légère. « Amine »

Mes grandes mères feues Fariman Diarra dite Katika et Fariman Kané dite Baman

Femmes de principe et très sages ; femmes courageuses et pleines d'humanisme, votre bonne volonté envers ma personne était de nature filiale. Puisse Dieu le très miséricordieux vous accorder sa paix.

Ma grande Mère Ouassa Coulibaly

Femme de principe et intelligente, à travers toi on peut confirmer la citation qui dit que derrière un grand homme il y'a une grande femme.

Grande mère, puisse ALLAH le Tout Puissant te donner une longue vie dans la paix.

Mon père Koulou Diarra

Pour toi, je me confie à la promesse d'ALLAH pour ceux qui ont eu des garçons comme enfant.

Mon confident et meilleur ami, je te souhaite une longue vie, santé et la miséricorde d'ALLAH dans toutes tes entreprises afin que tous les autres enfants de la famille puissent profiter comme moi, de tes sages conseils et de ta bonté. « Amine » Je t'aime BABA.

Mes mères Konéké Konaté, Bintou Traoré et Doussou Kané

Mes mamans, le prix n'existe pas de ma part pour vos énormes œuvres dans ma vie.

Par votre éducation, vos bonnes intentions, vos sages conseils et vos bénédictions je suis, ce que je voulais être.

Savoir que vous, vous êtes mes mères par la grâce d'ALLAH me donne un sens de vivre.

Qu'ALLAH vous récompense par une longévité dans la paix, santé, foi, bonheur et par le paradis. Merci à vous toutes et à BABA, trouvez en ce travail une ébauche à toutes vos aspirations.

Mon oncle N'Tôt Keffa Diarra

Homme scientifique, de principe et plein d'humanisme, ta bonne volonté envers moi est de nature filiale. Puisse ALLAH te garder longtemps parmi nous et me permettre d'être reconnaissant envers toi et envers toute la famille.

C'est grâce à ton dévouement, ton courage, tes très bonnes intentions et tes sages conseils que j'ai pu réaliser ce travail comme tel.

Papa, ce travail est l'occasion pour moi de t'affirmer mon profond attachement et gratitude pour toujours.

Mes oncles Diawoye et Nama Diarra

Permettez moi de vous réaffirmer mon amour, mon profond attachement et ma gratitude pour votre bonté et votre soutien devant mes difficultés.

Hommes scientifiques, courageux et très avides de travail bien fait, j'ai appris à vos cotés le respect et l'harmonie pour un meilleur résultat.

Puisse ALLAH vous guider sur le droit chemin, vous accepter une longue vie, la santé, la paix et le paradis. « Amine »

Mes tantes Nènè Diop, Aminata Haïdara, Fatoumata Diarra et Fatoumata Bissan

Ce que je suis, je le suis par votre éducation, vos bonnes intentions, vos dévouements et vos bénédictions.

Mes guides, qu'ALLAH vous récompense par une longévité dans la santé, dans la paix, dans le bonheur et qu'IL vous accorde sa miséricorde et son paradis.

Grand merci à vous, les femmes de référence.

Tous mes frères de la famille

Mes princes, qu'ALLAH vous accorde une longue vie et santé.

Bonne chance à vous tous.

Ma seule sœur Sira Diarra

Ma princesse, saches que s'il plait à Dieu je serai toujours auprès de toi pour jouer le rôle de Papa.

Que Dieu te bénisse et fasse de toi une grande intellectuelle musulmane.

Ma chérie la bonté, le respect et le courage sont la clé du succès. Merci à toi.

REMERCIEMENTS

A ALLAH le Tout Puissant

Merci à toi, le suprême, l'unique Dieu par essence et par existence, ce travail vient de toi car la réussite de tout projet n'est que ta volonté.

Je Te demande de mettre la bénédiction et la paix sur le Prophète Mohammed, sur sa famille, sur ses compagnons et sur tous ceux qui le suivent jusqu'au jour du jugement dernier. « Amine »

A mon pays, le Mali

Que j'aime beaucoup.

A mon village natal, Dombila (Koyan)

Que je n'oublierai jamais.

A Mr N'Tôt Keffa et famille

Pour votre soutien, sagesse et générosité si touchants

A Mr Yaranga Traoré et famille

Pour votre soutien, fraternité et amabilité envers moi.

A Mr Balla Camara et famille à Sikasso

Que Dieu vous récompense en bien pour votre générosité envers moi.

A Mr Moussa Guido et famille

Vous avez été pour moi comme des parents, puisse ALLAH vous accorder sa miséricorde, le bonheur et la réussite à vos enfants.

A Mr Abba Diallo et famille

Votre amabilité, votre générosité et surtout votre humanisme m'ont beaucoup marqués. Grasse à votre courage et à votre gentillesse nous avons pu mettre ce travail à terme. Que le Tout Puissant vous récompense par le bien.

A mes Amis, Ousmane Kéïta, Badian Coulibaly, Oumar Sidibé et Saly Sow

Avec mes énormes défauts vous m'avez aimés, la réalisation de ce travail est dépendante de vos courages. Mes amis qu'ALLAH vous aide dans vos projets.

A mes sœurs, Korotoum Koné dite Mamy et Aïssata Camara dite Koulaba

Vos courages et vos conseils sont salutaires pour la réalisation de ce travail.

Qu'ALLAH vous accorde sa miséricorde, sa paix et son paradis et qu'Il réalise vos rêves.

A tous les enseignants de mon cursus étudiantin

Pour votre dévouement et votre bonté à notre éducation. Que je sois reconnaissant envers vous.

A ma promotion (première promotion du numerus)

Je souhaite une très bonne carrière à toute la promotion, bravo et félicitations à cette première promotion du numerus.

Aux membres de la LIEEMA

Cette belle ligue ma donné une grande spiritualité musulmane et une porte de sortie pour la réussite à mes études.

Je souhaite une bonne chance aux membres de cette ligue et une longue vie à cette ligue.

Aux personnels du Laboratoire de la Qualité des Eaux

Grand merci à vous tous, grâce à vous j'ai pu mettre ce travail au terme.

Vos générosités, vos simplicités et vos disponibilités ne m'ont jamais manqués au cours de ce travail. Que le Tout Puissant ALLAH vous récompense par le bien et par le paradis. « Amine »

HOMMAGE AUX MEMBRES DU JURY

A notre maître et président du jury, Pr. Moussa HARAMA

Professeur agrégé en chimie organique ;

Chimiste de formation ;

Responsable du cours de chimie organique et de chimie analytique qualitative à la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie de l'Université de BAMAKO.

Cher maître ;

La spontanéité avec laquelle vous avez accepté de présider le présent jury en dépit de vos multiples occupations témoigne de l'intérêt que vous portez à l'avancée de la science pour la bonne culture dans notre pays.

Avec générosité, clarté et humanisme, vous avez suscité notre admiration depuis la classe, de vos enseignements et l'esprit d'ouverture avec lequel ils sont dispensés.

Pr., Votre grande disponibilité et votre brillante culture scientifique impose respect et admiration.

Puisse ALLAH réaliser vos projets.

A notre maître et juge ; Pr. Massa SANOGO ;

Professeur honoraire en chimie;

Responsable du cours de chimie analytique et de chimie générale ;

Ancien vice doyen de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie de l'Université de BAMAKO.

Cher maître,

C'est un grand plaisir et une réelle satisfaction que vous nous faites, en acceptant de juger ce travail. Vous nous avez fasciné par votre dynamisme, votre courage, votre simplicité et surtout votre ponctualité permanente pour la formation des étudiants.

Pr., ces caractères et d'autres imposent respect et admiration.

Puisse ALLAH le Tout Miséricordieux le Très Miséricordieux vous accorder des biens dans vos ambitions.

A notre maître et co-directeur de thèse, Mr Almoustafa FOFANA,

Directeur Général du Laboratoire National des eaux ;

Ingénieur de l'industrie et des mines.

Cher maître ;

Nous avons été comblés par des qualités exceptionnelles de votre personnalité au cours de ce travail.

Votre amabilité, votre générosité et votre modestie pour le travail simple et bien fait, forcent respect et considération.

Puisse ALLAH vous récompenser par le bien et qu'Il réalise vos rêves.

A notre maître et Directeur de thèse, Pr. Benoît Y. KOUMARE ;

Maître de conférence en chimie analytique ;

Pharmacien chef de l'hôpital de point-G ;

Expert en analyse et contrôle de qualité ;

Spécialiste en pharmacologie moléculaire.

Chargé de cours de chimie générale à la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie de l'Université de BAMAKO.

Cher maître ;

A vos cotés durant cette thèse, nous avons été convaincus de votre façon de gérer les hommes. Vous nous avez marqué par votre simplicité, votre humanisme, votre sens élevé du social et surtout votre rigueur à privilégier l'individu souffrant.

Cet instant solennel nous offre l'occasion d'exprimer notre grande fierté de compter parmi vos proches disciples tout en vous adressant un remerciement sincère pour les connaissances acquises auprès de vous.

Vos qualités intellectuelles, votre amour pour le travail bien fait et surtout votre dynamisme sont salutaires et exigent respect et admiration.

Puisse ALLAH vous protéger et qu'Il fasse que nous soyons reconnaissant envers vous.

ABREVIATIONS

C : Commune

C.fe.E. : Concentration en fer élevée

Cha.S.M : Chargée en sels minéraux

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

DNH : Direction Nationale de l'Hydraulique

EDTA : Ethylène diamino tétra acétate

IL : Indice de Langélier

IR : Indice de Ryznar

LQE : Laboratoire de la qualité des eaux

MES : Matière en suspension

M.Q.bact : Mauvaise qualité bactériologique

Nk : Azote de Kjeldahl

Nt : Azote total

NTU : Unité Normale de turbidité

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

P: Puits

pHr: pH réel

pHs: pH de saturation

PNUE: Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en Eaux, Africa Environment Outlook

RDAP : Réactif Dispersant Alcool Polyvinylique

TA: Titre alcalimétrique

Tac: Titre alcalimétrique complet

TAF: Titre en Acide Fort

TH: Titre hydrotimétrique

Tp: Dureté permanente

Tt: Dureté temporaire

Sommaire :

I-INTRODUCTION -----	3
II- OBJECTIFS -----	5
III- GENERALITES -----	6
1- L'eau -----	6
2- Définition des termes clés du thème à étudier -----	22
3- La directive de l'OMS des principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques servant à l'appréciation de la qualité des eaux -----	22
IV- MOTIVATION -----	24
V- METHODOLOGIE -----	25
1- Présentation de la direction nationale de l'hydraulique -----	25
2- Présentation générale de cette étude -----	26
3- Echantillonnage -----	28
4- Les méthodes d'analyses des différents paramètres -----	28
VI- RESULTATS ET INTERPRETATIONS -----	35
VII-COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS -----	54
1- Echantillonnage -----	54
2- Analyses -----	54
VIII-CONCLUSIONS -----	60
IX-RECOMMANDATIONS -----	61
X- BIBLIOGRAPHIE -----	62
XI- ANNEXES -----	63

I- INTRODUCTION:

La satisfaction des besoins mondiaux en eau contraint toutes les nations à apprendre la gestion quantitative et qualitative de cette ressource naturelle.

L'accès à l'eau potable est un enjeu vital, un facteur de développement social et surtout économique dans les pays du monde entier.

Dans le Monde, de nombreuses personnes n'ont pas accès à l'eau, surtout à l'eau potable.

On estime qu'une quantité minimale de 20 à 50 litres d'eau salubre par jour et par personne est nécessaire pour satisfaire les besoins essentiels.

En Afrique, il ya seulement 9% des ressources mondiales en eau douce. Elles ne sont pas équitablement réparties sur le continent africain, l'Afrique occidentale et l'Afrique centrale bénéficiant de précipitations nettement plus importantes que le Maghreb, la corne de l'Afrique et le sud de l'Afrique. Selon **PNUE**.

En raison de l'absence de précipitations dans certains pays, les eaux souterraines constituent la principale source d'approvisionnement en eau douce d'un grand nombre de personnes.

Selon **PNUE**, avec seulement 64% de la population bénéficiant d'un accès à un service d'approvisionnement en eau potable, l'Afrique est proportionnellement la région la moins bien desservie de la planète.

La situation est particulièrement mauvaise dans les zones rurales, où seulement 50% de la population est connectée, contre 86% dans les zones urbaines. Mais ces statistiques baissent encore si l'on considère la proportion de la population disposant d'eau courante dans l'habitation ou dans la cour ; seule la moitié des citadins rentre sous cette catégorie.

Selon **PNUE**, 27% de la population mondiale qui n'a pas accès à un service d'approvisionnement approprié vit sur le continent africain.

Selon **PNUE**, 60% de la production alimentaire est issue d'une agriculture non irriguée. Une part considérable du potentiel d'irrigation est déjà utilisée au Maghreb et au proche Orient (où les ressources en eau constituent le facteur limitant), mais une grande partie de ce potentiel demeure inutilisée dans les régions de l'Afrique sub-Saharienne.

Utiliser les ressources en eau pour irriguer est l'une des priorités du développement et de la stabilité économiques. Cependant, rares sont les pays qui ont les moyens d'investir dans des systèmes d'irrigation efficaces et les pertes de ressources liées aux fuites de canalisations et à l'évaporation atteignent déjà 50% en Afrique du sud.

Au Mali, disposer de l'eau en quantité et en qualité suffisantes est l'une des priorités de santé publique.

Dans la ville de Bamako où plus de 1,7 millions d'habitants se croisent tous les jours pour leurs affaires quotidiennes, dans le but de satisfaire une partie de la demande de la population, des maraîchers ont illégalement occupé des espaces vides et surtout certains espaces de construction de cette ville pour faire des jardins. Selon **Halloumi Fatem** en 2007.

L'eau naturelle (eau souterraine dont eau de puits) est un minéral spécial qui est constamment en mouvement, son étude est complexe du fait de sa circulation et de ses actions physico-chimiques et biologiques.

L'utilisation des eaux de puits pour le maraîchage pose de sérieux problèmes sanitaires, tels que les maladies diarrhéiques, la fièvre typhoïde, la dysenterie, la fièvre jaune etc.

Ces maladies sont transmises par la consommation directe de ces eaux, ou par l'intermédiaire des légumes arrosés et consommés crus.

La qualité des eaux de puits du maraîchage peut être dégradée par les éléments d'entretien des cultures (engrais chimiques, organiques et pesticides), les déchets et surtout par les excréments humains et animaux.

L'eau transporte de nombreuses impuretés d'origines naturelles ou humaines au cours du cycle hydrologique. Ces impuretés (gaz et sels) dissous donnent à l'eau sa qualité.

Bien qu'elle soit indispensable à la vie, elle est l'origine de plus de 80% des maladies. Selon **L'OMS**.

C'est ainsi que la recherche d'une eau de bonne qualité est l'une des priorités du Laboratoire de la qualité des eaux de la direction nationale de l'hydraulique.

Au Mali, la majeure partie de l'eau d'usage domestique provient des puits qui représentent plus de 70% et des forages. Selon **Bahadiara DIARRA**.

Alors, la connaissance de la qualité de ces eaux de puits est un moyen pour prévenir les différentes maladies liées à l'eau.

Notre présente étude a pour but d'évaluer la qualité des eaux de puits du maraîchage dans le district de Bamako.

Au cours de cette étude nous avons analysé trois (3) principaux paramètres qui sont les suivants : Les paramètres physiques, les paramètres chimiques et certains paramètres bactériologiques.

II- OBJECTIFS :

Objectif général :

- ✓ Evaluer la qualité des eaux de puits du maraîchage dans le district de Bamako.

Objectifs spécifiques :

- ✓ Déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux de puits du maraîchage dans le district de Bamako.
- ✓ Déterminer certains paramètres bactériologiques des échantillons d'eaux prélevés dans les puits du maraîchage dans le district de Bamako.
- ✓ Comparer les résultats obtenus sur les deux rives du district de Bamako.

III- GENERALITE:

1- L'eau:

1.1- cycle hydrologique:

L'eau est un liquide incolore, inodore, transparent, insipide, fait d'oxygène et d'hydrogène combinés et elle est presque partout dans la nature ; elle a pour formule générale: H_2O .

C'est une ressource renouvelable, disponible en permanence grâce à l'énergie solaire.

Sous l'effet du soleil, l'eau s'évapore des océans et de la terre et c'est sous forme de pluie que cette eau s'écoule dans les rivières, pénètre dans la terre et ainsi alimente les nappes souterraines.

Sur les continents, les précipitations sont annuellement supérieures de $44000km^3$ à l'évaporation.

Les continents vont donc renvoyer ce volume d'eau aux océans, à mesure que l'eau des rivières et des nappes souterraines s'écoule. C'est ce qu'on appelle le cycle de l'eau.

1.2- Les différents types d'eau et de leur composition:

Au cours de son cycle, l'eau est mise au contact de multiples composés qu'elle va dissoudre ou bien entraîner.

La taille des diverses particules conduit à classer les mélanges qu'elles donnent avec l'eau en:

- solutions: taille inférieure ou égale à 1nm ;
- colloïdes: taille comprise entre 1nm et $20\mu m$;
- suspensions: taille supérieure à $20\mu m$.

Les colloïdes sont constitués par les amas atomiques ou moléculaires, de taille très variable, et qui confèrent aux suspensions dites colloïdes des propriétés très particulières.

Les colloïdes les plus fréquemment rencontrés dans l'eau sont en général chargés négativement et sont à l'origine de la couleur et de la turbidité des eaux.

En effet, la composition des eaux dépend de leur origine.

1.2.1- Les eaux de pluie:

Au contact de l'atmosphère, les eaux de pluie dissolvent le dioxygène et le diazote de l'air ainsi que les substances pouvant provenir des activités industrielles (acides, hydrogène sulfuré, alcalis, dioxyde de carbone).

Les eaux de pluie entraînent également les poussières de toute nature émise par les industries ou les phénomènes naturels telles les éruptions volcaniques.

Les microorganismes y sont nombreux, les matières en suspension généralement peu abondantes.

1.2.2- Les eaux de rivières:

Leur nature varie avec la nature des terrains traversés, le régime des pluies, les rejets qu'elles peuvent collecter, domestiques, agricoles et industriels.

Elles possèdent un plancton végétal et animal (phyto et zoo) plus ou moins riche et de nombreuses bactéries.

Leur aspect est fonction de la nature géologique des zones avec lesquelles elles sont en contact:

- zones calcaires: eaux bicarbonatées calciques ;
- zones sableuses: eaux peu chargées et acides ;
- zones gypseuses: eaux riches en ions sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+) et chlorures (Cl^-) ;
- zones argileuses: présence de nombreux ions, la teneur en bicarbonates reste toujours modeste.

1.2.3- Les eaux de ruissellement: En zone rurale, la composition des eaux de ruissellement est assez voisine de celle des eaux de rivière ; mais en agglomération, il en va tout autrement.

Les fortes concentrations en véhicule font que l'on retrouve dans les eaux citadines des hydrocarbures, les produits de leur combustion, certains additifs de carburants, comme le plomb tétra éthyle.

Le lessivage des toits aussi conduit à la présence de métaux lourds et parfois toxiques.

Les germes se présentent en quantité aussi importante.

1.2.4- Les eaux de barrages, lacs et étangs:

La composition de ces eaux dépend:

- de la nature géologique du réservoir ;
- du régime des pluies, une pluie violente chargeant les eaux en MES ;
- de la température ;
- de la turbulence des eaux, si les eaux sont agitées, le dioxyde de carbone pourra se dégager, ce qui aura une conséquence sur le bicarbonate dissous ;
- du développement des algues, qui conduit à la modification des teneurs en dioxygène et en dioxyde de carbone.

Une certaine stratification des lacs a pu être établie à cause de la température et des développements que l'on peut observer:

- à la surface se manifestent de larges échanges avec l'atmosphère, le dioxygène, le dioxyde de carbone et la lumière favorise le développement des organismes chlorophylliens avec dégagement de dioxygène ;
- au fond des lacs, il n'y a plus de dioxygène et il se produit des réactions putrides avec libération de dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4), ammoniac (NH_3), hydrogène sulfuré (H_2S).

1.2.5- Les eaux souterraines :

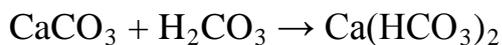
L'eau qui s'infiltré subit une épuration à l'intérieur des terrains traversés.

Cette épuration est à la fois mécanique, c'est le principe de la filtration et biologique, car il se produit des phénomènes de nitrification.

- Les matières organiques apportées par l'eau se décomposent au fur et à mesure qu'elles s'enfoncent dans le sol.
- Les substances protéiniques sous l'action des bactéries forment des sels ammoniacaux, puis des nitrites et des nitrates, ces derniers servant partiellement de nutriments aux plantes.
- La nitrification est plus importante si le sol est calcaire.
- Les bactéries et germes divers sont filtrés par le sol, c'est la raison pour laquelle les eaux souterraines sont bactériologiquement plus pures.
- Les réactions de nitrification se produisent dans les couches superficielles du terrain, d'autres phénomènes se manifestent dans le sous-sol.
- L'eau d'infiltration, après avoir subit les transformations évoquées ci-dessus, se trouve enrichie en dioxyde de carbone qui provient de l'oxydation de la matière organique et en acide sulfurique dont l'origine se trouve dans l'oxydation des sulfures.

➤ **Cas des terrains calcaires:**

Si l'eau rencontre des couches calcaires, il va se produire une neutralisation conduisant à la formation de bicarbonates, selon:



On aboutira à la formation d'une eau bicarbonatée calcique.

Dans le cas des terrains dolomitiques ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), les eaux contiendront du magnésium.

➤ **Cas des terrains silicatés:**

Si l'eau traverse ce type de terrain, elle ne va plus se charger en sels de calcium ou de magnésium mais en silice et en bicarbonate de sodium, on aura alors à faire à une eau natronée.

1.2.6- Les eaux de puits:

Elles comprennent: Eaux de puits artésien ou artisanal, de puits traditionnel, de puits de surface.

- Un puits artésien est obtenu en perforant une couche de terre imperméable pour accéder à une nappe d'eau sous pression. Les puits forés ne sont pas tous des puits artésiens mais l'usage a voulu que le nom de puits artésiens soit utilisé pour désigner tous les puits forés, tous les puits qui tirent leur eau des profondeurs du sol. Le puits artésien est soit alimenté par l'eau qui circule dans les failles du roc ou par l'eau présente dans le gravier ou du sable sous une couche d'argile.

Le puits artésien est habituellement fiable et stable toute l'année pour ce qui est de la quantité d'eau.

L'eau de ce puits est moins vulnérable aux contaminations bactériennes que le puits de surface ou la prise d'eau dans une source.

- Le puits de surface est alimenté par l'eau qui circule à la surface du sol ; il s'alimente directement de la nappe phréatique. Sa profondeur habituelle ne dépasse pas 7,5 à 9m.

De nombreux facteurs, tels que les types de sols en présence, le relief du terrain et surtout la façon dont le puits est construit, affectent la quantité et la qualité d'eau de ce type de puits.

Le puits de surface est de façon générale plus « fragile » qu'un puits artésien: Son rendement est plus directement affecté par les précipitations. Débordant d'eau à la fonte des neiges et pendant l'hivernage, il dévient souvent presque sec en période de canicule.

De plus, ce puits est plus sujet aux contaminations bactériennes. Ces contaminations sont fréquentes à la fonte des neiges et en été à la tombée des pluies.

1.3 -Les sources de pollution des ressources en eau au Mali:

De nombreuses substances qui s'infiltrent dans le sol peuvent être dangereuses pour les micro-organismes, les plantes, les animaux et même les êtres humains. Une telle pollution du sol a deux mécanismes: d'une part les substances elles mêmes peuvent être directement nuisibles pour les plantes et dans certains cas aussi pour les animaux et pour les êtres humains. D'autre part, ces substances peuvent être enlevées du sol par lessivage et parvenir dans la nappe phréatique ainsi que dans les eaux de surface. Dans la plupart des cas, l'eau de la nappe phréatique est obtenue à partir des eaux de surface. De telles pollutions influencent tôt ou tard la qualité de l'eau potable.

Cette dégradation peut compromettre l'utilisation de l'eau à laquelle elle est destinée: usage agricole, usage industrielle, écosystème...

1.3.1- La pollution agricole:

1.3.1.1- Les engrais: ce sont les produits incorporés au sol pour en maintenir ou en accroître la fertilité.

On distingue les engrais organiques (fumier, résidus d'industries agricoles, ordures ménagères, etc.) et les engrais minéraux (azotés, phosphatés, potassiques). Les uns et les autres jouent un rôle chimique, en complétant les ressources propres du sol en éléments nutritifs utilisés par les végétaux.

Les engrais organiques sont en outre indispensables pour l'entretien de la vie microbienne dans le sol.

En effet lorsque l'un de ces éléments essentiels manque aux plantes, des effets apparaissent. Certaines plantes ont donc besoin d'éléments supplémentaires.

Ces substances nutritives (éléments essentiels) parviennent dans les plantes selon deux voies:

- Les substances solubles dans l'eau sont directement absorbées par les plantes à travers leurs racines ;
- Les substances insolubles dans l'eau sont d'abord décomposées dans le sol par les microorganismes et transformées en une forme que la plante peut absorber.

En général le calcium, le soufre et aussi le fer sont des éléments indispensables qu'on trouve dans les sols en quantité suffisante, mais dans les sols soumis à l'agriculture intensive, il manque souvent de l'azote, du potassium, et du phosphore.

A cause des pertes en substances nutritives, il est important et nécessaire de les renouveler par l'apport d'engrais.

1.3.1.2- L'azote: L'azote est un élément important pour l'élaboration des protéines dans les plantes, les animaux et chez les humains.

L'air contient 78% d'azote, un réservoir pratiquement inépuisable, mais seulement un petit nombre d'espèces de plante peut l'utiliser directement.

L'azote est transmis par les racines sous forme de composés inorganiques (sous forme de nitrates).

L'azote qui se trouve dans l'air et dans le sol sous différentes formes, occupe une position particulière, parmi les composés minéraux:

- il est absorbé par les plantes sous une forme minérale, mais dans la plupart des cas, il n'a pas une origine minérale.
- Les substances organiques contenant de l'azote, par exemple les acides aminés ou l'urée, doivent être transformées dans le sol en ion ammonium, avant de pouvoir être absorbées par les plantes sous forme de nitrate. Ceux-ci constituent l'apport d'azote le plus important dans la nourriture des plantes parce qu'ils sont très mobiles et peuvent ainsi être transportés dans la solution contenue par le sol jusqu'aux racines.

1.3.1.2 Le phosphore: Dans les conditions environnementales normales, le phosphore ne se trouve que sous forme de phosphates. Les ions phosphates provenant des engrais ou des effritements de roche sont le plus souvent précipités rapidement, sous forme de phosphate de calcium, de fer et d'aluminium, de telle sorte qu'il ne reste qu'une petite partie des phosphates disponibles immédiatement pour les plantes.

A l'enchaînement des récoltes, l'homme enlève de grandes quantités de phosphore des champs. Mais la nature n'est pas capable de compenser ce déficit que pour une faible part.

Les effritements en libèrent relativement peu. Il est alors fréquemment nécessaire d'ajouter au milieu de culture des engrais phosphatés.

1.3.2- Les pesticides:

Les pesticides se définissent comme toutes substances ou association des substances destinées à détruire les êtres nuisibles qui sont : les vecteurs de maladies humaines, animales ; les espèces indésirables des plantes ou des animaux qui causent des dommages ou qui se montrent nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport pour la commercialisation des denrées alimentaires.

Ce sont aussi des produits qui peuvent être administrés aux animaux pour combattre les insectes ainsi que des endoparasites et ectoparasites.

Le terme pesticide englobe aussi la régulation des substances (croissances) comme défoliants, agent de dessiccation, agent éclaircissant, fruits et légumes.

Ce sont des produits qui doivent être utilisés soit avant ou après les récoltes pour assurer la protection durant la conservation et le transport.

Malgré ces propriétés souhaitées, les pesticides peuvent aussi avoir des propriétés non souhaitées (toxicité pour l'homme, pollution des eaux de surfaces et de la nappe phréatique, pollution des eaux potables...), les composants de cette classe de substances parviennent facilement dans le sol et peuvent ainsi constituer un problème particulièrement avec l'eau.

1.3.3- La pollution domestique:

Cette pollution provient du rejet dans la nature des eaux usées domestiques et déchets solides. Ces déchets parviennent aux eaux de surface (par écoulement) et aux eaux souterraines (par infiltration); selon une étude déjà faite, ces rejets liquides qui atteignent le fleuve Niger sont estimés à 41600m³/j et les analyses réalisées montrent que la plupart des eaux usées drainent vers le fleuve des masses polluantes très importantes.

1.3.4- La pollution industrielle:

De nombreuses industries maliennes sont situées sur la berge du fleuve Niger et toutes y rejettent leurs effluents sans aucune protection de l'environnement, donc ces rejets sont non traités. Ces rejets liquides sont estimés à 2500m³/j.

L'analyse des eaux usées industrielles a relevé des traces de métaux lourds qui, même à des teneurs faibles peuvent retrouver dans les poissons.

1.3.5- La pollution artisanale:

On estime plus de 350 teintureries et leurs eaux usées, plus de 400 savonneries et leurs eaux usées, ainsi que les tanneries traditionnelles dans la ville de Bamako.

Celles-ci contiennent des substances nuisibles: matières organiques, métaux lourds, colorants...

Ces rejets sont à la base de modification des propriétés de l'eau et peuvent être fatales aux organismes aquatiques et peuvent provoquer des maladies humaines hydriques.

1.3.6- La pollution minière:

Cette pollution se manifeste par la contamination des ressources en eau par les cyanures utilisées par les sociétés de productions d'or.

Le mercure (Hg²⁺) est aussi utilisé par quelques orpailleurs traditionnels surtout.

1.3.7- La pollution biologique (germes):

- L'eau véhicule l'agent pathogène qui pénètre dans l'organisme par ingestion responsable de:

- maladies bactériennes (choléra, dysenterie bacillaire, gastro-entérite...),
- maladies virales: (poliomyélite, hépatite virale, gastro-entérite rota virus) ;
 - L'eau héberge l'agent pathogène qui pénètre dans l'organisme par voie transcutanée: (ankylostomiase, anguillulose) ;
 - L'eau héberge l'hôte intermédiaire participant au développement de l'agent pathogène: schistosome hématobium ou mansoni (pénétration transcutanée), dracunculose (pénétration par ingestion de l'hôte parasité), distomatose hépatique ;

- L'eau constitue l'environnement indispensable à la prolifération d'insectes vecteurs de paludisme, onchocercose, filariose lymphatique, fièvre jaune, trypanosomiase ;

- L'eau véhicule l'agent pathogène de certaines parasitoses intestinales: (ascaris, oxyure, trichocéphale, échinococcose, dysenterie amibienne...).

1.4 - les caractéristiques physico-chimique et bactériologique de l'eau naturelle :

1.4.1- Caractères physiques:

• **Couleur:** La coloration d'une eau est déterminée par la méthode de comparaison à une solution de référence au platino-cobalt.

Elle est exprimée en unité Hazen.

La couleur d'une eau est dite vraie (ou réelle) ou apparente selon que la mesure a été faite sur l'eau filtrée ou l'eau brute (non filtrée). En effet la couleur apparente provient des matières en suspension dans l'eau.

Remarquons que les couleurs vraies et apparentes sont identiques dans le cas d'une eau claire ou de faible turbidité.

• **Odeur et saveur:** Leur origine réside en générale dans la présence de matières organiques en décomposition et elles sont définies qualitativement par des expressions imagées.

✓ L'odeur peut être définie comme:

- L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, et la qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances.

✓ Le goût peut être défini comme:

- L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche et la propriété des produits provoquant ces sensations.

✓ La saveur peut être définie comme:

- L'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances volatiles des bourgeons gustatifs et la qualité de cette sensation particulière provoquée par ces substances.

L'intensité des odeurs et saveurs est évaluée par la détection du « seuil de perception ».

Un jeu de dilutions croissantes de l'échantillon est réalisé avec de l'eau très pure (désodorisée et sans saveur) et lorsque l'odeur ou la saveur n'est plus perceptible, on dit alors que le seuil de perception est dépassé.

Le seuil de perception correspond à la dernière dilution pour laquelle une sensation aura été ressentie.

L'intensité de l'odeur ou de la saveur sera exprimée par le facteur de dilution correspondant.

Seuls les spécialistes dont les sens olfactifs et gustatifs auront été particulièrement développés et entretenus, sont capables de fournir des résultats corrects. Il est recommandé d'opérer avec au moins cinq (5) spécialistes et le résultat obtenu est la moyenne géométrique des valeurs de seuil de perception trouvé par chacun d'eux.

Tableau 1: Les principaux groupes de saveurs qui sont utilisées pour définir ces paramètres.

Nature de la saveur ou du goût	Remarques
Saveur acide	-
Saveur amère	-
Saveur salée	Sulfates, chlorures
Saveur sucrée	Eau magnésienne
Saveur salée amère	Type eau de vichy
Goût métallique	Fer, manganèse, cuivre...
Goût chloré	-
Goût d'hydrocarbures	Traces d'hydrocarbures
Goût de mandarine	Oxydation de traces d'hydrocarbures
Goût pharmaceutique	Produits organiques
Goût de chlorophénol	chlorophénol
Goût de terre	Eau de zones calcaires
Goût de vase	Eaux des étangs, eaux stagnâtes
Goût de marée	Poissons, métabolites de certains organismes du plancton
Goût moisi	Moisissures, champignons inférieure et levures
Goût de bouchon moisi	Herbicides, pesticides

Tableau 2: les principaux groupes d'odeurs qui sont utilisées pour définir ces paramètres.

Nature de l'odeur	descriptions
Aromatique	Epices, camphre, girofle, citron
Chimique	Fleurs diverses
Balsamique	
Chlore	Di chlore
Hydrocarbure	Pétroles et dérivés
Médicale ou pharmaceutique	Iodoformes, phénol, chlorophénol
Sulfureuse	Hydrogène sulfuré
Désagréable	Goût prononcé
Poisson	Uroglenopsis et dinobryon
Terreuse	Terre ou argile humide
Tourbe	Tourbe
Fécaloïde	Fosse d'aisance
Herbe	Herbe écrasée
Moisi	Cave humide, tiroir humide rarement ouvert
Vase	Odeur d'étang, herbe ou feuille en décomposition.

- **Température:** La connaissance de la température de l'eau avec une bonne précision est importante. Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissolution des sels solubles, donc sur la conductibilité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc.

Une température supérieure à 15°C favorise le développement des microorganismes, en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs. Par contre, une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques.

Elle est mesurée à l'aide d'un thermomètre précis, gradué au dixième de degré.

- **pH:** Le pH de l'eau représente son acidité ou son alcalinité, dont le facteur le plus important est habituellement la concentration en anhydride carbonique liée à la minéralisation totale.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6.

Cependant, les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant de terrains pauvres en calcaires ou siliceux, on a un pH voisin de 7 et quelque fois un peu inférieur (environ 6).

La réaction ionique des eaux stagnantes (marais, étangs, barrages) est influencée par la végétation et la nature chimique des fonds, avec déplacement de l'équilibre carbonique.

La valeur du pH compatible avec la vie des poissons est comprise entre 5 et 9. Cependant, pour la plupart des espèces aquatiques, la zone de pH favorable se situe entre 6 et 7,2.

La mesure du pH se fait à l'aide d'un PH-MÈTRE in situ.

- **Turbidité:** La turbidité d'une eau est généralement due à la présence des matières en suspension finement divisées: argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc.

Le degré de turbidité est mesuré par l'appréciation de l'abondance de ces matières.

La turbidité peut être évaluée par:

- la méthode au disque de sec hi sur le terrain ;
- l'opacimétrie (effet Tyndall) au laboratoire, la méthode des goûts de mastic ;
- la méthode à la silice, néphélométrie.

- **Conductivité:** La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm³ de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm³.

La mesure de la conductivité se fait généralement à 20°C. Elle permet d'évaluer rapidement, mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau.

1.4.2- Les caractères chimiques:

- **La dureté:**

- dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH): La dureté totale ou TH d'une eau trouve son origine dans la formation des sels incrustants essentiellement constitués par des composés du calcium et du magnésium, mais qui peuvent l'être également par des dérivés du fer, du manganèse et divers cations métalliques, à l'exception toutefois des alcalins.

En générale, le pH est assimilé à la seule teneur en calcium et en magnésium éléments dominants les eaux naturelles.

- dureté calcique (TCa) et dureté magnésienne (TMg): Elles sont relatives aux teneurs de l'eau en calcium et en magnésium. En générale on peut écrire:

$$\boxed{TH = TCa + TMg}$$

- dureté permanente (Tp) et dureté temporaire (Tt): La dureté permanente subsiste après l'ébullition de l'eau, alors que la dureté temporaire disparaît, précipitée sous forme de carbonates insolubles par cette opération.

Aussi constate-t-on que lorsque l'on dose, un échantillon d'eau naturelle avant et après ébullition, le premier résultat est toujours supérieur au second.

Les sels métalliques peuvent se trouver dans l'eau sous forme de chlorures, sulfates, nitrates, mais aussi sous forme de bicarbonates.

Lors de l'ébullition, les premiers ne sont pas affectés, alors que les bicarbonates se transforment en carbonates qui précipitent.



La dureté permanente est aussi appelée dureté non carbonatée et la dureté temporaire la dureté carbonatée.

On a toujours:

$$\boxed{TH = Tp + Tt}$$

□ **Titres alcalimétriques (TA)** : Les espèces basiques présentes dans l'eau se présentent en général sous les formes suivantes: OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , PO_4^{3-} dans certains cas.

Il est utile de préciser que certaines de ces espèces sont incompatibles les unes avec les autres, c'est le cas par exemple de OH^- et HCO_3^- .

- Titre alcalimétrique simple (TAS): Il ne concerne que les fonctions bases fortes à partir de pH = 8,3 et on admet:

$$\boxed{TA = OH^- + 1/2CO_3^{2-}}$$

CO_3^{2-} étant une dibase, seule la première fonction est une base forte.

En général, le TA est nul pour les eaux naturelles.

-Titre alcalimétrique complet (TAc): Il est relatif à l'ensemble des fonctions basiques et s'écrit:

$$\text{TAc} = \text{OH}^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$$

Alors on aura affaire aux deux cas suivants:

$$\begin{array}{c} \text{TAc} = \text{OH}^- + 1/2\text{CO}_3^{2-} \\ \text{Ou} \\ \text{TAc} = \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- \end{array}$$

Mais si l'eau est riche en phosphates on aura alors:

$$\begin{array}{c} \text{TAc} = \text{OH}^- + 1/2\text{CO}_3^{2-} + 1/3\text{PO}_4^{3-} \\ \text{Ou} \\ \text{TAc} = \text{OH}^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + 2/3 \text{PO}_4^{3-} \end{array}$$

La mesure des différents titres alcalins se fait en général par simple volumétrie ou ph-métrie.

• **Acidité** : L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acide minéraux et de sels d'acides forts et de bases faibles. L'acidité totale et l'acidité en acides minéraux forts ou TAF (titre en acides forts) se mesurent par titrage en présence de phénophtaléine pour la première et méthylorange pour la seconde, avec une solution d'hydroxyde de sodium.

Notons tout de même, que le TAF n'a guère de signification que pour les eaux ayant subi soit une pollution industrielle, soit un traitement aux résines cationiques.

• **Agressivité**: L'agressivité se définit comme la corrosion à froid des métaux, calcaires du ciment et des produits qui en dérivent (maçonneries, bétons, etc.).

L'hydrogencarbonate (le bicarbonate) de calcium qui est l'un des éléments les plus fréquents et les plus importants dans l'eau, participe en solution à un équilibre appelé «équilibre calco-carbonique» suivant:



Où $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et H_2CO_3 sont à l'état dissous et CaCO_3 à l'état solide.

Une eau agressive est caractérisée par un indice de Langélier négatif.

Cet indice est défini de la façon suivante:

$$\text{IL} = \text{pHr} - \text{pHs}$$

Alors si le pH de l'eau mesuré ou pH réel (pHr) est inférieur au pH de saturation (pHs) cela signifie que le IL est négatif.

S'il est positif, il ya formation d'une couche de carbonate de calcium qui protège les tuyauteries.

• **Corrosion** : Dans ce cas-ci le dioxyde de carbone libre est en concentration inférieure à celle de la concentration du dioxyde de équilibrant. L'équilibre se déplace dans le sens de la formation de l'anhydride carbonique, entraînant par la même occasion la précipitation de calcaire :



Une eau qui précipite le calcaire est appelée eau corrosive ou eau incrustante.

La détermination de la teneur en dioxyde de carbone fait l'objet de l'étude de l'équilibre calco-carbonique.

Une eau corrosive est caractérisée par un indice de Ryznar (IR) positif.

Il est défini de la façon suivante :

$$\text{IR} = 2\text{pHr} - \text{pHs}$$

Donc IR est positif si $2\text{pHr} > \text{pHs}$.

• **Demande chimique en oxygène (DCO)**: La quantité de dioxygène consommable par les matières (organiques ou minérales) existant dans l'eau est oxydable dans les conditions opératoires définies est appelée DCO qui est exprimée en mg/l.

L'oxydant utilisé est le bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en milieu sulfurique et en présence de catalyseurs (Ag_2SO_4 et HgSO_4).

La réaction d'oxydation des composés organiques par le bichromate de potassium (Cr^{6+}) conduit à la réduction de ce dernier sous forme d'ions Cr^{3+} (Cr^{III}) suivant: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$.

• **Ortho phosphates (PO_4^{3-})**: Ils proviennent de l'hydrolyse des poly Phosphates, de la décomposition de la matière organique, d'une infiltration en provenance des fosses d'aisance ou de dépôts de fumier (purin).

Les eaux de surface ou de nappes peuvent être contaminées par des rejets industriels ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traitées par certains insecticides.

Le phosphore joue un rôle dans le développement des algues pour lesquelles, tout comme l'azote nitrique, il joue le rôle de nutriment.

Il peut provoquer le phénomène d'eutrophisation des milieux liquides naturels.

• **Sulfates (SO_4^{2-})**: Les sulfates proviennent des zones contenant du gypse ou des eaux ayant un temps de contact assez long avec la roche ; ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans certaines régions des sulfures métalliques (fer, nickel, cuivre...)

Leur présence dans les eaux pourrait donc être d'origine naturelle (minéralisation et oxydation des composés soufrés) ou humaine (infiltration des engrais chimiques et des fertilisants).

Ils peuvent être dosés par gravimétrie ou par néphélométrie.

• **Chlorures (Cl)**: Ils peuvent provenir du lessivage du sol ou de la pollution domestique. Leurs teneurs sont variées et liées à la nature des terrains traversés.

Habituellement, la teneur en ions chlorures des eaux naturelles est inférieure à 50mg/l.

On les dose par la méthode de Mohr ou celle de Volhard-Charpentier.

- **Les différentes formes de l'azote:** Les composés azotés présents dans l'eau peuvent avoir une origine naturelle ou synthétique.

- ✓ **Cas des substances d'origine naturelle:** Les transformations de l'azote dans les milieux aquatiques sont complexes et tributaires d'une part, de nombreux facteurs physico-chimiques tels que la température, la pression, le potentiel redox et d'autre part de microorganismes.

Le cycle de l'azote dans les eaux de surface apparaît donc comme particulièrement complexe.

En l'absence de contamination, l'azote se trouve en général dans les eaux naturelles sous les formes suivantes:

- Le diazote provenant de l'air atmosphérique et dont la solubilité est régie par la loi de HENRY ;

- L'azote sous forme de composés en solution et d'origine minérale ou organique:
 - ammoniacale et sels ammoniacaux ;
 - nitrites et nitrates ;
 - acides aminés, ammino-sucres, protéines, chlorophylle, acides humiques, etc.

- ✓ **Cas des substances de synthèse:** Les substances azotées rejetées dans les eaux naturelles et ayant pour origine les activités de l'homme, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles sont essentiellement constituées par les composés suivants:

- produits phyto sanitaires,
- détergents,
- engrais.

Les formes azotées étant multiples, il est nécessaire de préciser à quoi l'on se réfère lorsque l'on procède au dosage de l'azote.

- **Azote total (Nt):** L'azote total est la somme des différentes formes d'azote ; il s'agit de la somme de l'azote sous forme réduite et l'azote sous forme oxydée. On peut écrire:

$$Nt = N_{NH_4^+} + N_{org} + N_{NO_2^-} + N_{NO_3^-}$$

Dont: Nt = azote total,

$N_{NH_4^+}$ = azote ammoniacal,

N_{org} = azote organique,

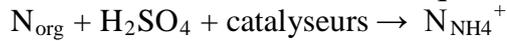
$N_{NO_2^-}$ = azote nitreux,

$N_{NO_3^-}$ = azote nitrique,

NK = azote de Kjeldahl = $N_{NH_4^+} + N_{org}$

- **Azote de Kjeldahl (NK):** C'est le paramètre NtK (azote total de Kjeldahl) qu'il ne faut pas confondre avec l'azote total. En effet quand on dose l'azote organique, on le fait par différence entre l'azote total de Kjeldahl et l'azote ammoniacal.

Le dosage de NK se fait après avoir transformé l'azote organique en azote ammoniacal. Cette réaction est réalisée en portant le mélange à l'ébullition pendant deux heures, en milieu acide sulfurique et en présence de catalyseurs:



Les sels d'ammonium sont ensuite transformés en ammoniac par passage en milieu basique et dosés par un acide, l'acide borique, en présence d'un indicateur mixte, rouge de méthyle et bleu de méthylène.

○ **Azote ammoniacal ($N_{\text{NH}_4^+}$):**

Il provient surtout de la dégradation de la matière organique, qu'elle soit d'origine animale et/ou végétale. Il est constitué des ions ammoniums et des ions de l'ammoniac dissous.

Les teneurs de $N_{\text{NH}_4^+}$ dans l'eau reflètent le degré de pollution organique.

Son dosage se fait généralement par acidimétrie ou par photo colorimétrie.

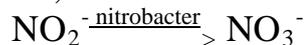
○ **Azote nitreux (N_{NO_2}):**

Sous l'action de bactéries nitrosomonas et en présence de dioxygène, l'azote ammoniacal est oxydé en azote nitreux.

Le dosage des nitreux se fait par colorimétrie.

○ **Azote nitrique ($N_{\text{NO}_3^-}$):**

C'est le terme de l'oxydation des composés azotés. En effet sous l'influence de nitrobacter, les nitrites sont oxydés en nitrates:



Il faut cependant retenir qu'en cas de déficit du milieu en dioxygène, les nitrates peuvent être réduits en nitrites et fournir du dioxygène.

On dose les nitrates par colorimétrie.

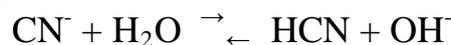
• **Cyanures (CN^-):** Les cyanures sont pratiquement indissociables de la vie de l'industrie ; ceux trouvés dans les eaux proviennent des eaux résiduaires industrielles. Elles ont comme origine:

- ✓ Les installations de cyanuration, de galvanoplastie ;
- ✓ Les eaux de lavage des gaz de hauts fourneaux et de cokerie, les opérations de synthèse dans les industries chimiques et pétrochimiques.

Il faut alors noter que les aliments en contiennent pratiquement tous des traces. Les amandes et le manioc, en contiennent des quantités relativement importantes.

L'organisme qui a la faculté de transformer de petites quantités en thiocyanates est cependant affecté par des doses de 50 à 60mg qui sont mortelles.

Ils ne sont toxicologiquement importants qu'en raison de l'acide cyanhydrique avec lequel ils sont en équilibre :



La toxicité augmente avec la diminution du pH, donc avec l'augmentation de l'acidité.

• **Les métaux lourds :** La recherche globale des métaux lourds constitue une méthode d'orientation destinée à éviter les dosages inutiles.

Dans le cas d'une réaction positive, les dosages spécifiques seront à pratiquer.

Les métaux lourds (plomb, zinc, cuivre), dans les conditions de non sélectivité réagissent avec la dithizone en solution chloroformique en provoquant un changement de coloration.

Le seuil de perceptibilité visuelle est de :

0.1mg/L pour Pb

0.02mg/L pour Cu

0.3mg/L pour Zn

➤ **Cuivre (Cu²⁺)** : Le cuivre, fréquemment présent dans les eaux de surface à l'état de traces (c'est-à-dire inférieur à 1ppm) ne constitue pas un danger pour le consommateur, mais tout comme le fer et le manganèse il provoque des tâches sur le linge et un goût désagréable (saveur métallique et astringente des sels de cuivre apparaissant pour des doses de 4 ou 5mg/L).

Il joue un rôle important dans les métabolismes biologiques (enzymes). En dehors de pollutions industrielles ou de traitements agricoles, ce métal provient habituellement de la corrosion de tuyauteries.

➤ **Mercure (Hg²⁺)** : pratiquement, le mercure peut se trouver dans l'eau, fixé sur les matières en suspension et/ou à l'état minéral.

La source naturelle du mercure dans l'environnement est constituée essentiellement par les émanations gazeuses de l'écorce terrestre. Peuvent être incriminées également comme sources de pollutions mercurielles l'industrie des ciments, l'incinération des déchets, la combustion du charbon et du pétrole.

Après minéralisation sulfo-permanganique et extraction sélective par le chloroforme à pH 1,5, le mercure total est dosé par titrimétrie directe à l'aide d'une solution de di-β-naphthyl-thiocarbozone. La détermination peut aussi se faire par absorption sans flamme.

Quant aux organomercuriels, ils sont extraits sous forme d'halogénures par le benzène, purifiés par la formation d'un complexe soluble dans l'eau avec la cystéine et déterminés par chromatographie en capture d'électrons.

➤ **Plomb (Pb)** : On le rencontre dans plusieurs minéraux, car il est l'un des constituants de l'écorce terrestre.

Il peut se retrouver sous forme minérale (confection des tuyaux, fabrication des accumulateurs) mais aussi organique (plomb tétra éthyle pour améliorer le pouvoir antidétonant des carburants).

Son accumulation dans l'organisme provoque le saturnisme.

Sa dose tolérable dans les eaux de consommation est de 50µg/L.

➤ **Zinc (Zn)** : C'est un élément abondant, essentiel à la nutrition (apport quotidien chez l'adulte est de 10 à 15mg par jour) où son absorption par l'organisme qui est faible, se réalise par une combinaison avec de métallo enzymes dont l'action biologique implique la présence de zinc.

Il confère à l'eau un goût astringent (goût désagréable des sels de zinc au-dessus de 5 à 10mg/L) et peut lui communiquer, pour des teneurs relativement faibles (2mg/L), une opalescence variable avec la dureté.

Il faut se souvenir que le zinc peut contenir 1% de cadmium.

1.4.3- Les caractères biologiques:

• **D.B.O:** La DBO ou « demande biochimique en oxygène » est la consommation de dioxygène nécessaire à la dégradation des charges organiques polluantes, sous l'action de microorganismes.

La dégradation des composés glucidiques, lipidiques et protéiques des matières organiques se traduit, dans un premier temps, par une décomposition des chaînes carbonées b.

• **Faune et flore:** La qualité d'une eau ne se mesure pas uniquement par des analyses physico-chimiques, mais aussi par des analyses bactériologiques.

Les matières organiques contenues dans l'eau se présentent en partie, sous forme d'êtres vivants qui portent des noms différents suivant leur taille et leur rôle biologique: on rencontre, en particulier, les virus, les bactéries pathogènes ou non et les algues.

➤ **Faune bactériologique:**

L'analyse bactériologique des eaux potables consiste en la recherche d'un certain nombre de germes tests, dits de contamination fécale, car il est très difficile d'identifier tous les germes dangereux. La recherche et la numération portent sur:

- Escherichia Coli ou B Coli ou coliforme fécal ;
- Bactéries coliformes ;
- Streptocoques fécaux ou entérocoques ;
- Clostridium perfringens ou sulfite-réducteurs.

Une analyse bactériologique complète comprend également la recherche et la numération:

- Des germes totaux après 24 heures à 37°C, 72 heures à 20°C
- Des bactériophages fécaux.

➤ **Faune et flore biologiques:**

En plus des bactéries et virus, l'eau permet aussi la vie tant du règne végétal, que du règne animal dans sa partie microscopique (plancton).

On désigne sous le nom de plancton du grec planktos des organismes entraînés par le courant par opposition au necton où les organismes peuvent nager par eux-mêmes.

Le plancton et le necton constituent le pelagos (qui vit au large) contrairement au benthos où les organismes vivent en profondeur.

Le plancton est constitué par le phytoplancton (plancton végétal) et le zooplancton (plancton animal).

Dans le phytoplancton on distingue les algues vertes (chlorophycées), les algues bleues (cyanophycées) et les algues rouges (phéophycées).

Le zooplancton se compose en grande partie de rotifères, copépodes, daphnies, nauplius, etc.

2- Définition des termes clés du- thème à étudier:

2.1- Eau de puits: C'est une eau qui se trouve dans un trou très ou peu profond et de petit ou de grand diamètre, appelée eau souterraine si le puits est profond et eau de surface si le puits est superficiel.

Le puits constitue la source d'eau la plus largement utilisée en Afrique et particulièrement au Mali. Si le puits existe il est bien établi, pour que son eau soit bactériologiquement acceptable, il faut des mesures. Ces mesures seront décrites dans les recommandations.

2.2- Maraîchage: C'est la production de légumes selon les méthodes intensives de culture.

2.3- Qualité: C'est la manière d'être bonne ou mauvaise, donc une caractérisation.

3- La directive de l'OMS des principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques servant à l'appréciation de la qualité des eaux :

3.1- Les caractères physico-chimiques :

- **La conductivité :** L'OMS tolère jusqu'à 1000µs/cm pour une eau de consommation.
- **La turbidité :** Il est souhaitable que les eaux potables ne dépassent pas 5NTU selon l'OMS.
- **Le pH :** Selon l'OMS, le pH d'une eau de boisson doit être compris entre 6,5 et 8,5.
- **Les chlorures :** Des concentrations élevées en chlorure dans l'eau ne s'embent pas avoir d'effet toxique sur l'homme, mais de fortes concentrations provoquent la corrosion des différentes tuyauteries métalliques et peuvent être nuisibles pour la flore. L'OMS a ainsi établie une norme : La concentration en ion chlorure (Cl⁻) ne doit pas excéder 250mg/l.
- **Les sulfates :** Des valeurs excessives de sulfates provoquent des troubles gastriques et intestinaux graves. L'OMS a donc mis en place une concentration indicative des sulfates : 250mg/l.
- **Les nitrates :** Les nitrates représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé dans l'eau. La quantité de nitrates dans l'eau indique la présence de déchets biologiques. En général, ils proviennent de l'oxydation de matières organiques en dérivés ammoniacaux (NH₄⁺) qui seront eux même dégradés en nitrate (NO₂⁻) puis en nitrates (NO₃⁻).

Ces derniers sont aussi présents en faible concentration dans certaines roches.

Beaucoup de fertilisants utilisés dans le commerce contiennent de l'azote sous forme de nitrate. Les eaux potables contenant des quantités excessives de nitrates peuvent provoquer une méthémoglobinémie infantile. Pour cette conséquence, leur valeur limite a été fixée à 50mg/l par l'OMS.

- **Le fer :** Une concentration importante n'a aucun impact sur la santé, mais pour des raisons de goût, la teneur maximale a été fixé par l'OMS à 0.3mg/l.
- **Le sodium :** Il est déconseillé aux hypertendus de consommer des eaux riches en sodium car il augmente la pression artérielle. Selon l'OMS, la valeur indicative est de 200mg/l.
- **Le potassium :** Il est rarement présent à des teneurs supérieures à 20mg/l. Mais il ne présente aucun inconvénient particulier.
- **Le calcium :** Les eaux riches en calcium peuvent provoquer des calculs de reins. La norme du Ca²⁺ est de 75mg/l et la limite est 200mg/l selon l'OMS.

- **Le magnésium** : Les eaux potables de bonne qualité renferment entre 50 et 150mg/l de Mg^{2+} . Associés aux sulfates, ont des propriétés laxatives.
- **Le phosphate** : Sa valeur acceptable est fixée à 0.4mg/l selon l'OMS.
- **L'azote ammoniacal** : L'OMS a fixé en concentration limite le NH_4^+ à 0.05mg/l.
- **Les nitrites** : Sa valeur indicative fixée par l'OMS est de 0.1mg/l.

3.2- Les caractères bactériologiques :

- **Les coliformes totaux** : La limite du nombre de coliformes totaux est fixée à 10/100ml d'eau.
- **Les coli thermo tolérants** : La norme est limitée à 0/100ml.
- **Les Strepto fécaux** : La norme limite est fixée à 0/100ml.

V- MOTIVATION :

Notre étude a été motivée par le besoin de :

- Contribuer à la connaissance de la qualité des eaux de puits du maraîchage au Mali ;
- Contribuer à la planification pour le traitement de ces eaux de puits du maraîchage et des légumes à consommer cru, arrosés par ces eaux à Bamako.

V- METHODOLOGIE :

1- Présentation de la Direction Nationale de l'Hydraulique: (D.N.H.)

1.1-Direction Nationale:

C'est un service central créé suivant l'ordonnance N°99-014 du premier avril 1999, qui a été ratifiée par la loi N° 99-023/P-RM du 11 juin 1999. Son fonctionnement et son organisation ont été déterminés par le décret N°99-185/P-RM du 5 juillet 1999.

La direction nationale de l'hydraulique est dirigée par un Directeur nommé par décret pris en conseil des ministres et qui a mission :

- D'élaborer la politique nationale de l'eau,
- De coordonner et de contrôler les différents services régionaux, sub régionaux et tous les autres services rattachés qui concourent à la mise en œuvre de la politique mise en place.

A ce titre elle est chargée de :

- Faire l'inventaire et évaluer le potentiel au plan national des ressources hydrauliques ;
- Etudier, contrôler superviser les travaux de réalisation des ouvrages hydrauliques et veiller à leur bon état de fonctionnement ;
- Procéder à l'évaluation des projets de développement dans le secteur de l'eau ;
- Participer à la promotion de la coopération sous régionale dans le domaine de la gestion des ressources de l'eau.

La direction nationale de l'hydraulique (D.N.H.) comprend un centre de documentation et d'informatique, un service rattaché Laboratoire de la Qualité des Eaux (LQE) et cinq (5) divisions qui sont:

- 1- la division hydraulique urbaine ;
- 2- la division hydraulique rurale ;
- 3- la division aménagement hydraulique ;
- 4- la division inventaires des ressources hydrauliques ;
- 5- la division normes et règlements.

1.2- Le laboratoire de la qualité des eaux: (L.Q.E.)

Le laboratoire de la qualité des eaux est un service rattaché à la direction nationale de l'hydraulique créé par l'ordonnance N°90-51/P-RM du 4 septembre 1990.

Ce laboratoire dont le directeur est nommé par arrêté du ministre chargé de l'hydraulique a pour mission de déterminer, gérer et protéger la qualité des eaux du territoire national.

Sur cette base, il est chargé de:

- l'échantillonnage ; l'analyse physico-chimique, bactériologique et pesticide des eaux ainsi que du suivi et du contrôle du point de vue qualitatif ;
- l'analyse des dépôts et des sédiments ;
- faire les études hydro chimiques et hydro dynamiques sur l'origine et l'évolution des nappes d'eaux ;
- faire des études et des mesures correctives contribuant à l'amélioration et à la protection de la qualité des eaux avec constitution d'archives.

Pour la réalisation de ces différentes tâches, ce laboratoire s'organise en deux (2) sections:

- la section analyse des eaux, chargée des analyses physico-chimiques, bactériologiques ; de l'analyse des dépôts et des sédiments ainsi que des mesures isotopiques.
- la section mesures correctives, chargée d'étudier les mesures indispensables à la protection de la qualité des eaux. Cette section s'occupe aussi à la recherche des solutions nécessaires à l'adéquation de la qualité des eaux et de leurs utilisations.

2-La présentation générale de cette étude :

2.1- Objet de cette étude:

L'objet de cette étude porte sur la qualité des eaux de puits du maraîchage dans le district de Bamako et sur la comparaison des résultats obtenus dans les zones de la rive droite et ceux obtenus dans les zones de la rive gauche.

2.2- Intérêt de cette étude:

L'analyse de ces différents paramètres nous permet d'apprécier la qualité de ces eaux de puits maraîchers.

Cette étude nous facilitera la prise en charge de ces puits, pour leur accès en eau potable et saine.

Elle permet aussi à la population de prévenir les différentes maladies liées aux eaux de puits et aux légumes irrigués par ces eaux de puits, consommés fréquemment par cette population.

2.3- Procédure:

Au cours de cette étude nous avons:

- recherché les lieux de prélèvement qui ont concernés les zones maraîchères irriguées avec les eaux de puits;
- prélevé les eaux de quelques puits dans ces zones maraîchères (30 points de prélèvement à Bamako);
- Analysé ou déterminés certains paramètres physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux;
- Présenté et interprété des résultats de ces analyses pour les éventuelles recommandations;
- Comparé les résultats obtenus dans les zones de la rive droite à ceux obtenus dans les zones de la rive gauche.

2.4- Aire géographique:

Compte tenu de nos moyens de transport et de fréquences des zones maraîchères irriguées avec l'eau de puits dans le district de Bamako, nous nous sommes limités à 30 puits (échantillons) dont 15 puits en rive droite et 15 puits en rive gauche.

Vu l'équipement du laboratoire de la qualité des eaux (L.Q.E.) là où nous avons effectués ces analyses, nous nous sommes limités à quelques paramètres:

- Physiques (température, couleur, turbidité, conductivité et pH);
- Chimiques (dureté totale ou titre hydrométrique, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Alc, acidité, ortho phosphates, sulfates, chlorures, azote ammoniacal, azote nitrique, nitrites, le fer, carbonate, bicarbonate, sodium et potassium);
- Bactériologiques (coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques).

En effet toutes les communes de Bamako ont été touchées à l'exception de la CIII là où il y'a rarement les zones maraîchères irriguées avec les eaux de puits.

En CI, cinq (5) quartiers ont été concernés qui sont: Banconi, Boukassoumbougou, Sotuba, Djélibougou et Samanko ;

En CII, quatre (4) quartiers ont été concernés qui sont: Bakaryougou, Bougouba, Sans fil et Zone industrielle ;

En CIV, trois (3) quartiers ont été touchés dont: Paradjicoroni, Lafiabougou et Taliko ;

En CV, trois (3) quartiers ont été touchés dont: Daoudabougou, Kalaban coura et Bacodjicoroni ;

En CVI, trois (3) quartiers ont été aussi concernés qui sont: Faladiè, Niamacoro et Magnambougou.

Les 30 puits ont été classés comme suit:

Banconi : 1 puits ;

Boukassoumbougou: 1 puits ;

Sotuba: 1 puits ;

Djélibougou: 1 puits ;

Samanko: 1 puits ;

Bakaryougou: 1 puits ;

Bougouba: 1 puits ;

Sans fil: 1 puits ;

Zone industrielle: 1 puits ;

Paradjicoroni: 4 puits ;

Lafiabougou: 1 puits ;

Taliko: 1 puits ;

Daoudabougou: 3 puits ;

Kalaban coura: 3 puits ;

Bacodjicoroni: 4 puits ;

Faladiè: 1 puits ;

Niamacoro: 2 puits ;

Magnambougou: 2 puits.

Ce classement a été fait selon la fréquentation de ces quartiers, l'utilisation des eaux de puits par les maraîchers et en tenant compte des études antérieures faites dans d'autres quartiers à Bamako.

Enfin, nous avons fait une interprétation des résultats obtenus selon les valeurs limites fixées par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S.).

Puis nous avons fait une comparaison entre les résultats obtenus en rive droite et ceux obtenus en rive gauche.

3- Echantillonnage :

Les échantillons ont été prélevés dans 30 sites du district de Bamako.

Cet échantillonnage a concerné 18 quartiers périphériques dans le district de Bamako.

Les puits dans lesquels on a prélevé les échantillons, ont une profondeur moyenne de 16 à 30pieds.

Les sols de ces zones sont généralement argileux ou argilo limoneux.

Les échantillons pour les analyses physico-chimiques ont été prélevés le matin entre 7h30mn et 11h00.

Ces prélèvements ont été effectués avec des puisettes maraîchères, mis dans les entailles en plastique, on les a rempli jusqu'aux bouchons, conservés dans une glacière et acheminés le même jour au laboratoire.

Pour les analyses bactériologiques, on a prélevé les échantillons selon la même technique et mis cette fois-ci dans les entailles en verre stérilisées par l'autoclavage, en laissant un espace entre l'échantillon et le bouchon des entailles. L'utilité de cet espace est de garder les bactéries vivantes.

Ces échantillons ont été acheminés au laboratoire et analysés le même jour. Ces prélèvements ont été fait le matin entre 8h00 et 10h30mn.

L'identification des échantillons consiste à écrire sur chaque flacon un numéro de référence et reporter dans le registre du laboratoire toutes les informations relatives à l'échantillonnage.

4- Les méthodes d'analyses des différents paramètres :

4.1- Paramètres physiques :

• Détermination du pH :

Principe : La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence, plongeant dans une même solution est fonction de l'activité des hydrogènes.

Mode opératoire : Mettre le ph-mètre en marche 15 minutes avant de commencer la manipulation pour le préchauffer.

Appuyer sur la touche concentration puis sur pH, le chiffre 7 apparaît. Rincer l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec du papier fin.

Introduire les électrodes dans la solution tampon pH 7 et appuyer sur la touche concentration après enregistrement, l'appareil affiche le chiffre 4.

Rincer les électrodes puis essuyer de nouveau la tête avec du papier fin.

Introduire les électrodes dans la solution tampon pH 4 et appuyer sur la touche concentration après enregistrement ; le chiffre 0.000 apparaît : étalonnage terminé.

Prélever ensuite 100 ml d'échantillon dans un bêcher de 250 ml, y plonger les électrodes puis appuyer 2 fois sur la touche pH pour la première mesure et le pH de l'échantillon affiche sur l'écran du pH-mètre.

• **Mesure de la couleur :**

Elle se fait par la méthode d'APHA platine cobalt à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2010. (Couleur vraie et couleur apparente).

Principe : Il consiste à assembler le dispositif de filtration et à analyser l'échantillon qui a une coloration quelconque, proportionnelle à la quantité de lumière absorbée à une longueur d'onde donnée sans réactif.

Mode opératoire : Assembler le dispositif de filtration (membrane filtrante, support de filtre, fiole à vide et trompe à eau).

« Pour mesurer la couleur apparente, ne pas filtrer ».

Rincer le filtre en filtrant environ 50ml d'eau désionisée. Jeter cette eau de rinçage. Filtrer une autre portion de 50ml d'eau désionisée à travers la membrane et conserver cet échantillon pour remplir une cuvette avec 25ml d'eau désionisée filtrée (blanc). Eliminer l'excédent. (Pour la couleur apparente, utiliser de l'eau désionisée non filtrée).

Entrer le numéro du programme (120) et régler la longueur d'onde à 455nm.

Verser environ 50ml d'échantillon dans le filtre (pour la couleur vraie). Remplir une seconde cuvette avec 25ml d'échantillon filtré. Mais pour la couleur apparente, utiliser l'échantillon non filtré.

Placer le blanc dans le puits de mesure et fermer le capot.

Presser : **Zéro**. Dès que le chiffre 0unités pt-CO APHA s'affiche, retirer la cuvette du blanc.

Placer la cuvette de l'échantillon préparé dans le puits de mesure et fermer le capot.

Presser : **Read**, la valeur de la couleur de l'échantillon s'affiche en UCV.

• **Mesure de la conductivité :**

Principe : La conductivité spécifique d'une solution peut être définie comme l'inverse de la résistance électrique, à travers deux électrodes non polarisées de 1cm de surface, situées à 1cm de distance, trempées dans une même solution. La conductivité est inversement proportionnelle à la différence de potentiel existant entre les électrodes.

Mode opératoire : Mettre l'appareil en marche, rincer les électrodes avec l'eau distillée puis essuyer avec un papier fin.

Plonger les électrodes dans un bêcher contenant 100ml d'échantillon.

L'appareil donne directement la valeur de la conductivité.

• **Détermination de la turbidité :**

Elle est déterminée par la méthode néphélométrie.

Principe : Le faisceau de lumière traverse la cuve contenant l'échantillon, une partie de la lumière est diffusée à 90° par rapport au faisceau incident. Le potentiel résultant est proportionnel à la turbidité.

Mode opératoire : Mettre l'appareil en marche, remplir la cuve d'eau à analyser après l'avoir rincé avec l'eau distillée et avec l'échantillon.

Introduire la cuve contenant de l'échantillon dans le puits de mesure puis refermer le capot.

L'appareil donne directement la valeur de la turbidité en NTU.

4.2- Les paramètres chimiques :

• **Dosage du calcium** :

La méthode utilisée est la complexométrie.

Principe : Il consiste à former un complexe avec le sel dissodique de l'EDTA. Le titrage se fait en milieu basique. L'addition de la solution de soude caustique a pour but d'éliminer tous les ions magnésiums présents dans l'échantillon.

Mode opératoire : Prélever 50ml de l'échantillon à l'aide d'une éprouvette graduée.

Ajouter 2ml de NaOH à 1M à l'aide d'une pipette graduée, puis quelques grains de calcons en poudre.

Titrer avec une solution d'éthylène diamino tétra acétate (EDTA) jusqu'au virage (du rose clair au violet foncé) sous une agitation douce.

Calcul : $Ca^{2+} = \text{volume coulé d'EDTA} \times 400.08 / \text{volume d'échantillon}$.

Ca^{2+} en mg/l et volume d'échantillon en ml.

• **Dosage de la dureté totale (TH)** :

La méthode utilisée est la complexométrie.

Principe : Il consiste à former un complexe avec le sel dissodique EDTA.

Le titrage se fait en milieu ammoniacal.

Mode opératoire : On prélève 25ml d'échantillon plus (+) 25ml d'eau distillée. Puis on ajoute l'ammoniac et on dose ensuite avec l'EDTA jusqu'au virage au bleu.

• **Dosage de sodium et de potassium** :

La méthode utilisée est celle de la spectrophotométrie de flamme.

Principe : Lorsque la solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau qu'elle contient s'évapore, les sels et leurs composés sont dissociés à l'état d'atomes ou de radicaux. Ceux-ci sont excités par l'énergie thermique apportée par la flamme. Leur retour à l'état fondamental s'accompagne d'une émission de radiation de fréquence caractéristique de l'élément en solution et dont l'intensité est fonction de sa concentration.

Mode opératoire : Faire préchauffer le spectrophotomètre à flamme pendant 15mn avant de commencer la manipulation. Calibrer l'appareil entre 0 et 100mg/L.

Mesurer successivement le potentiel de chaque étalon, puis faire de même pour les échantillons.

Calcul : On trace la courbe représentative des étalons afin de procéder à la détermination des concentrations des différents échantillons par projection orthogonale. L'axe des ordonnées représente la valeur des potentiels électriques et celui des abscisses la valeur des concentrations de l'élément à doser.

• **Dosage des nitrates :**

C'est la méthode au réactif « nitraVer5 » qui est utilisée à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2010.

Principe : Il consiste à ajouter à 25ml d'échantillon le contenu d'une gélule de « nitraVer5 ».

La coloration développée est proportionnelle à la quantité de lumière absorbée à une longueur d'onde donnée.

Mode opératoire : Faire entrer le programme pour les nitrates dans le spectrophotomètre (355), régler la longueur d'onde à 500nm.

Prélever 25ml d'échantillon dans un erlen meyer de 150ml puis ajouter le contenu d'une gélule de « nitraVer5 ».

Mettre en place le minuteur en appuyant sur les boutons shift et timer. Lorsque celui-ci sonne, placer la cuve témoin (25ml d'eau distillée) dans le puits de mesure puis fermer le capot. Faire le zéro : l'affichage indique 0.000mg/L de NO_3^- .

Et placer l'échantillon préparé dans le puits et presser sur **Read**, et la teneur de nitrate s'affiche.

• **Dosage des nitrites :**

Le dosage des nitrites se fait par la méthode diazotation à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2010.

Principe : Il consiste à ajouter à 10ml d'échantillon le contenu d'une gélule de « nitriVer3 ».

La coloration rose développée est proportionnelle à la quantité de lumière absorbée à une longueur d'onde donnée.

Mode opératoire : Entrer le numéro du programme mémorisé pour le nitrite gamme base en azote (N- NO_2).

Presser : **371 Enter** et régler la longueur d'onde à **507**.

Lorsque la longueur d'onde correcte est affichée, placer l'élévateur pour cuvette de 10ml dans le puits de mesure.

Mettre 10ml d'échantillon dans une cuvette.

Ajouter le contenu d'une gélule de nitriVer3 à la cuvette d'échantillon préparé, boucher et agiter pour dissoudre.

En présence de nitrite, une coloration rose se développe.

Presser **shift timer**, une période de réaction de 20mn commence.

Lorsque le minuteur sonne, remplir une autre cuvette (le blanc) avec 10ml d'échantillon. Placer le blanc dans le puits de mesure. Fermer le capot et presser : **Zéro**.

Retirer le bouchon de l'échantillon préparé. Placer la cuvette dans le puits de mesure et fermer le capot.

Presser : **Read**. La concentration de nitrite en mg/l d'azote s'affiche.

• **Dosage des sulfates :**

La méthode utilisée est la turbidimétrie avec le turbidimètre modèle 2100A.

Principe : Ce dosage est basé sur la précipitation des ions sulfates avec les ions baryum en milieu acide en formant des cristaux homogènes de sulfates de baryum.

Mode opératoire : Prélever 100ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 150ml après avoir préchauffé le turbidimètre pendant 30mn.

Agiter doucement avec l'agitateur.

Ajouter 5ml de solution de conditionnement puis continuer à agiter pendant 1mn.

Remplir la cuvette de 25ml avec la solution précédente puis réaliser la mesure de la turbidité : on obtient une valeur **X**.

Ajouter ensuite quelques cristaux de chlorure de baryum puis agiter jusqu'à dissolution totale.

Réaliser de nouveau la mesure de la turbidité : on obtient une valeur **Y**.

Calcul : La concentration de l'eau en sulfates est déterminée grâce à la formule suivante : Soit $[\text{SO}_4^{2-}]$ la concentration de SO_4^{2-} dans l'eau, on a alors

$$[\text{SO}_4^{2-}] = \text{Y-X} / 4.$$

Ce coefficient « 1/4 » a été déterminé grâce à une courbe d'étalonnage.

• **Dosage de l'azote ammoniacal :**

Ce dosage se fait par la méthode de Nessler à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2010.

Principe : Il consiste à ajouter à 25ml d'échantillon 3gouttes de réactif stabilisant minéral, 3gouttes de réactif dispersant alcool polyvinylique et 1ml de réactif de Nessler.

L'ajout de RDAP donne une coloration jaune à l'échantillon en présence de NH_4^+ .

Mode opératoire : Prélever 25ml d'échantillon dans une éprouvette et 25ml d'eau distillée dans une autre éprouvette.

Ajouter 3gouttes de réactif stabilisant minéral, 3gouttes de RDAP et 1ml de réactif de Nessler à chaque éprouvette. Laisser pendant 1mn cette solution préparée (temps de réaction).

Entrer le programme du spectrophotomètre (380 avec une longueur d'onde de 425nm).

Verser la solution de la seconde éprouvette (le blanc) dans une cuvette et la placer dans le puits de mesure du spectrophotomètre et fermer le capot.

Appuyer sur **Zéro**. Dès l'affichage de 0.00mg/l N-NH₃ Ness, retirer cette cuvette de blanc. Verser le contenu de la première éprouvette dans la cuvette, placer la cuvette dans le puits de mesure et fermer le capot. Appuyer sur **Read**, la valeur de la concentration de NH_4^+ s'affiche directement en mg/l.

• **Dosage de fer :**

Ce dosage se fait par la méthode de FerroZine Rapid Liquid à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2010.

Principe : Il consiste à ajouter à 10ml d'échantillon le contenu d'une ampoule de FerroZine (1ml).

En présence de fer, ce mélange donne une coloration brun foncée.

Mode opératoire : Entrer le numéro du programme mémorisé pour le fer total (260) avec une longueur d'onde (562).

Installer la cuve à circulation et rincer avec 50ml d'eau distillée.

Rincer 3 fois avec l'échantillon deux fioles ou Erlenmeyers en plastique de 125ml propres.

Rincer 3 fois avec l'échantillon une éprouvette graduée en plastique de 50ml propre.

Remplir cette éprouvette rincée jusqu'au trait 50ml avec l'échantillon.

Verser le contenu de l'éprouvette de 50ml dans l'une des fioles.

Mesurer une seconde portion d'échantillon dans l'éprouvette graduée et verser le contenu dans la seconde fiole.

Délivrer 1ml de réactif FerroZine dans l'une des fioles en utilisant le distributeur Repipet. Agiter pour le mélanger et laisser cette solution pendant 5mn (temps de réaction). Le contenu de la seconde fiole sera utilisé comme le blanc.

Lorsque le minuteur sonne, verser le contenu de la fiole dans lequel se trouve le blanc dans la cuve à circulation. Lorsque l'écoulement a cessé, appuyer sur **Zéro** et le chiffre 0.000mg/l Fe-FZ s'affiche.

Enfin, verser le contenu de la fiole contenant l'échantillon préparé dans la cuve à circulation.

Lorsque l'écoulement a cessé appuyer sur **Read** et la valeur de la concentration de fer s'affiche.

• **Dosage de chlorures** :

Les chlorures sont dosés par la méthode du thiocyanate mercurique à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2010.

Principe : Il consiste à ajouter à 25ml d'échantillon 2ml de solution thiocyanate mercurique et 1ml de solution ferrique dans une cuvette.

En présence des chlorures, ce mélange donne une coloration orange proportionnelle à la quantité de lumière absorbée à une longueur d'onde donnée.

Mode opératoire : Entrer le numéro du programme (70) et régler la longueur d'onde à 455nm après avoir appuyé sur **Enter**.

Prélever 25ml d'échantillon dans une cuvette et 25ml d'eau distillée dans une seconde cuvette (le blanc).

Ajouter 2ml de solution thiocyanate mercurique dans chaque cuvette et agiter pour mélanger.

Puis ajouter 1ml de solution ferrique dans chaque cuvette et agiter vigoureusement pendant 2mn (temps de réaction). Dès que le minuteur sonne, placer la cuvette du blanc dans le puits de mesure et fermer le capot.

Appuyer sur **Zéro**, alors 0.00mg/l-Cl⁻ s'affiche. Retirer cette cuvette de blanc et placer la cuvette de l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Fermer le capot et appuyer sur **Read**, la valeur de la concentration des chlorures s'affiche en mg/l.

• **Dosage d'ortho phosphate** :

La méthode de PhosVer3 (Acide ascorbique) est utilisée pour doser les phosphates à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2010.

Principe : Il consiste à ajouter à 10ml d'échantillon le contenu d'une gélule de réactif PhosVer3 dans une cuvette.

Une coloration bleue se développe en présence des ions phosphates, proportionnelle à la quantité de lumière absorbée à une longueur d'onde donnée.

Mode opératoire : Entrer le numéro du programme (490) et régler la longueur d'onde à 890nm.

Placer l'élévateur pour cuvette de 10ml dans le puits de mesure.

Remplir une cuvette de 10ml avec l'échantillon et ajouter le contenu d'une gélule de réactif PhosVer3 à la cuvette d'échantillon. Agiter immédiatement pour mélanger. En présence de phosphates, une coloration bleue se forme. Appuyer sur **Shift Timer**, une période de réaction de 2mn commence. (Utiliser un temps de 10mn pour le phosphore total après digestion).

Remplir une autre cuvette avec 10ml d'échantillon (le blanc). Lorsque le minuteur sonne, placer la cuvette du blanc dans le puits de mesure. Fermer le capot. Appuyer sur **Zéro**, le chiffre 0.00mg/l PO_4^{3-} -PV s'affiche et retirer la cuvette du blanc.

Placer la cuvette de l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Fermer le capot. Appuyer sur **Read**, la valeur de la concentration de phosphate s'affiche en mg/l.

4.3- Les paramètres bactériologiques :

Principe : Il consiste à mettre les germes collectés par filtration dans les milieux de cultures et à observer le développement de ces germes concernés (coliformes totaux, coli thermo tolérant et Strepto. Fécaux).

La solution nutritive des coliformes totaux est de couleur rouge foncée et celles du coli thermo tolérant et du streptocoque sont de couleur bleue.

Mode opératoire : Stériliser les boîtes à filtre et les lames avec la flamme.

Après refroidissement, déposer un papier filtre sur chacune des lames et placer les boîtes sur ces lames.

Verser 100ml d'échantillon dans chacune des boîtes et les fermer avec leurs fermetures stérilisées.

Mettre le moteur en marche pour absorber l'eau et retenir les germes sur le papier filtre.

Après l'absorption totale de l'eau, enlever les boîtes, prendre ces papiers filtres avec une pince stérile et les mettre dans les boîtes à pétrie contenant chacune le milieu de culture (solution nutritive). Remuer les boîtes.

Fermer ces boîtes à pétrie et procéder à l'étiquetage des boîtes à pétrie.

Placer les boîtes à pétrie dans leur étuve correspondante :

- Les coliformes totaux sont unis à une température de 35°C,
- Les colis thermo tolérants et les streptocoques sont unis à une température de 45°C.

La lecture se fait 24 heures plus tard.

Les coliformes totaux se présentent en points rouge brillant et dorés.

Les colis thermo tolérants sont présentés en points bleus et les streptocoques en points jaunes.

NB : Les colis thermo tolérants et les streptocoques se développent dans la même boîte donc même milieu de culture. Cette lecture se fait à l'œil nu.

VI- RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

Les tableaux ci-dessous représentent les résultats des différents paramètres analysés dans les différents quartiers périphériques concernés. Les interprétations des résultats sont données en dessous des tableaux.

Tableau 3 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Lafiabougou ; date de prélèvement: 25/02/08, heure: entre 8h et 9h00

Puits	I	Unités
Températures	22	°c
Couleurs	186	UCV
Turbidités	112	UNT
pH	6.39	-
Conductivités	1009	µs/cm
Duretés	256	mg/l
Alcalinités	127	mg/l
Calcium	46.49	mg/l
Magnésium	33.97	mg/l
Sodium	72	mg/l
Potassium	4.3	mg/l
Fer	0.976	mg/l
Ortho phosphates	0.17	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	156	mg/l
Sulfates	73.25	mg/l
Chlorures	48	mg/l
Manganèses	0.023	mg/l
Azote ammoniacal	0.24	mg/l
Nitrites	0.005	mg/l
Nitrates	26.8	mg/l
Indice de Ryznar	13.75	-
Indice de Langélier	-1.80	-
Matières en solution totales	688.83	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/1ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/1ml
Strepto. Fécaux	88	nb/1ml

Eau colorée, turbide, dure et chargée en sels.

Elle est agressive et elle a une corrosivité importante. Eau de mauvaise qualité bactériologique

Tableau 4 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Taliko ; date du prélèvement : 25/02/08, heure : entre 8h et 9h00

Puits	I	Unités
Températures	28	°c
Couleurs	185	UCV
Turbidités	92	UNT
pH	6.33	-
Conductivités	929	µs/cm
Duretés	210	mg/l
Alcalinités	140	mg/l
Calcium	42.16	mg/l
Magnésium	25.43	mg/l
Sodium	74	mg/l
Potassium	7.3	mg/l
Fer	0.785	mg/l
Ortho phosphates	0.15	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	168	mg/l
Sulfates	30.5	mg/l
Chlorures	95	mg/l
Manganèses	0.05	mg/l
Azote ammoniacal	0.07	mg/l
Nitrites	0.006	mg/l
Nitrates	30.5	mg/l
Indice de Ryznar	13.80	-
Indice de Langélier	-1.76	-
Matières en solution totales	634.21	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	103	nb/100ml

Eau colorée, turbide, dure et chargée en sels ;
Elle est agressive et elle a une importante corrosivité ;
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 5 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Banconi ; date de prélèvement: 20/02/08, heure: entre 10h et 11h00

Puits	I	Unités
Températures	26	°c
Couleurs	130	UCV
Turbidités	70	UNT
pH	6.77	-
Conductivités	877	µs/cm
Duretés	209	mg/l
Alcalinités	304	mg/l
Calcium	40.72	mg/l
Magnésium	26.06	mg/l
Sodium	52.6	mg/l
Potassium	28	mg/l
Fer	2.528	mg/l
Ortho phosphates	0.34	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	371	mg/l
Sulfates	0	mg/l
Chlorures	36.2	mg/l
Manganèses	0.024	mg/l
Azote ammoniacal	0.15	mg/l
Nitrites	0.5	mg/l
Nitrates	2.4	mg/l
Indice de Ryznar	13.08	mg/l
Indice de Langélier	-1	-
Matières en solution totales	598.72	-
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	69	nb/100ml

Eau colorée, turbide et dure avec une minéralisation moyennement accentuée.
Concentration en fer élevée ; corrosion importante et une agressivité moyenne.
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 6 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Boulkassoumbougou ;
date de prélèvement: 20/02/08, heure: entre 10h et 11h00

Puits	I	Unités
Températures	24	°c
Couleurs	459	UCV
Turbidités	109	UNT
pH	6.56	-
Conductivités	370	µs/cm
Duretés	84	mg/l
Alcalinités	101	mg/l
Calcium	26.21	mg/l
Magnésium	4.51	mg/l
Sodium	35.5	mg/l
Potassium	13.2	mg/l
Fer	1.972	mg/l
Ortho phosphates	0.36	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	123	mg/l
Sulfates	28.25	mg/l
Chlorures	20.1	mg/l
Manganèses	0.034	mg/l
Azote ammoniacal	0.33	mg/l
Nitrites	0.005	mg/l
Nitrates	2.4	mg/l
Indice de Ryznar	13.79	-
Indice de Langélier	-1.95	-
Matières en solution totales	238.40	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	102	nb/100ml

Eau colorée, turbide et moyennement douce, concentration en fer élevée ; une corrosion importante et elle est agressive.

Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 7 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Sotiba ; date de prélèvement: 20/02/08, heure : entre 9h et 10h00

Puits	I	Unités
Températures	21	°c
Couleurs	11	UCV
Turbidités	37	UNT
pH	4.60	-
Conductivités	386	µs/cm
Duretés	27	mg/l
Alcalinités	2	mg/l
Calcium	6.73	mg/l
Magnésium	2.475	mg/l
Sodium	61	mg/l
Potassium	5.5	mg/l
Fer	0.077	mg/l
Ortho phosphates	0.3	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	2.44	mg/l
Sulfates	8	mg/l
Chlorures	45	mg/l
Manganèses	0.006	mg/l
Azote ammoniacal	0.06	mg/l
Nitrites	0.005	mg/l
Nitrates	20	mg/l
Indice de Ryznar	17.74	-
Indice de Langélier	-6.20	-
Matières en solution totales	248.71	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	28	nb/100ml

Eau colorée, turbide, douce, très acide et faiblement minéralisée ;
Eau très agressive avec une corrosion importante ;
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 8 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Djélibougou ; date de prélèvement: 28/02/08, heure : 10h30mn et 11h00

Puits	I	Unités
Températures	26	°c
Couleurs	0	UCV
Turbidités	4	UNT
pH	4.50	-
Conductivités	277	µs/cm
Duretés	31	mg/l
Alcalinités	0	mg/l
Calcium	7.77	mg/l
Magnésium	2.816	mg/l
Sodium	37.5	mg/l
Potassium	4.10	mg/l
Fer	0.076	mg/l
Ortho phosphates	0.27	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	0	mg/l
Sulfates	30.5	mg/l
Chlorures	35.4	mg/l
Manganèses	0.025	mg/l
Azote ammoniacal	0.02	mg/l
Nitrites	0.011	mg/l
Nitrates	10.2	mg/l
Indice de Ryznar	-4.5	-
Indice de Langélier	-6.38	-
Matières en solution totales	191.85	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	91	nb/100ml

Eau non colorée, peu turbide ;
Eau très acide, douce et faiblement minéralisée ;
Eau agressive et non corrosive ;
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 9 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Samanko ; date de prélèvement: 28/02/08, heure : entre 10h30mn et 11h00

Puits	I	Unités
Températures	29	°c
Couleurs	102	UCV
Turbidités	34	UNT
pH	6.85	-
Conductivités	1430	µs/cm
Duretés	354	mg/l
Alcalinités	340	mg/l
Calcium	50.98	mg/l
Magnésium	55.052	mg/l
Sodium	150	mg/l
Potassium	12.5	mg/l
Fer	0.769	mg/l
Ortho phosphates	0.28	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	415	mg/l
Sulfates	200.75	mg/l
Chlorures	91.2	mg/l
Manganèses	0.15	mg/l
Azote ammoniacal	0.055	mg/l
Nitrites	0.008	mg/l
Nitrates	0.1	mg/l
Indice de Ryznar	12.92	-
Indice de Langélier	-0.85	-
Matières en solution totales	976.25	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	113	nb/100ml

Eau colorée, turbide, dure et chargée en sels minéraux ;
Eau très peu agressive avec une corrosion importante ;
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 10 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Bakarybougou ; date de prélèvement: 20/02/08, heure : entre 8h00 et 8h30mn

Puits	I	Unités
Températures	24	°c
Couleurs	138	UCV
Turbidités	28	UNT
pH	5.15	-
Conductivités	171.5	µs/cm
Duretés	11	mg/l
Alcalinités	15	mg/l
Calcium	2.96	mg/l
Magnésium	0.876	mg/l
Sodium	21.5	mg/l
Potassium	19.5	mg/l
Fer	0.254	mg/l
Ortho phosphates	0.52	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	18	mg/l
Sulfates	17	mg/l
Chlorures	28	mg/l
Manganèses	0.017	mg/l
Azote ammoniacal	0.17	mg/l
Nitrites	0.007	mg/l
Nitrates	1.60	mg/l
Indice de Ryznar	16.64	-
Indice de Langélier	-5.08	-
Matières en solution totales	119.13	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	97	nb/100ml

Eau colorée, turbide, douce et peu acide ;
Eau faiblement minéralisée, agressive avec une corrosion importante ;
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 11 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Bougouba ; date de prélèvement: 20/02/08, heure : entre 8h30mn et 9h00

Puits	I	Unités
Températures	25	°c
Couleurs	30	UCV
Turbidités	63	UNT
pH	6.76	-
Conductivités	830	µs/cm
Duretés	206	mg/l
Alcalinités	138	mg/l
Calcium	30.46	mg/l
Magnésium	31.55	mg/l
Sodium	66	mg/l
Potassium	16.5	mg/l
Fer	0.469	mg/l
Ortho phosphates	0.32	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	204	mg/l
Sulfates	145	mg/l
Chlorures	36.6	mg/l
Manganèses	0.020	mg/l
Azote ammoniacal	0.09	mg/l
Nitrites	0.040	mg/l
Nitrates	8.20	mg/l
Indice de Ryznar	13.41	-
Indice de Langélier	-1.48	-
Matières en solution totales	534.79	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	93	nb/100ml

Eau colorée, turbide, dure et chargée en sels minéraux avec une concentration en fer légèrement élevée ;

Eau très corrosive et peu agressive ;

Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 12 : Les résultats de l'échantillon prélevé au sans fil ; date de prélèvement: 20/02/08, heure : 8h et 9h00

Puits	I	Unités
Températures	23	°c
Couleurs	159	UCV
Turbidités	67	UNT
pH	6.72	-
Conductivités	545	µs/cm
Duretés	143	mg/l
Alcalinités	126	mg/l
Calcium	25.81	mg/l
Magnésium	19.075	mg/l
Sodium	52	mg/l
Potassium	21.5	mg/l
Fer	0.097	mg/l
Ortho phosphates	0.32	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	154	mg/l
Sulfates	89	mg/l
Chlorures	26.8	mg/l
Manganèses	0.069	mg/l
Azote ammoniacal	0.31	mg/l
Nitrites	0.000	mg/l
Nitrates	3.1	mg/l
Indice de Ryznar	13.58	-
Indice de Langélier	-1.70	-
Matières en solution totales	351.79	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	111	nb/100ml

Eau colorée, turbide et moyennement douce et avec une minéralisation moyenne ;
Eau peu agressive avec une importante corrosion ;
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 13 : Les résultats de l'échantillon prélevé en Zone industrielle ; date de prélèvement: 20/02/08, heure: 8h et 9h00

Puits	I	Unités
Températures	29	°c
Couleurs	82	UCV
Turbidités	68	UNT
pH	7.07	-
Conductivités	480	µs/cm
Duretés	131	mg/m
Alcalinités	126	mg/l
Calcium	42.80	mg/l
Magnésium	5.616	mg/l
Sodium	35	mg/l
Potassium	3.2	mg/l
Fer	0.286	mg/l
Ortho phosphates	0.45	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	160	mg/l
Sulfates	8.6	mg/l
Chlorures	19.6	mg/l
Manganèses	0.021	mg/l
Azote ammoniacal	0.190	mg/l
Nitrites	0.009	mg/l
Nitrates	2.3	mg/l
Indice de Ryznar	13.02	mg/l
Indice de Langélier	-1.03	mg/l
Matières en solution totales	309.27	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	123	nb/100ml

Eau colorée, turbide, moyennement douce et faiblement minéralisée ;
Eau très corrosive et peu agressive ;
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 14 : Les résultats des échantillons prélevés à Paradjicoroni ; date de prélèvement: 19/02/08, heure: 8h et 9h00

Puits	I	II	III	IV	Unités
Températures	21	23	23	19	°c
Couleurs	90	47	0	27	UCV
Turbidités	50	21	10	25	UNT
pH	5.36	5.49	4.80	4.89	-
Conductivité	152.3	148	161.2	86.7	µs/cm
Duretés	23	46	36	16	mg/l
Alcalinités	20	20	3	3	mg/l
Calcium	4.49	12.1	10.6	2.96	mg/l
Magnésium	2.862	3.83	2.523	2.090	mg/l
Sodium	14.90	9.1	13.6	6.6	mg/l
Potassium	16	3.1	10.2	2.7	mg/l
Fer	0.120	0.068	0.019	0.402	mg/l
Ortho phosphates	0.31	0.31	0.29	0.13	mg/l
Carbonates	0	0	0	0	mg/l
Bicarbonates	24	24	30.5	4	mg/l
Sulfates	0.5	0	0	1.25	mg/l
Chlorures	11.90	20.5	4	12.60	mg/l
Manganèses	0.014	0.003	0.018	0.005	mg/l
Azote ammoniacal	0.11	0.02	0.06	0.08	mg/l
Nitrites	0.006	0.006	0.010	0.011	mg/l
Nitrates	8.4	6.5	8.5	2.70	mg/l
Indice de Ryznar	16.17	15.66	17.13	17.44	-
Indice de Langélier	-4.56	-4	-5.57	-6.06	-
Matières en solution totales	129.64	126.22	137.3	74.20	mg/l
Coliformes totaux	> 200	> 200	> 200	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	> 200	> 200	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	63	71	53	39	nb/100ml

Puits **I**, **II** et **IV** ont des eaux colorées, turbides, douces et faiblement minéralisées ;
Ils ont des eaux acides, très corrosives et très agressives ;

Eaux de mauvaise qualité bactériologique.

Puits **III** a une eau non colorée, mais turbide et douce ;

Eau très acide, faiblement minéralisée, très agressive avec corrosion importante ;

Eau de mauvaise qualité bactériologique.

Tableau 15 : Les résultats des échantillons prélevés à Bacodjicoroni ; date de prélèvement: 24/02/08, heure: 7h30mn et 8h00

Puits	I	II	III	IV	Unités
Températures	28	17	27	28	°c
Couleurs	10	100	38	217	UCV
Turbidités	210	58	56	100	UNT
pH	4.18	5.18	5.71	6.17	-
Conductivité	279	116	306	498	µs/cm
Duretés	27	27	44	38	mg/l
Alcalinités	0	16	10	73	mg/l
Calcium	6.17	5.61	13.55	11.30	mg/l
Magnésium	2.815	3.155	2.468	2.375	mg/l
Sodium	42.5	11.20	36.5	79	mg/l
Potassium	2.7	1.20	8.2	21	mg/l
Fer	3.590	1.011	0.087	0.302	mg/l
Ortho phosphates	0.20	0.38	0.55	0.22	mg/l
Carbonates	0.854	0	0	0	mg/l
Bicarbonates	0	20	12	89	mg/l
Sulfates	0	8	4.5	46	mg/l
Chlorures	55.5	20.20	35.5	40.5	mg/l
Manganèses	0.019	0.035	0.004	0.016	mg/l
Azote ammoniacal	0.76	0.00	0.22	0.23	mg/l
Nitrites	0.005	0.005	0.004	0.004	mg/l
Nitrates	7.5	0.5	12.5	9.5	mg/l
Indice de Ryznar	-4.17	17.49	15.75	14.64	-
Indice de Langélier	-6.80	-4.77	-3.99	-2.75	-
Matières en solution totales	193.24	98.93	211.94	320.9	mg/l
Coliformes totaux	> 200	23	> 200	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	10	> 200	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	132	3	109	116	nb/100ml

Eaux colorées, turbides, acides et faiblement minéralisées avec des concentrations en fer élevées ;

Eaux très agressives et eaux de mauvaise qualité bactériologique. (P I et II)

Eau non corrosive mais très acide. (P I)

Eaux très corrosives. (P II, III et IV)

Eaux colorées, turbides, douces et faiblement minéralisées ;

Eaux agressives et eaux de mauvaise qualité bactériologique. (P III et IV)

Eau acide. (P III)

Tableau 16 : Les résultats des échantillons prélevés à Kalaban coura ; date de prélèvement: 23/02/08, heure: 9h00 et 9h30mn

Puits	I	II	III	Unités
Températures	20	27	26	°c
Couleurs	230	9	106	UCV
Turbidités	72	12	100	UNT
pH	7.31	6.96	6.71	-
Conductivité	830	573	601	µs/cm
Duretés	258	179	197	mg/l
Alcalinités	313	213	248	mg/l
Calcium	48.12	59.21	25.22	mg/l
Magnésium	33.47	7.56	30.60	mg/l
Sodium	44	30.05	29	mg/l
Potassium	9	8.6	8	mg/l
Fer	5.140	0.361	1.570	mg/l
Ortho phosphates	0.21	0.36	0.14	mg/l
Carbonates	0	0	0	mg/l
Bicarbonates	382	260	303	mg/l
Sulfates	21.25	28.25	0	mg/l
Chlorures	25	8	8	mg/l
Manganèses	0.018	0.008	0.021	mg/l
Azote ammoniacal	0.69	0.00	0.24	mg/l
Nitrites	0.005	0.005	0.002	mg/l
Nitrates	0.9	0.8	1.10	mg/l
Indice de Ryznar	12.46	12.84	13.36	-
Indice de Langélier	-0.48	-0.77	-1.33	-
Matières en solution totales	534.79	369.20	387.24	mg/l
Coliformes totaux	> 200	> 200	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	67	> 200	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	18	99	21	nb/100ml

Eaux de concentrations en fer élevées. (P **I** et **III**)

Eaux colorées, turbides, dures et minéralisations moyennement accentuées ;

Eaux peu agressives mais avec des corrosions importantes et de mauvaise qualité bactériologique. (P **I**, **II** et **III**)

Tableau 17 : Les résultats des échantillons prélevés à Daoudabougou ; date de prélèvement: 19/02/08, heure: 8h et 9h00

Puits	I	II	III	Unités
Températures	25	26	22	°c
Couleurs	240	54	3	UCV
Turbidités	125	19	5	UNT
pH	6.09	4.81	6.66	-
Conductivité	299	320	1108	µs/cm
Duretés	80	61	223	mg/l
Alcalinités	63	3	159	mg/l
Calcium	18.99	15.07	53.14	mg/l
Magnésium	7.912	5.675	21.93	mg/l
Sodium	25.4	33	32	mg/l
Potassium	5.8	6.9	26	mg/l
Fer	0.709	0.146	0.056	mg/l
Ortho phosphates	3.16	0.53	0.32	mg/l
Carbonates	0	0	0	mg/l
Bicarbonates	77	4	194	mg/l
Sulfates	45.75	38	110.75	mg/l
Chlorures	12.20	44.2	22	mg/l
Manganèses	0.052	0.036	0.007	mg/l
Azote ammoniacal	0.67	2.16	0.29	mg/l
Nitrites	0.002	0.005	0.004	mg/l
Nitrates	4.5	10.30	5.8	mg/l
Indice de Ryznar	14.55	17.07	13.36	-
Indice de Langélier	-2.66	-5.36	-1.38	-
Matières en solution totales	207.09	221.64	756.42	mg/l
Coliformes totaux	> 200	> 200	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	> 200	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	77	43	53	nb/100ml

Eau colorée, turbide, moyennement douce et faiblement minéralisée avec une concentration en ortho phosphate élevée ; eau corrosive et agressive avec une mauvaise qualité bactériologique. (P I)

Eau colorée, turbide, très acide, douce et faiblement minéralisée ; eau très corrosive et très agressive avec une mauvaise qualité bactériologique.

(P II)

Eau peu colorée, peu turbide, dure et chargée en sels minéraux ; eau corrosive et peu agressive avec une mauvaise qualité bactériologique.

(P III)

Tableau 18 : Les résultats des échantillons prélevés à Magnambougou ; date de prélèvement: 04/03/08, heure: 10h30mn et 11h00

Puits	I	II	Unités
Températures	26	26	°c
Couleurs	780	570	UCV
Turbidités	266	249	UNT
pH	4.56	6.29	-
Conductivité	221	517	µs/cm
Duretés	19	73	mg/l
Alcalinités	3	42	mg/l
Calcium	3.77	18.99	mg/l
Magnésium	2.328	6.212	mg/l
Sodium	31	60	mg/l
Potassium	11	17.5	mg/l
Fer	0.851	1.972	mg/l
Ortho phosphates	0.32	0.14	mg/l
Carbonates	0	0	mg/l
Bicarbonates	4	51.24	mg/l
Sulfates	38	78.5	mg/l
Chlorures	27	56.5	mg/l
Manganèses	0.004	0.094	mg/l
Azote ammoniacal	0.41	0.39	mg/l
Nitrites	0.007	0.004	mg/l
Nitrates	6	7	mg/l
Indice de Ryznar	16.44	14.54	-
Indice de Langélier	-6.15	-2.64	-
Matières en solution totales	153.07	333.11	mg/l
Coliformes totaux	> 200	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	2	39	nb/100ml

Eau colorée, turbide, douce, faiblement minéralisée et très acide ;

Eau très agressive avec une corrosion importante ;

Eau de mauvaise qualité bactériologique. (P I)

Eau colorée, turbide, douce, faiblement minéralisée avec une concentration en fer élevée ;

Eau agressive avec une corrosion importante ;

Eau de mauvaise qualité bactériologique. (P II)

Tableau 19 : Les résultats des échantillons prélevés à Niamacoro ; date de prélèvement: 23/02/08, heure: 10h00 et 10h30mn

Puits	I	II	Unités
Températures	24	27	°c
Couleurs	118	172	UCV
Turbidités	114	65	UNT
pH	6.69	6.48	-
Conductivité	636	715	µs/cm
Duretés	115	192	mg/l
Alcalinités	200	174	mg/l
Calcium	29.58	39.20	mg/l
Magnésium	9.989	22.855	mg/l
Sodium	75	58	mg/l
Potassium	20	20.5	mg/l
Fer	4.290	0.680	mg/l
Ortho phosphates	0.14	0.09	mg/l
Carbonates	0	0	mg/l
Bicarbonates	244	212	mg/l
Sulfates	26.75	60.25	mg/l
Chlorures	23.8	65.8	mg/l
Manganèses	0.006	0.008	mg/l
Azote ammoniacal	0.00	0.26	mg/l
Nitrites	0.005	0.004	mg/l
Nitrates	0.20	0.60	mg/l
Indice de Ryznar	13.41	13.57	-
Indice de Langélier	-1.5	-1.55	-
Matières en solution totales	409.79	460.69	mg/l
Coliformes totaux	> 200	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	57	18	nb/100ml

Eau colorée, turbide, moyennement douce avec une minéralisation moyenne ;
Eau peu agressive avec une corrosion importante et une concentration en fer élevée ;

Eau de mauvaise qualité bactériologique. (P I)

Eau colorée, turbide, dure et moyennement minéralisée ;

Eau corrosive mais peu agressive ;

Eau de mauvaise qualité bactériologique. (P II)

Tableau 20 : Les résultats de l'échantillon prélevé à Faladjè ; date de prélèvement: 19/02/08, heure: 8h30mn et 9h00

Puits	I	Unités
Températures	18	°c
Couleurs	7	UCV
Turbidités	13	UNT
pH	5.83	-
Conductivité	316	µs/cm
Duretés	49	mg/l
Alcalinités	38	mg/l
Calcium	11.70	mg/l
Magnésium	4.804	mg/l
Sodium	35.5	mg/l
Potassium	15.5	mg/l
Fer	0.078	mg/l
Ortho phosphates	0.27	mg/l
Carbonates	0	mg/l
Bicarbonates	46	mg/l
Sulfates	49.25	mg/l
Chlorures	30.2	mg/l
Manganèses	0.028	mg/l
Azote ammoniacal	0.01	mg/l
Nitrites	0.005	mg/l
Nitrates	4.4	mg/l
Indice de Ryznar	15.19	-
Indice de Langélier	-3.45	-
Matières en solution totales	218.87	mg/l
Coliformes totaux	> 200	nb/100ml
Coli thermo tolérant	> 200	nb/100ml
Strepto. Fécaux	0	nb/100ml

Eau peu colorée, turbide, douce, peu acide et faiblement minéralisée ;
Eau agressive avec une corrosion importante ;
Eau de mauvaise qualité bactériologique.

VII- COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS :

1- Echantillonnage : Tous les échantillons ont été prélevés avant 12h00, donc dans la matinée du 19/02 au 03/03 2008 soit une durée de 14 jours. Au cours de cet échantillonnage, on a posé ces deux questions suivantes à certains maraîchers :

- Quelles qualités d'engrais utilisez-vous ?
- Pourquoi vous ne fermez pas ces puits du maraîchage ?

La plupart de ces maraîchers interrogés ont répondu à ces questions comme suit : Nous utilisons généralement trois qualités d'engrais (engrais chimiques, engrais organiques ou fumiers et l'urée) et les pesticides dont leurs noms sont ignorés par ces maraîchers.

D'autres ont dit qu'ils n'utilisent que des engrais organiques et les pesticides.

Pour la seconde question, nous ne fermons pas ces puits car c'est inutile de les fermer.

D'autres ont dit que leurs moyens ne les permettent pas de fermer ces puits, d'ailleurs, la fermeture n'a rien avoir avec la qualité de ces eaux de puits maraîchers.

Parmi ces 30 puits, un seul était fermé à Paradjicoroni qui appartient à une vieille dame. Elle a dit qu'elle ferme ce puits pour le protéger contre les ordures puis qu'elle consomme son eau comme eau de boisson.

Mais ce puits est mal fermé.

Trois puits sont proches du fleuve à 100m au moins et 200m au plus (**PIV** de Bacodjicoroni et **PI** et **II** de Magnambougou).

Deux puits sont proches des dépôts d'ordures (**PI** de Niamacoro et **P** de Sans fil).

Trois sont proches du marigot (les trois puits de Kalaban coura).

2- Les analyses :

2.1- Les analyses physiques :

Les résultats des analyses physiques des eaux prélevées sur les différents sites révèlent :

- Tous les échantillons ont des températures élevées, elles varient entre 17°C qui a été observé à Bacodjicoroni (PII) et 29°C observée à Samanko et en Zone industrielle. Ces températures ne correspondent pas aux normes de l'OMS.

L'élévation de la température explique la forte pollution bactériologique des échantillons.

La température la plus élevée a été observée en rive gauche tandis que la plus basse a été observée en rive droite.

- Les pH varient entre 4,18 observé à Bacodjicoroni (PI) et 7,31 observé à Kalaban coura (PI).

En rive droite et en rive gauche, 40% des échantillons sont acide et qui ne correspondent pas aux normes de l'OMS.

L'acidité peut être due à l'utilisation des engrais et des pesticides mais aussi aux ordures décomposées dans l'eau.

- Les conductivités varient entre 86,7µs/Cm observées à Paradjicoroni et 1430µs/Cm observées à Samanko. La plupart des conductivités dépassent la norme

de l'OMS. En rive droite 53,3% des échantillons sont douces tandis que 46,6% sont douces en rive gauche.

L'élévation de la conductivité est généralement due à une charge trop importante de matières minérales et organiques en suspension.

- Les turbidités varient entre 5UNT observées à Daoudabougou (**PIII**) et 266UNT observées à Magnambougou (**PI**).

Dans l'ensemble, 93,3% des échantillons sont turbides en rive droite ; on observe le même pourcentage en rive gauche. La forte turbidité s'explique par la quantité importante de débris dans les puits qui n'ont pas très souvent de margelle ou de fermeture.

- Les couleurs varient entre 0UCV observées à Djélibougou et à Paradjicoroni (**PIII**) et 780UCV observées à Magnambougou (**PI**).

En rive droite ainsi qu'en rive gauche, 86,6% des échantillons sont très colorés. Cette élévation de la couleur peut être causée par certains éléments chimiques présents dans l'eau, tels que le chlore, les sulfates, le fer, etc.

2.2- Les analyses chimiques :

- La plus forte dureté a été observée à Samanko et la plus faible a été obtenue à Bakaryougou.

En rive droite, 26,6% des échantillons sont durs tandis que 33,3% sont durs en rive gauche.

- Les chlorures varient entre 4mg/l observés à Paradjicoroni (**PIII**) et 95mg/l observés à Taliko. Toutes ces valeurs correspondent aux normes de l'OMS.

- La plupart des nitrates ne correspondent pas aux normes de l'OMS. On a observé 30,5mg/l à Taliko (la forte teneur) et 0,1mg/l à Samanko (plus faible teneur).

- La plus faible teneur en nitrites a été obtenue au Sans fil (0,000mg/l) et la plus forte à Banconi (0,500mg/l). En tenant compte la valeur limite fixée par l'OMS pour les nitrites, toutes les valeurs en nitrites des échantillons sont acceptables.

-Les teneurs en azote ammoniacal se trouvent entre 0.00mg/l obtenue à Bacodjicoroni (**PII**), Kalaban coura (**PII**) et à Niamacoro (**PI**) et 2,16mg/l à Daoudabougou (**PII**). Ces teneurs en azote ammoniacal sont tolérées par l'OMS.

- La plus forte teneur en ortho phosphate est 3,16mg/l obtenue à Daoudabougou (**PI**) et la plus faible à Niamacoro (**PII**). Toutes les valeurs en ortho phosphate obtenues se trouvent dans l'intervalle de tolérance fixée par l'OMS.

Les nitrates, les nitrites, l'azote ammoniacal et l'ortho phosphate proviennent très généralement des engrais et des pesticides utilisés pour la nutrition des plantes.

- En rive droite ainsi qu'en rive gauche, les 93,3% des échantillons ont une corrosion importante. La plus forte valeur de IR est 17,74 obtenue à Sotuba et la plus faible est -4,17 observée à Bacodjicoroni (**PI**).

- La plus forte agressivité a été observée à Bacodjicoroni (**PI**) et la plus faible a été obtenue à Kalaban coura (**PI**). Dans l'ensemble, 60% des échantillons sont agressifs en rive droite, alors que 53,3% sont agressifs en rive gauche.

- La plus faible concentration (0.019mg/l) en fer a été observée à Paradjicoroni (**PIII**) et la plus forte (5,140mg/l) à Kalaban coura (**PI**). En rive droite, 40% des échantillons ont des fortes concentrations en fer tandis qu'en rive gauche, 20% ont

des concentrations fortes. Ces échantillons ne correspondent pas aux normes de l'OMS.

- En rive gauche, les 26,6% des échantillons sont trop chargés en sels minéraux et 20% en rive droite. La plus forte concentration en sulfate est 200,75mg/l obtenue à Samanko et la plus faible est 0mg/l, observée à Banconi, Paradjicoroni (**PII** et **III**), Bacodjicoroni (PI) et à Kalaban coura (**PIII**).

- Les autres paramètres (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et HCO_3^-) respectent leurs intervalles de tolérance, fixées par l'OMS.

2.3- Les analyses bactériologiques :

Tous les échantillons ont des nombres excessifs des germes (coliformes totaux, coli thermo tolérant et Strepto. Fécaux). On a observé plus de 200 coliformes totaux et coli thermo tolérant dans tous les échantillons à l'exception des échantillons prélevés à Bacodjicoroni (**PII**) dont 23 coliformes totaux et 10 coli thermo tolérants et à Kalaban coura (**PI**) dont 67 coli thermo tolérants.

Partout, on observe plus de 2 Strepto. Fécaux. Aucun des échantillons ne correspond aux normes de l'OMS sur le plan bactériologique.

Donc toutes ces eaux analysées sont bactériologiquement souillées. Ces fortes souillures sont très souvent causées par des déjections humaines ou des excréments et les excréments animaux.

NB : Ces eaux ne correspondent pas aux normes d'une eau consommable. Elles ont une très mauvaise qualité pour la consommation.

Comparativement, ces eaux ont la même qualité que celles analysées par **Mme DIAWARA Badihara DIARRA** et **Mr Adaman TRAORE** qui ont menés leurs études sur l'influence du maraîchage sur la qualité des eaux de puits (7puits en rive droite pour **Mme DIAWARA**) et (7puits en rive gauche pour **Mr TRAORE**) en 2008.

Tableau 21 : Classification des 15 puits de la rive droite selon certaines caractéristiques non souhaitées.

Effectifs (ni) = nombres de puits ; Fréquences (fi).

Caractéristiques non souhaitées	ni	Fi
Colorées	13	0.866
Turbides	14	0.933
Dures	4	0.266
Douces	8	0.533
Chargées en sels minéraux	3	0.200
Concentration en fer élevée	6	0.400
Corrosion importante	14	0.933
Agressivités élevées	9	0.600
Acides	6	0.400
Mauvaise qualité bactériologique	15	1
Totaux	15	-

Figure 1 : La représentation graphique de ces caractéristiques non souhaitées.

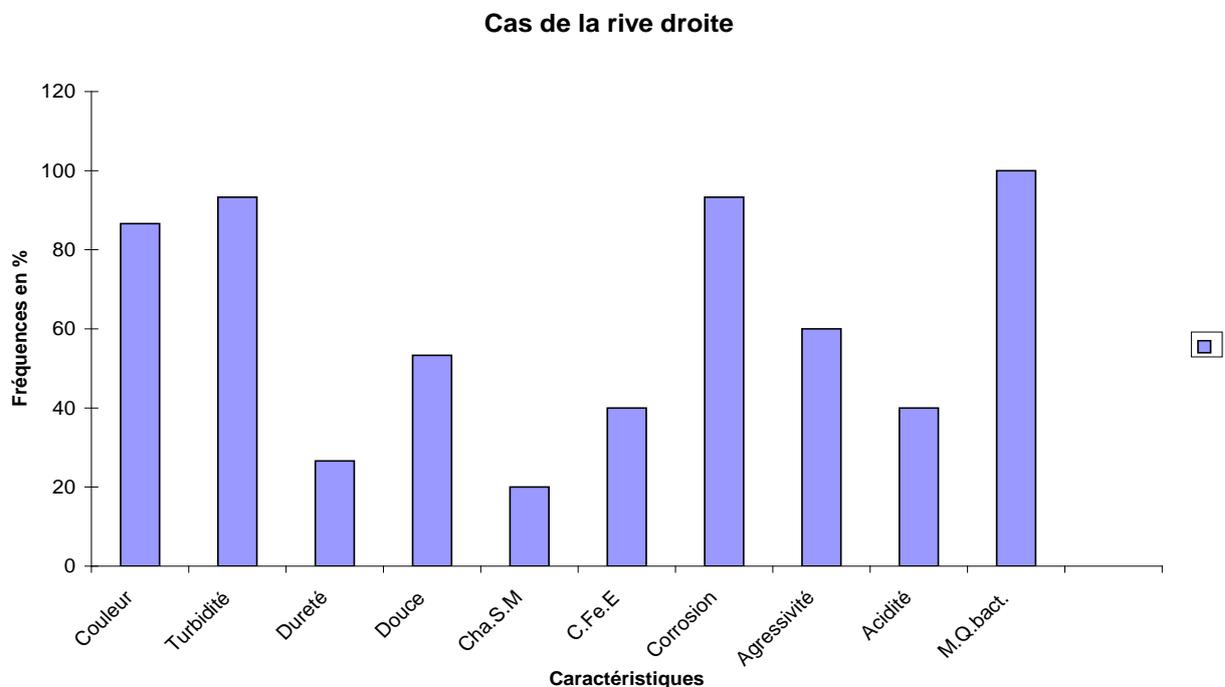


Tableau 22 : Classification des 15 puits de la rive gauche selon certaines caractéristiques non souhaitées.

Effectifs (ni) = nombre de puits et fi = fréquences.

Caractéristiques non souhaitées	ni	Fi
Colorées	13	0.866
Turbides	14	0.933
Dures	5	0.333
Douces	7	0.466
Chargées en sels minéraux	4	0.266
Concentration en fer élevée	3	0.200
Corrosion importante	14	0.933
Agressivités élevées	8	0.533
Acides	6	0.400
Mauvaise qualité bactériologique	15	1
Totaux	15	-

Figure 2 : Représentation graphique de ces caractéristiques non souhaitées.

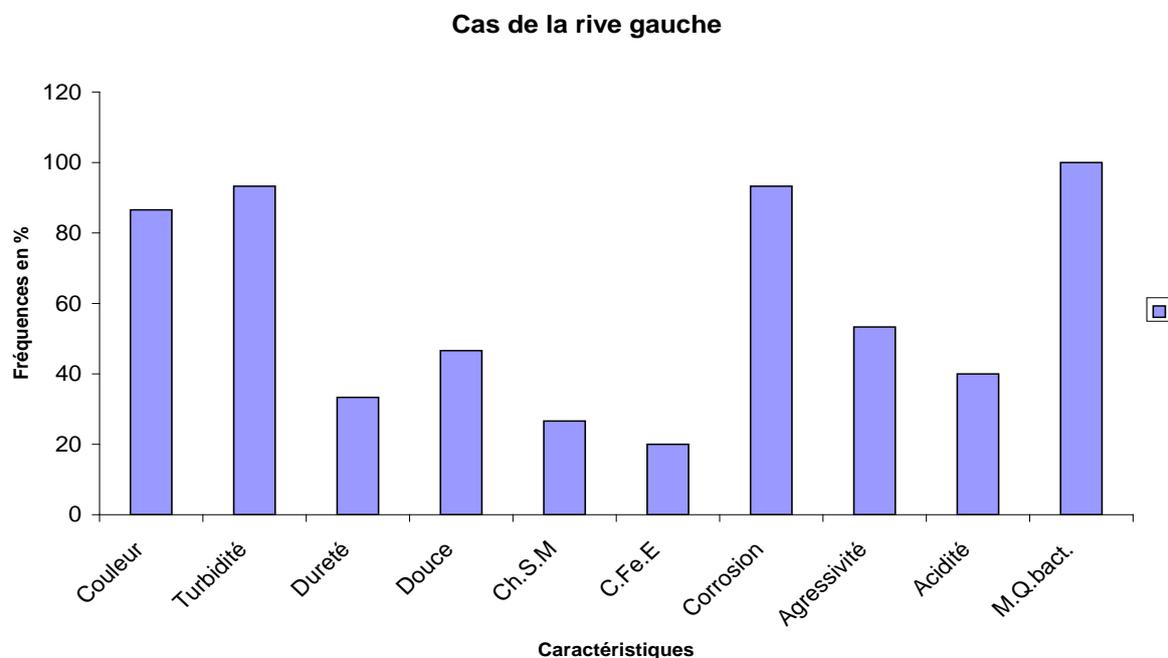
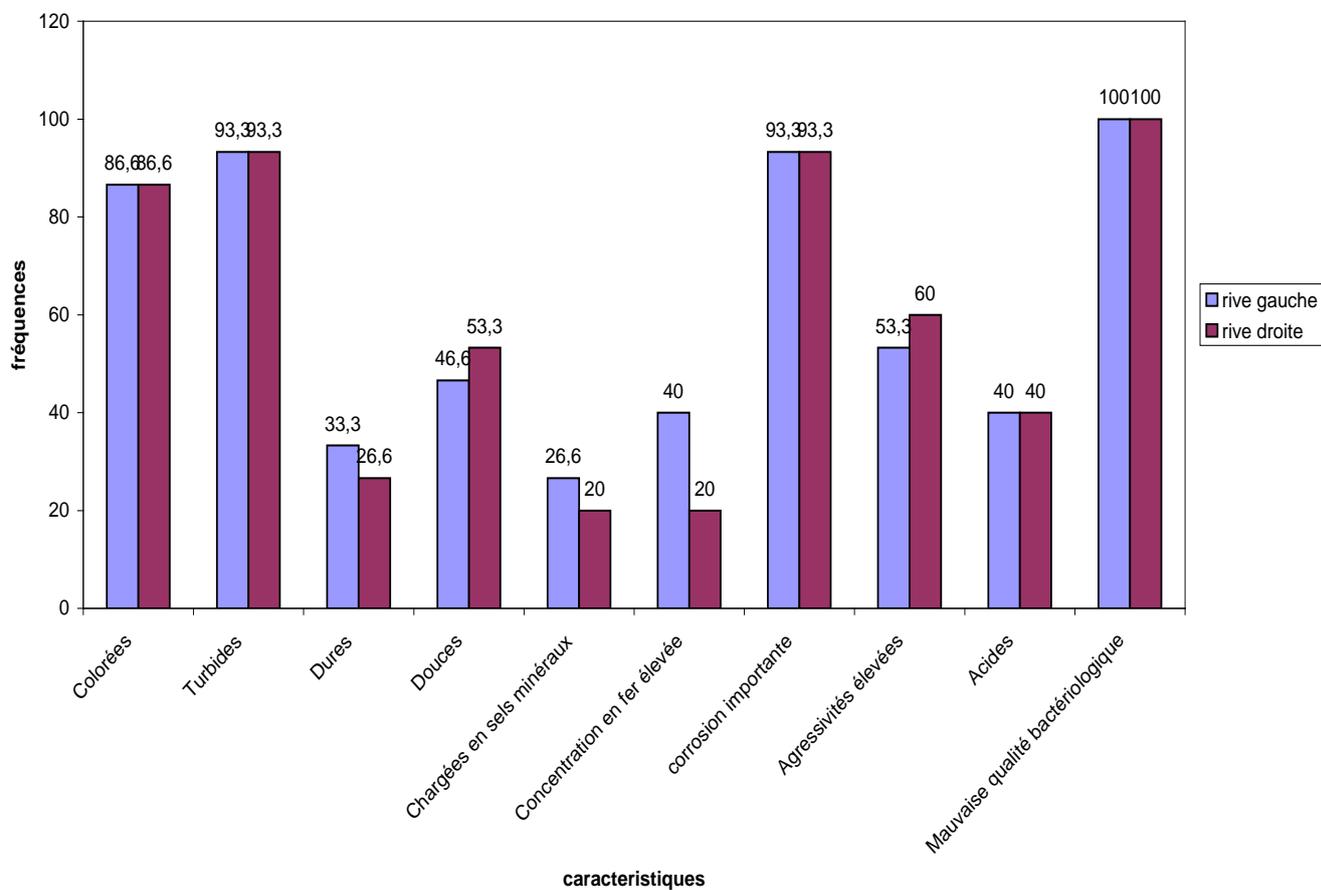


Figure 3 : Comparaison des cas de deux rives



VIII- CONCLUSIONS :

Le laboratoire de la qualité des eaux de la Direction Nationale de l'Hydraulique de Bamako est un service de grande importance dans notre pays, car la qualité de l'eau est un élément primordial pour la santé publique. Il revient alors de faire de ce service une priorité au Mali, en la dotant de moyens technologiques pour qu'il puisse donner des résultats d'analyses plus fiables, parce que les eaux souterraines en circulant transportent les polluants dans le sol.

La connaissance des caractéristiques hydrodynamiques, hydro chimiques et hydro biologiques des sols est indispensable pour toute étude sur la pollution des eaux souterraines.

La plupart des paramètres physiques analysés au cours de cette étude, ne correspondent pas aux normes de l'OMS.

L'acidité que nous avons observée au niveau de certains échantillons s'explique par l'apport d'éléments étrangers comme les engrais, les pesticides ainsi que des précipitations. Le pH bas de ces échantillons est assez problématique pour les maraîchers car le pH d'un sol est très important pour la fertilité, particulièrement pour sa capacité à mettre des substances nutritives à la disposition des plantes. Une acidité élevée dans le sol, provoque une diminution de la croissance des plantes.

En tenant compte des niveaux statiques des différents puits (plus de 1m en dessous de la surface du sol), l'élévation de la conductivité peut être s'expliquer par l'apport des sels minéraux aux plantes.

La turbidité importante observée est essentiellement due à l'exposition à l'air ambiant. L'importante coloration de ces échantillons est due aux débris et à l'insuffisance de la quantité d'eau dans les puits.

L'analyse des paramètres chimiques nous révèle :

De fortes concentrations en nitrites, en nitrates et en azote ammoniacal ont été constatés dans certains échantillons ; ces fortes teneurs ont origine les différents intrants agricoles. Il existe aussi des sources naturelles de nitrate tel que : les pluies, l'urine des animaux et les déjections humaines.

Ces dernières (l'urine des animaux et les déjections humaines) contiennent de l'ammoniac et de l'urée (contenant de l'azote), qui peuvent être rapidement oxydés en nitrates dans le sol.

Le taux de fer trop élevé a été aussi observé dans certains échantillons.

La plupart de ces eaux analysées sont agressives et très corrosives.

Aucun échantillon ne correspond aux normes bactériologiques de l'OMS.

Cette étude bactériologique a seulement concerné les coliformes totaux, les colis thermo tolérants et les Strepto fécaux.

Les eaux de ces puits sont 100% bactériologiquement souillées.

La présence de ces nombreux germes peut non seulement être due aux détriments ou déjections humains et animaux mais aussi aux ordures décomposées dans les eaux de puits.

Ces analyses ont montrés que, toutes les eaux analysées sont dangereuses pour la santé de la population. Toutes ces eaux sans traitement peuvent provoquer des maladies diarrhéiques et d'autres maladies hydriques.

IX- RECOMMANDATIONS :

1- A l'autorité :

- Contrôler à tous moment la qualité des eaux de puits maraîchers et informer la population pour la fermeture de ces puits ;
- Réglementer la construction des puits du maraîchage.

2- Aux maraîchers :

- Procéder à la fermeture des puits maraîchers et éviter l'utilisation fréquente des engrais et pesticides ;
- procéder à un traitement périodique de ces eaux de puits avec le permanganate, l'eau de javel, la chaux vive etc.

3- A la population :

- Désinfecter les légumes arrosés par ces eaux à consommer crus avant la consommation avec l'eau de javel ou avec le permanganate ;
- De ne pas utiliser ces eaux comme eaux de boisson en dehors du traitement.

4- Aux responsables du laboratoire :

- La bonne organisation du laboratoire c'est-à-dire la responsabilisation des différentes tâches aux différents personnels,
- Procéder à l'entretien permanent des matériels d'analyses et la bonne conservation des réactifs ;
- Multiplier une telle étude au laboratoire pour la prévention des maladies hydriques.

X- BIBLIOGRAPHIE :

1- Ouvrages :

1.1- Cours de chimie des eaux de la FAST de **Prof Cissé** et **Kalifa Kéïta** de 2005 à 2007 ;

1.2- Mémoire de **Halloumi Faten** en 2007 (un document de 25 pages) ;

1.3- Dombia A : Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de puits des zones Maraîchères dans le district de Bamako (Mémoire de DEA en Mars 2002) ;

1.4- Koné Daouda : Analyse bactériologique des eaux de puits dans certains quartiers périphériques de Bamako (Thèse de pharmacie, 62 pages en 1990) ;

1.5- Mme Diawara Badiahara Diarra : Evaluation de l'influence du Maraîchage sur la qualité des eaux de puits dans le district de Bamako (rive droite), **Adaman Traoré** (rive gauche) (Rapport de stage : DUT en 2008) ;

1.6- Abdoulaye Coulibaly : Etude de l'équilibre calco-carbonique des eaux de forages en commune IV du district de Bamako et ses environs. (Rapport de stage : DUT en 2008) ;

1.7- Hassimi Daga Maïga et collègues : Modes opératoires de quelques méthodes d'analyses chimiques de l'eau. (Rapport de stage en 2008) ;

1.8- J Rodier : **L'analyse de l'eau** (Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux des mers) ERS-Villard, France 8^{ème} édition (1996) ;

1.9- Dictionnaire : Petit Larousse illustré 1985.

2- Internet :

2.1- Code de la santé publique, eau destinée à la consommation humaine. Ministère des affaires sociales et de solidarité, mars 1991 et FURRY (1997) les eaux souterraines en Picardie : Mém. DESS environnement, université **Picardie Jules Verner** 30 pages + annexes (« [http://Fr.wikipedia.org/wiki/Eau potable](http://Fr.wikipedia.org/wiki/Eau_potable) » catégories : **Article à internationaliser/Eau/Hygiène**) ;

2.2- Rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau (2002 et 2003) : UN/wwAP. Rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau, **Africa Environnement outlook (PNUE en 2002)**.

XI- ANNEXES :

1- Matérielles et produits :

1.1- Conductivité :

- **Produits :** Eau distillée et l'échantillon à analyser.
- **Matérielles :** Un conductimètre WTW-LF521 et deux béchers de 250ml.

1.2- pH :

- **Produits :** Une solution tampon de pH 7, une solution tampon de pH 4, eau distillée et l'échantillon.
- **Matérielles :** Un ph-mètre de marque CRISON, un agitateur magnétique, un barrot aimanté, deux béchers de 250 ml, une éprouvette graduée de 100 ml, un papier fin et une burette digitale automatique.

1.3- Turbidité :

- **Produits :** Eau distillée et échantillon à analyser.
- **Matérielles :** Un turbidimètre HACH modèle 2100A et une cuve de 25 ml.

1.4- Calcium :

- **Produits :** Une solution d'EDTA à 0.01M, une solution de soude caustique à 1M, calcons en poudre comme indicateur, eau distillée et échantillon.
- **Matérielles :** Une burette graduée de 50 ml, une éprouvette graduée de 50 ml, une pipette graduée de 10 ml, un erlenmeyer de 250 ml et un agitateur magnétiques et ses barrots aimantés.

1.5- Sodium et potassium :

- **Produits :**
 - **Pour Na⁺ :** Une solution mère de 1000mg/l, une solution fille de 100mg/l, des solution tampons de : 0.5 ; 0.10 ; 0.15 ; 0.20 mg/l.
 - **Pour K⁺ :** Une solution mère de 1000mg/l, une solution fille de 100mg/l et des solutions étalons de : 0.2 ; 2 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10mg/l.
 - **Pour les deux :** Eau distillée et échantillon à analyser.
- **Matérielles :** Un spectrophotomètre à flamme, un compresseur, une bombonne de gaz et des béchers de 100ml.

1.6- Nitrate :

- **Produits :** NitraVer5, eau distillée et échantillon.
- **Matérielles :** Un spectrophotomètre DR/2010, de erlenmeyer de 150ml et une cuve de 25ml.

1.7- Sulfates :

- **Produits :** Solution de conditionnement, chlorure de baryum, eau distillée et échantillon.
- **Matérielles :** Un turbidimètre de marque 2100A, une éprouvette graduée de 100ml, un agitateur magnétique et ses barrots aimantés, des erlenmeyers de 150ml et une cuve de 25ml.

1.8- Bactériologies :

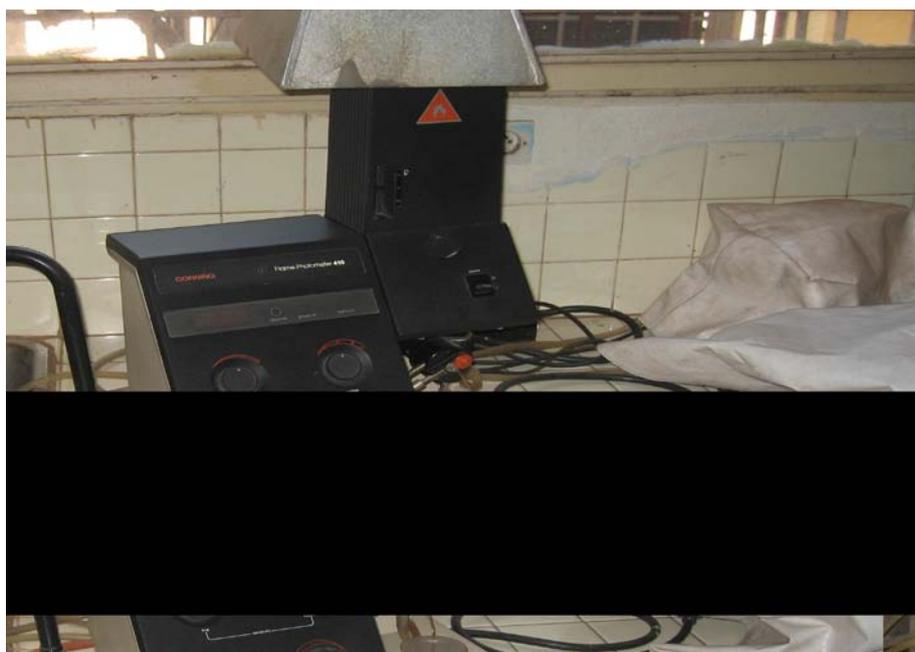
- **Produits** : Solutions des milieux de cultures (rouge et bleue), échantillon.
- **Matérielles** : Gaz butane, les lames filtrantes, la pompe à vide, le moteur, la pince, les boîtes à pétries et les milieux de cultures, les étiquettes et les étuves.

2- Images :

2.1- Conductimètre WTW modèle LF521 :



2.2- Spectrophotomètre à flamme 410A :



2.3- Ph-mètre :



2.4- Turbidimètre HACH 2100A :



2.5- Spectrophotomètre DR/2010 :



2.6- Distillateur :



3- FICHE TECHNIQUE :

4- Fiche signalétique et Résumés :

4.1- Fiche signalétique :

Nom : DIARRA

Pays d'origine : MALI

Prénoms : Siratigui

Ville de soutenance : Bamako

Thème : L'évaluation de la qualité des eaux de puits du maraîchage dans le district de Bamako.

Mots clés : Evaluation, qualité, eaux, puits et maraîchage.

Domaine : Chimie des eaux et Santé publique.

4.2- Résumés :

L'objectif de cette thèse est d'évaluer la qualité des eaux de puits du maraîchage dans le district de Bamako.

Pour la réalisation de cette thèse, nous avons prélevé 30 échantillons dont 15 dans la rive droite et 15 dans la rive gauche.

Cette étude a concerné non seulement les analyses physico-chimiques mais aussi les analyses bactériologiques.

La plupart des résultats obtenus ne sont pas conforme aux données de l'OMS :

Tous les échantillons ont une température élevée et une mauvaise qualité bactériologique.

En rive droite et en rive gauche 40% des échantillons sont acide ; 53,3% sont douces en rive droite contre 46,6% en rive gauche.

Dans l'ensemble, 93,3% des échantillons sont turbides et 86,6% sont très colorés.

En rive droite aussi bien qu'en rive gauche, 93,3% des échantillons ont une importante corrosion.

Une importante agressivité a été observée partout.

Ces résultats montrent que tous ces échantillons ont une mauvaise qualité physico-chimique et bactériologique, alors toutes ces eaux sont dangereuses pour la santé.

Toutes ces analyses ont été effectuées au Laboratoire National de l'Hydraulique qui joue aujourd'hui un rôle important dans la consommation de l'eau potable au Mali.