

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
DEDICACES	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES ABREVIATIONS	ix
RESUME	x
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I.1. Généralités sur l'eau.....	5
I.1.1. Définition	5
I.1.2. Propriétés physico-chimiques	6
I.1.3. Cycle de l'eau.....	8
I.2. Généralités sur les eaux étudiées	9
I.2.1. Eaux de surface	9
I.2.2. Eaux souterraines	9
I.2.3. Eaux marines.....	11
I.2.4. Eaux usées.....	12
I.3. Pollution de l'eau	13
I.3.1. Généralités	13
I.3.2. Conséquences de la pollution de l'eau.....	13
I.3.2.1. Conséquences sur la santé humaine.....	14
I.3.2.2. Conséquences sur les milieux aquatiques.....	14
I.4. Généralités sur les paramètres physico-chimiques étudiés.....	15
I.4.1. Température	15
I.4.2. Potentiel hydrogène (pH).....	15
I.4.3. Conductivité électrique (CE)	15

I.4.4. Total des solides dissous (TDS).....	16
I.4.5. Chlorures	17
I.4.5.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques	17
I.4.5.2. Toxicité et effets sur l'environnement	18
I.4.6. Sulfates.....	18
I.4.6.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques	18
I.4.6.2. Toxicité et effets sur l'environnement	19
I.4.7. Nitrates	20
I.4.7.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques	20
I.4.7.2. Toxicité et effets sur l'environnement	21
I.4.8. Phosphates.....	22
I.4.8.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques	22
I.4.8.2. Toxicité et effets sur l'environnement	23
I.4.9. Fluorures	23
I.4.9.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques	23
I.4.9.2. Toxicité et effets sur l'environnement	24
I.4.10. Dureté totale.....	25
I.5. Généralité sur les méthodes d'analyse	26
PARTIE II : PARTIE EXPERIMENTALE.....	27
II.1.Présentation de la zone d'étude	28
II.2. Sites de prélèvement.....	29
II.3. Echantillonnage	33
II.4. Matériel et Produits	33
II.4.1. Matériel.....	33
II.4.2. Produits	34
II.5. Méthodes d'analyses physico-chimiques	34
II.5.1. Mesure des paramètres physiques	34
II.5.2. Mesure des paramètres chimiques par le photomètre PF11	35
II.5.2.1. Préparation du blanc et des échantillons	35
II.5.2.2. Mode opératoire.....	37

II.5.3. Mesure de la dureté par le titrage complexométrique	37
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	38
III.1. Analyse des paramètres physiques.....	39
III.1.1. Etude du pH.....	40
III.1.2. Etude de la température.....	41
III.1.3. Etude de la Conductivité Electrique (CE).....	42
III.1.4. Etude du Total des solides Dissous (TDS).....	43
III.2. Analyse des paramètres chimiques	44
III.2.1. Etudes des ions chlorures	45
III.2.2. Etude des ions fluorures	46
III.2.3. Etude des ions sulfates	47
III.2.4. Etudes des ions nitrates	48
III.2.5. Etudes des ions phosphates	49
III.2.6. Etude de la dureté totale.....	50
III.3. Etude de la corrélation entre les paramètres physico-chimiques	51
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Présentation de la zone d'étude	29
Figure 2: Sites de prélèvement des échantillons d'eau étudiés	31
Figure 3: a) ICS, b) bassin de rejets, c) puits localisé à Khondio, d) site de rejets en mer, e) roche localisé au niveau du site de rejets en mer, f) quai de pêche de Mboro, g) étang, h) soufre laisser à la bordure de la route, i) dépôts secs au niveau site de prélèvement.	32
Figure 4: Multiparamètre de poche de type HANNA instruments pH/conductivity HI98129	34
Figure 5: Photomètre de type PF11	35
Figure 6: Variations du pH en fonction des sites de prélèvement.	40
Figure 7: Variations de la température en fonction des sites de prélèvement. ...	41
Figure 8: Variations de la conductivité électrique en fonction des sites de prélèvement.	42
Figure 9: Variations de la teneur en TDS en fonction des sites de prélèvement.	43
Figure 10: Variations de la teneur en ions chlorures en fonction des sites de prélèvement.	45
Figure 11: Variations de la teneur en ions fluorures en fonction des sites de prélèvement.	46
Figure 12: Variations de la teneur en ions sulfates en fonction des sites de prélèvement.	47
Figure 13: Variations de la teneur en ions nitrates en fonction des sites de prélèvement.	48
Figure 14: Variations de la teneur en phosphates en fonction des sites de prélèvement.	49
Figure 15: Variations de la dureté totale en fonction des sites de prélèvement..	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Teneurs de quelques ions majeurs dans l'eau de mer	11
Tableau II: Classification des eaux en fonction de leurs pH.....	15
Tableau III: Degré de minéralisation des eaux en fonction de leur conductivité.	16
Tableau IV : Qualité de l'eau en fonction du TDS.	17
Tableau V : Quelques propriétés physiques du chlore.....	17
Tableau VI: Quelques propriétés physiques du fluor.....	23
Tableau VII: Evaluation de la qualité de l'eau en fonction de la dureté.....	25
Tableau VIII : Localisation et caractérisation des différents sites.	32
Tableau IX : Composition des réactifs et gamme de mesure de l'appareil pour les éléments à analysés.	37
Tableau X: Paramètres physico-chimiques des eaux prélevées dans les différents sites étudiés de la zone de Mboro.....	39
Tableau XI : Valeurs des paramètres physiques dans les eaux de puits et les normes.	39
Tableau XII: Valeurs des paramètres chimiques dans les eaux de puits et les normes.	44
Tableau XIII : Matrice de corrélation de Pearson pour les eaux de puits.....	51

LISTE DES ABREVIATIONS

°f : Degré français

CE : Conductivité Electrique

GCO : Grande Côte Opération SA

ICS : Industrie Chimique du Sénégal

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

TDS : Total des Solides Dissous

TH : Dureté totale

RESUME

Dans ce travail, nous avons analysé certains paramètres physico-chimiques pour étudier l'influence des activités, menées dans de la zone des Niayes, sur les eaux. Les échantillons proviennent de puits, de la mer, d'étang et de bassin de rejets. Les paramètres physiques (température, pH, conductivité et TDS) ont été mesurés in situ à l'aide d'un pH-mètre portable combiné. Les paramètres chimiques (phosphates, sulfates, nitrates, fluorures et chlorures) sont mesurés avec un photomètre. La dureté est obtenue par la méthode du titrage complexométrique.

Les résultats montrent de fortes teneurs pour certains paramètres analysés. Les températures enregistrées au niveau des puits varient entre 22,1 et 28,4 °C. Certaines sont supérieures à la température standard (25°C). Les pH trouvés dans les eaux oscillent entre 6,62 et 7,62 et sont conforme à la norme fixée par l'OMS pour la boisson. Les valeurs mesurées dans les deux sites marines sont légèrement acides par rapport au pH de l'eau de mer naturelle. Les conductivités électriques détectées durant cette campagne sont conformes aux normes de l'OMS mais le puits P2 et le bassin de rejet présentent une minéralisation élevée.

Les paramètres chimiques sont détectés parfois à des teneurs élevées, surtout au niveau du puits P2 où les concentrations des chlorures, des phosphates et la dureté totale dépassent les normes préconisées par l'OMS.

Le milieu marin présente des teneurs en chlorures largement supérieures à celles habituellement relevées dans l'eau de mer naturelle (19000 mg/L). Les ions phosphates se retrouvent pratiquement dans tous les puits avec des concentrations constantes (0,8 mg/L), mais légèrement supérieures à la valeur maximale admissible dans l'eau de boisson (0,5 mg/L). La teneur trouvée en M1 (0,3 mg/L), zone de rejets industrielle, est suffisante pour favoriser l'eutrophisation alors que celle du bassin de rejet est légèrement supérieure à la norme de rejets française. Ces fortes teneurs ont affecté les nappes de certains puits par ruissellement. Ainsi, le puits P2 est considéré comme non potable avec une dureté, de 28,48 °f, supérieure à la norme de l'OMS (20°f).

Mots clés : Mboro, puits, bassin de rejets, eaux marines, étang, paramètres physico-chimiques, photométrie, complexométrie.

INTRODUCTION

Introduction

Depuis toujours, l'homme n'a jamais cessé de se préoccuper de son environnement. Toutes les civilisations anciennes sont conscientes de la nécessité de se lier à l'environnement. Ainsi, sa protection et son entretien ont toujours constitué une préoccupation des hommes [1]. Dans le monde actuel, l'évaluation la qualité de l'air et des eaux représentent les défis majeurs de l'environnement et la santé humaine [2]. L'accroissement de la démographie et l'urbanisation des villes ont augmenté les besoins en eaux et ont même modifié sa composition. Les phénomènes naturels, aujourd'hui mieux connus, les excès commis par les pays qui disposent des atouts de la connaissance et de la technique ont fait que l'eau est devenue un problème majeur [3].

Les eaux peuvent contenir naturellement des éléments dissous qui les rendent plus ou moins impropres non seulement à la consommation humaine mais aussi à l'agriculture. On rencontre des eaux chargées de chlorure de sodium au tour de la méditerranée, de fluor en Tanzanie, au Rajasthan et au Sénégal, d'arsenic au Chili et de natron ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) au lac Tchad [3].

Le développement de l'industrie, l'intensification de l'agriculture et les activités ménagères ont introduit dans le cycle de l'eau de nombreuses substances chimiques comme les métaux lourds, les nitrates en excès, le phosphore, les produits phytosanitaires, etc. Une partie importante de ces produits peuvent atteindre les nappes superficielles, les rivières et les plans d'eau [3]. Cette pollution physico-chimique pourrait, dans certain cas, entraîner des conséquences néfastes pour l'espèce humaine [4]. Il existe un lien, scientifiquement établi, entre les substances toxiques introduites dans l'environnement et la dégradation de la santé humaine [5]. Ainsi, beaucoup de maladies liées à la pollution chimique des eaux sont aujourd'hui recensées. Parmi celles-ci, on peut citer l'anémie, l'arsenicisme, les hépatites, le saturnisme, la fluorose, le choléra, le cancer, etc.

Au Sénégal, plus particulièrement dans la région de Thiès, la zone Eco-géographique appelée zone littorale nord ou zone côtière des Niayes ou également zone de Mboro renferment d'importantes potentialités hydro-agricoles. La pêche est aussi bien représentée dans cette région (Cayar et Fass Boy) de même que l'élevage. On note, également, la présence d'industries extractives et chimiques telles que l'Industrie Chimique du Sénégal (ICS), la Grande Côte Opération (GCO). Les activités industrielles et agricoles, développées dans cette zone, peuvent introduire des quantités importantes de produits toxiques dans l'environnement.

Le but de ce travail est d'étudier le degré de pollution, par les éléments chimiques, des eaux de la zone, utilisées pour la boisson et pour le maraichage, ainsi que des eaux marines.

Les paramètres physico-chimiques (phosphates (PO_4^{3-}), sulfates (SO_4^{2-}), nitrates (NO_3^-), fluorures (F^-) et chlorures (Cl^-)), des eaux provenant de la mer de Mboro, des puits, d'un étang et d'un bassin de rejets des ICS, ont été analysés par la spectrométrie UV-visible. La dureté totale est mesurée par la méthode de titrage complexométrique et les paramètres physiques par un multiparamètre portatif.

Ce mémoire comprend trois parties :

-la **partie I** est consacrée à l'étude bibliographique sur les eaux, la pollution, et les paramètres physico-chimiques étudiés ;

-la **partie II** est réservée à la partie expérimentale ;

-la **partie III** est dédiée à l'exposition des résultats obtenus, suivi de la discussion.

Nous terminerons cette étude par la conclusion générale et les perspectives.

PARTIE I :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités sur l'eau

I.1.1. Définition

Le nom de l'eau vient du latin aqua (origine des mots aquaculture, aqueux, aquarium, aquifère, etc.), alors que le préfixe hydro-provient du mot grec hýdōr (qui a donné des mots tels qu'hydratation, hydroxyde, hydraulique, hydrocarbure, etc.) [6]. L'eau est un corps incolore, inodore, liquide à température ambiante. A l'état pur, elle est sans saveur et c'est le seul corps qui se trouve en permanence à la surface de la terre sous les trois états de la matière : solide (glace et neige) ; liquide (eau) et gazeux (vapeur d'eau) [7].

En pratique, le terme « eau » est employé dans différents milieux, qu'on doit préciser dans chaque cas. En effet, on distingue l'eau chimiquement pure, c'est à dire constituée de 100% de molécule de H₂O, qui n'existe pas en réalité. On distingue également les eaux naturelles, contenant des substances en solution, tels que les minérales ; les sels ; les gaz et les matières organiques mais aussi des substances en suspension telles que les colloïdes minéraux et organiques ; les phytoplanctons et les zooplanctons ; les bactéries et les virus. Les eaux naturelles sont classées suivant leurs origines : eaux de pluie ; eaux douces continentales superficielles (courantes ou stagnantes) ; eaux souterraines ; eaux salées ; eaux saumâtres (souterraines ou de surface). On peut aussi classer les eaux naturelles suivant leurs utilisations : eaux brutes (avant traitement) ; eaux potables ; eaux industrielles ; eaux recyclées ; eaux embouteillées ; eaux thermales ; eaux de piscines ; etc. On distingue également les eaux usées ou résiduaires (urbaines, industrielles...) [6].

L'eau est le corps minéral le plus abondant à la surface de la planète, soit un volume de 1,4 milliard de km³. Cette quantité est répartie de façon suivante : océans (eau salée), environ 1,3.10⁹ Km³, soit 98% du total. Les 2% restant sont répartis dans six réservoirs : l'Antarctique le plus grande réserve d'eau douce (2,7.10⁷ Km³) ; les eaux souterraines (4,6.10⁶ Km³) ; les lacs (1,2.10⁵ Km³) ; la vapeur d'eau atmosphérique (1,3.10⁴ Km³) et en fin les fleuves et les rivières (1,2.10³ Km³) [7].

I.1.2. Propriétés physico-chimiques

L'eau (H_2O) fait partie des composés les plus remarquables. Ses propriétés physico-chimiques sont inhabituelles et la différencient nettement des composés de structure analogue comme H_2S , H_2Se , H_2Te , qui sont formés d'éléments voisins appartenant à la même famille dans le tableau périodique. Ces composés hydrogénés binaires cités ci-dessus sont gazeux dans les conditions normales, contrairement à l'eau. Si on extrapolait les points de fusion et d'ébullition des trois composés pour trouver celle de l'eau on trouverait environ -80 et $-60^\circ C$ respectivement. L'eau est vitale et représente la partie la plus importante des liquides corporels de tous les êtres vivants alors que H_2S , H_2Se , H_2Te sont toxiques.

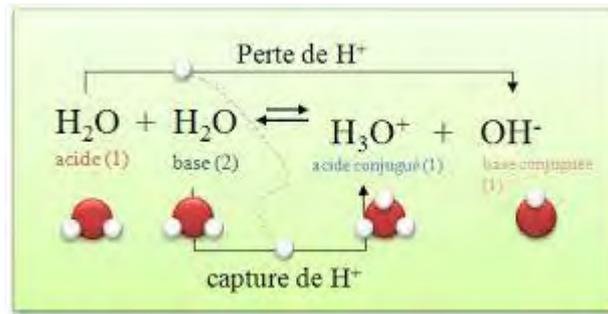
La dépendance de la densité vis-à-vis de la température est une anomalie de grande importance en ce qui concerne le comportement de l'eau dans l'environnement. L'eau se dilate en se refroidissant contrairement à la plupart des liquides. L'eau gèle à partir de la surface, ce qui permet de maintenir en vie les organismes qu'elle contient [8].

Les atomes d'oxygène (O) et d'hydrogène (H) ont des électronégativités différentes (respectivement 3,5 et 2,2). Les liaisons O-H de la molécule d'eau sont polarisées, elles forment entre elles un angle de 104° et constituent un dipôle avec une extrémité positive et une autre négative. Elle possède une constante diélectrique très élevée, ce qui constitue une part importante pour ses propriétés de solvant vis à vis des substances polaires. Les propriétés spécifiques telles que l'anomalie sur la densité et les propriétés thermiques découlent de la facilité avec laquelle elle forme des liaisons hydrogènes [8].

Les propriétés physico-chimiques de l'eau sont nombreux mais certains d'entre eux ont une importance capitale pour les études environnementales. Parmi ces paramètres on peut citer :

- ✓ la densité, dont la valeur la plus élevée est située au-dessus du point de fusion (vers $4^\circ C$). Elle rend le gel des masses d'eau en profondeur plus difficile, ce qui permet de maintenir la température en profondeur. Elle entraîne aussi l'alternance des différentes couches d'eaux au printemps ou à l'automne entraînant ainsi le mélange des eaux continentales et l'explosion des blocs de pierre contenant des inclusions (formation des sols) [8, 9] ;
- ✓ la conductivité thermique de l'eau qui est très faible, rend plus difficile le gel complet des masses liquides (océans et lacs) en profondeur [8] ;

- ✓ la capacité calorifique de l'eau est la plus grande capacité calorifique de tous les fluides (75,366 J à 20°C) à l'exception de l'hydrogène liquide. Elle sert de tampon contre les changements extrêmes [8] ;
- ✓ l'enthalpie d'évaporation de l'eau est la plus grande de tous les liquides (2281,9 KJ/mol). Elle joue l'effet de refroidissement lors de la transpiration des plantes, des animaux et des hommes (avec seulement de faibles pertes d'eaux) [8] ;
- ✓ l'enthalpie de fusion de l'eau (6,01 KJ/mol) entraîne une petite baisse du point de fusion dans l'eau contenant du sel [8] ;
- ✓ la tension superficielle de l'eau/air, de 72 N/m à 20°C, est la plus grande de tous les liquides sauf le mercure. Elle facilite la formation de goutte d'eau dans les nuages et dans la pluie [8] ;
- ✓ le moment dipolaire de l'eau (1,85 D) et sa constante diélectrique très élevée (80,08 à 20 °C) sont à l'origine de ses propriétés de solvant vis-à-vis de la plupart des composés polaires et des sels (ions). Ils conditionnent le transport des substances dissoutes dans le circuit hydrologique, les organismes vivants et de l'eau jusqu'aux cimes des arbres. Ils permettent aussi de retenir l'eau dans les sols pour les plantes dans une forme disponible (adsorption) et l'empêche de suivre seulement l'effet de la gravitation [8] ;
- ✓ les propriétés d'absorption et d'adsorption de lumière de l'eau jouent un rôle important pour la régulation des activités biologiques. C'est ce qui est aussi à l'origine de l'aspect incolore de l'eau [8, 9] ;
- ✓ les propriétés de solvation font que l'eau est un excellent solvant. En effet, c'est un liquide qui dissout un très grand nombre de substances. Ainsi, l'eau devient favorable au développement des êtres vivants puisqu'elle renferme plusieurs éléments primaires nécessaires à la vie. En plus, la dissolution des gaz dans l'eau permet aux organismes aquatiques, tels que les poissons, d'extraire l'oxygène dissous et de pouvoir respirer [10] ;
- ✓ la salinité de l'eau résulte aussi du pouvoir dissolvant de l'eau qui est due à sa forte constante diélectrique (80,08 à 20 °C). A la température ordinaire, la constante diélectrique de l'eau est 80 fois plus faible que la force d'attraction dans le vide. Elle facilite la dissociation des sels comme NaCl [10] ;
- ✓ le caractère amphiprotique, conduit à considérer l'eau à la fois comme une base (producteur d'ion OH⁻) mais aussi comme un acide (producteur de protons H⁺). Cette propriété est illustrée par l'équation suivante [10] :



I.1.3. Cycle de l'eau

L'eau source de vie sur terre, est aussi le vecteur principal du déplacement de tous les éléments minéraux et organiques. De l'océan à la terre, le cycle de l'eau est principalement lié à l'évaporation, celle-ci générant de la vapeur d'eau qui est transportée sur le continent sous forme de pluie. Cette étape présente l'originalité de ne déplacer l'eau que dans l'atmosphère. En effet lors de l'évaporation, la quasi-totalité des minéraux restent dans l'océan. Ceci conduit à une concentration des éléments minéraux dans la mer. L'eau retourne à l'océan en suivant deux voies : les eaux de surface et les eaux souterraines. En fait, ces deux voies sont très liées, en raison des échanges entre rivières et aquifères en de nombreux points du parcours. Les sols représentent une étape importante dans ce processus, car ils redirigent les flux d'eaux dans trois directions :

- une partie de l'eau va s'écouler en surface vers les rivières, ce phénomène est appelé ruissellement ;
- une autre partie va s'évaporer directement ou être absorbée par les plantes et ensuite libérée dans l'atmosphère par transpiration, le phénomène global est appelé évapotranspiration ;
- enfin l'eau résultante se retrouve dans le sol et descend progressivement jusqu'à la nappe, ce phénomène est nommé infiltration.

Ces trois phénomènes ont des conséquences variées sur le devenir des éléments minéraux contenus dans l'eau [11].

I.2. Généralités sur les eaux étudiées

Dans notre étude nous avons ciblé quatre types de milieu aquatique à savoir les eaux de surface, les eaux souterraines, les eaux marines et les eaux usées.

I.2.1. Eaux de surface

Les eaux de surfaces sont composées des eaux stagnantes (milieu lentique), caractérisées par un courant de vitesse nulle ou quasi nulle et les eaux courantes (milieu lotique).

Les eaux stagnantes correspondent essentiellement aux lacs, étangs, mares et flaques. Elles conservent une certaine autonomie fonctionnelle et forment une unité. Elles se différencient par la superficie, mais surtout par la permanence de l'eau, la profondeur, l'ensoleillement et le réchauffement du fond [12].

La différence entre ces quatre types de milieux stagnants est bien établie :

- ✓ lac : il possède en plus de sa zone littorale, une zone profonde privée de lumière dans laquelle les espèces végétales ne peuvent pas se développer ;
- ✓ étang : il est dépourvu de zone profonde, mais dont le fond est parfois épargné de l'action thermique du soleil (profondeur maximale un mètre environ) ;
- ✓ flaque : milieu temporaire avec une profondeur maximale de 0,5 m ;
- ✓ mare : plans d'eaux artificielles, lacs ou gravières, établis, soit en barrage d'une cours d'eau, soit par mise à nu de la nappe phréatique [12].

En revanche, les eaux courantes regroupent toutes les eaux « en mouvement » (source, torrents, ruisseaux, rivières, fleuves), constituent un vaste réseau hydrographique qui mène à la mer. Ce sont des milieux ouverts présentant des échanges constants avec les systèmes traversés [12].

I.2.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent l'ensemble des eaux se trouvant en-dessous de la surface du sol, dans la zone de saturation. Elles sont en contact direct avec le sol ou le sous-sol, représentent 95% de l'eau douce disponible dans la planète et alimentent plus de deux milliards de personnes. De plus, à travers l'irrigation, elles assurent 40% de la production alimentaire mondiale [13].

En effet, une nappe est une étendue d'eaux en sous-sol. Elle se forme lorsque l'eau, en infiltration, rencontre une couche de sol imperméable.

La nappe, mobile, s'écoule sous forme de source quand la surface du terrain (au sol) affleure le « toit » de la nappe. Ainsi, c'est les nappes qui alimentent les rivières [14].

La nappe est le contenu, c'est à dire le volume d'eau. Attention, très peu de nappes se présentent sous forme d'une masse liquide, comme un lac. La plupart des nappes sont en fait de l'eau mobile, imprégnant la roche, comme une éponge [14].

L'alimentation de la nappe se fait par percolation, c'est-à-dire par les mouvements de l'eau à travers un matériau poreux sous l'effet de la gravité, en l'absence de fissures dans la roche. Les fissures accélèrent considérablement la vitesse de transfert de l'eau depuis la surface du sol vers les couches de plus en plus profondes [14].

Les nappes peuvent être divisées en deux grandes catégories :

- ✓ **nappes captives** : Ce sont des nappes profondes, se trouvant à plusieurs centaines de mètres. Elles ne sont pas en contact avec l'air. Le terme « captif » signifie que l'aquifère, le contenant (corps de roches perméables qui a les caractéristiques qui lui permet de recueillir l'eau) est recouvert d'une couche géologique imperméable. Leur alimentation a lieu en bordure de l'aquifère à partir de quelques zones d'affleurement et par des voies de communication souterraines. Dans ces nappes, les eaux sont sous pression car la nappe remplit complètement l'aquifère et les eaux peuvent jaillir si un forage est installé [14] ;

- ✓ **nappes libres** : Les nappes libres sont, au contraire, en contact avec l'air. Le « contact » avec l'air est apprécié sur des critères chimiques et géologiques. Le terme libre ne veut pas dire que la nappe est à l'air libre, mais située dans un sol qui contient de l'air, dit aussi « sol non saturé ». Le terme « libre » signifie aussi que la surface supérieure de la nappe fluctue sans contrainte. La nappe est alimentée par l'eau de pluie sur toute la surface de l'aquifère. Le niveau de la nappe s'élève ou s'abaisse sous l'effet de la gravité. Les eaux ne sont jamais sous pression. Dans cette catégorie, on peut distinguer : **les nappes phréatiques**, qui sont des nappes d'eaux libres à faible profondeur et **les « nappes alluviales »**, qui sont des types particuliers de nappe libre. Les nappes alluviales sont des nappes d'accompagnement des rivières, elles assurent un débit minimum en période d'étiage [14].

I.2.3. Eaux marines

Le domaine des eaux marines s'étend du large de mer (océaniques), aux côtières et à leur mélange avec celles continentales dans les estuaires. Donc l'analyse des eaux marines présente des particularités par rapport à celles douces. La salinité des eaux est, sans doute, l'aspect essentiel. Elle peut varier sur l'ensemble du domaine. Mais il faut retenir en outre, de larges gammes de variation de concentration des principaux paramètres d'importance biologique tels que les nutriments. En milieu océanique, les concentrations sont généralement faibles parfois même inférieures aux limites de détection analytiques. Dans les eaux estuaires, les concentrations, de certains éléments comme les nitrates, peuvent devenir très élevées, au point de couvrir jusqu'à 4 à 5 ordre de grandeur.

Les eaux littorales sont le siège de nombreux processus. En effet, elles sont le siège de nombreuses réactions physico-chimiques. Elles jouent également le rôle d'habitat pour de nombreux organismes tels que le plancton [15].

Elles sont très complexes et sont influencées par plusieurs facteurs tels que le climat, les paramètres physico-chimiques, les astres (Lune et soleil). Ces eaux sont également influencées par celles fluviales issues du continent mais aussi de l'occupation de plus en plus importante des terres du littoral par l'urbanisation et les ports [16].

L'eau de mer est constituée majoritairement de sels et dans une moindre mesure de beaucoup d'autres substances. Une eau de mer pure est essentiellement composée de chlore, sodium, magnésium, sulfate, calcium, potassium, bicarbonate, brome, acide borique, carbonate et du fluor. La présence de ces substances est à l'origine de nombreux processus physico-chimiques dans les milieux littoraux (Tableau I) [9, 16].

Tableau I : Teneurs de quelques ions majeurs dans l'eau de mer.

Ions	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Concentration des ions dans l'eau de mer naturelle en mg/L	11 000	400	1200	500	19 000	200	2700

I.2.4. Eaux usées

Les eaux usées regroupent l'ensemble des eaux dégradées par l'activité humaine. Le volume d'eaux usées par jour dans le monde est estimé à 2 millions mètre cube, soit 730 millions mètre cube par an [17].

Ces eaux peuvent être classées en Cinq catégories :

- ✓ **les eaux usées domestiques** : les eaux usées domestiques regroupent l'ensemble des eaux provenant d'un lieu public, des habitations ou d'un établissement assimilable. Ces eaux sont constituées par celles qui découlent des lieux ménagers telles que les cuisines, les salles de bain, les buanderies..., mais également des eaux provenant des cabinets d'aisance et de certains appareils à usage domestique. La matière organique, issue de la déjection contenue dans les eaux usées provenant des toilettes, est source de quelques polluants majeurs comme le phosphore, les nitrates et le carbone [18] ;
- ✓ **les eaux usées pluviales** : ces eaux regroupent les eaux de pluie polluées se trouvant surtout dans les zones industrielles et urbaines. Ces eaux se chargent d'aérosols, de polluants tels que la fumée des industries et les résidus de pesticides [18] ;
- ✓ **les eaux usées de ruissellement** : elles sont constituées des eaux de ruissellement provenant des zones urbaines ou rurales qui reflètent en générale la composition des milieux traversés. En traversant les routes, elles se chargent en hydrocarbures provenant des fuites des véhicules. Elles peuvent aussi contenir des résidus de peinture provenant des murs mais aussi des traces métalliques issues des toitures. Elles peuvent également contenir des produits phytosanitaires mais aussi des matières en suspension(MES) provenant des ordures et des débris des végétaux [18] ;
- ✓ **les eaux usées agricoles** : elles regroupent les eaux des zones agricoles issues du lessivage des terres. Ce phénomène entraîne les engrais et les pesticides dans les cours d'eau ou les nappes. Les décharges et les dépôts de déchets domestiques et industriels non aménagés peuvent être aussi lessivés par les eaux de pluie [18] ;
- ✓ **les eaux usées industrielles** : elles regroupent l'ensemble des eaux utilisées en industrie pour refroidir les équipements, évacuer les déchets ou nettoyer les installations. D'une manière générale, elles regroupent toutes les eaux résiduaires qui sont issues d'un procédé industriel. Les caractéristiques de ces eaux dépendent de la nature de l'industrie. Les eaux issues des industries minières ou chimiques sont chargées des éléments tels que les phosphates ou les sulfates.

Les industries pétrochimiques ou raffineries chargent les eaux en hydrocarbures et métaux lourds, alors que celles agroalimentaires les chargent de graisses. Les nitrates dans les eaux usées industrielles sont issus de la décomposition de peaux d'animaux utilisées dans l'artisanat. Les égouts des abattoirs, les stations de service et les ateliers de lavage sont aussi des sources d'eaux usées. Celles provenant des industries sont déversées dans les milieux naturels comme les fleuves, les lacs ou la mer directement ou par l'intermédiaire des canaux [18].

I.3. Pollution de l'eau

I.3.1. Généralités

La pollution peut être définie comme étant une dégradation de la qualité d'un produit ou d'un milieu, qui affecte son aptitude à certain usage ou à servir de support à la vie à certains organismes [19]. On peut distinguer différents types de pollution de l'eau :

- ✓ la pollution physique, qui va entraîner des changements de l'eau due à la présence de matières en suspension. La pollution physique agit aussi sur la température de l'eau (pollution thermique) ou sa radioactivité ;
- ✓ la pollution organique, qui provient notamment des matières organiques et oxydables des eaux usées. La pollution organique induit la surconsommation d'oxygène, qui peut entraîner la mort des organismes aquatiques et l'apparition de produits non désirables dans l'eau ;
- ✓ la pollution chimique, qui liée à la présence de substances indésirables ou dangereuses. Ces substances peuvent provoquer des déséquilibres chimiques tels que la hausse de la salinité ou de l'acidité du milieu ;
- ✓ la pollution microbiologique, qui est due à l'introduction de micro-organismes dans l'eau. Ces derniers sont souvent des germes pathogènes, issus de rejets au niveau du sol ou dans les cours d'eaux. A faible quantité, ces micro-organismes peuvent être éliminés naturellement mais à des quantités trop importantes, ils s'accumulent et provoquent une pollution du milieu [19].

I.3.2. Conséquences de la pollution de l'eau

Les conséquences de la pollution de l'eau sont bien réelles et nombreuses, elles touchent aussi bien la santé humaine que les milieux aquatiques.

I.3.2.1. Conséquences sur la santé humaine

La pollution des milieux aquatiques peut entraîner sur l'homme des maladies liées à l'eau. Elles sont souvent contractées par ingestion et par contact direct avec des larves ou des parasites.

Parmi ces maladies on peut distinguer :

- ✓ les maladies du péril fécal, qui sont très fréquentes sous les tropiques. On y trouve le choléra et tous les cholériformes caractérisés par une diarrhée liquide due à des germes non invasifs ; la fièvre typhoïde et les salmonelloses non typhiques, qui sont des agents de toxoinfection alimentaire ; les hépatites virales A et B ; la poliomyélite et la leptospirose [20] ;
- ✓ les maladies dues à la composition chimique de l'eau, causée par ingestion ou inhalation de certaines substances chimiques telles que l'arsenic, les nitrates, les nitrites, le fluorure et le plomb. Parmi ces maladies on peut citer : l'arsenicisme, dû à la présence d'une faible quantité d'arsenic dans l'eau de boisson, peut causer des cancers de la peau, des poumons, de la vessie et du rein ; le saturnisme, causé par la présence d'un excès de plomb, peut entraîner des troubles digestifs neurologiques, etc. ; la fluorose (excès de fluor) et la méthémoglobinémie (capacité réduite du sang à transporter l'oxygène vital dans l'ensemble de l'organisme) [21].

I.3.2.2. Conséquences sur les milieux aquatiques

Dans les milieux aquatiques les conséquences sont nombreuses. On peut citer par exemple :

- ✓ les mortalités des espèces liées aux altérations de certains paramètres physico-chimiques. Ainsi, on peut noter des modifications des caractéristiques du milieu comme la salinité, l'acidité ou la température de l'eau. Ces paramètres deviennent toxiques pour les organismes vivant dans le milieu lorsqu'ils dépassent un certain seuil [22] ;
- ✓ l'eutrophisation des milieux, qui est l'ensemble des symptômes que présente un écosystème à la suite d'un apport excessif de nutriment. Il entraîne la prolifération végétale et une diminution de l'oxygène dissous [22].

I.4. Généralités sur les paramètres physico-chimiques étudiés

Les eaux sont caractérisées par des paramètres physico-chimiques, métalliques, organoleptiques, bactériologiques, etc. Dans ce présent travail, nous avons étudiés quelques paramètres physico-chimiques des eaux usées et naturelles.

I.4.1. Température

La température est un paramètre de confort pour les utilisateurs de l'eau. Elle permet de corriger certains paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température comme la conductivité. Elle nous permet d'avoir des indications sur l'origine de l'eau d'un milieu. La température est souvent mesurée sur le terrain à l'aide d'appareils portatifs [23].

I.4.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène (pH) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. La valeur 7 de pH indique la neutralité du milieu. La mesure du pH permet de caractériser un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Le pH de l'eau dépend de plusieurs facteurs tels que son origine. La mesure du pH doit obligatoirement être effectuée sur place à l'aide d'un pH-mètre ou par calorimétrie. On peut classer les eaux par une simple mesure de leurs pH (**Tableau II**) [23].

Tableau II: Classification des eaux en fonction de leurs pH.

pH<5	Acidité forte (présence d'acide minéral ou organique dans les eaux naturelles)
pH=7	pH neutre
7<pH<8	Neutralité approchée (majorité des eaux de surface)
5,5<pH<8	Majorité des eaux souterraines
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense

I.4.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Elle varie en fonction de la température.

Elle est d'autant plus importante lorsque la température augmente. Ce paramètre est directement proportionnel à la quantité de sels minéraux dissous dans l'eau [23].

En général, la conductivité des sels minéraux est plus importante que celle de la matière organique. Ainsi, plus la concentration en solide dissous sera importante, plus la conductivité sera élevée. La mesure de la conductivité ne permet pas de déterminer les ions responsables de cette conductivité. Donc elle ne permet pas de savoir la charge du milieu surtout dans le cas des eaux usées fortement chargées en matière organique. Dans d'autres cas, la conductivité permet facilement d'évaluer le degré de minéralisation d'une eau et d'estimer le volume d'échantillon nécessaire pour certaines déterminations chimiques [24].

La conductivité permet d'obtenir des informations très simples pour caractériser l'eau mais elle doit être mesurée in-situ, comme la température. La conductivité permet de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration, etc. La conductivité peut aussi valider les analyses physico-chimiques de l'eau. Pour cela, la valeur mesurée in-situ doit être comparable à celle trouvée au laboratoire [24]. L'unité usuelle de la conductivité électrique est le micro-siemens par cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Le degré de minéralisation des eaux peut être classé selon la conductivité comme suivant : (tableau III) [25].

Tableau III: Degré de minéralisation des eaux en fonction de leur conductivité.

Conductivité	Degré de minéralisation
100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < Conductivité < 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Eau faiblement minéralisée
250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < Conductivité < 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Eau peu minéralisée
500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < Conductivité < 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Eau minéralisée
1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < Conductivité < 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Eau fortement minéralisée

I.4.4. Total des solides dissous (TDS)

Le TDS (total des solides dissous) représente la concentration totale de substances dissous dans l'eau. Il est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau sont constitués des cations (calcium, magnésium, potassium et sodium) et des anions (carbonates, nitrates, bicarbonates, hydrogénocarbonates chlorures et les sulfates). Des teneurs importantes de solide dissous dans l'eau peuvent changer son gout.

L'eau avec une concentration extrêmement faible de TDS peut, également, être inacceptable à cause de son goût plat et insipide. La qualité de l'eau potable appréciable par rapport au TDS a été établie dans le **Tableau IV [26]**. :

Tableau IV : Qualité de l'eau en fonction du TDS.

TDS (mg/L)	Qualité de l'eau
< 300	excellente
600 à 900	bonne
900 à 1200	médiocre
> 1200	inacceptable

I.4.5. Chlorures

Les chlorures sont largement répandus dans la nature. Ils sont en générale sous forme de sel de sodium (NaCl) et de potassium (KCl) et représentent environ 0,15% de la lithosphère [27].

I.4.5.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques

Le chlore appartient au groupe des halogènes, dans la septième colonne du tableau de classification périodique des éléments. Sa structure électronique fondamentale est [Ne] 3s²3p⁵. Son numéro atomique est Z = 17 et sa masse molaire est de 35,413 g/mol. Le **Tableau V** regroupe quelques propriétés physiques du chlore [28].

Tableau V : Quelques propriétés physiques du chlore.

Etat standard	couleur	Température de fusion	Température d'ébullition	Pression critique
Gazeux (Cl ₂)	Verdâtre	141°C	-34,7 °C	76.10 ⁵ Pa

En chimie, l'ion chlorure est un atome de chlore chargé d'un électron de plus. Dans l'eau, il se présente sous les trois formes suivantes :

- ✓ chlore libre qui représente la quantité de chlore présent dans l'eau sous forme de gaz dissous (Cl_2), d'acide hypochloreux (HOCl) et/ou d'ion hypochlorite (OCl^-) qui n'est pas lié à l'ammoniac ni à d'autres composés [29].
- ✓ chlore combiné qui représente la somme des espèces chimiques produites par la réaction du chlore libre avec l'ammoniac (NH_3), telles que la monochloramine (NH_2Cl), la dichloramine (NHCl_2) et la trichloramine (ou trichlorure d'azote, NCl_3) [29].
- ✓ chlore total, qui représente l'ensemble des espèces chimiques refermant du chlore à l'état oxydé. Dans l'eau, il correspond habituellement à la somme du chlore libre et du chlore combiné [29].

I.4.5.2. Toxicité et effets sur l'environnement

Les chlorures ne sont pas toxiques pour l'homme même à des doses supérieures à 1000 mg/L sauf chez les individus présentant des troubles de la régulation de l'équilibre hydroélectrolytique. Ces individus souffrent en général de pathologies rénales. L'effet chronique d'un régime riche en chlorures est mal connu. L'hypertension artérielle associée à la consommation de chlorure de sodium n'est pas due à l'ion chlorure mais plutôt à l'ion sodium. Chez les nourrissons, les effets néfastes des chlorures ne sont pas importants sauf en cas de pathologie rénale [27]. L'OMS a fixé la norme de 250 mg/L pour les eaux destinées à la consommation humaine [21].

I.4.6. Sulfates

L'ion sulfate (SO_4^{2-}), qui est bivalent, résulte de la combinaison du soufre avec l'oxygène. Dans la nature, le groupe des sulfates compte plus de deux cents espèces minéralogiques et environ vingt ont une réelle importance géologique ou économique [30, 31].

I.4.6.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques

Dans les minéraux contenant du sulfate les anions forment des tétraèdres plus ou moins réguliers.

En effet, l'un des plans de symétrie des tétraèdres du SO_4^{2-} , qui contient le soufre et deux des oxygènes, peut également contenir le cation. Cette géométrie confère à la plupart des sulfates anhydres une symétrie orthorhombique.

Dans les sulfates contenant des molécules d'eau la symétrie devient généralement monoclinique. L'élément de base du sulfate est le soufre, qui est un élément non métallique de couleur jaune dont les valences les plus fréquentes sont -2, -1, 0, +4 et +6. Le soufre a la même configuration électronique que l'oxygène $2s^23p^4$ avec deux électrons $3p$ célibataires [31, 32].

Les sulfates sont les sels de l'acide sulfurique. A l'état naturel, les sulfates existent dans de nombreux minéraux tels que la baryte (BaSO_4), l'epsomite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) et le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ces derniers représentent les sulfates naturels que l'on extrait au sein de la terre et des eaux [31].

Les sulfates métalliques sont en général solubles dans l'eau, les plus solubles sont ceux de potasse ; de soude ; de lithine ; de magnésie ; de glucine ; d'alumine ; de manganèse ; de fer ; de zinc ; de cadmium ; de chrome ; d'urane ; de cobalt ; de cuivre ; de nickel ; de palladium ; de rhodium ; d'iridium et de platine. Les sulfates très peu solubles sont ceux de strontiane, de chaux, de d'yttria, de cérium, de mercure et d'argent. Mais ceux de mercure et d'argent sont presque insolubles. Les sulfates insolubles sont ceux de baryte, de l'étain, d'antimoine, de bismuth et de plomb [33].

A température élevée le carbone décompose l'acide de tous les sulfates, mais ne se décompose et ne réduit que certains oxydes de sulfates. Ils en résultent du gaz acide carbonique ou du gaz oxyde de carbone [33].

L'hydrogène a la même action que le carbone sur les sulfates, seulement ici il se produit de l'eau et de l'acide sulfhydrique. La décomposition des sulfates par le feu dépendent de l'affinité de l'oxyde de ce dernier [33]. Si dans un sulfate, l'oxyde a une très grande affinité, et si celui-ci est tel qu'il ne puisse pas être vaincu par la chaleur, le sel ne pourra pas être décomposé à une température quelconque, par exemple le sulfate de magnésium [33].

I.4.6.2. Toxicité et effets sur l'environnement

La purgation et l'irritation gastro-intestinale sont les principaux effets physiologiques provoqués par l'ingestion d'une quantité importante de sulfates. Les eaux dont la teneur en sulfate de magnésium est supérieure à 1000 mg/L, ont un effet purgatif chez les adultes.

Des concentrations plus faibles peuvent agir sur les bébés nourris à la bouteille, de même que chez les adultes qui n'ont pas l'habitude de boire une eau sulfatée.

Des teneurs supérieures à 500 mg/L de sulfates dans l'eau potable peuvent donner à celle-ci, pour la plupart des gens, un goût perceptible [30].

Les sulfates peuvent piéger le chlore résiduel dans les réseaux de distribution et ainsi déstabiliser la désinfection de l'eau potable. Les sulfates participent aussi à la dégradation des matériaux. En effet dans les systèmes d'alimentation, la présence de sels de sulfates peut provoquer la corrosion de l'acier doux. Les bactéries sulfato-réductrices peuvent jouer un rôle dans la tuberculisation des tuyaux métalliques. Ces bactéries produisent du sulfate d'hydrogène, qui peut réduire la qualité esthétique de l'eau et favoriser la corrosion des tuyaux de métal et de béton [30]. En effet l'OMS fixe la valeur maximale admissible pour l'eau destinée à la consommation humaine à 250 mg/L [21].

I.4.7. Nitrates

Le nitrate est un composé inorganique. Il est composé d'un atome d'azote (N) et de trois atomes d'oxygène (O). Les nitrates sont naturellement présents dans l'environnement, notamment dans les eaux et dans les sols. L'azote que constitue la molécule de nitrate est appelé azote nitrique et il est généralement noté $N-NO_3^-$; de ce fait un gramme d'ion NO_3^- équivaut à 0,22 gramme d'azote nitrique. Le nitrate est un élément nutritif pour les plantes et les micro-organismes [34, 35].

I.4.7.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques

Le nitrate est un composé inorganique, sa masse molaire est de 62 g/mol. Du point de vue chimique, les nitrates sont des sels minéraux de l'acide nitrique (HNO_3). De formule chimique NO_3^- , l'ion nitrate peut être obtenu par la dissociation de l'acide nitrique dans l'eau selon la réaction suivante :



Les nitrates sont très solubles dans l'eau et ne sont pas retenus par le sol, ce qui facilite leurs migrations vers les eaux superficielles et souterraines. Ils sont donc présents dans l'eau de boisson et dans l'alimentation [36].

Les molécules obtenues avec les éléments les moins électronégatifs sont nettement ioniques, et les dérivés correspondants aux métaux les moins électronégatifs sont des nitratocomplexes.

L'ion nitrate (NO_3^-) fonctionne alors comme coordinat monodentate ou bidenté. Les modes de liaison diffèrent et sont traduits par les processus de décomposition thermique. En effet, au moment où les nitrates ioniques donnent des nitrites, les nitratocomplexes donnent directement des oxydes métalliques [37]. Les nitrates se comportent en général comme des agents oxydants selon les réactions suivantes :



Mais, dans le cas des éléments métalliques susceptibles de présenter deux degrés d'oxydation possibles, les nitrates présentant le degré d'oxydation le plus élevé, réagissent de façon très vive. Dans ce cas, $\text{Sn}(\text{NO}_3)_4$ provoque l'inflammation de l'éther ou de l'Ameline, contrairement à $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ qui est complètement inerte [37].

I.4.7.2. Toxicité et effets sur l'environnement

La méthémoglobinémie est le principal risque lié à la présence de nitrates dans l'eau. En effet elle résulte de la transformation dans le tube digestif des nitrates en nitrites. Cette maladie est beaucoup plus fréquente chez le nouveau-né. Les effets liés à l'augmentation de la teneur en nitrate dans l'environnement sont nombreuses.

Une faible variation de la qualité de l'eau a eu un impact sur une espèce fragile. En effet la quasi-disparition des moules à perle est "liée" au dépassement de 1 mg/L de nitrates dans l'eau, empêchant leur reproduction. Les nitrates font parties des éléments responsables du phénomène d'eutrophisation des cours et des retenues d'eau. Le stade de l'hyper-eutrophisation est atteint lorsque les cyanobactéries (algues bleues) et les ulves (algues verts) qui se repaissent de ces excédants alimentaires, apparaissent. En effet, la toxicité de ces algues est avérée. Les cyanobactéries émettent des toxines telles que les dermatotoxines, les hépatotoxines et les neurotoxines qui peuvent empêcher l'usage récréatif de l'eau [35]. C'est pour cela que la valeur maximale admissible pour la boisson est fixée par l'OMS à 50 mg/L [21].

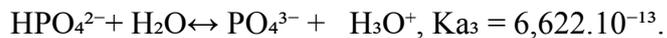
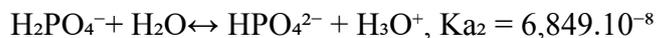
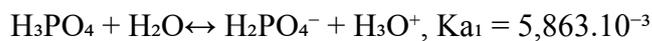
I.4.8. Phosphates

Les phosphates sont des composés phosphorés. Dans la nature, le phosphore (P) est généralement présent sous forme de molécules de phosphates(PO_4^{3-}) [38].

I.4.8.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques

Le phosphate est un produit chimique inorganique, de formule chimique, PO_4^{3-} . L'ion phosphate résulte de la combinaison d'un atome de phosphore(P), entouré par quatre atomes d'oxygène (O) dans un tétraèdre [39].

Le phosphate est un sel ou un ester de l'acide phosphorique. Il résulte de la combinaison de l'acide phosphorique avec une base. Les orthophosphates sont des sels minéraux de l'acide phosphorique (H_3PO_4) tandis que les polyphosphates correspondent à des molécules plus complexes de phosphates minéraux [39]. Donc en chimie, l'ion phosphate (PO_4^{3-}) découle de la neutralisation par la molécule d'eau des trois acidités de l'acide phosphorique (H_3PO_4) à 37 °C selon les réactions suivantes [40] :



Les phosphates inorganiques, présents dans l'eau, sont généralement les orthophosphates (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) appelé aussi phosphore réactif et les polyphosphates (ou phosphates condensés).

Les phosphates organiques correspondent à des molécules de phosphates associées avec des molécules à bases carbonées, comme dans la matière organique vivante ou inerte (animaux, végétaux, micro-organismes, etc.). Les phosphates peuvent se retrouver dans l'eau sous forme dissoutes et/ou particulières (associés aux particules en suspension, de sédiment, ou de sol) [38].

En effet, seules deux phosphates métallique sont solubles dans l'eau, il s'agit entre autre du phosphate de potasse et de soude. Les bases comme la baryte la strontiane et la chaux troublent la dissolution des phosphates de potasse, de soude et d'ammoniaque.

Tous les oxydes, excepté ceux qui sont très faibles, par exemple les acides carbonique, borique, tungstique et molybdique sont capables de décomposer en partie les phosphates en les transformant en phosphates acides [33].

I.4.8.2. Toxicité et effets sur l'environnement

Les teneurs en phosphate rencontrées dans l'eau distribuée au robinet ne présentent globalement pas de risque pour la santé humaine. En outre ce sont les nombreuses perturbations des écosystèmes aquatiques qui ont des répercussions sur l'Homme. En effet, Les rejets de phosphore dans les écosystèmes aquatiques constituent l'un des plus sérieux problèmes environnementaux car contribuant à accélérer l'eutrophisation de ces milieux. Dans l'eau, des teneurs supérieures à 0,5 mg/L peuvent constituer un indice de pollution [38].

I.4.9. Fluorures

Le fluorure (F^-) est la forme anionique de l'élément fluore. De symbole F, le mot « fluor » vient du latin qui signifie écoulement, qui provient de l'utilisation de la fluorine en métallurgie pour la fluidification des scories. Le fluor est le treizième élément le plus abondant de la croûte terrestre. La forme gazeuse du fluor a été isolée par le chimiste français Henri Moissan en 1886 [41-43].

I.4.9.1. Caractéristiques et propriétés physico-chimiques

Sous sa forme gazeuse, le fluor est de couleur verdâtre, très toxique et irritant. Il est le premier élément de la famille des halogènes. De numéro atomique $Z = 9$, la masse molaire du fluor est de 18,998 g/mol et son rayon atomique 0,64 Å [43-45]. Le **tableau VI** présente quelques propriétés physiques du fluor [43-45].

Tableau VI: Quelques propriétés physiques du fluor.

Densité au point d'ébullition	Température de fusion	Température d'ébullition	Température au point critique	Pression au point critique
1,5	-219,61 °C	-188,13 °C	-129,2 °C	5571 KPa

A la température ordinaire, presque tous les fluorures sont solides, et susceptibles de se cristalliser. Seuls les fluorures d'arsenic et de titane sont liquides.

Le per-fluorure de manganèse (jaune verdâtre) et le per fluorure de chrome (rouge) peuvent apparaître sous forme gazeuse [33].

Le fluor est l'élément chimique le plus électronégatif et le plus réactif. Cette forte réactivité est due à sa proximité avec la colonne des gaz rares. Ainsi, il n'est pas trouvé dans la nature que sous forme élémentaire avec un état d'oxydation de (-1). L'ion fluorures F^- est en générale à l'état libre. Il peut aussi former des liaisons covalentes avec les composés inorganiques comme dans le fluorure d'hydrogène (HF) ou dans des matrices minérales. Il est trouvé dans la nature sous forme de fluorure organique (formation de liaison covalente dans les composés organiques) [41, 43].

Les fluorures alcalins, neutres sont solubles dans l'eau et ont une grande tendance à se combiner avec l'acide fluorhydrique pour former des fluor-hydraté de fluorures. Les fluorures alcalino-terreux et terreux sont presque insolubles dans l'eau . Les fluorures métalliques sont assez peu solubles dans l'eau. La solubilité du fluorure d'argent fait que les fluorures ne précipitent pas l'azotate d'argent. Un certain nombre de fluorure se dissolvent dans les acides et surtout dans l'acide fluorhydrique. Les fluorures sont peu volatils à l'exception de quelques per-fluorures comme le per fluorure de chrome. Aucun fluorure ne se décompose dans les flammes. En effet, les fluorures naturellement liquides, se vaporisent [33]. Sous l'influence de la chaleur, les fluorures, en dissolution dans l'eau, attaquent le verre et le dépolissent à longue terme [33].

I.4.9.2. Toxicité et effets sur l'environnement

L'utilisation du fluorure aux niveaux recommandés ne produit aucun effet physiologique nocif chez les humains. Mais les effets nocifs apparaissent au-delà d'une certaine limite. On peut classer les effets en toxicité aiguë et chronique [45].

- ✓ **Toxicité aiguë** : elle se produit en raison d'une ingestion simple d'une quantité importante de fluorures. L'ingestion d'une dose mortelle est très rare. La quantité de 35-70 mg de F par poids corporel de Kg est considéré comme mortelle, une fois prise oralement. Pour un adulte de 70 Kg, c'est l'équivalent de 5 à 10 g de fluorure de sodium et 1 à 2 g pour un enfant de 15 kg [46]. Les symptômes de toxicité aiguë sont une douleur abdominale diffuse, une diarrhée, un vomissement, une salivation excessive et une soif qui se produisent rapidement [46].
- ✓ **Toxicité chronique** : elle est due à une exposition à long terme d'une faible dose de fluorure dans l'eau potable.

L'ingestion de plus de 8 mg/L par jours pendant plusieurs années peut mener à une fluorose osseuse. Les signes de la fluorose osseuse sont une douleur chronique des articulations, la calcification des ligaments liés à la dose, l'ostéosclérose, l'ostéoporose d'os long, la perte de masse musculaire dans les cas graves et des problèmes neurologiques [46]. Cependant l'OMS fixe la valeur de 1,5 mg/L, comme valeur guide pour l'eau de boisson [21].

I.4.10. Dureté totale

La dureté de l'eau ou degré hydrotimétrique ou encore titre hydrotimétrique (TH) est la propriété de l'eau qui se manifeste par une difficulté de former de la mousse avec le savon. Elle est un indicateur de la minéralisation de l'eau et elle est proportionnelle à sa teneur en calcium et en magnésium. Elle est donnée par la relation : $TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$.

Le degré hydrotimétrique s'exprime en degré français (°f). Un degré français correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg/L de $CaCO_3$.

Pour calculer la dureté d'une eau, on divise la concentration en Ca^{2+} par 4 et celle en magnésium par 2,4. La valeur maximale pour la dureté est liée à son équivalent en calcium (270 mg/L) et en magnésium (50 mg/L) qui correspond à une dureté de 88 degré français, jamais atteint dans la pratique [47]. Ainsi, le tableau VII nous donne la qualité de l'eau en fonction de la dureté [48].

Tableau VII: Evaluation de la qualité de l'eau en fonction de la dureté.

Appréciation	Dureté en degré français (°f)
Eau très douce	0 à 6
Eau douce	6 à 15
Moyennement dure	15 à 30
Dure	>30

I.5. Généralité sur les méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyses les plus utilisées en analyse chimique sont : la chromatographie liquide, la chromatographie gazeuse, la spectrophotométrie de masse, de l'infrarouge et la spectrométrie UV-visible. [49].

Dans notre étude nous avons utilisé la méthode spectrométrie UV-visible à l'aide d'un photomètre PF11. Le photomètre PF11 est un appareil de mesure né de la combinaison de l'électronique de pointe avec l'optique le plus performant. Il est l'interface entre les coffrets calorimétriques à analyse visuelle et des systèmes d'analyse photométrique de haute technologie. Cet appareil permet une exploitation quantitative de la méthode **VISOCOLOR**® (coloration visuelle), mais aussi de la méthode **NANOCOLOR**® avec une bonne précision. En effet, il permet de doser tous les paramètres de l'eau se trouvant dans la plage de longueur d'onde compris entre 380 et 720 nm [50].

Principe : Le principe de base repose sur la formation d'un complexe entre l'élément à doser et un réactif ajouté. L'intensité du complexe formé est proportionnelle à la teneur de l'élément qu'on veut déterminer (Loi de Beer-Lambert). Cependant pour que le résultat soit fiable, le mode opératoire décrit doit être bien respecté [50].

Avantage : La photométrie PF11 a beaucoup d'avantage, parmi lesquels on peut citer : sa haute sensibilité, la facilité des mesures, la reproductibilité des mesures et sa capacité d'imprimer automatiquement les résultats. On peut aussi ajouter sa légèreté, son faible cout et la faible quantité de substance utilisée pour effectuer les mesures [50].

Inconvénients : Malgré ses nombreux avantages, on note un certain nombre de limite comme : l'impossibilité de faire plusieurs mesures en même temps, la nécessité de faire des dilutions au cas où la concentration est supérieure à la gamme de mesure de l'appareil [50].

PARTIE II :
PARTIE EXPERIMENTALE

II.1.Présentation de la zone d'étude

La zone des Niayes est localisée entre la côte atlantique et la route nationale 2 à l'Est (**Figure 1**), sur une longueur de 185 km et entre 5 et 30 km de large. Elle est également nommée la grande côte sénégalaise. Elle couvre une superficie de 2759 km² et s'étend sur quatre régions (Dakar, Thiès, Louga et Saint louis). La zone des Niayes de Mboro ou tout simplement zone de Mboro est localisée dans la région de Thiès [51, 52].

La région de Thiès est l'une des 14 régions administratives du Sénégal. Elle se situe à 70 km de Dakar à l'Ouest du pays. Elle s'étend sur une superficie de 6601 km², soit 3,4% du territoire national. La région de Thiès est limitée au Nord par la région de Louga, au Sud par la région de Fatick, à l'Est par les régions de Diourbel et Fatick, à l'Ouest par la région de Dakar et l'Océan Atlantique.

Le climat de la région est influencé par des courants marins. Elle présente un climat de type soudano sahélien (Sud et Sud-Est), et plus sahélien (Nord et Nord-Est) et à l'Ouest un climat Subsaharien. Les précipitations moyennes annuelles y sont de l'ordre de 400 à 600 mm d'eau par an.

Après Dakar, la région de Thiès se positionne comme la région du Sénégal ayant le potentiel économique le plus important. Beaucoup d'activités y sont développées comme l'agriculture, l'élevage, la pêche, le tourisme, l'artisanat, le commerce et les mines. La majeure partie des légumes tant prisés par les Sénégalais proviennent de la zone des Niayes (Cayar, Notto, Mboro) ; sans oublier les tubercules de Taïba Ndiaye, NDomor, Keer NDioba. La région de Thiès occupe la première place en matière de pêche artisanale. Elle dispose de 200 km de côtes, comprenant deux (2) façades maritimes : une façade Nord, longue de 120 km environ, de Cayar à Diogo et une façade Sud, communément appelée Petite Côte longue de 75 km (de Ndayane à Joal). La largeur de son plateau continental lui confère une surabondance et une diversité des espèces pélagiques côtières, des conditions hydrologiques favorables avec l'upwelling, phénomène de remontée des eaux profondes riches en éléments nutritifs pour les poissons.

La région de Thiès dispose des potentialités minières indiscutables. En effet, le sous-sol offre une grande diversité de substances minérales comprenant des minéraux industriels (phosphates, calcaires industriels, barytine etc.), des minéraux lourds (zircon, titane), des pierres ornementales et des matériaux de construction (cimenteries etc.) qui se localisent surtout dans les réserves de Allou Kagne, Diogo et à Taïba [52].

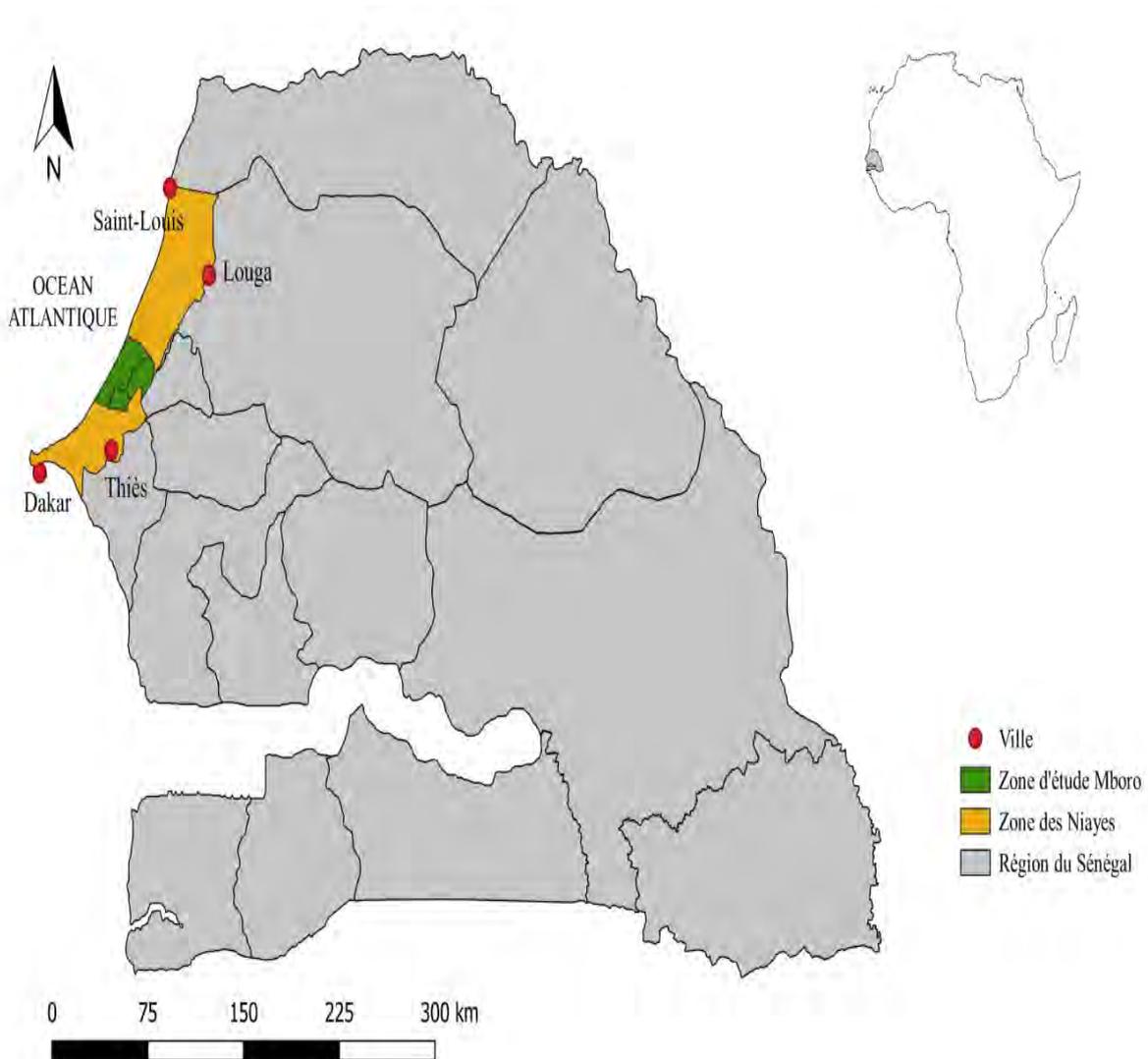


Figure 1: Présentation de la zone d'étude

II.2. Sites de prélèvement

Le site de prélèvement (**figure 2**) se trouve dans la zone de Mboro. Il est délimité au Sud par la ville de Mboro et la commune de Darou Khoudoss, au Sud-Est par les ICS et au Nord-Ouest par l'Océan atlantique. Il renferme une cuvette qui est d'ailleurs la plus grande zone hydromorphe des Niayes de la zone de Mboro, un étang qui est la source de l'ancienne lac Khondio, un bassin de rejet des ICS, les villages côtiers de Beuno et de Khondio, le village de Touba Ndiaye et une partie de la ville de Mboro et de la commune de Darou Khoudoss.

Dans cette zone, les nappes sont peu profondes et l'étude dynamique de la nappe a permis de modéliser le sens d'écoulement des eaux souterraines de l'Est vers l'Ouest, avec un rabattement de la nappe au niveau de la mine de phosphate des ICS [51].

Une partie importante du site est inondable pendant la saison des pluies, par ruissellement et l'eau coule jusqu'à Beuno.

Touba Ndiaye est un petit village se trouvant à quelques kilomètres de la ville de Mboro.

Khondio est un village côtier localisé au Nord-Ouest de la ville de Mboro.

Beuno est un village de pêcheurs localisé au Nord de la ville de Mboro, il est également appelé Mboro mer, il abrite le quai de pêche et la zone de baignade de la plage de Mboro.

Le bassin reçoit les rejets des effluents industriels des Industries Chimiques du Sénégalais (ICS). Il est localisé au Nord de l'industrie, à quelques kilomètres de la zone de production et à moins d'un kilomètre de l'étang. En effet, il est utilisé comme source d'eau d'irrigation.

Le puits P1 et l'étang sont localisés à l'intérieur de la cuvette, ils sont en général utilisés comme source d'eau d'irrigation. Néanmoins certains agriculteurs utilisent ces eaux pour la boisson.

Les puits P2 et P4 sont utilisés comme source d'eaux potables, le puits P2 est localisé à Touba Ndiaye et le puits P4 à Khondio.

Le puits P3 se trouve aussi à Khondio mais utilisé comme source d'eaux pour l'irrigation.

Le site M1 est localisé au niveau de la plage de Khondio. Dans ce site, les ICS déversent en mer près de 276 000 m³/an d'acide hexafluorosilicique (H₂SiF₆) et M2 est localisé à Beuno [53].

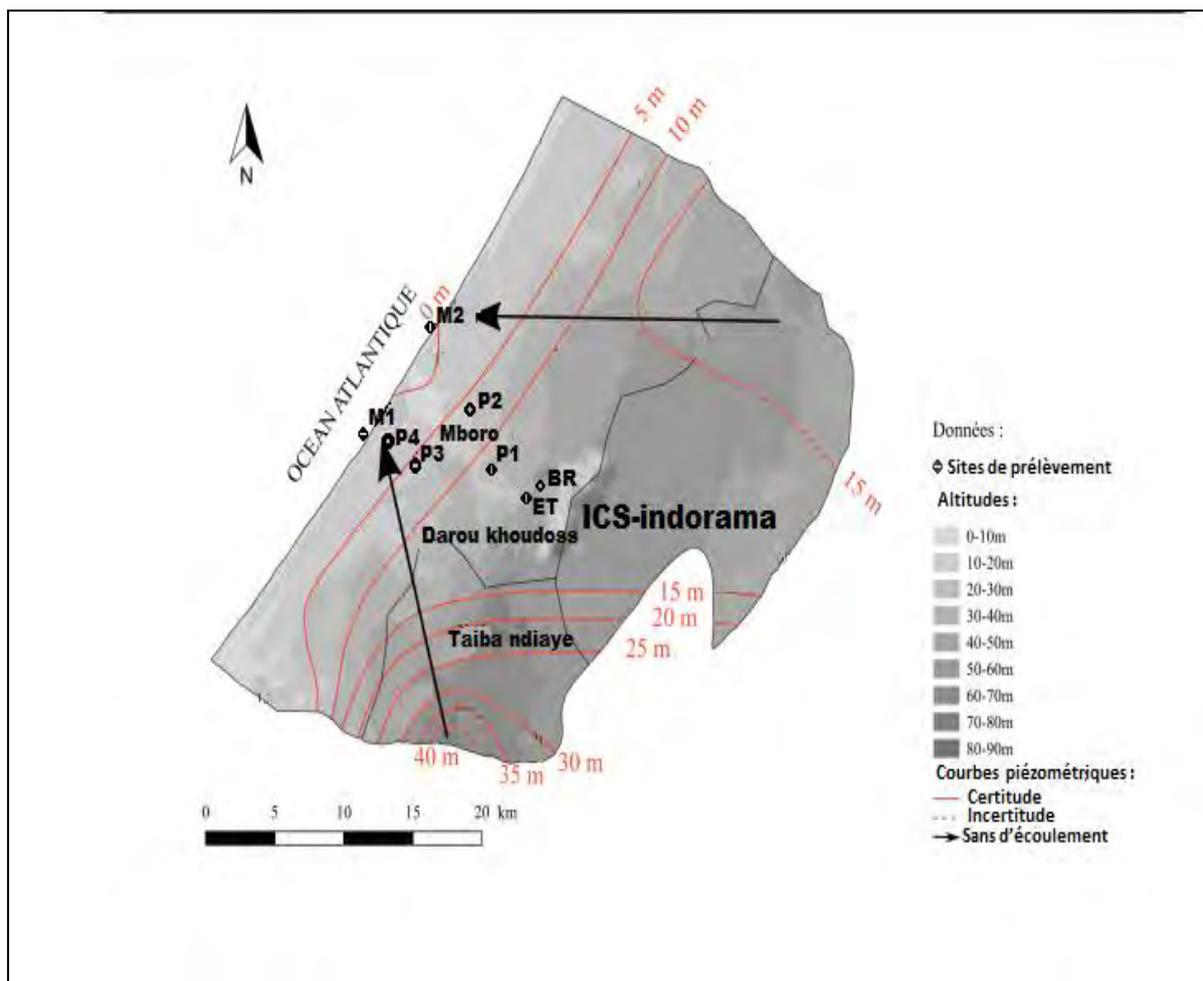


Figure 2: Sites de prélèvement des échantillons d'eau étudiés

BR : Bassin de rejets des effluents industriels

ET : Etang

M1 : Eau de mer 1

M2 : Eau de mer 2

P1 : Puits 1

P2 : Puits 2

P3 : Puits 3

P4 : Puits 4

La figure 3 représente les différents sites de prélèvement de nos échantillons.



Figure 3: a) ICS, b) bassin de rejets, c) puits localisé à Khondio, d) site de rejets en mer, e) roche localisé au niveau du site de rejets en mer, f) quai de pêche de Mboro, g) étang, h) soufre laisser à la bordure de la route, i) dépôts secs au niveau site de prélèvement.

Le Tableau VIII présente la localisation et la caractérisation des différents sites.

Tableau VIII : Localisation et caractérisation des différents sites.

Sites	Coordonné Géographique	Profondeur (m)	Distance des ICS (km)	Distance De la mer (km)
BR	15.11654, -16.84151	-	0,939	10,4
ET	15.11472, -16.84302	-	0,885	10,3
P1	15.12363, -16.86572	2,8	2,96	7,73
P2	15.15751, -16.88209	3,6	7,1	4,15
P3	15.14743, -16.91433	3,2	8,85	1,92
P4	15.15746, -16.92206	8,7	10	0,561
M1	15.15809, -16.92965	-	10,8	0
M2	15.18385, -16.90965	-	10,9	0

II.3. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération complexe à laquelle on doit apporter le plus de soin possible. Il conditionne les analyses et les interprétations des résultats. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau telles que les gaz dissous, les matières en suspension, etc. [54]. Nous avons choisi les sites de façon à couvrir le plus largement possible le site de prélèvement. Ainsi, des eaux souterraines, superficielles, marines et de rejets de la zone de Mboro ont été prélevées dans une campagne effectuée au mois de février 2020. Huit échantillons d'eau ont été pris dont un dans un bassin de rejets des ICS, un dans un étang, quatre dans quatre puits et deux en mer. Les échantillons d'eau de puits ont été obtenus en plongeant lentement sans barbotage un seau en plastique dans l'eau. Les échantillons d'eaux ont été mis dans des bouteilles en polyéthylène de 500 mL. Les flacons sont d'abord lavés avec une solution détergente et rincés avec de l'eau distillée puis séchés avant tout prélèvement. Pendant l'échantillonnage, la bouteille est rincée avec de l'eau distillée puis 4 fois avec l'eau du milieu. Elle est, ensuite, fermée hermétiquement avec un bouchon en téflon et mise dans un sac en plastique pour éviter le contact direct avec la lumière solaire. Les échantillons d'eaux sont transportés puis conservés dans un frigo au laboratoire à une température de l'ordre de 4°C avant d'être analysés.

II.4. Matériel et Produits

II.4.1. Matériel

Pour cette étude nous avons utilisé le matériel suivant :

- un multiparamètre de terrain de type HANNA instruments pH/conductivity HI98129 pour mesurer les paramètres physiques in-situ ;
- des bouteilles de 500 mL pour l'échantillonnage ;
- des béchers de 50 mL et de 250 mL pour contenir les solutions ;
- des pipettes graduées de 5 mL et de 10 mL pour les prélèvements ;
- des tubes à essai pour contenir les solutions à analyser par le photomètre ;
- un photomètre à cuve rond de type PF-11 pour l'analyse des paramètres chimiques ;
- des fioles jaugées de 50, 100 et 500 mL pour effectuer si nécessaire des dilutions ;
- un chronomètre pour mesurer le temps d'attente avant d'effectuer l'analyse ;

- une éprouvette avec graduation pour contenir la solution à titrer pour le titrage complexométrique ;
- une seringue de titrage pour le titrage complexométrique.

II.4.2. Produits

Nous avons utilisé comme produits :

- de l'eau distillée pour rincer au préalable le matériel et parfois utilisée comme réactif à blanc ;
- des solutions standards des différents éléments ;
- de l'indicateur coloré H 20 F et une solution titrant TL H 20.

II.5. Méthodes d'analyses physico-chimiques

II.5.1. Mesure des paramètres physiques

Les paramètres physiques (température, pH, conductivité et TDS) sont mesurés à l'aide d'un multiparamètre de type HANNA instruments pH/conductivity HI98129. (**Figure 4**).



Figure 4: Multiparamètre de poche de type HANNA instruments pH/conductivity HI98129

II.5.2. Mesure des paramètres chimiques par le photomètre PF11

Les paramètres chimiques sont mesurés à l'aide du photomètre PF11 (**Figure 5**), pour doser les ions chlorures (Cl^-), fluorures (F^-), sulfates (SO_4^{2-}), nitrates (NO_3^-) et phosphore total (P- PO_4^{3-}).

Le phosphore dosé sans hydrolyse ni minéralisation est l'ion orthophosphates (PO_4^{3-}). Dans notre étude les échantillons ne sont ni minéralisés, ni hydrolysés. Ainsi, les valeurs trouvées pour les phosphates correspondent à l'ion (PO_4^{3-}) [38].

Pour les mesures, si la concentration d'un élément est supérieure à la limite supérieure de la gamme de mesure du photomètre, on effectue une dilution et on multiplie la valeur trouvée par le facteur de dilution.



Figure 5: Photomètre de type PF11.

II.5.2.1. Préparation du blanc et des échantillons

Pour la préparation du blanc et des échantillons nous avons suivi le protocole suivant :

- ✓ **blanc** : Choisir en général l'échantillon à analyser sans mettre de réactif ou de l'eau distillée, sauf dans le cas du fluorure qui est un peu particulier.

Pour analyser des composés par photométrie, il est nécessaire de choisir le réactif adéquat (**Tableau 9**) et en respectant le protocole établi pour chaque élément à doser :

✓ **ions chlorures** : Pipeter 5 mL de l'échantillon qu'on verse dans un tube à essai, ensuite ajouter 10 gouttes du réactif 1 et puis agiter. Ajouter, à nouveau 10 gouttes du réactif 2 et agiter. Après, nettoyer le tube et attendre 1 minute avant de faire la lecture en utilisant le méthode Visocolor Eco.

✓ **ions fluorures** : Utiliser deux tubes à essai. Dans l'un, verser 5 mL de l'échantillon, à l'aide d'une pipette. Mettre 5mL d'eau distillée dans l'autre tube à essai qui est utilisé comme blanc. Ensuite, ajouter 500 μ L du réactif à l'aide d'une seringue, dans les deux tubes puis agiter et attendre 5 minutes avant de faire la lecture avec la méthode Visocolor Eco.

✓ **ions sulfates** : Pipeter 10 mL de l'échantillon que l'on verse dans un tube à essai. Ensuite ajouter 10 gouttes du réactif 1 et agiter pendant quelques secondes. Ensuite ajouter une cuillère du réactif 2 et agiter. Enfin, nettoyer le tube puis attendre 1 minute avant de faire la lecture par la méthode Visocolor Eco.

✓ **ions nitrates** : Pipeter 5 mL de l'échantillon que l'on verse dans un tube à essai. Ensuite ajouter 5 gouttes du réactif 1 et agiter. Ensuite ajouter une cuillère du réactif 2 et agiter pendant une minute. Enfin nettoyer le tube puis attendre 5 minutes avant de faire la lecture par la méthode Visocolor Eco.

✓ **ions phosphates** : Pipeter 5 mL de l'échantillon que l'on verse dans un tube à essai puis ajouter 6 gouttes du réactif 1 et agiter pendant quelques secondes. Ensuite ajouter 6 gouttes du réactif 2 et agiter à nouveau. Enfin nettoyer le tube et attendre 10 minutes avant de faire la lecture par la méthode Visocolor Eco.

Le tableau IX représente la composition des réactifs et les gammes de mesure de l'appareil pour chaque élément à analyser.

Tableau IX : Composition des réactifs et gamme de mesure de l'appareil pour les éléments à analysés.

Elément	Réactif 1	Réactif 2	Gamme de mesure
Chlorures	Acide nitrique (13-20%)	Thiocyanate de mercure II (0,32-0,64%) en méthanol (95-100%)	1- 40 mg/L
Fluorures	Acide chlorhydrique (10-25%)	-	0,1-2,0mg/L
Sulfates	-	Chlorure de baryum (25-83%) et Chlorure d'ammonium (40-100%)	20-200 mg/L
Nitrates	-	-	4 -120 mg/L
Phosphates	Acide sulfurique (5-15%)	Disulfite de sodium (10-25%)	0,2-5,0 mg/L

II.5.2.2. Mode opératoire

La mesure est effectuée en choisissant la méthode adéquate (**Visocolor**, **Visocolor Eco** ou **Nanocolor**), indiquée par le manuel de l'appareil en appuyant sur la touche M. Des numéros, correspondant au filtre de 1 à 6, sont attribués à chaque 'élément à doser. Avant chaque mesure, on doit choisir la référence. La valeur, en mg/L, de la concentration de l'élément à mesurer, est affichée directement sur l'écran.

II.5.3. Mesure de la dureté par le titrage complexométrique

La dureté totale de l'eau est mesurée par la méthode de titrage complexométrique. Le titrage complexométrique est une méthode qui, à l'aide d'un indicateur, permet de la déterminer sur un même échantillon d'eau, la dureté totale, la dureté calcique. La somme des deux valeurs donne la dureté magnésique ou calcique : $TH = THCa^{2+} + THMg^{2+}$.

PARTIE III :

RESULTATS ET DISCUSSION

Les analyses des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eaux prélevées dans sites étudiés de la zone de Mboro, ont donné les résultats regroupés dans le tableau X.

Tableau X: Paramètres physico-chimiques des eaux prélevées dans les différents sites étudiés de la zone de Mboro

Paramètres Sites	pH	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS (mg/L)	TH (°f)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
BR	7,62	21,7	2307	1152	4,45	4	0,4	63	<4	2,4
ET	7,29	27,6	971	483	6,23	190	0,6	34	27	0,6
P1	7,25	22,1	473	236	8,01	120	0,2	48	20	0,8
P2	6,88	28,2	1244	623	28,48	400	0,4	190	<4	0,8
P3	6,88	28,4	925	460	18,69	230	0,3	146	<4	0,8
P4	6,65	25,9	298	149	11,57	40	0,1	< 20	23	0,8
M1	6,62	23,2	>3999	>2000	-	150000	<0,1	161	<4	0,3
M2	7,18	22,9	>3999	>2000	-	60000	1,2	155	<4	<0,2

III.1. Analyse des paramètres physiques

Le tableau XI représente les valeurs des paramètres physiques (pH, température, conductivité et TDS) mesurés dans les eaux de puits et les différentes normes.

Tableau XI : Valeurs des paramètres physiques dans les eaux de puits et les normes.

Paramètre	Minimum	Maximum	Norme
pH	6,650	7,250	6,5 et 8,5*
T (°C)	22,100	28,400	25**
EC (µS/cm)	298,000	1244,000	2000*
TDS (mg/L)	149,000	623,000	1000*

*Normes eau potable (OMS, 2017), ** Température standard

III.1.1. Etude du pH

La figure 6 représente les variations du pH dans les différents sites de prélèvement.

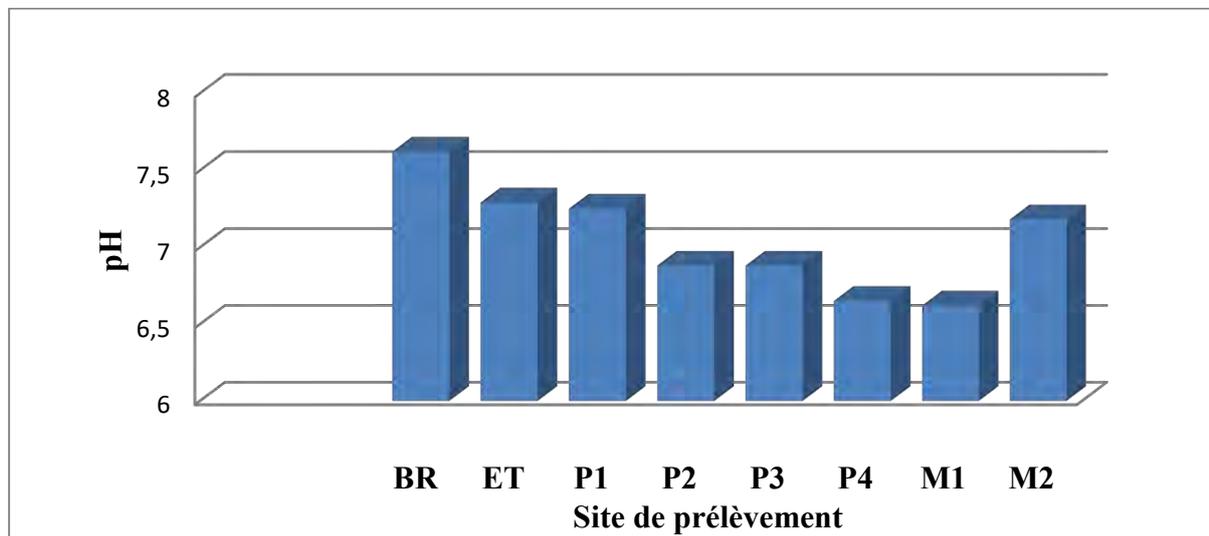


Figure 6: Variations du pH en fonction des sites de prélèvement.

Les valeurs de pH des eaux de la zone d'étude varient entre 6,65 et 7,62. On note une légère diminution du pH lorsqu'on s'approche des côtes (P2, P3 et P4). Le pH de toutes les eaux est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin. Toutes les eaux présentent aussi un caractère alcalin bicarbonaté avec un pH inférieur à 8,3. Le pH du bassin de rejets BR (7,62) est dans les limites de rejets recommandées par l'OMS comprise entre 6,5 et 9. Cette valeur montre que les eaux de rejets ont un pouvoir tampon élevé et un pH proche de la neutralité. Le pH des eaux de puits est dans les limites recommandées pour l'eau de boisson 6,5 et 8,5 (**Tableau XI**). M1 et M2 sont des eaux marines, leurs pH respectivement 6,62 et 7,18 sont différents de ceux de l'eau de mer naturelle, entre 8,2 et 8,3. Cette variation peut être expliquée par la présence de l'acide hexafluorosilicique (H_2SiF_6) rejeté en mer par les ICS, car le pH est plus bas au site de rejets (M1). Un pH acide peut à la limite entraîner une irritation de la peau et des yeux chez les baigneurs. Cette tendance baissière peut provoquer aussi la dissolution des métaux lourds piégés dans l'eau, tels que le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd), qui sont susceptibles de causer des malformations chez les poissons immatures et perturber leur respiration. De plus, les organismes aquatiques ne supportent pas les variations brusques de pH [54].

III.1.2. Etude de la température

La figure 7 représente les variations de la température dans les différents sites de prélèvement.

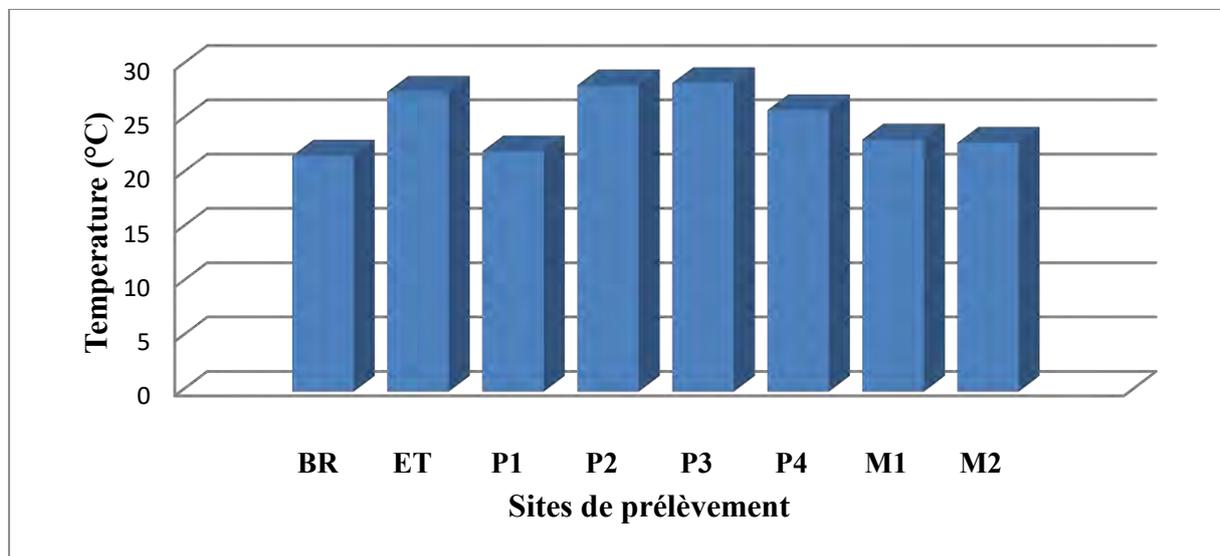


Figure 7: Variations de la température en fonction des sites de prélèvement.

La température des eaux étudiées est minimale (21,7°C) au bassin de rejets (BR) et maximale (28,4°C) au puits P3. Ces valeurs sont toutes supérieures à la moyenne dans la région, à la même période, qui est de 21°C. Cependant, celle des eaux de surface (bassin de rejets et marines) sont dans les limites des températures moyennes minimale (18°C) et maximale (25°C). On peut aussi noter que la température de la région a une grande influence sur les eaux superficielles étudiées, à l'exception de l'Etang (ET) et n'influence pas les eaux de puits, excepté le puits P1. Cette évolution montre que la température des eaux superficielles est influencée par celle de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profonde [56]. La température des puits P2, P3 et P4 sont supérieures à la température standard évaluée à 25°C (Tableau XI).

III.1.3. Etude de la Conductivité Electrique (CE)

La figure 8 représente les variations de la conductivité électrique dans les différents sites de prélèvement.

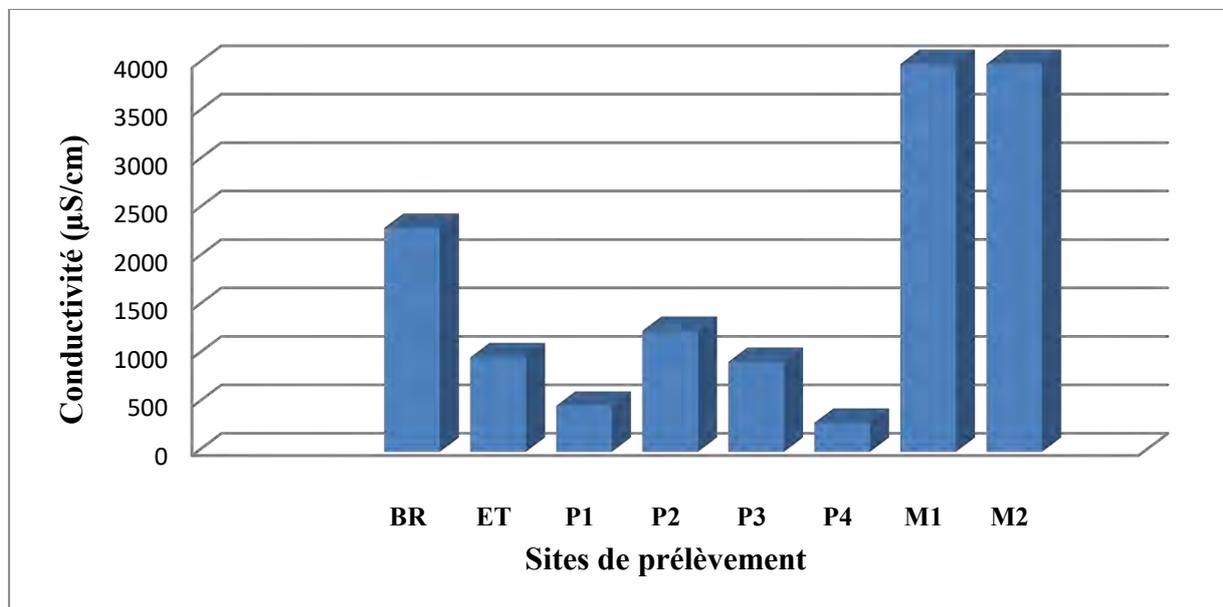


Figure 8: Variations de la conductivité électrique en fonction des sites de prélèvement.

Les conductivités mesurées dans les eaux continentales varient entre 298 et 2307 $\mu\text{S/cm}$. Les eaux superficielles du bassin de rejets des eaux résiduelles industrielles enregistrent la plus grande valeur (2300 $\mu\text{S/cm}$). Cette dernière indique une minéralisation très élevée. Pour les eaux souterraines, la valeur mesurée au puits P2 (1244 $\mu\text{S/cm}$) est supérieure à 1000 $\mu\text{S/cm}$ qui indiquent une minéralisation élevée. Elle est largement supérieure à la valeur guide, donnée par l'organisation sanitaire, pour l'eau potable (400 $\mu\text{S/cm}$). Cependant, cette valeur reste inférieure à la valeur maximale admissible fixée par l'OMS (2000 $\mu\text{S/cm}$) (**Tableau XI**). Ce puits, utilisé comme source d'eau potable, nécessite donc un traitement préalable.

Les eaux marines présentent des conductivités élevées. Les valeurs sont en dehors de la gamme de mesure de l'appareil utilisé.

L'évolution de la courbe de variation de la conductivité en fonction de la température semble être respectée pour l'Etang (ET) et les puits (P2 et P3), mais pas pour le bassin de rejets (BR) et les puits (P1 et P4).

III.1.4. Etude du Total des solides Dissous (TDS)

La figure 9 représente les variations de la teneur du Total des Solide Dissous (TDS) dans les différents sites de prélèvement.

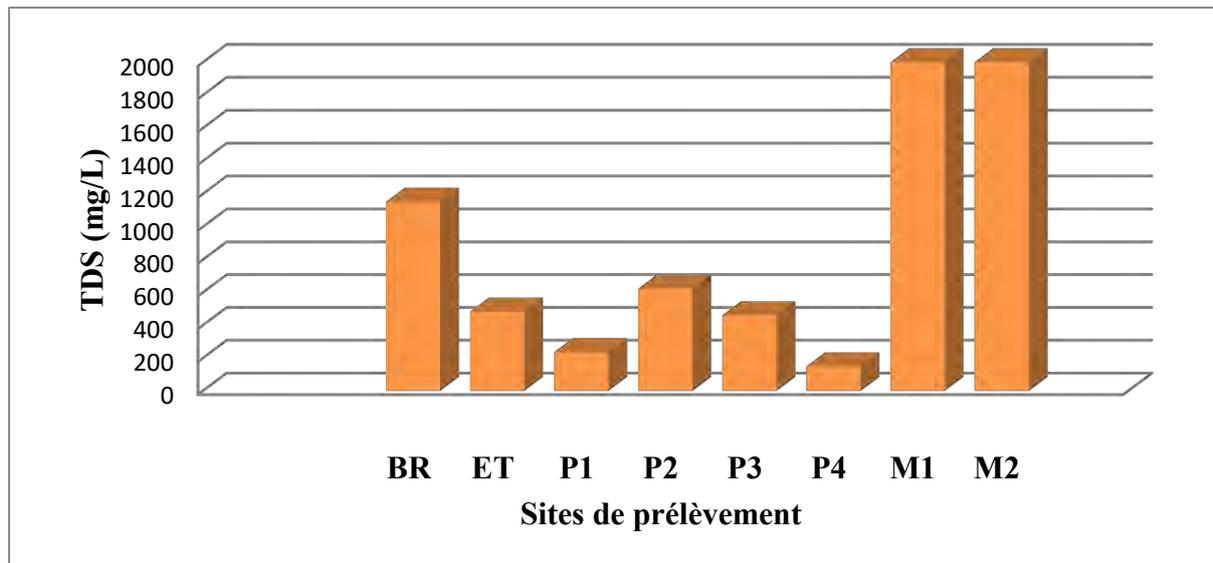


Figure 9: Variations de la teneur en TDS en fonction des sites de prélèvement.

Les valeurs de TDS mesurées dans les différents sites varient entre 149 et 1152 mg/L. L'eau du bassin de rejets présente la plus grande valeur quantifiée (1152 mg/L) et celle mesurée au niveau du puits P4 est la plus faible (149 mg/L). Il faut noter la similarité entre les variations des valeurs de TDS et celles de la conductivité dans l'espace. Cette remarque est confirmée par la corrélation parfaite entre les deux paramètres. Ce qui prouve la relation étroite qui existe entre eux. Dans les eaux de puits, la corrélation entre le TDS et les ions chlorures est très élevée (0,987). L'analyse de leurs histogrammes montre aussi des variations similaires aux chlorures à l'exception du bassin de rejets (BR), où la teneur en chlorures est très faible. Ainsi les teneurs en TDS, dans l'étang et les puits, sont dues en grande partie aux ions chlorures. Par contre la teneur élevée en TDS enregistrée dans le bassin de rejets semble provenir des matières organiques dissous. Cependant, les concentrations en TDS des eaux de puits sont conformes à la norme de l'OMS (1000 mg/L) (**Tableau XI**).

III.2. Analyse des paramètres chimiques

Le tableau XII représente les valeurs des paramètres chimiques (Dureté totale, Chlorures, fluorures, Sulfates, Nitrates et Phosphates), mesurés dans les eaux de puits et les différentes normes.

Tableau XII: Valeurs des paramètres chimiques dans les eaux de puits et les normes.

Paramètre	Minimum	Maximum	Norme
TH (°f)	8,010	28,480	20*
Cl ⁻ (mg/L)	40,000	400,000	250*
F ⁻ (mg/L)	0,100	0,400	1,5*
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	–	190,000	250*
NO ₃ ⁻ (mg/L)	–	23,000	50*
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,800	0,800	0,5***

*Normes eau potable (OMS, 2017), ***valeur maximal admissible pour les eaux souterraines (Rodier, 2009).

III.2.1. Etudes des ions chlorures

La figure 10 représente les variations de la teneur des ions chlorures dans les différents sites de prélèvement.

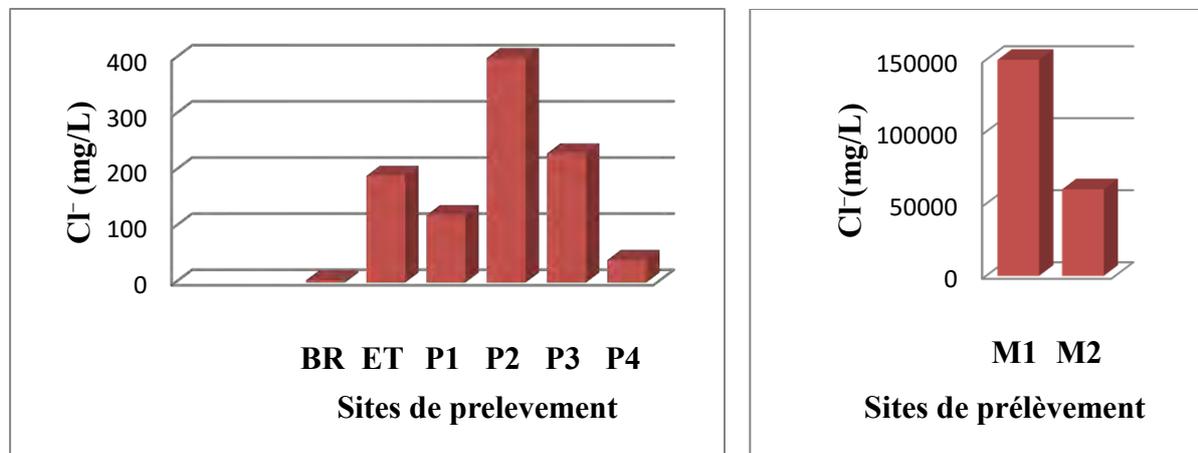


Figure 10: Variations de la teneur en ions chlorures en fonction des sites de prélèvement.

Les teneurs en chlorures mesurées dans les différents sites varient entre 4 et 150 000 mg/L. Le milieu marin présente, comme attendu, les concentrations les plus élevées. Le site M1, localisé à Khondio, zone de rejet de l'acide hexafluorosilicique (H_2SiF_6), enregistre 150 000 mg/L. M2, localisé à Beuno (plage de Mboro) a une teneur de 60 000 mg/L.

Ces valeurs enregistrées, dans le milieu marin, sont largement supérieures à la teneur habituelle de l'eau de mer naturelle (19 000 mg/L). Ces valeurs peuvent être attribuées aux effluents industriels rejetés en mer car le site M1 est localisé au niveau de la zone de rejets des ICS et M2 à quelques kilomètres. Ces fortes teneurs en chlorures ont un impact négatif pour les constructions situées au niveau du littoral. Cet ion chlorure, très corrosif, peut attaquer les armatures.

Pour les eaux continentales, les teneurs maximales, en chlorure, sont enregistrées au niveau des puits (P2 et P3) avec, respectivement, 400 et 230 mg/L. Le puits P2 présente une concentration supérieure à la norme fixée par l'OMS (250 mg/L) et peut donner à l'eau une saveur désagréable (**Tableau XII**). Les teneurs élevées en ions chlorures dans les puits (P1, P2 et P3) ainsi que celle de l'Etang ne semblent pas provenir des effluents industriels, car la valeur trouvée au niveau du bassin de rejets (4 mg/L) est très faible.

Cependant, les sources de contamination peuvent être les embruns marins, l'évaporation du chlore sur l'Océan, mais surtout de l'intrusion des eaux marines, car un rabattement de la nappe est noté au tour des ICS [57].

Il faut noter que les puits proches du littoral présentent des teneurs en chlorures plus élevées, à l'exception du puits P4, où la concentration est relativement faible (40 mg/L). Ce puits semble être épargné à cause de sa profondeur par rapport à P1, P2 et P3.

III.2.2. Etude des ions fluorures

La figure 11 représente les variations de la teneur des ions fluorures dans les différents sites de prélèvement.

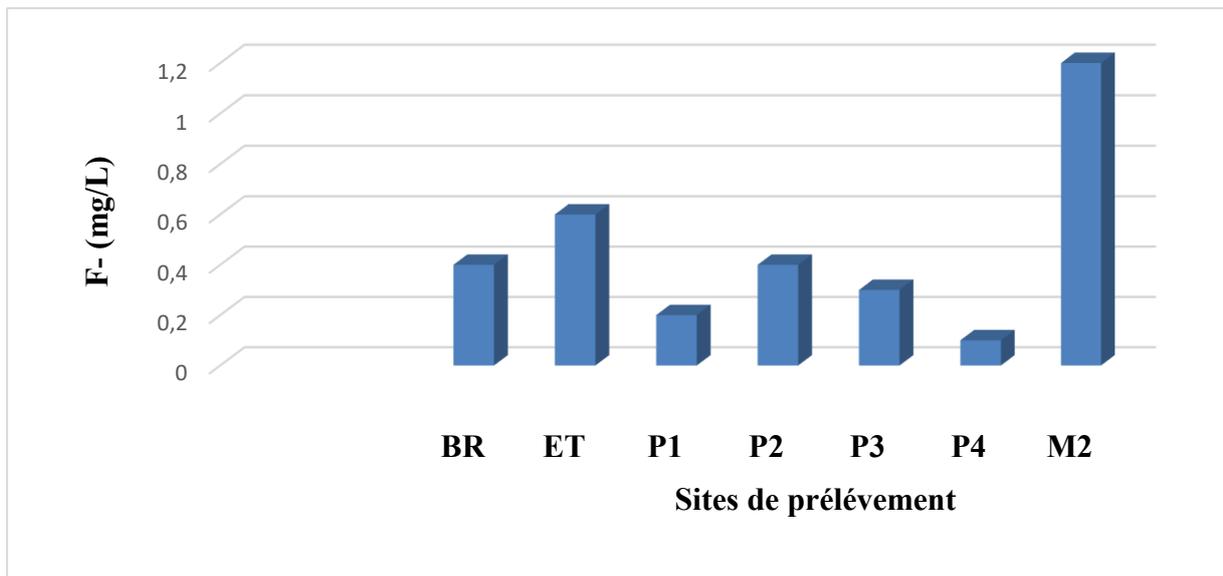


Figure 11: Variations de la teneur en ions fluorures en fonction des sites de prélèvement.

La concentration maximale en fluorures enregistrée au cours de cette campagne est mesurée en milieu marin en M2 (1,2 mg/L) et la teneur minimale au niveau du puits P4 (0,1 mg/L). La teneur en fluorures trouvée au niveau du bassin de rejets BR (0,4 mg/L) est inférieure à celle trouvée au niveau de l'Étang (0,6 mg/L), mais légèrement supérieure à celle du puits P1 (0,2 mg/L) et égale à celle du puits P4. Ainsi, les concentrations en fluorure des puits et de l'étang ne semblent pas provenir du bassin de rejets, mais semblent avoir des origines communes. Etant donné que la zone est riche en phosphate, ces teneurs peuvent être associées à la fluorite, l'apatite ou le fluoapatite des bassins phosphatés [58]. Il faut noter que le fluorure n'est pas détecté en M1 site de rejets de H_2SiF_6 .

Cependant la teneur en fluorure des eaux de puits est conforme à la norme de l'OMS évaluée à 1,5 mg/L (**Tableau XII**).

III.2.3. Etude des ions sulfates

La figure 12 représente les variations de la teneur des ions sulfates dans les différents sites de prélèvement.

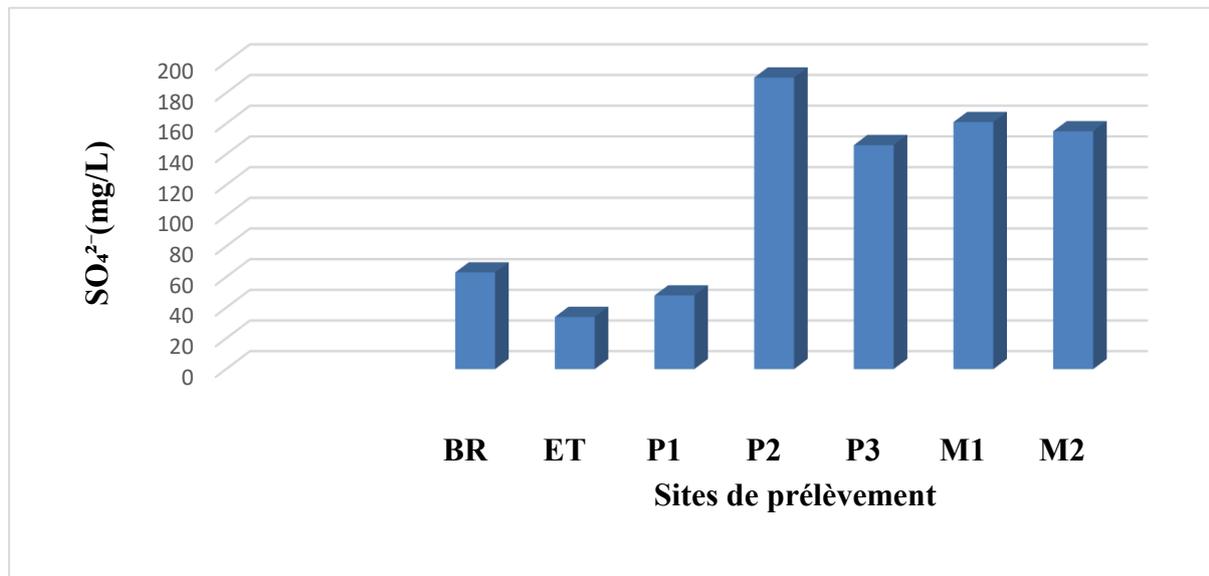


Figure 12: Variations de la teneur en ions sulfates en fonction des sites de prélèvement.

Les teneurs en sulfates, dans les différents sites, varient entre 34 et 190 mg/L. Les eaux continentales enregistrent les concentrations maximales dans les puits P2 (190 mg/L) et P3 (146 mg/L). La teneur en sulfates enregistrée au niveau du bassin de rejets (63 mg/L) est légèrement supérieure à celle enregistrée au niveau de l'Etang (34 mg/L) et du puits P1 (48 mg/L). Cependant, elle est très inférieure aux valeurs enregistrées dans les puits P2 et P3. Ainsi, les teneurs assez élevées en sulfates, des puits P2 et P3, ne semblent pas provenir du bassin de rejets. Par contre, le milieu abrite des dépôts secs d'un produit blanc qui ressemble à de l'acide sulfurique. Selon les habitants de la localité, ce produit est déposé par les eaux de ruissellement provenant directement des ICS pendant la saison des pluies. Il faut noter qu'une bonne partie de la forêt adjacente est endommagée. Les teneurs en sulfates peuvent aussi provenir de la trainée de soufre laissée en bordure de la route qui relie les ICS et Darou Khoudoss. Les concentrations, en ions sulfates, enregistrées dans les deux sites M1 (161 mg/L) et M2 (155 mg/L) sont largement inférieures à la teneur habituelle de l'eau de mer naturelle (2700 mg/L).

Cela est peut-être dû aux réactions de précipitation des sulfates causées par les variations de pH. Les teneurs en sulfates sont assez élevées dans les eaux de puits, mais elles sont toutes conformes à la norme de l'OMS (250 mg/L) (**Tableau XII**).

III.2.4. Etudes des ions nitrates

La figure 13 représente les variations de la teneur des ions nitrates dans les différents sites de prélèvement.

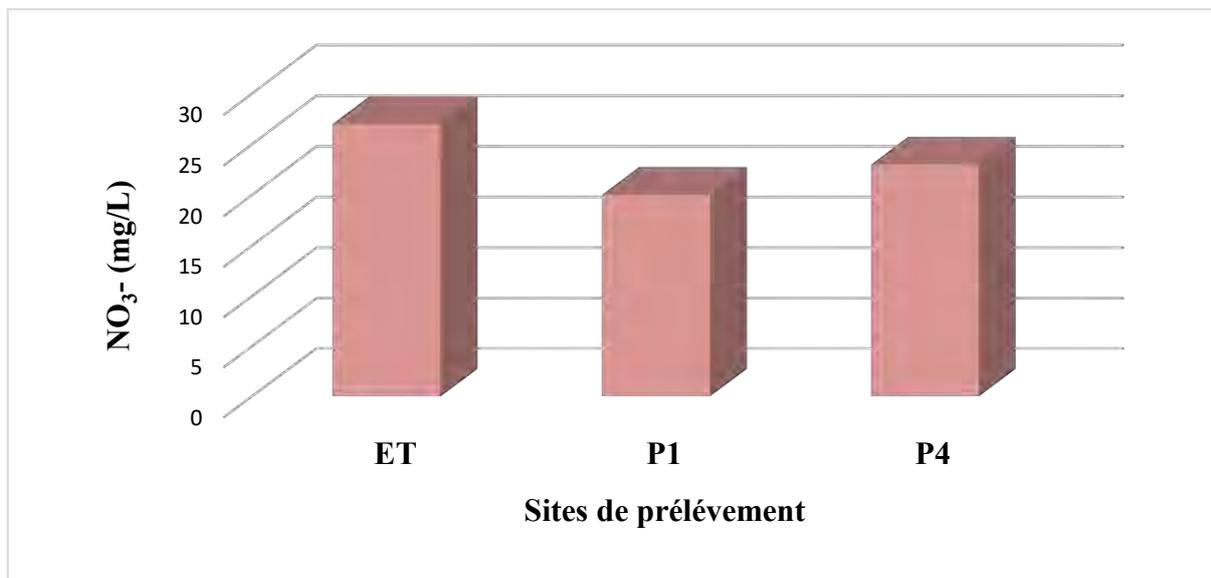


Figure 13: Variations de la teneur en ions nitrates en fonction des sites de prélèvement.

Les teneurs en nitrates enregistrées au cours de cette campagne varient entre 20 et 27 mg/L. Les valeurs trouvées, au niveau du bassin de rejets (BR), des puits (P2 et P3) et des eaux marines (M1 et M2) sont inférieures à la limite de quantification de l'appareil. Celles enregistrées au niveau de l'étang (27 mg/L), des puits P1 (20 mg/L) et P4 (23 mg/L) sont importantes. Cependant, les concentrations, rencontrées dans les puits (P1 et P4), sont supérieures à celles des eaux souterraines (10 mg/L).

Ce qui prouve que l'eau de ces puits est contaminée, mais, les valeurs trouvées sont inférieures à la norme fixée par l'OMS (50 mg/L) (**Tableau XII**).

L'étang et le puits P1 se trouvent dans une zone agricole, entourés de champs avec une végétation très dense. Ainsi, ces teneurs peuvent provenir de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales et des fertilisants azotés [59].

III.2.5. Etudes des ions phosphates

La figure 14 représente les variations de la teneur des ions phosphates dans les différents sites de prélèvement.

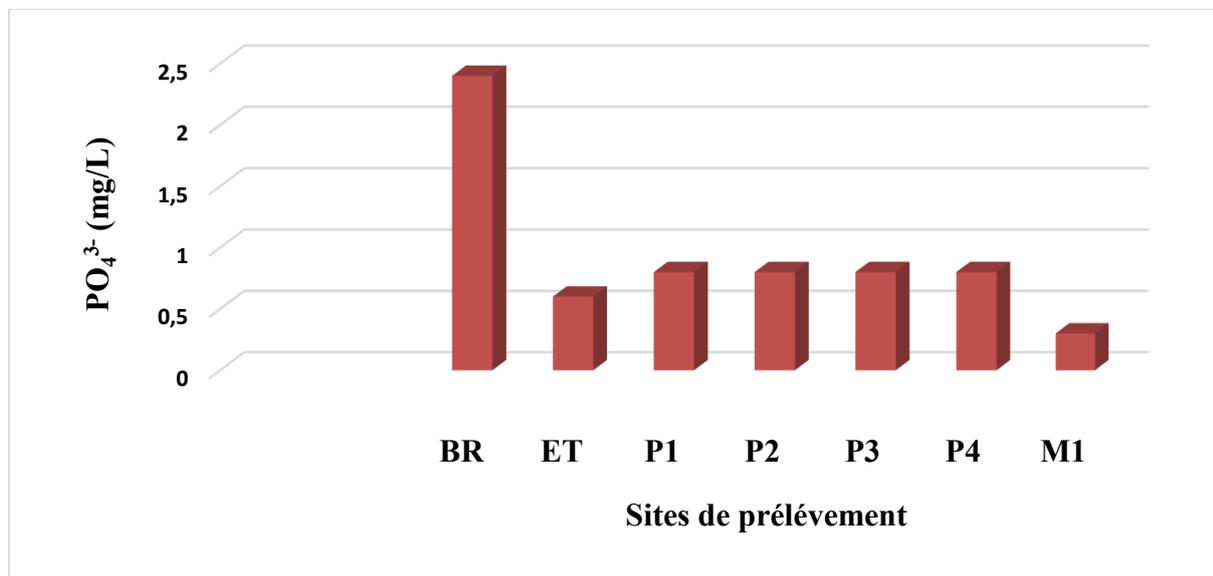


Figure 14: Variations de la teneur en phosphates en fonction des sites de prélèvement.

Les teneurs en phosphates enregistrées durant cette campagne varient entre 0,3 et 2,4 mg/L. Les eaux continentales présentent la valeur la plus élevée au niveau du bassin de rejets (2,4 mg/L). Cette teneur dépasse légèrement la norme de rejets fixée par la Communauté Européenne (2 mg/L) mais reste inférieure à celle de l’OMS (10 mg/L). Les puits enregistrent une valeur constante égale à 0,8 mg/L. Elle est supérieure à la norme européenne (0,4 mg/L) et à la valeur maximale admissible pour les eaux souterraines (0,5 mg/L) (**Tableau XII**). Cette teneur est légèrement supérieure à celle mesurée au niveau de l’étang (0,6 mg/L). Les teneurs trouvées dans l’étang et les puits semblent provenir du bassin de rejets.

En effet, en saison des pluies, le niveau des eaux du bassin débordent et, par ruissellement, inondent la cuvette. Les teneurs peuvent aussi provenir des ortho-phosphates utilisés comme fertilisants dans cette zone agricole très intense.

Le milieu marin présente une teneur de 0,3 mg/L en M1 et non détectée en M2. Le site M1 se situe à la zone de rejets des ICS.

Ainsi, le phosphate trouvé dans l’océan peut être causé, probablement, par les déchets industriels rejetés en mer. Leur présence peut être, aussi, due à la baisse du pH qui augmente la solubilité des sels, phosphate, d’acide faible.

Cependant, les concentrations trouvées dans l'étang et le milieu marin (M1) sont supérieures à 0,2 mg/L, concentration qui peut favoriser la prolifération végétale et conduire à leur l'eutrophisation [60].

III.2.6. Etude de la dureté totale

La figure 15 représente les variations de la dureté totale dans les différents sites de prélèvement.

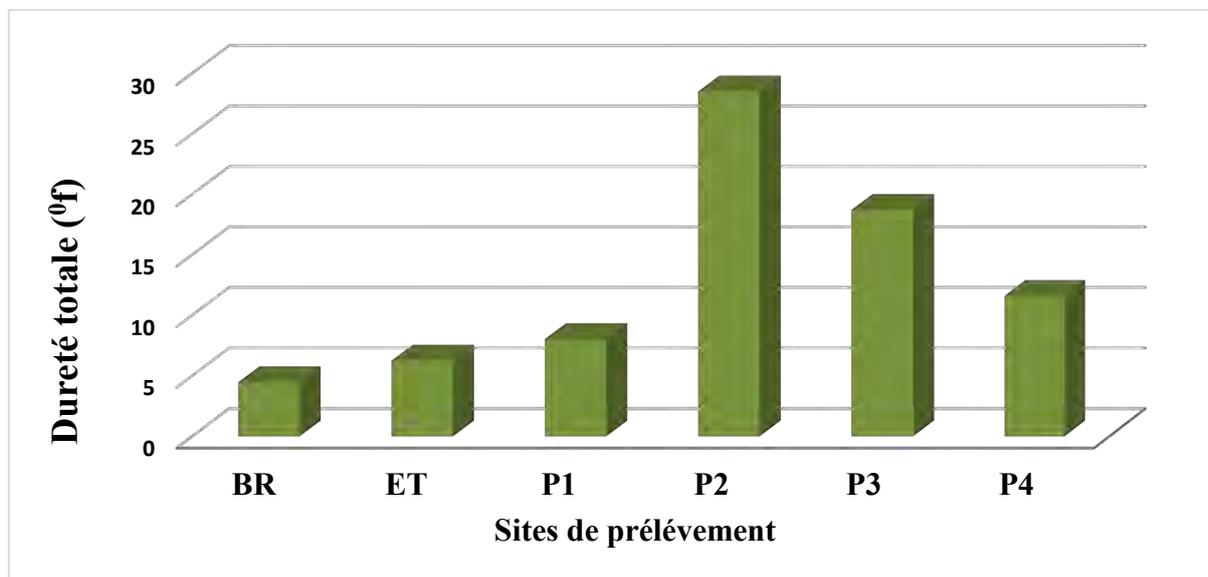


Figure 15: Variations de la dureté totale en fonction des sites de prélèvement.

Les mesures effectuées au cours de cette campagne donnent des valeurs de dureté faibles au niveau du bassin de rejets (4,45 °f), de l'étang (6,23 °f), des puits P1 (8,01 °f) et P4 (11,57 °f). Ces eaux sont considérées comme douces car leur dureté est inférieure à 15 °f.

Les puits P2 (28,41 °f) et P3 (18,69 °f), présentent des eaux moyennement dures (15 à 30 °f). Celle du bassin de rejets est faible par rapport à l'étang et aux puits. Ainsi, plus qu'on s'éloigne du bassin plus la dureté augmente.

Cependant, une corrélation n'est pas établie entre la dureté de l'eau du bassin de rejets et les eaux naturelles du milieu. Cependant la dureté des puits P2 est supérieure à la norme de l'OMS (20°f) (tableaux XII).

III.3. Etude de la corrélation entre les paramètres physico-chimiques

A partir des résultats, des corrélations ont été établies entre les différents paramètres dans les eaux de puits. Le Tableau XIII représente la matrice de corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques des eaux de puits.

Tableau XIII : Matrice de corrélation de Pearson pour les eaux de puits.

Paramètres	pH	T (°C)	EC (μS/cm)	TDS (mg/L)	TH (°f)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
pH	1									
T (°C)	-0,661	1								
EC (μS/cm)	0,011	0,699	1							
TDS (mg/L)	0,010	0,698	1,000	1						
TH (°f)	-0,302	0,821	0,935	0,936	1					
Cl ⁻ (mg/L)	0,065	0,615	0,987	0,988	0,931	1				
F ⁻ (mg/L)	0,166	0,582	0,988	0,988	0,878	0,986	1			
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,066	0,683	0,993	0,993	0,895	0,968	0,988	1		
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,065	-0,792	-0,950	-0,948	-0,862	-0,887	-0,921	-0,970	1	
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	-0,712	-0,057	-0,677	-0,675	-0,378	-0,674	-0,775	-0,733	0,655	1

La matrice de corrélation révèle une corrélation très forte entre EC, TDS, TH, Cl⁻, F⁻ et SO₄²⁻, surtout EC avec TDS, SO₄²⁻ avec EC et TDS, F⁻ avec EC et TDS, Cl⁻ avec EC et TDS, TH avec EC et TDS, SO₄²⁻ avec F⁻, Cl⁻ avec F⁻, SO₄²⁻ avec Cl⁻, Cl⁻ avec TH.

La corrélation parfaite entre l'EC et le TDS peut être expliquée par la relation de proportionnalité qui existe entre ces deux paramètres. La corrélation de l'EC avec SO₄²⁻, F⁻, Cl⁻ et TH est justifiée par l'affirmation que la conductivité est reliée par la minéralisation de l'eau surtout aux ions majeurs [55].

La corrélation entre SO_4^{2-} , F^- et Cl^- peut être expliquée par le fait que ces ions ont des origines communes.

La corrélation moyenne (0,655) entre le phosphate (PO_4^{3-}) et le nitrate (NO_3^-) pourrait être expliquée au fait que ces deux paramètres se retrouvent dans les engrais utilisés dans l'exploitation agricoles.

La corrélation de la température avec CE, TDS, TH, Cl^- , F^- et SO_4^{2-} est supérieure à la corrélation moyenne (0,5). Cela peut justifier l'influence de la température sur les paramètres chimiques.

La corrélation du phosphate et du nitrate avec les autres paramètres est généralement très faible ou négative. Ce qui signifie qu'il y'a une faible dépendance du phosphate et du nitrate avec les autres paramètres.

La corrélation du pH avec les autres paramètres est très faible ou négative ce qui peut prouver la faible dépendance du pH des paramètres étudiés.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion et perspectives

Dans ce travail, l'analyse des paramètres physiques (pH, température, conductivité et TDS) et chimiques (chlorures, fluorures, sulfates, phosphates, nitrates et dureté totale) ont été menées afin d'évaluer la qualité des eaux de quelques sites (puits, étang, milieu marin) de la zone de Mboro.

L'analyse des paramètres physiques montre que les eaux de puits (P2, P3 et P4) présentent des valeurs de températures supérieures à la température standard (25 °C) mais restent sans danger pour la santé des consommateurs. Par contre le pH, le total des solides dissous (TDS) et la conductivité électrique mesurés (EC) sont dans la limite recommandée par l'OMS. Le puits P2 avec une conductivité de 1244 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un TDS de 623 mg/L indique une minéralisation élevée. Dans le milieu marin, les pH mesurés en M1 et M2 sont inférieurs à celui de l'eau de mer naturelle et révèle une légère acidification des eaux côtières due probablement aux rejets industriels, néfastes aux organismes aquatiques.

L'analyse des paramètres chimiques a donné des teneurs maximales en chlorure des eaux de puits P2 et P3. Le puits P2 présente une valeur largement supérieure à la norme de l'OMS (250 mg/L). Ces valeurs diminuent au fur et à mesure qu'on s'éloigne des côtes.

Le phosphate est constant dans les quatre puits (P1, P2, P3 et P4). Cette teneur provient probablement des rejets industriels et des engrais phosphatés. Cependant, elle dépasse la valeur maximale admissible pour les eaux souterraines (0,5 mg/L). La dureté mesurée au puits P2 est supérieure à la norme de l'OMS pour les eaux de boisson (20 °f).

La toxicité de ces éléments n'est pas avérée mais ils sont souvent responsables de l'altération du goût, de la formation de tartre et du développement des algues. Par contre, les ions sulfates, nitrates et fluorures ne présentent pas de risque pour la santé, avec des teneurs inférieures aux normes fixées par l'OMS.

Le milieu marin enregistre des teneurs en chlorure, largement supérieures à celle de l'eau de mer naturelle (19000 mg/L), dues probablement aux rejets industriels. La teneur en phosphates est suffisante pour favoriser l'eutrophisation. Les autres paramètres, mesurés, ont des teneurs inférieures ou égales à celles habituelles rencontrées dans l'eau de mer.

L'étang et le bassin de rejets présentent des valeurs conformes aux différentes normes fixées à l'exception, les ions phosphates.

Cette étude révèle que des mesures doivent être prises afin d'éviter la pollution des eaux de la zone de Mboro. Ainsi, il convient de :

- ✓ valoriser les effluents industriels en évitant leurs rejets en mer ou par un traitement Préalable ;
- ✓ limiter le pompage de la nappe, surtout au niveau du littoral pour minimiser l'intrusion des eaux marines ;
- ✓ mettre des barrières qui empêchent le ruissellement des eaux provenant des ICS vers la cuvette ;
- ✓ éviter le contact des eaux résiduaires avec celles de surface et celles souterraines ;
- ✓ utiliser des engrais bio à la place des produits chimiques ;
- ✓ faire un suivi régulier de la qualité des eaux de la zone.

Ainsi, plusieurs perspectives peuvent être envisagées pour mieux cerner la pollution de cette zone. L'étude d'autres ions majeurs de l'eau et leur suivi spatio-temporel seront nécessaires.

L'implantation croissante des industries d'extraction minières, l'intensification des activités agricoles et l'installation récente d'une centrale à charbon dans la même zone, conduit à penser à l'évaluation des éléments traces métalliques comme le mercure, le plomb et le cadmium, qui sont hautement toxiques. De même, l'analyse de polluants organiques tels que les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les polychlorobiphényles (PCB), néfastes à la santé humaine, s'avèrent également indispensables pour une vision globale de la qualité des eaux souterraines et de surface de la région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **HERTIG** Jacques-André. 2006. Etude d'impact sur l'environnement. Lausanne : PPUR presses polytechnique. 2^e éditions. 544p.
- [2] **BOUZILLE** Jan-Bernard. 2014. Ecologie des zones humides concepts : méthodes et démarches. Paris : tec et doc-Lavoisier. 264p.
- [3] **GROSIAUDE** Gérard. 1999. l'eau : tome II usage et polluants. Éditions Quae. 210p.
- [4] **LEPAGE** C, Pourquoi un appel de Paris?, communiqué de l'association Cap 21, 7 mai 2004 (cf. www.cap21.net).
- [5] **DUBOIS** Pierre, Groupe n°12, Module interprofessionnel de santé publique. 2004. Pollutions chimiques et santé publique. 34 p.
- [6] **BOEGLIN** Jean Claude. 2001. « l'eau pure et ses propriétés ». Propriétés des eaux naturelles. G1110. p11
- [7] **DE PARCEVAUX** Santé **HUBER** Lorent. 2007. Bioclimatologie : concepts et applications. Quae. 315p.
- [8] **BLIEFERT** Claus, **PERRAUD** Robert. 2015. chimie de l'environnement, Air, eau sols, déchets. De Boeck. 2^e édition. 478p.
- [9] **BARLOW** Maude, **KLARKE** Tony. 2007. L'OR BLEU : l'eau, grand enjeu du 21^e siècle. Hachette littérature. 390p.
- [10] **MUSY** André, **HIGLY** Christophe. 2004. Hydrologie : une science de la nature. PPUR Presses. 314p.
- [11] **ATTEIA** Olivier. 2015. Chimie et pollution des eaux souterraines : Lavoisier /TEC ETDOC. 429p.
- [12] **GENIN** Brigitte, **CHAUVIN** Christian, **MONARD** Françoise. 2013. Cours d'eaux et indice biologique : pollution, méthodes. Edugari édition. 221p.
- [13] Fiche 8 : les eaux souterraines-les agence de l'eau. 2005. 1 page. Disponible sur <https://www.eaufrance.fr/>
- [14] **MIQUEL** Gérard. 2003. Rapport sur «la qualité de l'eau et de l'assainissement en France ». TOME II-ANNEXES. 288p.
- [15] **AMINOT** Alain, **KEROUEL** Roger. 2007. Dosage automatique des nutriments dans les eaux marines : méthode en flux continu. Quae.188p
- [16] Observatoire Régional de l'Environnement de Poitou-Charentes. 2013. l'environnement en Poitou-Charentes : le patrimoine naturel. ISBM. 251p

- [17] **JUSTIN** Emmanuel. 2006. « La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires », Agence de l'Eau SEINE-NORMANDIE, 34 pages.
- [18] **DEMERS** Andréanne PhD et Édith Lacroix, biol. M. Sc « Les eaux usées : une pollution encore et toujours à la une », Montréal, 11 pages.
- [19] L'ORE. L'environnement en Poitou-Charentes. 2015, Thème : l'EAU. 346p
- [20] **AUBRY** Pierre, **GAUZERO** Bernard-Alex. 2012. Les maladie liées à l'eau. 6p.
- [21] Oms. 2017. Directives de qualité pour les eaux de boisson ; volume 1- recommandation. Organisation mondiale de la santé 4^e édition. ISBN 978-92-4-254995-9
- [22] Le service public d'information sur l'eau. 2019. Les impacts de la Pollution de l'eau : pollution pression sur les milieux et risque. Disponible Sur <https://www.eaufrance.fr>
- [23] Equipe technique du REFEA. ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE. 4p. Disponible sur <https://www.oieau.fr>
- [24] Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2015. Détermination de la conductivité : méthode électrométrique, MA.115-cond.1.1, rev.1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 9p.
- [25] **KOUASSI** Michel Amani, **AHOUSSE** Ernest Kouassi, **KOFFI** Blaise Yao, **AKE** Yves Angbo et **BIEMI** Jean. 2012. Caractérisation hydrogéochimique des eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duekoué (Ouest de la Côte d'Ivoire). Int. J. Biol. Chem. Sci. 6(1) : 504-518.
- [26] World Health Organization. 1996. Originally published in Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information, Geneva, 1996.
- [27] Santé Canada. 1987. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au canada: document technique-chlorure.4p
- [28] **GUÉRIN** Henri. 2020. « CHLORE », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 11 juillet. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/chlore/>
- [29] Santé canada. 2009. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au canada : document technique -le chlore. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, direction générale de la sante environnement et de sécurité des consommateurs, santé canada, Ottawa (Ontario). N° de catalogue H128-1/09-588F.
- [30] Santé Canada. 1994. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au canada : document technique-sulfates.6p

- [31] André JAUZEIN, « SULFATES NATURELS », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 18 avril 2020.
- [32] COURTIN Jean Pierre. 2012. l'homme et les lois de la nature, lulu.com. 568p
- [33] THENARD Louis JACQUES baron. 1834. Traité de chimie élémentaire : théorie et pratique suivi d'un essai sur la philosophie chimique et d'un précis sur l'analyse, volume 3. crochard. 573p.
- [34] BANAS Damien et LATA Jean-Christophe. 2020. Université Paris-Sud; Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution ; UMR 8079 - CNRS/ENGREF/Univ. Paris-Sud ; Bât 362 ; F-91405 Orsay Cedex France.
- [35] Mission Agrobiosciences. 2013. LES NITRATES D'ORIGINE AGRICOLE, SOURCE DE TENSION.11p « disponible sur www.agrobioscience.org ».
- [36] Observatoire régional de la sante Rhône-Alpes. 2007. Les nitrates.16p. Disponible sur http://www.ors-auvergne-rhone-alpes.org/environnement/pdf/Milieux_exposition.pdf.
- [37] ROUXEL Jean. 2020. « NITRIQUE ACIDE », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 6 juillet.
- [38] BANAS Damien et LATA Jean-Christophe « les phosphates »Université Paris-Sud ; Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution. 6 p.
- [39] RADJA Maizi, ZAHRA Boutria Fatima. 2019. Caractérisation et valorisation des ressources minérales phosphatées. 87p.
- [40] TADIER Solène. 2009. Etude des propriétés physico-chimique et biologiques de ciment Biomédical à base de carbonate de calcium : apport du procédé de Co-broyage. 229p.
- [41] : PORTIER Josik. 2020. « FLUOR », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 14 décembre. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/fluor/>
- [42] GUILLOUX Camille ; KOCHONI Émeric ; CAMPBELL Peter G. C. ; BLAIS, Jean-François ; FORTIN, Claude. 2015. Géochimie et écotoxicologie des fluorures dans les écosystèmes terrestre et aquatique et méthode de traitement : revue de la littérature scientifique. Institut national de recherche scientifique (INRS), centre eau, terre, environnement.1-sources et teneurs environnementales des fluorures. pp1-6
- [43] BEN NASR Anis. 2013. Performance des procédés physico-chimiques et membranaires pour l'élimination des ions fluorures dans les eaux de forage : application aux eaux tunisienne.
- [44] SAMB Faou. 2004. Problématique du fluor dans l'alimentation en eaux potable du Sénégal. 42p

- [45] Les services techniques et médicaux de l'INRS. 2008. « Fluor ». Fiche toxicologique N°203. 6p
- [46] **RIAZI** Mansour. 2011. Effets des fluorures sur l'activité antimicrobienne des antibiotiques contre staphylococcus aureus et Pseudomonas aeruginosa. 99p. Disponible sur <https://papyrus.bib.umontreal.ca>
- [47] **PREVEDELLO** Cédric. 2006. la qualité de l'eau de distribution : dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. 43p
- [48] **SENAT**. 2020. La qualité de l'eau et assainissement en France : annexe 74 - le calcaire dans l'eau distribuée. Disponible sur <https://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-265.html>.
- [49] **ROUESSAC** Francis, **ROUESSAC** Annick. 2004. Méthodes et techniques instrumentales Modernes. Paris : Dunod 6^e édition. 459p.
- [50] **MACHEREY-MAGEL**. Photomètre à filtres PF11 pour l'exploitation pour l'exploitation des tests VISOCOLOR ® et des tests en cuves rondes NANOCOLOR ® disponible sur www.mn-net.com
- [51] **JULEMONE** Marine. 2019. Caractérisation hydrogéologique du bassin versant côtier de la région de Mboro, zone des Niayes (Sénégal). 59p
- [52] **ANDS**. 2019. Situation économique et sociale régional. 343pages. Disponible sur <http://www.ansd.sn/ressources/ses/SES-Thies-2016.pdf>
- [53] **NDIAYE** Samba, **TOURE** Alpha Ousmane, **MBACKE** Falilou, **PRAT** Laurent. 2017. Valorisation d'un effluent issu de la production d'acide phosphorique. Récents Progrès en Génie des Procédés. 110-2017.
- [54] **RODIER** Jean. 2009. L'Analyse de l'eau. DUNOD, Paris. 9e édition. 1600p
- [55] **BERTRAND** Catherine, **VALLET** Aurélien, **MUDRY** Jacques. 2013. Approche hydrochimique de la dégradation mécanique du versant instable de Séchilienne. JAG - 3^{èmes} journées Aléas Gravitaires, Sep 2013, Grenoble, France. pp.1-6. fhal-01062457f
- [56] **BERNE** F. Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière, Édition TECHNIP, 1972, p 207.
- [57] **ANSES**. 2005. Fiche 10 : Evaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la référence de qualité des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaine.5p : disponible sur <https://www.anses.fr>.
- [58] **MAZETP** Pierre. 2002. Les eaux souterraines riches en fluor dans le monde. Montpellier (FRA) ; Montpellier : USTL ; IRD, 44 p. multigr. Mém. DEA : Sci. de l'Eau dans l'Environ. Continental, USTL : Montpellier. 2002.

- [59] **SENAT**. 2020. Rapport sur la qualité de l'eau et assainissement en France : les pollutions d'origine agricole. Disponible sur <https://www.senat.fr/rap/102-215-1/102-215-113.html>.
- [60] **YOUCEF L, ACHOUR S**. 2005. Elimination des phosphates par des procédés physico-chimiques. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, pp.129-140

Titre : Détermination des paramètres physico-chimiques des eaux de la zone des Niayes (Mboro).

Prénom et Nom du candidat : **Mame Mor DIONE**

Nature du mémoire : **Master de Chimie Physique Appliquée à l'Energie et à L'Analyse.**

Composition du jury :

PRESIDENT : M. Abdoulaye DIOP

Professeur, FST-UCAD

MEMBRES : M. Momar NDIAYE

Maître de Conférences, FST-UCAD

Mme Ramatoulaye DIOUF

Maître Assistante, FST-UCAD

M. Moussa MBAYE

Maître Assistant, FST-UCAD

DIRECTEUR : M. Birame NDIAYE

Maître Assistant, FST-UCAD

Résumé

Dans ce travail, nous avons analysé certains paramètres physico-chimiques pour étudier l'influence des activités, menées dans la zone de Mboro (centre du domaine des Niayes), sur les eaux. Les échantillons proviennent de puits, de la mer, d'étang et de bassin de rejets. Les paramètres physiques (température, pH, conductivité et TDS) ont été mesurés in situ à l'aide d'un pH-mètre portable combiné. Les paramètres chimiques (phosphates, sulfates, nitrates, fluorures et chlorures) sont mesurés avec un photomètre. La dureté est obtenue par la méthode du titrage complexométrique.

Les résultats montrent de fortes teneurs pour certains paramètres analysés. Les températures enregistrées au niveau des puits varient entre 22,1 et 28,4 °C. Certaines sont supérieures à la température standard (25°C). Les pH trouvés dans les eaux oscillent entre 6,62 et 7,62 et sont conformes à la norme fixée par l'OMS pour la boisson. Les valeurs mesurées dans les deux sites marines sont légèrement acides par rapport au pH de l'eau de mer naturelle. Les conductivités électriques détectées durant cette campagne sont conformes aux normes de l'OMS mais le puits P2 et le bassin de rejets présentent une minéralisation élevée.

Les paramètres chimiques sont détectés parfois à des teneurs élevées, surtout au niveau du puits P2 où les concentrations des chlorures, des phosphates et la dureté totale dépassent les normes préconisées par l'OMS.

Le milieu marin présente des teneurs en chlorures largement supérieures à celles habituellement relevées dans l'eau de mer naturelle (19000 mg/L). Les ions phosphates se retrouvent pratiquement dans tous les puits avec des concentrations constantes (0,8 mg/L), mais légèrement supérieures à la valeur maximale admissible dans l'eau de boisson (0,5 mg/L). La teneur trouvée en M1 (0,3 mg/L), zone de rejets industrielle, est suffisante pour favoriser l'eutrophisation alors que celle du bassin de rejets est légèrement supérieure à la norme de rejets française. Ces fortes teneurs ont affecté les nappes de certains puits par ruissellement. Ainsi, le puits P2 est considéré comme non potable avec une dureté, de 28,48 °f, supérieure à la norme de l'OMS (20°f).

Mots clés : Mboro, puits, bassin de rejets, eaux marines, étang, paramètres physico-chimiques, photométrie, complexométrie.