

TABLE DES MATIERES.....	I
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES GRAPHES.....	VII
LISTE DES ABREVIATIONS.....	VIII

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	0
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	2
I. GENERALITES SUR LES OXYDES D'AZOTE	3
I.1.Classification des grandes catégories des oxydes d'azotes.....	3
I.1.1.Les oxyde d'azote gazeux dans l'air	3
I.1.2.Les oxyde d'azote dans l'eau et dans les sols.....	4
I.1.2.1. Nitrite NO_2^-	4
I.1.2.2.Nitrate NO_3	4
I.2. Propriétés physico-chimiques des oxydes d'azotes	5
I.2.1. Cycle biogéochimique de l'azote.....	5
I.3. les principales sources de pollution des oxydes d'azote.....	8
I.3.1. source des pollutions des oxydes d'azote dans l'air atmosphérique.....	9
I.3.2. Source des pollutions des oxydes d'azote dans le sol et dans l'eau	10
I.3.2.1. Sources naturelles	10
I.3.2.2. Sources anthropiques.....	10
II. ETUDE DE L'IMPACT DES OXYDES D'AZOTES.....	11
II.1. Les effets des oxydes d'azote sur la santé humaine	11
II.1.1. Les effets des oxydes d'azote gazeux.....	11
II.1.2. Les effets des oxydes d'azote en solution aqueuse	11
II.1.2.1. Méthémoglobinémie.....	12
II.1.2.2. Effets sur la reproduction et le développement	12
II.1.2.3. Cancer.....	12
II.1.2.4. Autres effets	13
II.2. Les effets des oxydes d'azotes sur l'environnement.....	13
II.2.1. Contamination de l'air.....	13
II.2.2 Contamination des sols et de l'eau	13
II.3. Modélisation du transfert des oxydes d'azote vers les nappes phréatiques.....	14

II.4. Impact du dépôt d'ordures sur les ressources en eau et sur l'environnement	16
I.4.1. Impact sur les ressources en eau	16
I.4.2. Impact sur l'environnement	16
I.4.3. Les lixiviats [44], [45]	16
I.4.3.1. Mécanisme de formation des lixiviat	16
I.4.3.2. Classification des lixiviats	17
I.4.3.3. Quantification des lixiviats	17
I.4.3.4. Facteurs de formation des lixiviats.....	18
III. TRAVAUX SCIENTIFIQUES RECENTS SUR L'EVALUATION DES POLLUANTS DU TYPE NOX	19
DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES.....	24
I. CONTEXTE GENERAL DU SITE	25
I.1. Localisation de la zone d'étude	25
I.2. Historique	25
I.3. Catégorie des déchets sur les décharges d'Andralanitra	26
I.3.1. Composition des ordures ménagères source SAMVA.....	26
I.3.2. Tonnage et volume des ordures ménagères (OM)	28
I.4 Climat.....	28
I.4.1 Température.....	28
I.4.2 Précipitation	29
I.5. Hydrologie	30
I.6. Hydrogéologie	30
I.7. Géologie.....	31
I.8. Population	32
II. METHODOLOGIE.....	33
II.1. Point de prélèvement.....	33
II.2. Analyse des paramètres physico-chimiques	35
II.2.1. Analyse des paramètres physiques	35
II.2.2. Analyses des paramètres biologiques	36
II.2.3. Analyse des paramètres chimiques.....	37
II.2.2.1. Chromatographie ionique	37
II.2.2.2. Théorie de l'analyse par chromatographie ionique	37
II.2.2.3. Principe de la chromatographie ionique	39
II.2.2.4. Mécanisme de séparation	41

II.2.2.5. Résines échangeuses d'ions	41
II.2.2.6. Grandeurs caractéristiques chromatographiques.....	43
II.2.2.7. Méthode de calcul et expression de résultat en chromatographie ionique	43
II.3. Outils de traitement des données	44
II.3.1. Outils mathématiques	44
II.3.2. Analyse en composantes principales.....	44
II.3.2.1. Définition et historique de l'ACP	44
II.3.2.2. Interprétation des résultats	44
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS	45
I. RESULTATS DES PARAMETRE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINE MOIS DE JANVIER SAISON SECHE.....	46
I.1. Observations.....	46
I.2. Interprétations	47
I.2.1. Diagramme d'inertie totale	47
I.2.2. Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2	47
I.3. Études des variables	47
I.3.1. Étude des axes F1 et F2	48
I.3.2. Étude des axes F1 et F3	48
I.4. Études des individus	49
I.4.1. Plan 1 : 2	49
I.4.2. Plan 1 : 3	49
II. RESULTAT DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT MOIS DE FEVRIER 2017 SAISON HUMIDE	49
II.1. Observations.....	50
II.2. Interprétations	50
II.2.1. Diagramme d'inertie totale	50
II.2.2. Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2	51
II.3. Études des variables	51
II.3.1. Étude des axes F1 et F2	51
II.3.2. Étude des axes F1 et F3	52
II.4. Études des individus	52
II.4.1. Plan 1 : 2	52
II.4.2. Plan 1 : 3	52
III.RESULTAT DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT MOIS DE MARS 2017 SAISON HUMIDE.....	53

III.1. Observations.....	54
III.2. Interprétations	54
III.2.1 Diagramme d'inertie totale	54
III.2.2.Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2	54
III.3.Etudes des variables	55
III.3.1.Étude des axes F1 et F2	55
III.3.2.Étude des axes F1 et F3	56
II.4.2.Études des individus	56
III.4.1.Plan 1 : 2	56
III.4.2.Plan 1 : 3	57
IV.RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT DU MARS 2017 PENDANT LE PASSAGE D'UN CYCLONE.....	57
IV.1. Observations	58
IV.2. Interprétations	58
IV.2.1 Diagramme d'inertie totale	58
IV.2.2. Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2	58
IV.3. Études des variables.....	59
IV.3.1. Étude des axes F1 et F2.....	59
IV.3.2. Étude des axes F1 et F3	60
IV.4. Études des individus.....	60
IV.4.1. Plan 1 : 2	60
IV.4.2. Plan 1 : 3	61
V.RESULTAT DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT D'AVRIL 2017 SAISON SECHE	61
V.1. Observations	62
V.2.1. Diagramme d'inertie totale	62
V.2.2. Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2	62
V.3. Études des variables.....	63
V.3.1. Étude des axes F1et F2.....	63
V.3.2. Étude des axes F1 et F3	64
V.4. Études des individus.....	64
V.4.1. Plan 1 : 2	64
V.4.2. Plan 1 : 3	65
VI.VARIATION DE CONCENTRATION DE NITRITE ET DE NITRATE DU MOIS DE JANVIER AU MOIS D'AVRIL	65

VII.ETUDE COMPARATIVE.....	67
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	69



Liste des figures

Figure 1: Cycle de l'azote Source: fr.wikipedia.org.....	6
Figure 2: Schéma simplifié du cycle de l'azote	6
Figure 3: Schéma de dénitrification	8
Figure 4: Représentation schématisque de la formation des NOx dans l'air atmosphérique	9
Figure 5: Représentation simplifiée des transferts d'azote dans un hydrosystème (en rouge) et localisation des processus de dénitrification (en vert)	15
Figure 6: Carte de localisation de la zone d'étude	25
Figure 7: Types des déchets sur le site de décharge d'Andralanitra	27
Figure 8: La moyenne de la Température maximale et minimale (2016)	29
Figure 9: Variation de la précipitation d'Antananarivo source direction météorologique 2016.....	29
Figure 10: Modèle hydrogéologique simplifiée	30
Figure 11: Coupe géologique simplifiée de la zone	31
Figure 12: Carte géologique de la zone d'étude	32
Figure 14: Les positions de 6 puits des prélèvements	34
Figure 16: Eléments constitutifs de chromatographie ionique Source : donné par l'Auteur.....	38
Figure 17 : Chromatogramme de l'échantillon	40
Figure 18: Schéma de la structure d'un gel	42
Figure 19: Schéma de la structure pelliculaire	42
Figure 21: Profil des différents paramètres physico-chimiques du janvier 2017	46
Figure 22: Profil des différents paramètres physico-chimiques du février 2017	50
Figure 23: Profil des différents paramètres physico-chimiques du Mars 2017	53
Figure 24: Profil des différents paramètres physico-chimiques pendant le cyclone	57
Figure 25: Profil des différents paramètres physico-chimiques d'avril 2017	61
Figure 26: variation des concentrations de nitrite du mois de Janvier au mois d'Avril	65
Figure 27: variation des concentrations de nitrate du mois de Janvier au mois d'Avril	66

Liste des graphes

Graphe 1: Diagramme d'inertie totale.....	47
Graphe 2:Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1 et 2.....	47
Graphe 3:Variables sur le cercle des corrélations du plan 1et 2.....	48
Graphe 4: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3.....	48
Graphe 5: Diagramme d'inertie totale.....	50
Graphe 6: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1&2.....	51
Graphe 7: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2.....	51
Graphe 8: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3.....	52
Graphe 9: Diagramme d'inertie totale.....	54
Graphe 10: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1&2.....	55
Graphe 11: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2.....	55
Graphe 12 : Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3.....	56
Graphe 13 : Diagramme d'inertie totale.....	58
Graphe 14: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1&2.....	59
Graphe 15: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2.....	59
Graphe 16: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3.....	60
Graphe 17: Diagramme d'inertie totale.....	62
Graphe 18: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1&2.....	63
Graphe 19: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2.....	63
Graphe 20 : Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3.....	64

Liste des tableaux

Tableau 1:Oxydes d'azote et ions d'oxyde d'azote d'après la source : Shriver et Atkins en (1999)	5
Tableau 2:Principales origines des NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ dans l'environnement source : Ratel, 1992	11
Tableau 3:La composition des ordures ménagères.....	26
Tableau 4: Evolution de la quantité des déchets collectés du 1998 au 2014 Source SAMVA.....	28
Tableau 5:Exemples de colonnes : DIONEX.....	39
Tableau 6:Résines échangeuses d'ion les plus utilisé.....	43
Tableau 7:Résultat de la campagne de prélèvement mois de janvier 2017.....	46
Tableau 8:Résultats de la campagne de prélèvement mois de février 2017.....	49
Tableau 9:Résultats de la campagne de prélèvement mois de Mars 2017.....	53
Tableau 10:Résultats de la campagne de prélèvement mois de Mars 2017 pendant le passage d'un cyclone.....	57
Tableau 11:résultats de la campagne de prélèvement mois d'Avril Avril 2017.....	61
Tableau 12: Teneur de nitrite du mois de Janvier au mois d'Avril.....	65
Tableau 13: Teneur de nitrate du mois de Janvier au mois d'Avril.....	66
Tableau 14: Résultats physico-chimiques et biogéochimiques du lixiviat et des eaux des puits saison sèche cas du décharge publique de R'mel en Maroc	67
Tableau 15: Résultats physico-chimiques et biogéochimiques du lixiviat et des eaux des puits saison humide cas du decharge publique de R'mel en Maroc	67
Tableau 16:Résultats physico-chimiques des eaux des puits saison sèche cas d'Andralanitra	68
Tableau 17: Résultats physico-chimiques et des eaux des puits saison humide cas d'Andralanitra	68

Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

AD : Ancienne Décharge

CE : Conductivité Electrique

CR : Contribution Relative

CUA : Commune Urbaine d'Antananarivo

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

ND : Nouvelle Décharge

NOx: Oxyde d'azote

MES: Matière en suspension

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH Potentiel hydrogène

qlt : qualité

SAMVA : Service Autonome de Maintenance de la Ville d'Antananarivo

THF : Tétra Hydro Furane

URGPGE : Unité de Recherche en Génie des Procédés et Génie de l'Environnement

INTRODUCTION GENERALE

Ce dernier siècle, la destruction de l'environnement règne dans la plupart des pays, surtout les pays en voie de développement comme Madagascar. La Commune Urbaine d'Antananarivo a subi une augmentation de production de déchet à cause de la grande croissance démographique et les diverses activités socio-économiques, industrielles et agricoles.

La mise en décharge est la seule méthode utilisée par la Commune pour l'élimination de ces déchets, cela est facile à mettre en œuvre et relativement moins coûteux. [1]

Depuis 1966, seul le site de décharge d'Andralanitra a été choisi par les autorités existantes pour éliminer les ordures de la Commune Urbaine d'Antananarivo. [2]

C'est l'unique endroit pour les dépôts des ordures de la ville d'Antananarivo, ce site reçoit tous les déchets, non contrôlés et à ciel ouvert, où les types de déchets sont rejetés à l'état brut, ces déchets sont mélangés et sans prétraitement. La mise en opération de ce site de décharge n'avait pas fait l'objet, d'aucune étude d'impact environnemental. Cela entraîne des grands problèmes sur l'environnement et surtout l'influence des déchets envers la population riveraine aux alentours du site. L'un de ces facteurs qui a influencé cette destruction semble être les polluants majeurs tels que les oxydes d'azote qui sont : le monoxyde d'azote, le dioxyde d'azote, les nitrates et les nitrites. Les oxydes d'azote provenant des déchets sont classés comme des polluants toxiques, le monoxyde d'azote, dioxydes d'azote sont des gaz toxiques qui provoquent des pollutions atmosphériques et aussi les nitrites et nitrates à l'état ionique sont des polluants chimiques dans le sol, dans les lixiviats et migrent vers la nappe phréatique et ils provoquent des effets néfastes sur la santé publique.

Face à cette situation nous avons choisi ce sujet de mémoire qui s'intitule « *Suivi et évaluation des polluants du type NOx : cas du site de la décharge d'Andralanitra* ». Des descentes sur terrain ont été effectuées pour l'échantillonnage de l'eau et faire quelques enquêtes sur la santé des riverains aux alentours du site. Cette étude a pour objectif de connaître les caractéristiques des polluants des types oxydes d'azote comme les nitrates et les nitrites dans l'eau sur la décharge et évaluer leurs impacts sur l'environnement.

Ce mémoire s'articule principalement sur trois parties :

- La première partie présente la synthèse bibliographique qui retrace les connaissances sur les oxydes d'azotes, leurs effets sur l'environnement et la santé humaine ainsi que leur transfert vers les nappes phréatiques;
- La deuxième partie est consacrée aux matériels et méthodes qui décrivent les protocoles expérimentaux pour les analyses,
- La troisième partie contient les résultats et discussions.

Cette étude se termine par la conclusion et les perspectives.

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR LES OXYDES D'AZOTE

Du point de vue chimique, l'abréviation NO_x ou les oxydes d'azote regroupent tous les composés de formule brute N_xO_y avec un degré d'oxydation de l'azote variant de I à V. [3]

Ils résultent de la combinaison dans l'air à haute température de l'azote et de l'oxygène. Les oxydes d'azote font parties des polluants majeurs qui nuisent la santé des êtres vivants et détruisent l'environnement. Ils se présentent sous plusieurs formes comme dans l'air et dans les sols ainsi que dans l'eau selon leurs natures et leurs propriétés physico-chimiques.

En pratique le terme oxyde d'azote NO_x, regroupe le monoxyde NO, le dioxyde NO₂ et le protoxyde d'azote N₂O. Lors de la combustion, on considère qu'environ 95 % des NO_x sont produits initialement sous forme de NO. [4]

Le NO est ensuite converti dans l'air atmosphérique en NO₂ suivant divers processus. Les oxydes d'azote gazeux suivent les processus de transformation dans le cycle biochimique de l'azote pour former des nitrites puis des nitrates.

I.1. Classification des grandes catégories des oxydes d'azotes

Ils se présentent sous différentes formes : 90% sous forme azote organique, le reste en azote minéral et azote gazeux. Les formes organiques sont multiples, et ils sont facilement dégradables. Les formes dissoutes inorganiques sont le nitrate NO₃⁻, le nitrite NO₂⁻, forme intermédiaire et instable, l'ammonium NH₄⁺, et les gaz N₂O, NO, N₂, l'ammoniac NH₃.

Les oxydes d'azotes sont présents sous plusieurs formes selon la nature de milieu où ils se trouvent :

- dans l'air atmosphérique sous forme gazeuse comme les NO et les NO₂
- dans l'eau sous forme ionique comme les NO₂⁻ et les NO₃⁻
- dans le sol humide, le dioxyde d'azote réagit pour donner de l'acide nitrique. [5]

I.1.1. Les oxyde d'azote gazeux dans l'air

Ce sont les monoxydes d'azote, dioxydes d'azote, peroxydes d'azote

Les monoxydes d'azote: est un gaz sans couleur et comburant avec une légère odeur. Il est peu toxique, son odeur est insuffisant pour prévenir du danger. Sa température de fusion est de -163,6°C et sa température d'ébullition normale est égale à -151,8°C, du point de vue thermodynamiques, l'enthalpie de formation standard (à 25°C et 1bar) est $\Delta_f H^\circ_{\text{gaz}} = 90,29 \text{ kJ/mol}$, et l'entropie molaire standard à ce température ambiante est $S^\circ = 210,76 \text{ J/(mol.K)}$. [6]

Les dioxydes d'azote : est un gaz brun rougeâtre, avec une odeur discernable. Il est fortement toxique, endommageant sérieusement les poumons avec un effet retardé. Sa température de fusion est de -11,2°C et sa température d'ébullition normale est égale à 21,1°C. Son enthalpie de formation standard est $\Delta_f H^\circ_{\text{gaz}} = 33,10 \text{ kJ/mol}$ et l'entropie molaire standard est $S^\circ = 240,04 \text{ J/(mol.K)}$.

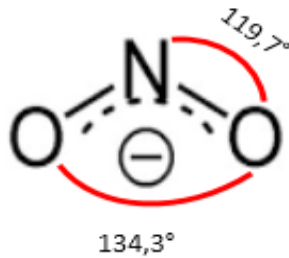
Le peroxyde d'azote : appelé aussi oxyde nitreux, il a de nombreuses utilisations, comme en anesthésie (dans un mélange à 50% d'oxygène), comme oxydant dans certains moteurs fusées. Sa

température de fusion est de -91°C , et sa température d'ébullition est -88°C . Son enthalpie de formation standard est $\Delta_f H^{\circ}_{\text{gaz}} = 82,05\text{kJ/mol}$ et l'entropie molaire standard est $S^{\circ} = 219,96\text{J}/(\text{mol.K})$.

I.1.2. Les oxyde d'azote dans l'eau et dans les sols

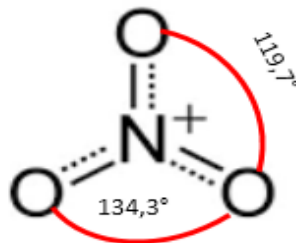
Ils se présentent sous plusieurs formes en solution aqueuse mais les plus rependues sont les anions NO_2^- et NO_3^- qui sont les nitrites et les nitrates ce qui nous intéresse dans cette étude.

I.1.2.1. Nitrite NO_2^-



Les nitrites sont des sels de l'acide nitreux HNO_2 . De formule chimique NO_2^- et ils appartiennent à la famille des oxydes d'azote NO_x il est formé à partir d'un atome d'azote et deux atomes d'oxygène dont l'un est chargé négativement. Ils sont formés à partir de la réaction de nitrification de l'ammonium par la bactérie de genre *Nitrosomonas*. L'angle formé entre l'atome N et l'atome O vaut $119,7^{\circ}$ et l'angle formé entre les deux atomes d'oxygène est de $134,3^{\circ}$. Sa masse moléculaire de $M=46\text{ g.mol}^{-1}$.

I.1.2.2. Nitrate NO_3^-



Le nitrate est un composé inorganique composé d'un atome d'azote (N) et de trois atomes d'oxygène (O) dont l'un est chargé négativement. Sa formule chimique est NO_3^- . [7] Ils sont des sels de l'acide nitrique HNO_3 . Il appartient à la famille des oxydes d'azote. Sa masse moléculaire de 62 g.mol^{-1} . L'angle formé entre l'atome N et l'atome O se fait en $119,7^{\circ}$ et l'angle formé entre les deux atomes d'oxygène est de $134,3^{\circ}$. Il est formé à partir de la nitratisation des nitrites par les bactéries du genre *nitrobacter*. [8] En milieu acide, l'ion nitrate étant un oxydant assez fort ayant un nombre d'oxydation le plus élevé (V) dans la forme de l'azote. Le nitrate est la forme la plus stable obtenue à partir du cycle d'azote. Cette stabilité due à ses deux formes limites

possibles, mais il peut être réduit en nitrite, modérément réactif, par action microbienne. C'est un ion accepteur d'électron, sous forme d'ion NO_3^-

Le tableau 1 présente les différents types d'oxydes d'azote, avec leurs propriétés physiques et chimiques.

Molécule d'oxyde d'azote

Nombre d'oxydation	formule	Nom	Propriétés
+1	N_2O	Oxyde nitreux	Gaz sans couleur, peu réactif
+2	NO	Oxyde nitrique	Gaz sans couleur, peu réactif paramagnétique
+3	N_2O_3		En forme solide et se dissocie en NO et NO_2 en phase gazeuse
+4	NO_2	Dioxyde d'azote	Brun, gaz réactif paramagnétique,
+5	N_2O_5		Solide ionique coloré instable

Ions d'oxyde d'azote

Nombre d'oxydation	formule	Nom	Propriétés
+3	NO_2^-	Nitrite	Base faible réagit comme agent oxydant et réducteur
+3	NO^+	Cation nitrosyle	Agent oxydant
+5	NO_3^-	Nitrate	Base très faible, agent oxydant,
+5	NO_2^+	Cation nitronium	Agent oxydant, acide de Lewis

Tableau 1: Oxydes d'azote et ions d'oxyde d'azote d'après la source : Shriver et Atkins en (1999)

I.2. Propriétés physico-chimiques des oxydes d'azotes

Toutes les formes d'azote ont les propriétés physico-chimiques selon leur milieu où il est.

I.2.1. Cycle biogéochimique de l'azote

Le cycle biogéochimique de l'azote est un cycle qui décrit les étapes de la succession et des modifications subies par les différentes formes de l'azote neutre en formes réactives comme les diazote, nitrate, nitrite, ammoniacque, azote organique. Le cycle biogéochimique est le passage entre les diverses formes de l'azote minérales et organiques qui fait intervenir de nombreux organismes animaux et végétaux ainsi que des micro-organismes ou bactérie. Il représente les diverses formes de l'azote comme à l'état libre, le N_2 gaz est à l'état minéral, il se trouve principalement à l'état de nitrate NO_3^- et d'ammoniac NH_3 . Le cycle d'azote se fait dans le sol et dans l'eau selon plusieurs processus chimique et biologique.

La figure 1 ci-dessous présente le cycle biochimique de l'azote

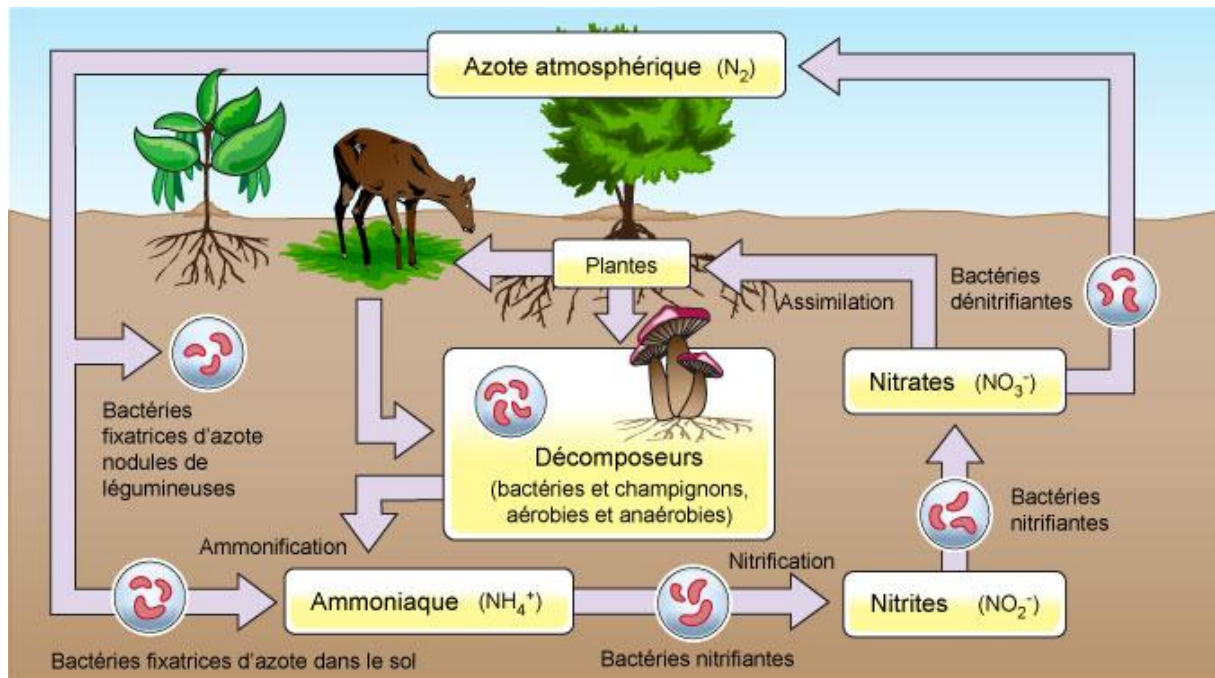


Figure 1: Cycle de l'azote Source: fr.wikipedia.org

La figure 2 ci-dessous représente un schéma simplifié du cycle biochimique de l'azote

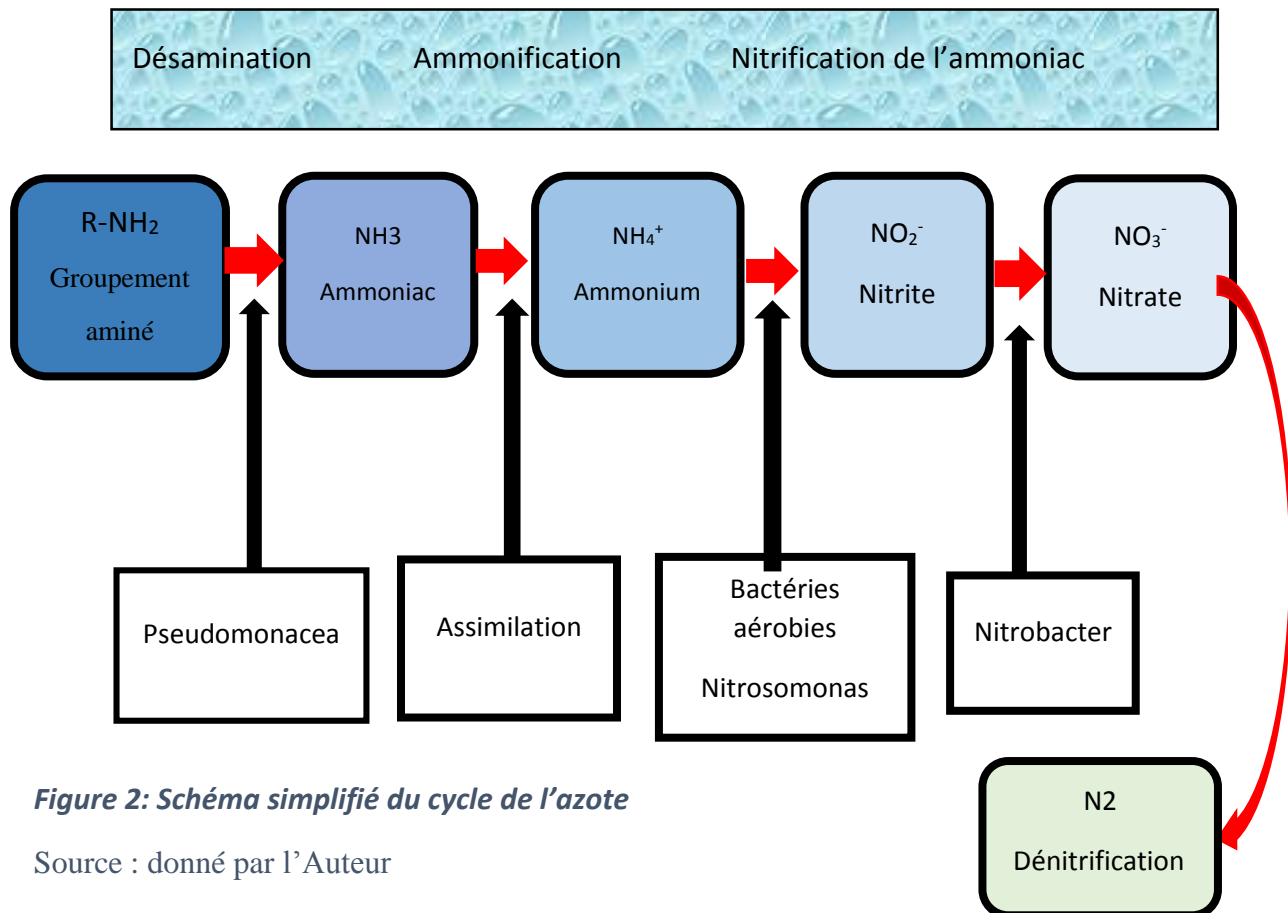


Figure 2: Schéma simplifié du cycle de l'azote

Source : donné par l'Auteur

Les différentes étapes du cycle d'azote

La fixation de l'azote

La fixation de l'azote correspond à la conversion de l'azote atmosphérique en azote utilisable par les plantes et les animaux. Le diazote atmosphérique représente donc la source majeure de production de substances protéiques essentielles au développement des plantes. [10]

Elle se fait par certaines bactéries qui vivent dans les sols ou dans l'eau et qui réussissent à assimiler l'azote diatomique N_2 . Il s'agit en particulier des cyanobactéries et de certaines bactéries vivant en symbiose avec des plantes (entre autres, des légumineuses).

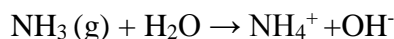
Le mécanisme réactionnel suivant nous montre la fixation de l'azote:



La minéralisation

La minéralisation correspond à la dégradation de la matière organique par les micro-organismes, conduisant à la formation de NH_4^+ . Ce processus est peu spécifique, il est réalisé par un grand nombre de micro-organismes réducteurs, bactéries aérobies (*Bacillus*, *Pseudomonaceae*) et anaérobies (*Clostridium*). [11]

Selon la réaction chimique suivant :



Nitrification

La nitrification se réalise en deux étapes par des bactéries et certains Champignons, il transforme les produits de la fixation (NH_4^+ , NH_3) en nitrites NO_2^- et nitrates NO_3^- .

C'est une succession de deux oxydations par des bactéries spécifiques, *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* principalement, qui transforment l'ammonium en nitrite NO_2^- (nitration) puis en nitrate NO_3^- (nitratisation).

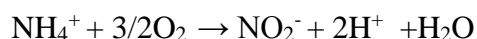
C'est une réaction d'oxydation qui se fait par catalyse enzymatique reliée à des bactéries dans les sols et dans l'eau. La nitrification représente donc une forte acidification HNO_3^- qui peut jouer un rôle dans l'altération des minéraux. [12]

La nitrification se fait en deux étapes : la nitrosation et la nitratisation

1^{er} étape : la nitrosation

C'est la transformation de l'ammonium en nitrite en milieu aérobie par l'intermédiaire des bactéries nitrosantes (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*)

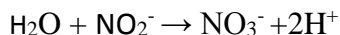
Selon la réaction générale suivant :



2^e étape : la nitratisation

La nitratisation c'est l'oxydation des nitrites en nitrate par des bactéries nitratantes (*Nitrobacter*, *Nitrococcus*).

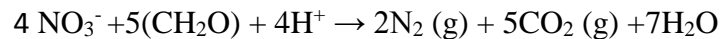
Selon la réaction générale suivant :



La dénitrification

Elle correspond la réduction des nitrates en azote gazeux par l'intermédiaire dans une condition anaérobie des bactéries dénitrifiantes *Bacillus*.

Il retourne l'azote à l'atmosphère sous sa forme moléculaire N_2 , avec comme produit secondaire du CO_2 et de l'eau H_2O , un gaz à effet de serre qui contribue à détruire la couche d'ozone dans la stratosphère. Il s'agit d'une réaction de réduction de NO_3^- par l'intermédiaire de bactéries transformant la matière organique. La réduction des nitrates jusqu'au stade diazote constitue une séquence de réactions dont chaque étape est catalysée par une enzyme particulière voir la figure 3 Selon la réaction chimique suivant:



La figure 3 ci-dessous présente la dénitrification

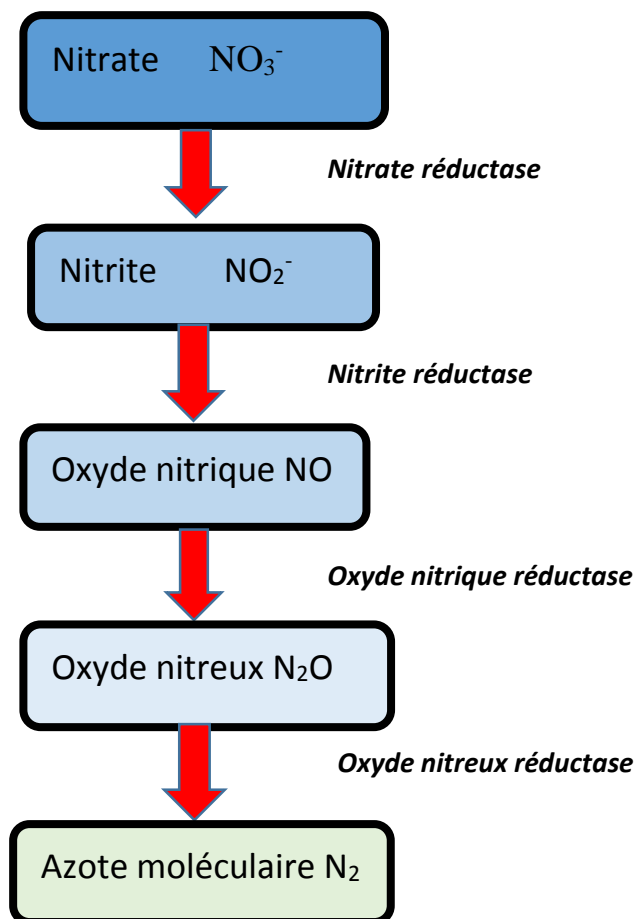


Figure 3:Schéma de dénitrification

Source donné par l'Auteur

I.3. les principales sources de pollution des oxydes d'azote

Plusieurs processus entraînent les formations des oxydes d'azote.

I.3.1. source des pollutions des oxydes d'azote dans l'air atmosphérique

Les oxydes d'azote sont formés par combinaison de l'oxygène et de l'azote de l'air lors de phénomènes naturels comme l'orage, et l'éruption volcanique.

La principale source est anthropique lors des combustions des combustibles comme les charbons, fioul, gaz naturel, les fumées sur les échappements d'automobiles, surtout les véhicules diesel.

La fermentation de grains humides stockés en silot est également une des sources d'expositions aux NOx. Ils peuvent aussi se former à partir d'incendie de forêt et incinération des matériaux qui renferme des composés azotés sur une décharge publique. [13] La formation du monoxyde d'azote à partir de la molécule de N₂ dans l'air atmosphérique est fortement endothermique parce que l'enthalpie de dissociation de la molécule N₂ est élevée,

Selon la réaction :



Mécanismes de formation des oxydes d'azote dans l'air atmosphérique

Il existe deux mécanismes de formation des oxydes d'azote dans l'air. Le mécanisme Le premier est du type « **NO-thermique** » c'est une formation naturelle entre la molécule de diazote N₂ et l'oxygène. Il correspond à l'oxydation d'une petite fraction de l'azote de l'air dans les zones les plus chaudes. L'azote N₂ étant une molécule stable, ce pour cela qu'elle faut des températures élevées pour qu'elle réagisse avec l'oxygène. [14]

Le second est du type « **NO-combustible** » caractérise l'oxydation d'une partie des substances azotées présentes dans le combustible. La formation des oxydes d'azote sont en fonction de la teneur en azote du combustible. Ces substances complexes d'azote se dégradent rapidement en d'autres molécules plus simples (NH_x,...). Et il en résulte deux types d'évolution pour ces molécules azotées :

- Si elles sont dans un milieu qui est localement oxydant (présence d'oxygène), elles évoluent vers NO par oxydation.
- Si elles ont un environnement réducteur (présence de substances hydrocarbonées CH_i, milieu déjà riche en NO), elles se convertissent en azote moléculaire N₂

La figure 4 ci-dessous nous explique ce processus

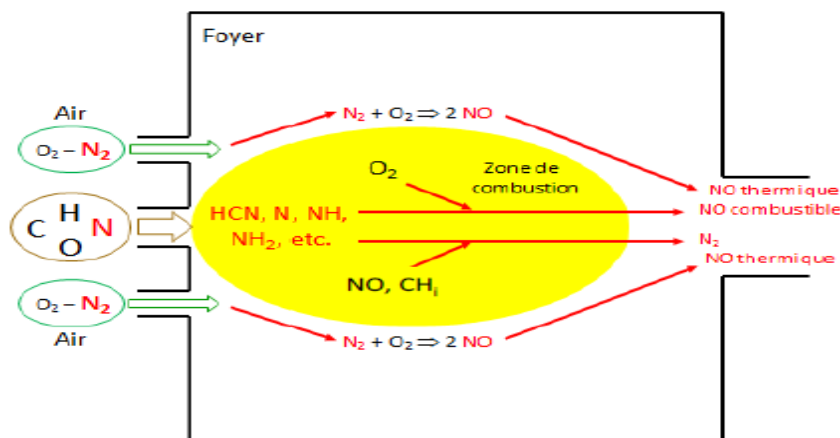


Figure 4: Représentation schématique de la formation des NOx dans l'air atmosphérique

I.3.2. Source des pollutions des oxydes d'azote dans le sol et dans l'eau

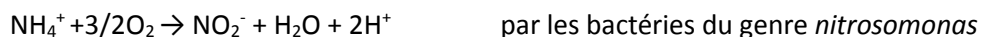
En général, les principales sources de nitrates dans l'eau en particulier les eaux souterraines sont les suivantes : les organismes animaux et végétaux en décomposition, les rejets animaux et humains (fosses septiques et égouts déficients), la décomposition des matières organique surtout les compose azotée contenue dans une décharge d'ordure ménagère, les engrais inorganiques à base d'azote (NPK, l'urée, etc.), l'épandage de boue et de fumier, les eaux usées domestiques et les formations géologiques contenant des composés azotés solubles. [15]

Ces sources peuvent être classées selon leurs origines naturelle et anthropique.

I.3.2.1. Sources naturelles

Elles sont causées par le cycle biochimique de l'azote. On peut citer les sources d'azote organique comme les chaine d'acide aminé et les protéines, les bactéries fixatrices de l'azote bactéries symbiotiques du genre *Rhizobium* et bactéries asymbiotiques des genres *azobacter* et *Clostridium*. Toutes ces sources constituent des précurseurs du cycle naturel de l'azote dont le nitrate est un métabolite important. Ce dernier est produit suite à la nitrification des autres formes azotées contenues dans ces précurseurs. Ainsi, dans le cycle de l'azote, la fraction organique de l'azote $[CNH_3^-]$ et l'azote moléculaire (N_2) qui sont présents au niveau du sol sont préalablement dégradés sous l'action des microorganismes dans le sol, dans l'eau en ammonium (NH_4^+) puis oxydé facilement en nitrite puis en nitrate.

Pour la molécule diazote N_2 , cette conversion peut aussi se faire dans une moindre mesure par les décharges électriques comme la foudre. L'ammonium issu de cette conversion initiale sera à son tour successivement oxydé en nitrites, puis nitrates toujours par action des bactéries et dans les conditions aérobies qui règnent à la surface du sol. [16]



Cela nous montre que le nitrite, le nitrate naturel provient principalement de la minéralisation des azotes organique présente au niveau du sol sous l'action des microorganismes.

I.3.2.2. Sources anthropiques

Elles sont liées à l'activité humaine comme l'activité agricole et industrielle.

L'épandage des engrais sur le sol lors d'activités agricoles et d'élevage intenses constituent les sources majeures de nitrates dans l'environnement. Les nitrites et les nitrates qui contiennent dans les lixiviat d'une décharge d'ordure ménagère qui vont diffuser vers les eaux de surface et s'infiltre vers les eaux souterraines. [17]

En plus, le nitrate formé dans l'air suite à la photolyse des oxydes d'azote (NO_x) contenus dans les émissions industrielles et d'automobiles constitue aussi une source anthropique de nitrates. [18]

Le tableau 2 nous résume les sources anthropiques des oxydes d'azote dans l'eau.

Eaux	Composé azoté concerné	Type de pollution	Source de pollution
Eau superficielle, rivière, lacs	<ul style="list-style-type: none"> • Ammonium, • ammoniac dissout, • azote organique 	ponctuelle	<ul style="list-style-type: none"> • rejets industriels et domestique • rejets d'effluents d'élevage
	<ul style="list-style-type: none"> • nitrite • nitrate 	Ponctuelle et diffuse	<ul style="list-style-type: none"> • alimentation des eaux superficielle par des nappes polluées
Eaux souterraines	Nitrate et nitrite	diffuse	<ul style="list-style-type: none"> • Fuite des zones industrielles et habité • Activité agricole intensive • Décharge d'ordure ménagère

Tableau 2: Principales origines des NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ dans l'environnement source : Ratel, 1992

II. ETUDE DE L'IMPACT DES OXYDES D'AZOTES

Les oxydes d'azote provoquent des conséquences néfastes sur la santé et surtout sur l'environnement.

II.1. Les effets des oxydes d'azote sur la santé humaine

Ces substances possèdent deux types de toxicité, une à l'état liquide et concentré, l'autre à l'état de polluant gazeux.

II.1.1. Les effets des oxydes d'azote gazeux

Le NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.

L'effet de ce gaz toxique lors d'une exposition prolongée à dose moyenne est le décès résultant d'un œdème aigu tardif du poumon. Les premiers symptômes sont souvent limités à une irritation des yeux et des voies respiratoires. L'effet n'est pas immédiat. Ils sont souvent la conséquence d'une bronchiolite fibreuse oblitérante qui est une réaction inflammatoire qui aboutit à l'obstruction des alvéoles pulmonaires par un tissu fibreux empêchant ainsi tout échange gazeux entre le sang et l'air inspiré. [19] Le NO_2 est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO). Il pénètre très profond dans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu'une même dose sur une longue période. [20] Il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, il provoque une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques surtout chez les enfants. Une exposition prolongée au dioxyde d'azote peut entraîner des troubles respiratoires irréversibles en détruisant les cellules pulmonaires. [21] Chez l'homme, la principale voie d'exposition au NO et au NO_2 est l'inhalation. La faible solubilité du NO peut expliquer l'action locale pulmonaire avant passage systémique. [22]

II.1.2. Les effets des oxydes d'azote en solution aqueuse

Les fortes teneurs en nitrates dans les eaux peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine. En effet, le risque réside dans la capacité de l'organisme à transformer les nitrates en nitrites qui provoquent la Méthémoglobinémie.

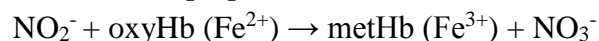
II.1.2.1. Méthémoglobinémie

Le principal effet toxique aigu associé à un empoisonnement de nitrates et de nitrites chez l'humain est la méthémoglobinémie. L'organe cible principal est le sang. Les nitrites formés par réduction des nitrates sont susceptibles de se fixer sur l'hémoglobine. [23]

Ces nitrites réduisent la capacité du sang à transporter l'oxygène en transformant l'hémoglobine en méthémoglobine. [24] Son mécanisme se résume comme suit : le fer de l'hémoglobine (Hb) du sang peut se retrouver sous deux formes principales: la forme ferreuse ou réduite Fe^{2+} et la forme ferrique ou oxydée Fe^{3+} .

L'oxyhémoglobine (oxyHb) dans laquelle le fer de l'Hb se retrouve sous sa forme réduite Fe^{2+} est capable de transporter l'oxygène (O_2) ou le dioxyde de carbone (CO_2).

Par contre le transport de l'oxygène va réduire de la méthémoglobine (metHb), qui elle, est une forme d'Hb dans laquelle le fer est présent sous sa forme oxydée Fe^{2+} . La réaction d'oxydo-réduction dans le sang se traduit alors : [25]



La méthémoglobinémie exerce sa toxicité en deux façons. Primo, elle réduit les capacités du sang à transporter l' O_2 qu'elle lie fortement, l'empêchant de se dissocier. Dans ce cas-là, elle empêche que l' O_2 soit livré aux tissus .Secondo, en interférant avec la dissociation de l' O_2 , elle déplace la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine vers la gauche.

Les premiers symptômes de méthémoglobinémie peuvent apparaître lorsque le niveau de méthémoglobine dans le sang excède 10 % et consistent principalement en une cyanose. Il peut conduire à des problèmes respiratoires et neurologiques (55 % à 60 %) et même à la mort lorsque le niveau de méthémoglobine sanguin est supérieur à 70 %. [26]

Le nitrate ingéré est facilement absorbé par la partie supérieure de l'intestin grêle et rapidement distribué dans tout l'organisme. Dans la salive il y a environ 25% récirculé et 20% environ de ce qui est contenu dans celle-ci sont transformés en nitrite par la microflore buccale. [27]

II.1.2.2. Effets sur la reproduction et le développement

L'exposition de la mère aux nitrates et nitrites environnementaux pourrait augmenter les risques de complications lors de la grossesse tel que : avortements spontanés, restrictions de la croissance intra-utérine, déformations variées à la naissance, travail difficile, défauts du tube neural, [28] naissance prématurée, faible poids à la naissance, anencéphalie, défaut du système nerveux central, malformations congénitales pouvant causer la mort et effets comportementaux. [29]

II.1.2.3. Cancer

Si le pH de l'estomac est élevé, les bactéries réductrices prolifèrent et le nitrate se trouve converti en nitrite. C'est l'estomac qui est le siège d'une synthèse endogène de nitrate, estimée à environ 62mg/jour. Cette synthèse augmente considérablement pendant les infections gastro-intestinales et, selon le type d'infection, on peut observer également la synthèse de grandes quantités de nitrites. La production de nitrite augmente avec l'âge et est stimulée par les infections bactériennes provoquant la diarrhée. [30]

Le nitrite est facilement absorbé dans l'estomac et dans l'intestin grêle. Dans l'estomac il peut réagir avec les amines secondaires et tertiaires, présent dans les aliments comme le fromage ou la viande comme les amides et les amines, pour former des composés N-nitrosés. [31]

Certains de ces composés sont de puissants cancérigènes. Il a été révisé et discuté dans plusieurs études. [32]

Les études épidémiologiques liant l'ingestion de nitrite et de nitrate au cancer de l'estomac chez l'humain sont équivoques. [33] Des preuves d'association entre l'ingestion de nitrate et l'incidence de cancer de l'estomac ont été obtenues par des études épidémiologiques descriptives au Chili (de 133 à 499 ppm dans les légumes); [34] en Colombie (<40 mg/L dans l'eau de puits); [35]

II.1.2.4. Autres effets

L'exposition chronique aux nitrates pouvait causer l'hypertension et les maladies chroniques chez les enfants (infections des voies respiratoires, diarrhée, gastrite). [36] Ainsi, l'augmentation de l'incidence du goitre (hypertrophie de la thyroïde) a été observé chez des individus ayant consommé de l'eau avec des concentrations de nitrates qui dépassant la norme 50mg NO₃⁻/L. De même, des effets sur la sécrétion des hormones stéroïdiennes par les glandes surrénales ont été rapportés. [37]

II.2. Les effets des oxydes d'azotes sur l'environnement

Ils perturbent la qualité de l'air atmosphérique

II.2.1. Contamination de l'air

- Persistance

La demi-vie du dioxyde d'azote dans l'air est estimée à 35 heures, pour la réaction avec les radicaux hydroxyles. Cette substance est concernée par la biodégradation.

Les NO_x contribuent à l'acidification et à l'eutrophisation de l'environnement. Ces émissions perturbent la composition de l'air, De plus, ils renforcent indirectement l'effet de serre

Comme signalé plus haut, le dioxyde d'azote NO₂ intervient dans la formation d'oxydants photochimiques (ozone troposphérique) et par effet indirect dans l'accroissement de l'effet de serre. [38] Le protoxyde d'azote est la source principale de NO de la stratosphère, située entre 19 et 30km d'altitude. NO réagit avec l'ozone stratosphérique, entraînant l'appauvrissement de la couche d'ozone. NO et NO₂ contribuent au phénomène de pluies acides.

II.2.2 Contamination des sols et de l'eau

C'est-à-dire contamination par les nitrites et les nitrates

Les oxydes d'azote participent la formation des acides et à l'eutrophisation des eaux et des sols. En excès des nitrates, ils contribuent à l'eutrophisation des eaux superficielles (en relation avec les phosphates).L'eutrophisation se manifeste par la formation des algues par les bactéries consommatrices d'oxygène engendre une diminution du taux d'oxygène dans l'eau.

Le processus d'eutrophisation, qui correspond à un enrichissement naturel des milieux aquatiques en éléments nutritifs et à une augmentation de la productivité végétale, est alors considérablement accéléré. [39] L'enrichissement des écosystèmes aquatiques en éléments azotés (mais également

en phosphore) conduit à la perturbation des populations animales ou végétales qui y sont naturellement inféodés. Cette modification des populations peut conduire au développement de microorganismes pathogènes ou sécrétant des toxines qui rendent impropre l'eau à divers usages (récréatifs, production d'eau potable) ou peuvent considérablement accroître les coûts des traitements des eaux.

La dénitrification des nitrates conduit à la formation de gaz à effet de serre. Son évaluation est en cours d'étude actuellement à travers différents programmes de recherches sur les changements climatique globaux.

La pluie est par nature légèrement acide, son pH est en général proche de 5.6, cependant le pH des pluies dites acides est nettement plus faible, de 4 à 4.5. Les pluies acides sont dues au SO_2 et au NO_2 rejetés dans l'atmosphère qui tombé directement dans le sol et les eaux de surface. Et est aussi oxydés par l'air en acide sulfurique H_2SO_4 et en acide nitrique HNO_3 .

Les oxydes d'azote sont transformés en acide nitrique ce qui acidifie les pluies. Les précipitations acides perturbent les écosystèmes aquatiques et peuvent aboutir à la mort biologique des lacs et des rivières. [40]

II.3. Modélisation du transfert des oxydes d'azote vers les nappes phréatiques

Les nitrates étant des sels très solubles dans l'eau, l'ion est très mobile et pénètre rapidement dans la nappe phréatique. Plusieurs facteurs influençant leur transfert vers les nappes, la vitesse de transfert des contaminants dépendant: la géologie, hydrogéologie, climat, température et la précipitation du site étudié.

Des études ont permis de mettre en évidence l'influence de la texture et de la composition minéralogique d'un sol sur la concentration en nitrates des eaux du sol. Plus un sol est argileux, plus sa capacité de rétention de contaminants sera a priori forte. Au contraire un sol très sableux laissera plus facilement passer les polluants dissous, facilitant leur transfert dans l'hydro système. [41] Les nitrates pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau. Les nitrates présentent certaines caractéristiques qui permettent de mieux comprendre l'évolution des teneurs dans les nappes qui sont observées ces dernières années :

- Les nitrates sont très stables et très solubles dans l'eau.
- La pénétration dans les sols est lente. La vitesse de migration serait environ de 1 m par an. La teneur en nitrate dans les nappes est donc influencée par les variations des apports avec un retard correspondant au temps de transfert.

La figure 5 schématise les différents processus intervenant au cours du transfert des oxydes d'azotes dans un système hydrologique. Nous les résumons en trois catégories: bilan hydrique et écoulements de l'eau qui constituent le vecteur du transfert. Le cycle et bilan de l'azote ainsi que la production et le lessivage des oxydes d'azote dans le sol, déterminent la quantité des oxydes d'azotes transportée par l'eau. La migration des oxydes d'azote dans le système aquifère, a éventuellement des interactions surface-souterrain. Elle détermine la répartition des oxydes d'azote dans les nappes souterraines. [42]

Les processus biochimiques se produisant essentiellement dans la couche superficielle du sol, le transport des nitrates est considéré conservatif dans la zone non-saturée.

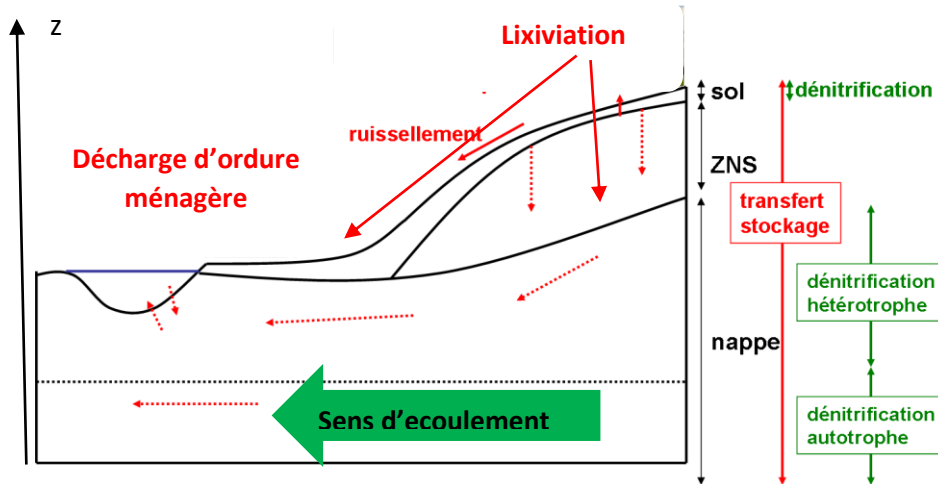


Figure 5: Représentation simplifiée des transferts d'azote dans un hydrosystème (en rouge) et localisation des processus de dénitrification (en vert) source donné par l'auteur

Formule mathématique qui donne le flux de transfert des oxydes d'azote vers la nappe phréatique

La loi de Fick nous donne un modèle du transfert de nitrite et du nitrate vers la nappe phréatique.

$$J = -D_{AB} \text{grad} C_A$$

$$\text{Avec } \text{grad} C = \frac{\partial C}{\partial z}$$

J : Flux de transfert du composé A

D_{AB} : Constante de diffusion du composé A

$\text{grad} C = \frac{\partial C}{\partial z}$: La variation de la concentration du composé A par rapport à z

z : Profondeur

Pour le Nitrite le flux de transfert est :

$$J_{\text{nitrite}} = -D_{AB} \text{grad} C_{\text{nitrite}}$$

$$\text{grad} C_{\text{nitrite}} = \frac{\partial C}{\partial z}$$

J_{nitrite} : Flux de transfert du nitrite

D_{AB} : Constante de diffusion du nitrite

$\text{grad} C_{\text{nitrite}} = \frac{\partial C}{\partial z}$: la variation de la concentration du nitrite par rapport à z

Pour le Nitrate le flux de transfert est :

$$J_{\text{nitrate}} = -D_{AB} \text{grad}C_{\text{nitrate}}$$
$$\text{grad}C_{\text{nitrate}} = \frac{\partial C}{\partial z}$$

J_{nitrate} : Flux de transfert du nitrate

D_{AB} : Constante de diffusion du nitrate

$\text{grad}C_{\text{nitrate}} = \frac{\partial C}{\partial z}$: la variation de la concentration du nitrate par rapport à z

II.4. Impact du dépôt d'ordures sur les ressources en eau et sur l'environnement

Les dépôts d'ordure sur un site de décharge provoquent plusieurs conséquences néfastes sur la santé humaine et surtout sur l'environnement.

I.4.1. Impact sur les ressources en eau

Le dépôt d'ordures ménagères sur un site de décharge entraîne la production des lixiviats constituant des risques sur l'environnement. [43]

Ces lixiviats qui s'infiltreront vers le sous-sol et les nappes provoquent une contamination directe des eaux. Il constitue donc une grande source de la dégradation de ressources en eaux tel que les eaux de surface et les eaux souterraines s'il n'y a pas de traitement préalable.

En effet, sa structure complexe et sa charge polluante rendent son traitement très difficile pour atteindre les limites exigées par les normes.

I.4.2. Impact sur l'environnement

Les déchets libèrent des polluants chimiques comme les métaux lourds, les oxydes d'azote sous forme monoxyde d'azote, dioxyde d'azote, les nitrites, les nitrates, des hydrocarbures, des composés organiques volatiles et d'autre produit toxique. Ils produisent des odeurs nauséabondes et des gaz toxique tel que NO_2 , le CO, le N_2 , CO_2 et les déchets se brûlent en soi même sous l'action du soleil aux alentours et dans le site. Ce qui provoque des conséquences néfastes pour la santé des poumons, des appareils respiratoires. De plus lors de l'incinération du déchet qui ne suit pas la norme, ils produisent des gaz très toxique comme les furane etc.....

I.4.3. Les lixiviats [44], [45]

Les lixiviats sont des liquides brunâtres obtenus à partir de la percolation de l'eau à travers les déchets qui se dégradent et qui se chargent en bactérie et en substances chimiques ou organiques souvent toxiques.

I.4.3.1. Mécanisme de formation des lixiviat

Il est dû principalement à la transformation des déchets par des phénomènes biologiques et chimiques.

- **Mécanisme physico-chimique**

Ce mécanisme physico-chimique est marqué par l'évolution du pH d'une zone en question, du pouvoir tampon, de la salinité et du pouvoir d'oxydoréduction des solutions qui s'infiltreront lentement dans le sol. L'eau de pluie joue un rôle important dans ce mécanisme.

- **Mécanismes biologiques aérobie et anaérobie**

Ce mécanisme est assuré par l'action des bactéries qui entraîne la dégradation des matières organiques fermentescibles. Il a également une influence sur l'évolution des valeurs des paramètres chimiques comme le pH, le potentiel d'oxydoréduction de la zone. Cette transformation peut s'effectuer en plusieurs phases.

- ✓ Phase aérobie :

La phase aérobie est un procédé biologique qui permet la détérioration des matières organiques pour produire du compost. Lors du dépôt, l'oxygène présent autour du milieu est consommé par des bactéries aérobies d'une part, et il existe une partie qui participe à l'évaporation d'autre part et on estime que 5 à 15 % de la matière organique pourrait être transformée.

- ✓ Phase de transition :

Cette phase est le passage des conditions aérobies aux conditions anaérobies. Elle est progressive et est caractérisée par la chute du potentiel redox.

- ✓ Phase acétogénique :

La phase acétogénique est le passage qui assure l'hydrolyse et la transformation de la matière organique en molécule simple et soluble : acides gras et ammoniacale, en présence des trois bactéries appelées « acétogènes » Cette phase est longue et peut s'étendre sur plusieurs années.

- ✓ Phase méthanogénique :

C'est l'étape de la biodégradation de la matière organique qui correspond à la production de méthane et de dioxyde de carbone par les bactéries méthanogènes et la formation du méthane à partir de l'acétate.

- ✓ Phase de maturation :

C'est la phase finale qui correspond à la maturation et stabilisation de la matière organique. Elle s'accompagne d'une chute de la production gazeuse.

I.4.3.2. Classification des lixiviats :

La classification se fait selon le stade d'évolution des déchets.

- Lixiviat jeune :

Le lixiviat est jeune lorsque son âge est inférieur à 5 ans. Il est constitué principalement par des acides gras volatils. Son pH est relativement bas $\text{pH} < 6,5$.

- Lixiviat intermédiaire :

Son âge est compris entre 5 et 10 ans. Le pH est voisin de la neutralité, entre 6,5 à 7,5.

- Lixiviat stabilisé :

Le lixiviat est dit stabilisé lorsque celui-ci atteint 10 ans et plus. Il est composé essentiellement de substances humiques (acides fulviques et humiques). Son pH est supérieur à 7,5.

I.4.3.3. Quantification des lixiviats :

En tenant compte des conditions naturelles et du mode d'exploitation des déchets, on peut évaluer les volumes des lixiviats selon la formule suivante :

$$P + E_D + R_1 = I + E + E_{TR} + R_2$$

Avec

P est le volume de précipitation ;

E_D est le volume d'eau apporté par les déchets ;

R₁ est le volume d'eau apporté par ruissellement ;

I est le volume de lixiviats infiltrés dans le sous-sol à travers le dépôt d'ordures ;

E est le volume de lixiviats collectés ;

E_{TR} est le volume d'eau éliminé par évapotranspiration ;

R₂ est le volume d'eau exporté de la décharge des ordures par ruissellement.

I.4.3.4. Facteurs de formation des lixiviats : [46]

La formation des lixiviats dépend de plusieurs paramètres :

- Les conditions de l'environnement : le climat et l'hydrogéologie (la précipitation, L'évapotranspiration), la géologie et l'intrusion des eaux souterraines ;
- La qualité des déchets : l'âge, la perméabilité, la teneur initiale en humidité, la taille des particules, les matières organiques ou non organiques ;
- L'exploitation et la gestion du site : le compactage, la végétation, la couverture, l'irrigation ;
- Les mécanismes internes : phénomènes de réactions chimiques ou biologiques (décomposition des composés organiques) ;

La concentration des contaminants :

Matières inorganiques :

Cd venant des matières plastiques, Hg, Zn, Mn, Ni, Pb des batteries, Zn du caoutchouc, Cr du cuir et des verreries, (Cu, Zn) venant des textiles, (Pb, Cu, Cr) venant du carton et papiers.

Matières organiques : Les peintures, solvants, dégradation des matières organiques.

III. TRAVAUX SCIENTIFIQUES RECENTS SUR L'EVALUATION DES POLLUANTS DU TYPE NOX

La mise en décharge des ordures ménagère provoque toujours des conséquences néfastes sur l'environnement surtout sur les ressources en eau. Ce problème se manifeste dans plusieurs pays du monde entiers. Voici quelque étude pertinente qui évalue la qualité physico-chimique des eaux souterraine sur des décharges publiques y compris les Oxydes d'azote (nitrate et nitrite)

Amine Chaïeb, Driss Khattach (2016) ont réalisé l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines dans le voisinage de la décharge contrôlée de Berkane (Maroc) ». L'objectif de cette recherche est d'étudier l'état de la qualité physico-chimique des eaux souterraines sur le site de décharge contrôlée de Berkane (Maroc) qui a démarré en 2004. Les eaux de six puits ont été échantillonnées et analysées en Novembre 2013 et Octobre 2014. Un faciès chloruré sodique et potassique dominant et un faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien. Quant aux nitrates, les teneurs varient entre 22.30 et 24.80 mg.L⁻¹ ; elles ne dépassent pas les normes.

La première campagne de prélèvement a été effectuée en novembre 2013 au niveau de cinq puits (P1, P2, P3, P4 et P5) aux alentours de la décharge. Deux paramètres a été analysés sont la conductivité électrique et la salinité. Une deuxième campagne de prélèvement a été menée en octobre 2014 au niveau de cinq puits (P1, P2, P3, P4 et P6), lors du prélèvement le puits P5 était sec. Ces eaux ont été analysées pour déterminer les différents paramètres physico-chimiques (Cond, pH, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻). Les valeurs du pH sont comprises entre 6,32 à 7,5. Les valeurs sont dans les normes de l'OMS et des directives du Conseil des communautés européennes pour l'eau destinée à la consommation humaine qui indiquent comme niveau guide : $6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$. Les concentrations des nitrates obtenues sont comprises entre 22.30 à 24.80 mg.L⁻¹. Elles sont au-dessous des seuils recommandés. L'OMS recommande pour les eaux destinées à la consommation humaine une valeur limite de 50 mg.L⁻¹. Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent comme niveau guide 25 mg.L⁻¹ et comme concentration maximale admissible 50mg.L⁻¹. Les conductivités électriques obtenues sont comprises entre 6 et 17 mS.cm⁻¹. Elles sont largement au-dessus des seuils. Les directives du Conseil des communautés européennes relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine indiquent pour la conductivité un niveau guide de 2500 µS.cm⁻¹ à 20 °C. Les normes marocaines exigent une valeur maximale admissible de 2700µS.cm⁻¹ (Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine, 2006).

Anju Anilkumar, Dipu Sukumaran et Salom Gnana Thanga Vincent (2015) ont réalisé Effect of Municipal Solid Waste Leachate on Ground Water Quality of Thiruvananthapuram District, Kerala, India.

L'étude visait à évaluer l'effet du lixiviat de déchets solides municipaux sur la qualité de l'eau souterraine du district de Thiruvananthapuram, Kerala, Des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés sur les puits creusés 1 kilomètre autour du site de déversement des eaux usées et des échantillons témoins à partir de 10 kilomètres du site à la fois en deux saisons (pré mousson et post-mousson) pour l'analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. Les eaux

souterraines près des sites de déversement de MSW se sont révélées plus polluées que les sites de contrôle dans les deux saisons. À partir de cette étude, il est évident que le lixiviat du site de vidange MSW joue un rôle majeur dans la pollution des eaux souterraines dans la région. La concentration de nitrate (88 mg.L^{-1}) et de solides dissous totaux (TDS) (726 mg.L^{-1}) dans les eaux souterraines. On a sélectionnée 6 sites d'échantillonnage dont 3 près du site de décharge et les 3 restes qui sont loin de ce site.

Le pH de l'eau est à l'ordre de 6,86 à 7,29. Le maximum de pH est observé dans la station de prélèvement 4 et le minimum est observé dans la station d'échantillonnage 3. La conductivité est variée entre $424 \mu\text{S.cm}^{-1}$ à $1075 \mu\text{S.cm}^{-1}$ pendant la pré-mousson et entre $391 \mu\text{S.cm}^{-1}$ à $975 \mu\text{S.cm}^{-1}$ pendant la post mousson. Le maximum de conductivité est observé dans la station 2 pendant la pré-mousson et la station 3 pendant la post mousson. Le minimum de conductivité est observé dans la station 4 pendant la pré-mousson et dans la station 5 pendant la post mousson. Le nitrate varie de $32,4$ à 88 mg.L^{-1} pendant la pré-mousson et de 24 à 76 mg.L^{-1} pendant la post mousson. Le maximum de concentration de nitrate est observé dans la station 3 pendant la pré-mousson et dans la station 2 pendant la post mousson.

Abderrahim Idlahcen, Salah Souabi, Abdessalem Taleb, Khadija Zahidi, et Mohammed Bouezmarni (2014) ont réalisé l'évaluation de la pollution générée par les Lixiviats de la décharge publique de la ville de Mohammedia et son impact sur la qualité des eaux Souterraines.

L'objectif fixé pour cette étude, est d'évaluer l'impact de la décharge publique de la ville de Mohammedia, à travers son lixiviat sur les eaux de la nappe phréatique. Les résultats sur les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines montre que les puits P1, P3, P5, P6, P8, P9, et P10 montre des fortes concentrations en nitrate (389 et 111 mg.L^{-1}) extrêmement la norme est de 50 mg.L^{-1} . Le but de déterminer l'impact des lixiviats sur les eaux souterraines, des points de prélèvement sont choisis de façon à ce que l'échantillonnage soit sa situation par rapport aux sources de pollution. Les différents paramètres physico-chimiques (pH, turbidité, conductivité électrique, TAC, dureté totale, DCO, DBO5, NO_3^- oxydabilité par KMnO_4) ont été déterminés par les méthodes normalisées. Les eaux souterraines sont soumises, de plus en plus intensivement, aux rejets volontaires d'effluents polluants, eaux usées ou eau de ruissellement pluvial en milieu urbanisé. L'analyse de quelques paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans 10 puits de la décharge est donnée dans le Tableau

Ces résultats montrent que les conductivités électriques (proportionnelle à la minéralisation) varient entre un minimum de $1790 \mu\text{S.cm}^{-1}$ et $5990 \mu\text{S.cm}^{-1}$ dépassant les normes de potabilité. Les concentrations en nitrate des puits étudiés sont très importantes dépassant largement la valeur admissible par les normes marocaines. Ces concentrations varient 111 mg.L^{-1} à 389 mg.L^{-1}

Le nitrate présent dans les eaux de puits peut avoir comme origine soit les rejets de lixiviats ou les engrais utilisés en agriculture.

EL KHARMOUZ M, SBAA M, CHAFI A et SAADI S (2013) ont réalisé l'étude de l'impact des lixiviats de l'ancienne décharge publique de la ville d'oujda (Maroc oriental) sur la qualité physicochimique des eaux souterraines et superficielles

Le but de cette étude est de mettre en évidence l'impact des lixiviats issues de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda sur les eaux souterraines et superficielles, les campagnes de prélèvements mensuels de lixiviats, d'eaux souterraines et superficielles ont été effectuées pendant l'année 2004. Sept prélèvements de lixiviats ont été échantillonnés à l'intérieur de la décharge, trois prélèvements d'eau souterraine et deux prélèvements d'eau superficielle ont été effectués, respectivement au niveau de trois puits et d'un barrage caulinaire situé en aval de la décharge. L'analyse des eaux souterraines et superficielles a révélé que les teneurs en NO_3^- présente une concentration moyenne inférieure à 50 mg. L^{-1} avec des variations temporelles d'une amplitude remarquable (Norme suggérée par l'OMS).

Les points de prélèvements des eaux souterraines et superficielles ont été choisis selon leur disponibilité. En effet, seul deux puits, un sondage et un barrage collinaire se trouvent dans les environs de la décharge (en aval). L'étude physico-chimique nous a permis de suivre les variations mensuelles de certains paramètres indicateurs de la pollution (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^- ,.....) et de l'ion chlorure utilisé comme traceur conservatif

Pour éviter l'évolution des échantillons, le pH et La conductivité ont été déterminés directement sur le site selon les normes NF ISO 10390 et NF ISO 11265. Sur les échantillons qui ont été ensuite acheminés au laboratoire, L'azote ammoniacal a été déterminé par la méthode au bleu d'indophénol décrite par Rodier en 1984.

La teneur en nitrites, nitrates et en ortho phosphates a été déterminé respectivement selon les normes Afnor NFT90-013, NFT90-012 et PRT90-023. Les matières en suspension ont été déterminées selon la méthode décrite par Rodier en 1984 ; la demande biologique en oxygène a été déterminée par un DBO-mètre

Le suivi de la teneur en nitrates dans les eaux souterraines compris entre 25 et 90 mg.L^{-1} , montre de fortes concentrations dans les eaux provenant des puits mais qui restent dans l'ensemble inférieures à celles trouvées par Chofqi (2004) dans les eaux souterraines contaminées par les lixiviats de la décharge publique d'Eljadida. Les concentrations observées dépassent les normes fixées par l'OMS (50 mg/l) en période (Mars –Mai), en Octobre et en décembre. La concentration des nitrates est plus élevée à l'entrée du barrage. Elle atteint son maximum en mois d'avril suite à la contamination par les lixiviats ruisselés de la décharge. L'évolution temporelle montre une augmentation de la teneur en nitrates à l'entrée du barrage durant la période hivernale suite à l'écoulement superficiel du lixiviats. A la sortie du barrage, la concentration en nitrates reste en augmentation avec le temps.

Les conductivités électriques varient ($1,5$ à $4,82 \text{ mS.cm}^{-1}$) très corrélées à des teneurs élevées en nitrites et nitrates sont plus élevées au niveau des eaux de puits 2.

H. ER-RAIOUI, S. BOUZID, S. KHANNOUS et M. A. ZOUAG (2011) ont réalisé l'étude de Contamination des eaux souterraines par le lixiviat des décharges publiques : Cas de la nappe phréatique R'Mel (Province de Larache - Maroc Nord-Occidental).

La percolation du lixiviat en provenance des déchets des décharges constitue une source de pollution des ressources en eau souterraine par infiltration. La décharge publique de Larache

constitue un modèle type de détérioration des ressources en eaux par un effet de contamination du lixiviat en provenance de la décharge et des pratiques agricoles. Les mesures des paramètres physicochimiques sur le lixiviat et sur les eaux prélevées des puits situés autour de la décharge ont été réalisées. L'échantillonnage des eaux de puits et le lixiviat a été mené en deux périodes distinctes. La première période a eu lieu après les fortes pluies du printemps 2006 (période humide) et la deuxième a été réalisée pendant la période juillet-Août 2006, lors d'une période sèche. Le lixiviat a été prélevé au niveau des écoulements près des déchets. Parallèlement, six prélèvements ont été opérés dans des puits situés autour de la décharge afin d'analyser l'état de dégradation de la nappe phréatique avoisinante la décharge publique. Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des pots en verre pré-nettoyés selon le processus de Rodier (1996) et placés à 4 °C dans une glacière. Les analyses ont été effectuées dès le retour au laboratoire. Les données de température, de pH, d'oxygène dissous, de conductivité ont été mesurées in situ au moment du prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un multi paramètre portatif.

La détermination des matières en suspension (MES) a été effectuée par filtration d'un volume connu d'eau. La demande chimique en oxygène (DCO) est déterminée par une oxydation au bichromate de potassium en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de mercure (Rodier, 1996).

Les nitrates et les phosphates ont été déterminés par spectrophotométrie.

Pendant la saison sèche, la valeur de pH 6,68 à 7,87 les valeurs des conductivités électriques varient entre 0,71 mS.cm⁻¹ et 1,15 ainsi que les teneurs en nitrate varient de 52 à 97 mg.L⁻¹.

Par contre pendant la saison humide, la valeur de pH 6,38 à 7,07 les valeurs des conductivités électriques varient entre 0,73 mS.cm⁻¹ et 1,12 mS.cm⁻¹ ainsi que les teneurs en nitrate varient de 46 à 114 mg.L⁻¹.

Les résultats des différentes analyses effectuées permettent de mettre l'accent sur la détérioration de la qualité des eaux de la nappe R'Mel. La provenance des contaminants du lixiviat est fort probable. Il est à signaler que jusqu'à 2005, les eaux de la nappe affichaient une bonne qualité minéralogique et bactériologique sur l'ensemble des stations échantillonnées, à l'exception des nitrates qui, par endroit, dépassent les normes de qualité admises (50 mg.L⁻¹) (ABHL, 2005).

Nasandy Edouard RANDRIAMANANA (2015) a réalisé une étude sur la problématique environnementale actuelle de l'évaluation des polluants majeurs de type NO_x de la décharge des déchets ménagers d'Andranitra. Elle a effectué la partie I de cette étude sur l'évaluation des polluants du type NO_x basé sur l'analyse des oxydes d'azote dans les lixiviat et les sols.

L'objectif de ce travail est d'analyser les paramètres des anions des oxydes d'azote tel que les nitrites et nitrates dans les sols, les lixiviats, les eaux de surface sur la décharge publique d'Andranitra situé à Antananarivo Avaradrano. Nous avons choisi la chromatographie ionique permet de déterminer les concentrations des anions nitrites et nitrates.

Pour les prélèvements on a fait deux prélèvements différents dans la partie ancienne de la décharge et la nouvelle partie de la décharge. La procédure de prélèvement est de même pour les deux parties c'est-à-dire on fait trois prélèvements pour chaque partie décharge avec de différentes profondeurs de 20 cm ; 40 cm et 60 cm. Pour les échantillonnages des lixiviats nous avons fait cinq prélèvements pris au hasard aux alentours du site à la sortie de la buse de décharge. Les NO_x sont analysés par un

système de chromatographie ionique, les pH et les conductivités sont mesurés par des appareils portatifs

Concentration des oxydes d'azotes dans le sol:

La concentration en nitrites dans l'ancienne décharge varie de 518.4 mg.Kg⁻¹ à 0 mg.Kg⁻¹ et la concentration en nitrates allant de 1039 mg.Kg⁻¹ à 154.71 mg.Kg⁻¹.

La concentration en nitrites dans Nouvelle décharge varie de 1390 mg.Kg⁻¹ à 709.2 mg.Kg⁻¹ et la concentration en nitrates allant de 2066 mg.Kg⁻¹ à 1543.2 mg.Kg⁻¹.

Concentration des oxydes d'azotes dans les lixiviats :

La concentration en nitrites des lixiviats varie de 573,8 mg.L⁻¹ à 3070,05 mg.L⁻¹.

Concentration en nitrates et nitrites dans les eaux :

La concentration en nitrites des eaux de surface varie de 56,485 mg.L⁻¹ à 307,100 mg.L⁻¹. Et pour l'eau de source, la concentration en nitrites est de 88,915mg.L⁻¹ et la concentration en nitrates est de 49,915 mg.L⁻¹.

Ainsi se termine cette partie I, pour la suite de notre travail nous abordons maintenant sur la partie des méthodes expérimentales qui retracent les contextes du site étudié et les méthodologies et les protocoles d'analyses.

DEUXIEME PARTIE :

MATERIELS ET

METHODES

I. CONTEXTE GENERAL DU SITE

I.1. Localisation de la zone d'étude

La décharge publique d'Andralanitra se trouve dans la périphérie Nord-Est de la ville d'Antananarivo, à environ 9 km du Centre-ville, sur la Route nationale N°2. Elle se situe dans la Commune Rurale d'Ambohimangakely, Fokontany d'Ikianja, dans le district Antananarivo-Avaradrano.

La zone d'étude est entourée par quatre communes :

- ❖ A l'Ouest par la Commune Urbaine d'Antananarivo
- ❖ A l'Est par la Commune Rurale d'Ambohimalaza
- ❖ Au Nord par la Commune rurale d'Ilafy et la Commune Fieferana
- ❖ Au Sud par la Commune d'Ambohimambola.

Les coordonnées géographiques de la décharge sont comprises entre la longitude 47°34'25.5'' Est et la latitude 18°54'46.1'' Sud, située entre 1290m (les collines) et autour de 1245m (les rizières et le marais) d'altitude. Sa superficie est estimée approximativement à 18 hectares.

La figure suivant nous présente la localisation de la zone d'étude

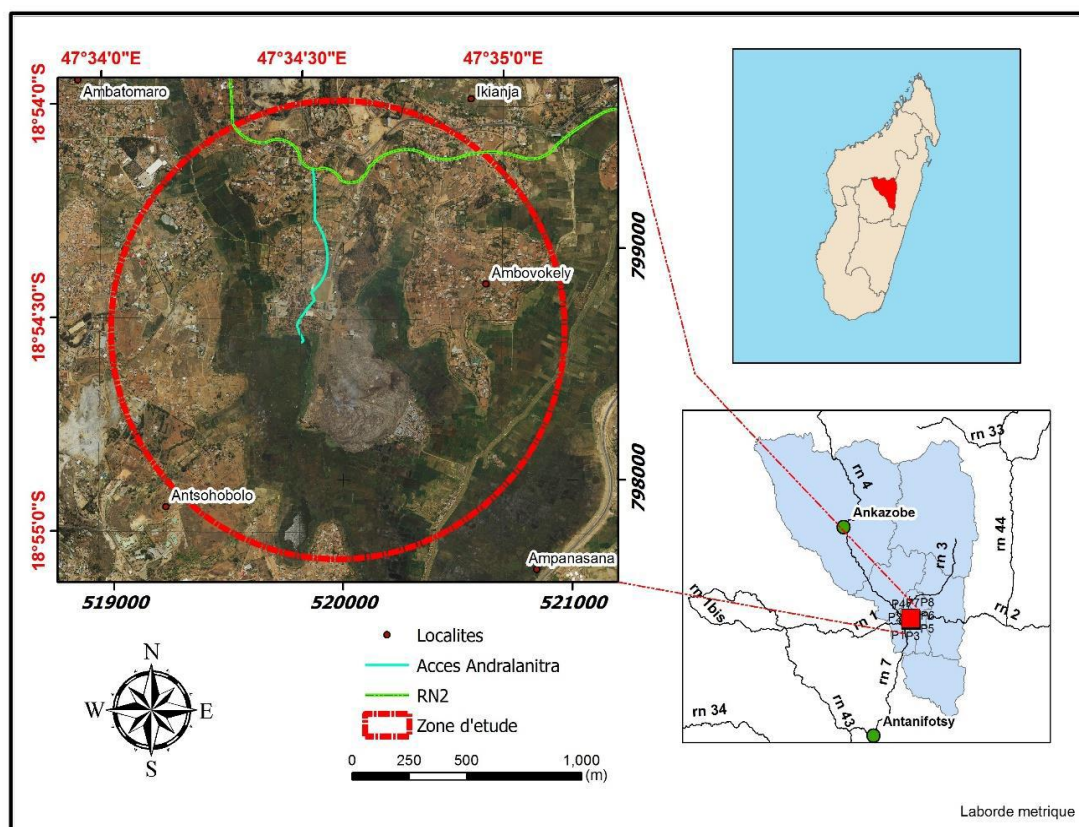


Figure 6: Carte de localisation de la zone d'étude

I.2. Historique

La décharge publique Andralanitra a été mise en place depuis 1940. En 1966, c'est devenu un site officiel pour la capitale d'Antananarivo. Sa superficie est estimée approximativement à 13 hectares. En 2003, 750 tonnes de déchets solides par jour sont jetés sur le lieu, soit environ 0.625

Kg/hab/jour. En 2008, elle s'étendait sur une superficie de 18 hectares à cause de l'augmentation des volumes d'ordure jetée par jour. [47] La décharge a fait l'objet d'une proposition de fermeture en 2012 à cause de saturation. Mais faute de nouveau site de décharge, cela continue toujours à être fonctionnelle jusqu'à nos jours.

I.3. Catégorie des déchets sur les décharges d'Andralanitra

La décharge publique d'Andralanitra contient déjà 2 millions de m³ de déchets. Au par avant ce site a une superficie initiale autorisée de 13 ha, à l'heure actuelle, ces milliers de tonnes de déchets s'étalent sur 18 ha de terrains. La hauteur du dépôt peut maintenant atteindre 17 m par rapport au terrain naturel qui l'entoure. Chaque jour, ce site d'ordures reçoit environ 1 400 m³ de déchets, l'équivalent de plus de 1 000 tonnes. Dans la commune urbaine d'Antananarivo, la collecte des déchets solides se fait en un bloc, sans aucun tri préalable et sans tenir compte ni de leur origine, ni de leur composition chimique, ni de leur toxicité éventuelle. Le site de décharge d'Andralanitra reçoit toutes les ordures de diverses catégories. Tous les déchets urbains d'Antananarivo sont envoyés dans ce lieu ne suivent pas la norme. On y trouve des déchets de différentes natures comme les ordures ménagères, déchets verts, déchets de marché, déchets industriels, boues de curage et de vidange, déchets toxiques, etc...

I.3.1. Composition des ordures ménagères source SAMVA

Ce tableau 3 ci-dessous présente la composition des ordures ménagères sur le site d'Andralanitra

CATEGORIES DES DECHETS	RESULTAT GLOBAUX (en pourcentage)
DECHETS FERMENTES CIBLE	
• Déchets alimentaires	7,90
• Déchets de jardin	37,47
PAPIERS	1,69
CARTONS	1,84
COMPOSITES	0,34
TEXTILES	1,86
TEXTILES SANITAIRES	1,59
PLASTIQUES	
• PET (bouteille)	0,14
• PVC (bouteille)	0,15
• Film plastique	4,43
• Autres : Pot yaourt/briquette plastique	1,07
COMBUSTIBLE NON CLASSES	2,35
VERRES	0,76
METAUX	1,29
INCOMBUSTIBLE NON CLASSES	3,71
DECHETS SPECIAUX	0,12
FINES ≤ 20 mm	33,27
TOTAL	100,00

Tableau 3: La composition des ordures ménagères

Les photos de la figure7 suivant présentent les types de déchets à Andralanitra

Déchets visibles sur le site de décharge d' Andralanitra



Déchets plastiques



Déchets textiles, sachets et papiers



Déchets de papiers, cartons, caoutchouc

Figure 7: Types des déchets sur le site de décharge d'Andralanitra source : donné par l'Auteur

I.3.2. Tonnage et volume des ordures ménagères (OM)

La quantité des ordures ménagères collectées sur ce site de décharge de 1998-2014 est donnée dans le tableau 4 suivant :

ANNEES	QUANTITES OM COLLECTEES			
	VOLUME (m ³)	TONNAGE	VOLUME (m ³) /JOURS	TONNAGE/JOURS
1998	121 096,92	60 54,46	165,89	82,94
1999	196 003,18	98 001,59	268,50	134,25
2000	304 251,58	152 125,79	416,78	208,39
2001	249 460,62	124 730,31	341,73	170,86
2002	302 364,00	151 182,00	414,20	207,10
2003	395 665,00	197 832,50	542,01	271,00
2004	378 817,42	189 408,71	518,93	259,46
2005	335 420,32	167 710,16	459,48	229,74
2006	366 630,70	183 315,35	1 004,47	502,23
2007	352 538,00	176 269,00	965,86	482,93
2008	375 686,00	187 843,00	1 029,28	514,64
2009	426 684,25	216 948,00	1 169,00	584,50
2010	400 098,25	243 414,00	1 096,16	548,08
2011	356 006,74	178 003,37	975,36	487,68
2012	368 590,00	184 295,00	1 009,84	504,92
2013	356 549,00	178 274,50	976,85	488,42
2014	232 127,60	116 063,80	1 089,80	544,90
TOTAL	5 517 989,58	2 758 994,79	12444,14	6222,04

Tableau 4: Evolution de la quantité des déchets collectés du 1998 au 2014 Source SAMVA

I.4 Climat

Le site de décharge d'Andralanitra se situe dans une zone climatique correspondant aux hautes Terres centrale qui a deux saisons bien distinctes : la saison sèche s'étend de Mai à Octobre et la saison humide de Novembre à Avril. Des cyclones ont lieu à la saison humide plus précisément dans le mois de Février et Mars., la saison humide est caractérisée par des hautes températures, des fortes pluies alors que la saison sèche par des températures basses des pluies fines.

I.4.1 Température

La température varie de 10 à 28°C, avec un écart thermique de 3° C. Le mois le plus chaud de l'année se trouve entre le mois de Novembre à Janvier et le mois le plus froid est le mois d'Aout. La valeur maximale de la température atteint 32 ° C et la valeur minimale est de 2° C durant les 5 dernières années du changement climatique.

La figure 8 suivant montre la moyenne de la température maximale et minimale à Antananarivo

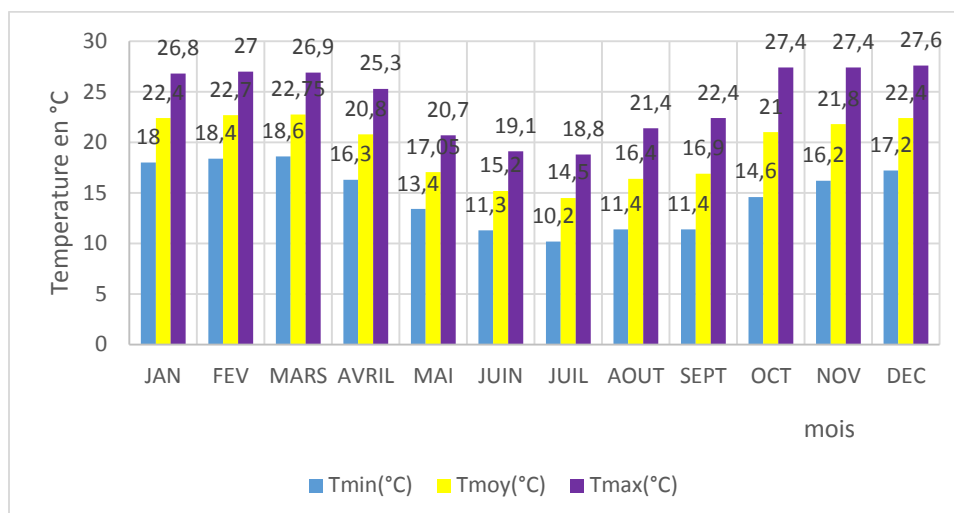


Figure 8: La moyenne de la Température maximale et minimale (2016)

Source direction météorologique 2016

I.4.2 Précipitation

La zone étudiée reçoit en moyenne des précipitations importantes variant de 1300 à 1500 mm par ans durant les dix dernières années d'après le service de la Météorologie Nationale. La précipitation est très élevée en mois de février et peut atteindre 202,8mm. Mais entre le mois d'Août et septembre, le taux de précipitation est très faible et presque nul 0,2 à 0,4mm, ceci marque la période de basse eau ou la période d'étiage.

La figure 9 ci-après présente la variation des précipitations de la zone d'étude.

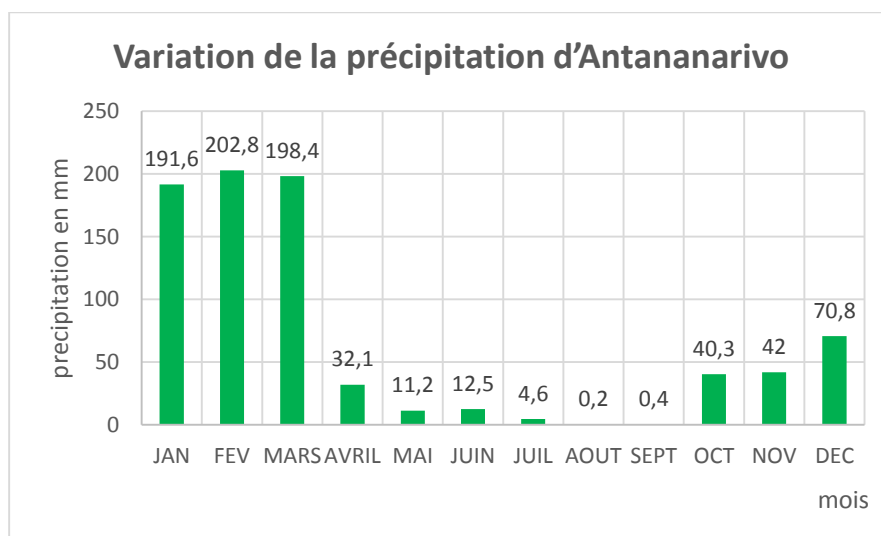


Figure 9: Variation de la précipitation d'Antananarivo source direction météorologique 2016

Dans ces deux diagrammes nous montre que la variation de la Température et la pluviométrie sont en phases : c'est-à-dire que la température maximale se situe pendant les périodes de fortes précipitations en Décembre-Janvier-Février, et la Température minimale se trouve pendant les périodes où les précipitations sont nulles pendant la saison sèche.

I.5. Hydrologie

La zone d'étude se situe sur une plaine marécageuse ayant une caractéristique humide toute l'année. Elle est entourée du marais d'Andranofotsy sur son flanc Est et du marais d'Amboahirana sur ses flancs Ouest et Sud. Une rivière pérenne Ampasimbe qui coule au milieu de marécage. Cette rivière se trouve à l'Est de la décharge. Durant le période de pluie cette rivière déborde et se jette directement dans la rivière d'Ikopa à l'aval immédiat de la prise d'eau.

I.6. Hydrogéologie

Les principaux réservoirs aquifères sont les nappes d'arènes et les fractures du socle. Cette zone est alimentée par la fissuration provenant des collines d'Ambohibe et de Soamanandrany et de l'infiltration directe. Il y a aussi un drainage entre la vallée d'Ambohimahitsy et la vallée d'Ampasimbe qui entraîne un phénomène d'infiltration de l'eau provenant de la précipitation. Ce site a une pente assez faible, qui limite le processus de ruissellement mais qui est aussi le siège d'un phénomène d'évaporation. On le rencontre les type d'aquifère suivant :

Les principaux réservoirs aquifères de la zone sont les nappes d'alluvions et les nappes de fissuration:

- Les nappes d'alluvions sont constituées par des couches de sables et graviers plus ou moins argileux, séparées d'une couche d'argile discontinue, qui favorise un phénomène d'infiltration. Ces nappes sont en équilibres avec les cours d'eaux, elles sont drainées et l'alimentent en fonction des régimes (cru et étiage).

- La nappe de fissuration est caractérisée par des failles et/ou fractures interconnectés entre eux et forment un réservoir d'eau souterraine. Les roches des granites sont: compactes et présentent de faible élasticité, ce qui favorise l'apparition de réseaux de fissures et de fractures bien développée, favorisant ainsi la constitution de l'aquifère fissurée.

La figure 10 ci-dessous nous présente un modèle hydrogéologique simplifiée de la zone d'étude

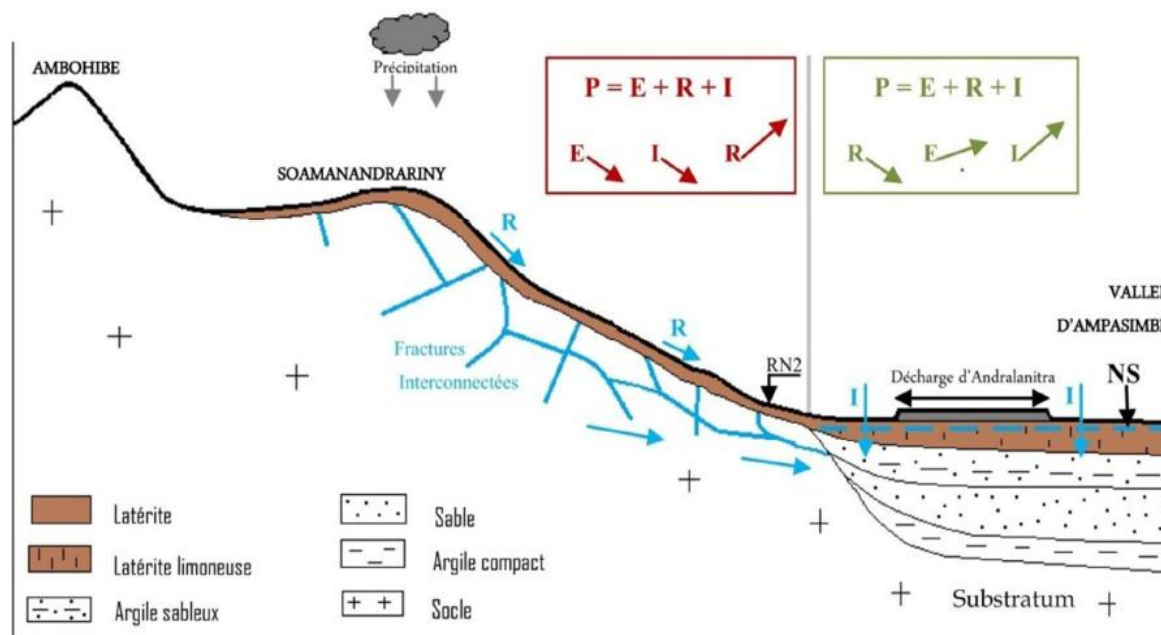


Figure 10: Modèle hydrogéologique simplifiée

source : donné par l'Auteur

I.7. Géologie

L'aperçu géologique de la zone d'étude montre que ses formations reposent sur un socle cristallin. Sa structure géologique du site est caractérisée par une épaisseur des argiles limoneuses (formation superficielle) qui forme le relief de la zone d'étude, et par des alluvions constituées par une couche de tourbe, d'argile et de sable, qui couvrent le socle cristallin.

La succession des faciès alluvionnaires est, depuis l'affleurement vers la base :

- une formation superficielle argile limoneuse, de porosité et de perméabilité moyenne, peu épaisse et vers l'aval s'enrichit progressivement en argile et en sable ;
- des argiles jaune ou grises plus ou moins mélangées de tourbe et de sable, qui constituent le substratum des rizières;
- un niveau d'argiles plus ou moins sableuses et des sables. Le sable est une roche très poreuse et perméable et cette propriété en fait une roche-magasin. [48]

➤ *Les formations superficielles* : Alluvions et latérite sableuse qui couvrent le socle cristallin, et dominent la surface totale du site de dépotoir.

➤ *Les Roches magmatiques* :

Essentiellement des granites : qui est une roche magmatique, plutonique, effusive, grenue, de teinte claire avec les minéraux essentiels suivants 80 % de Quartz, Orthose et plagioclase (albite, oligoclase)

➤ *Les Roches métamorphiques* :

Migmatite : qui est une roche métamorphique issue d'anatexie cristal partielle. On le trouve dans des zones de métamorphisme moyen à élevé.

La figure 11 suivant nous montre coupe géologique du site d'Andralanitra

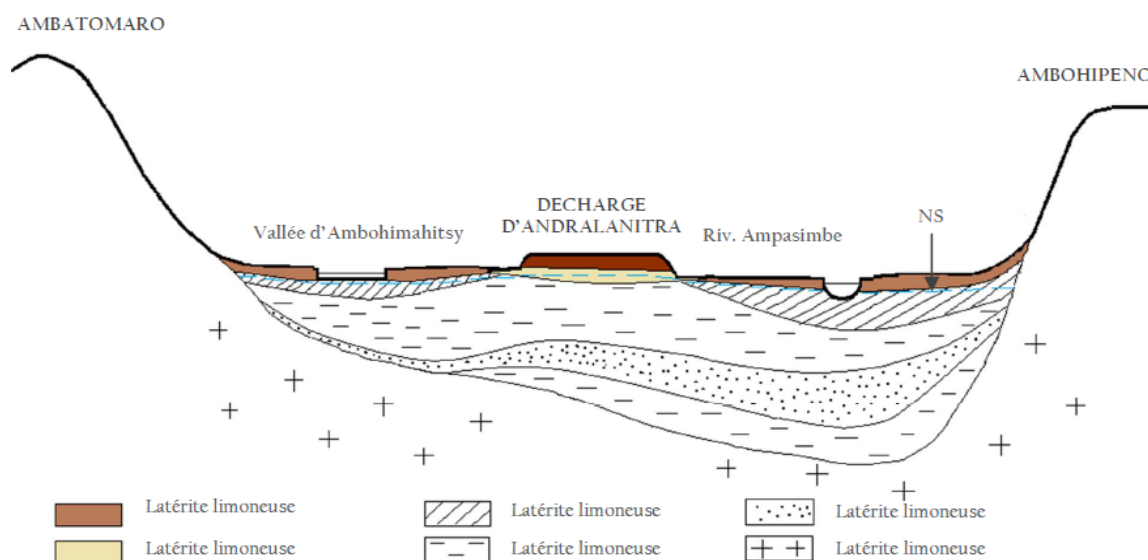


Figure 11: Coupe géologique simplifiée de la zone

source : donné par l'Auteur

La figure 12 suivant nous montre la formation la structure géologique de la zone étudié

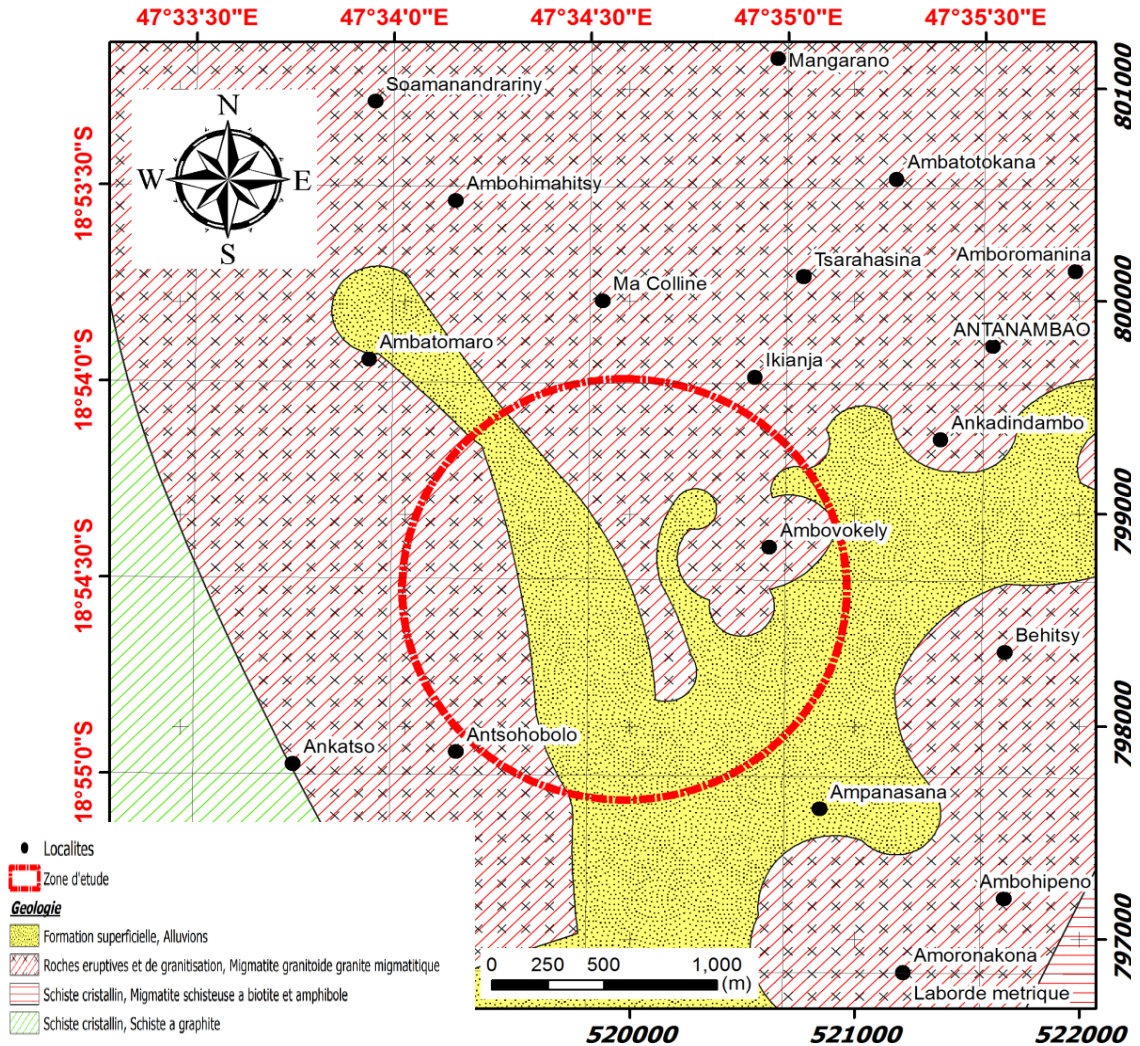


Figure 12: Carte géologique de la zone d'étude

I.8. Population

Les populations d'Ikianja se répartissent en deux groupes : les populations autochtones, on les rencontre à Ankadiefajoro et les émigrants demeurent aux alentours d'Andralanitra, ces populations sont majoritairement pauvres et démunis, ils vivent dans des conditions précaires, leurs activités économiques dépendent de dépotoir.

Les riverains d'Ambaniala plus proche de la décharge, leurs activités gravitent autour de la décharge. Ces populations sans occupation ni profession bien défini. La majeure partie de ces populations dites 4mis ou chiffonniers exploitent la décharge pour des activités telles que : la récupération de déchets qui consiste à ramasser des objets recyclables ou vendables, la fabrication des engrais terreux. Les activités des chiffonniers sont à l'origine de nuisances, notamment les fumées dégagées par les feux qu'ils font pour s'éclairer la nuit, et qui brûlent en permanence et qui provoquent des maladies presque endémiques due à l'odeur et la fumée d'ordure.

II. METHODOLOGIE

L'étude a été menée en deux temps : d'une part une descente sur terrain qui est la campagne de prélèvement d'eau et quelque enquête sur les populations aux alentours du site, et d'autre part une étude au laboratoire pour l'analyse physico-chimique des échantillons.

Les échantillonnages ont été effectués du mois de Janvier 2017 jusqu'au mois d'Avril 2017 avec un intervalle de temps de 30 jours qui sont en fonction des saisons sèche et saison humide. Deux campagnes de prélèvement en saisons sèche c'est-à-dire le mois de janvier qui est le début de prélèvement et le mois d'avril qui est la dernière campagne de prélèvement. Deux campagnes de prélèvement en saisons humide c'est-à-dire le mois de février et le mois de mars. Un seul prélèvement d'une exception lors d'un passage d'un cyclone

II.1. Point de prélèvement

Lors de la descente sur terrain, on a installé 6 puits sur le site de décharge pour l'échantillonnage des eaux souterraines dont 3 puits dans l'ancienne décharge du site et 3 puits dans la nouvelle décharge du site. Puis faire quelque mesure in-situ comme le pH, conductivité électrique...

Le choix de point de prélèvement est basé sur sa position par rapport aux différents critères : un puits de prélèvement près des rejets direct des lixiviats

Les prélèvements sont faits de façon manuelle et instantanée et sont conservés dans des récipients, préalablement rincés avec de l'eau à prélever. Les prélèvements ont été effectués à une profondeur de 2 à 5 m sous les ordures. L'analyse des échantillons après prélèvement se feront dans le plus bref délai.

La figure 14 suivante représente les 6 points de prélèvement sur le site dont les points d'échantillonnage dont :

Les 3 points du prélèvement de la nouvelle décharge

P1 : c'est le puits numéroté P1 sur la figure son profondeur est environ 2m situé sur la partie Sud-Ouest du site

P2 : c'est le puits numéroté P2 sur la figure son profondeur est environ 3m situé sur la partie Est du site

P3 : c'est le puits numéroté P3 sur la figure son profondeur est environ 4m situé sur la partie Sud-Est

Pour l'ancienne décharge les 3 points du prélèvement sont :

P4 : c'est le puits numéroté P4 sur la figure son profondeur est environ 2m situé sur la partie Est du site

P5 : c'est le puits numéroté P5 sur la figure son profondeur est environ 3,5m situé sur la partie Nord du site

P6 : c'est le puits numéroté P6 sur la figure son profondeur est environ 5m situé sur la partie Ouest du site

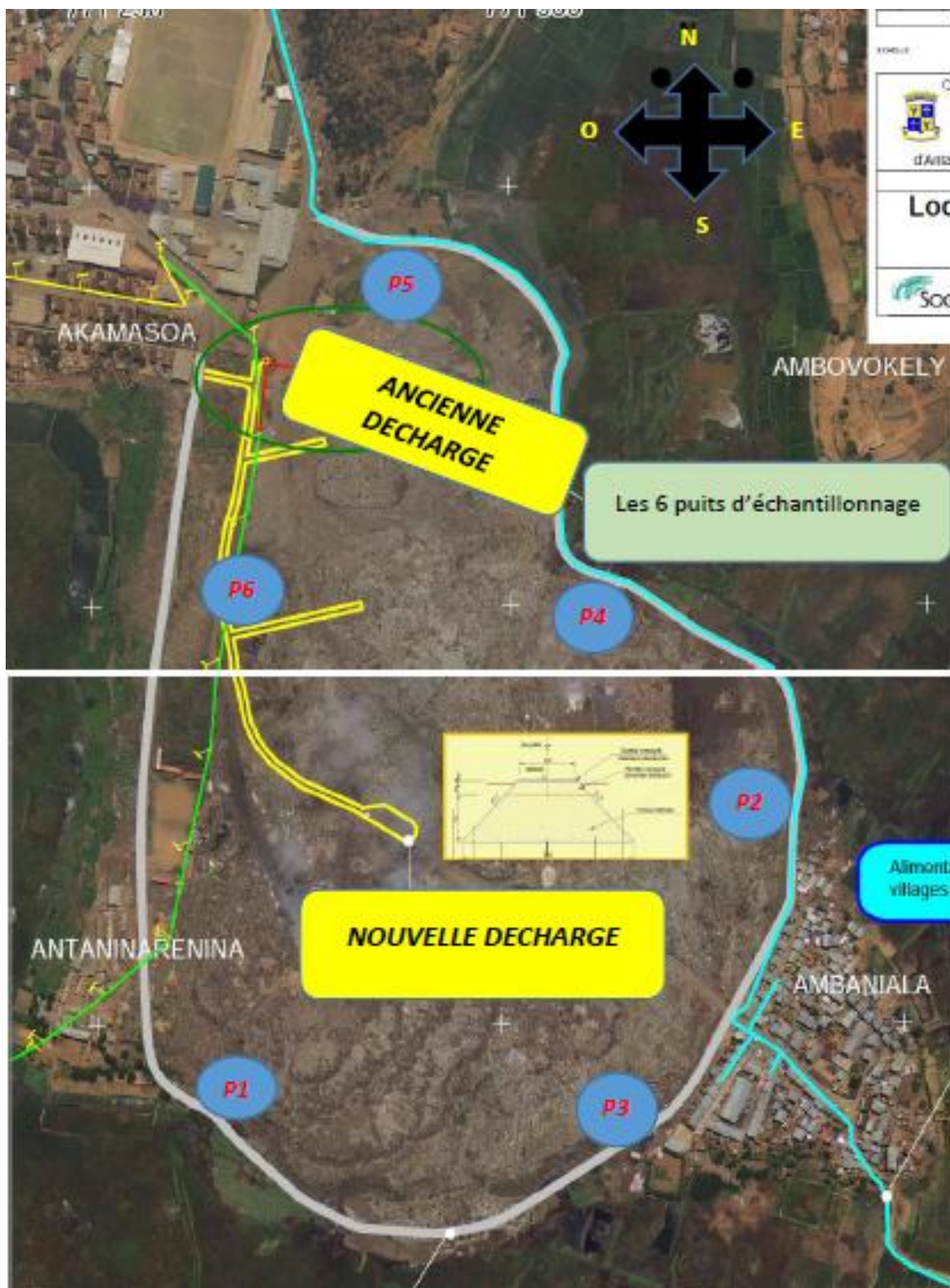


Figure 13: Les positions de 6 puits des prélèvements source : Google Earth

II.2. Analyse des paramètres physico-chimiques

Les travaux au laboratoire consistent à mesurer et analyser les paramètres physico-chimiques et microbiologiques des échantillons d'eau souterraine prélevée au site de décharge

II.2.1. Analyse des paramètres physiques

➤ pH

La mesure du pH se fait par la méthode électrométrique selon la norme MA. 100 – pH 1.1

Le pH représente la concentration des ions hydrogènes dans une solution. Cette mesure est importante car le pH régit un grand nombre d'équilibres physico-chimiques.

Il se définit comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène selon la formule suivant :

$$pH = -\log_{10} a_{H^+}$$

Principe et théorie :

Il est mesuré à l'aide d'une électrode de verre, dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogènes suivant l'équation de Nernst. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance.

Les résultats sont exprimés en unités de pH et sont lus directement sur le cadran sur l'appareil.

➤ Conductivité

La mesure de la conductivité se fait par la méthode électrométrique selon la norme MA. 115 – Cond. 1.1

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. La conductivité varie en fonction de la température. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes.

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. C'est la capacité de l'eau à conduire le courant électrique qui la traverse. Elle indique la teneur en sel des électrolytes minéraux dissous d'où conductivité élevée de l'eau résulte de sa forte salinité.

Principe et théorie :

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Le passage du courant électrique est effectué par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif. Un courant alternatif est utilisé pour atténuer la perturbation causée par la polarisation des électrodes. Les électrolytes peuvent être considérés comme des conducteurs métalliques et ils obéissent à la loi d'Ohm. En appliquant une force électromotrice constante entre les électrodes, la variation de l'intensité de courant est inversement proportionnelle à la résistance de la solution. La conductivité d'une solution dépend de la concentration des ions présents et de leur vitesse de migration sous l'influence de la force électromotrice appliquée. Plus l'électrolyte est dilué, plus la conductivité diminue, car il y a moins d'ions par volume de solution pour assurer le transport du courant. Elle est exprimée en $\mu S \cdot cm^{-1}$

➤ **Turbidité**

La mesure de la turbidité se fait par la méthode néphélométrique selon la norme MA. 103 – Tur. 1.0.

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau comme les matières organiques, les argiles, etc. Elle est déterminée à l'aide d'un néphélomètre. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident. Elle est exprimée en NTU

➤ **Papier filtre**

Le papier filtre sert à éliminer les matières en suspension présent dans l'échantillon d'eau

II.2.2. Analyses des paramètres biologiques

➤ **Demande Biochimique en Oxygène**

La mesure de la Demande Biochimique en Oxygène ou DBO se fait par la méthode électrométrique selon la norme MA. 315 – DBO 1.1

La demande biochimique en oxygène est de la quantité d'oxygène requise pour oxyder les matières organiques et les matières inorganiques dans un échantillon aqueux.

La DBO₅ est donc la mesure de la consommation d'oxygène d'un effluent après cinq jours d'incubations à 20 °C. C'est la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau utilisé comme substances nutritive pour la destruction de matières organiques décomposables et de l'oxydation des molécules inorganiques comme les sulfures, les ions ferreux et les différentes formes de composés azotés.

La détermination de la DBO sert à évaluer la concentration des polluants organiques présents dans l'échantillon d'eau. Elle est mesurée directement par un appareil.

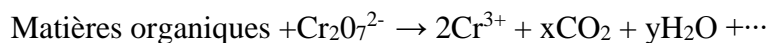
➤ **Demande Chimique en Oxygène**

La mesure de la Demande Chimique en Oxygène ou DCO se fait par la méthode de reflux en système fermé suivi d'un dosage par calorimétrie avec le bichromate de potassium selon la norme MA. 315 – DCO 1.1

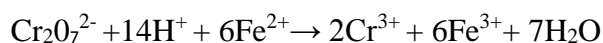
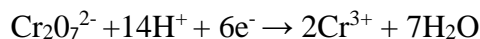
La Demande Chimique en Oxygène est concentration en masse d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate consommée par les matières en suspension et dissoutes lorsqu'on traite l'échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies. [49]

La matière oxydable contenue dans un échantillon est oxydée par chauffage à reflux en milieu fortement acide avec une quantité connue de bichromate de potassium dans une éprouvette fermée. La consommation d'oxygène par l'échantillon provoque un changement de couleur dont l'absorbance est proportionnelle à la quantité de bichromate de potassium réduit et se mesure en équivalent d'oxygène. L'ébullition à reflux, pendant 2h dans une température T=150 °C en présence de sulfate de mercure et d'une quantité connue de dichromate de potassium et d'un catalyseur à l'argent en milieu fortement acidifié.

Selon la réaction



Titration de l'excès de dichromate avec une solution titrée de sulfate de fer(II) et d'ammonium (sel de Mohr). Il y a réduction du chrome hexavalent en chrome trivalent et oxydation du fer ferreux en fer ferrique suivant la réaction :



La demande chimique en oxygène DCO, exprimée en mg d'O₂/L est donnée par la formule suivante:

$$DCO = \frac{8000 \times C \times (V_1 - V_2)}{V_0}$$

C : est la concentration exprimée en mol.L⁻¹ de la solution de sulfate de fer II et d'ammonium calculés

V₀ : est le volume, en ml, de la prise d'essai avant dilution éventuelle

V₁ : est le volume, en ml, de la solution de sulfate de et d'ammonium pour l'essai à blanc

V₂ : est le volume, en ml, de la solution de sulfate de et d'ammonium, utilisé pour les échantillons

II.2.3. Analyse des paramètres chimiques

Matériels d'analyse des oxydes d'azote : chromatographie ionique

Pour l'analyse des nitrites et nitrates nous avons utilisé une chromatographie ionique selon les articles : *Determination of trace anions in high-nitrate matrices by ion chromatography [50]* et *Determination of Nitrogen Species (Nitrate, Nitrite and Ammonia Ions) in Environmental Samples by Ion Chromatography [51]*

Les ions nitrate et nitrite dans les échantillons d'eau peuvent être dosés par chromatographie ionique, méthode qui comporte la séparation des ions par échange ionique, leur conversion en formes acides hautement conductrices puis la mesure de la conductivité.

II.2.2.1. Chromatographie ionique

La chromatographie ionique est l'une des méthodes employée en chimie pour l'analyse des constituants des mélanges complexes et des solutions aqueuse. Une mesure de la conductivité électrique permet une détection des entités ioniques présentes dans l'échantillon. Il permet une analyse qualitative et quantitative des espèces ioniques présentes dans un échantillon liquide

II.2.2.2. Théorie de l'analyse par chromatographie ionique

Pour l'analyse et la mesure des oxydes d'azotes nous avons choisi la chromatographie ionique car il est développée et très utilisée sur le domaine de la chimie de l'environnement, l'industrie alimentaire ou pharmaceutique, les effluents industriels, la médecine et l'agriculture.

Du point de vue analytique, cette technique est devenue intéressante grâce aux progrès réalisés que l'on peut regrouper en 4 catégories :

- meilleurs composants chromatographiques,
- échantillons de faible volume,
- résines échangeuses de plus grande efficacité,
- détection automatique

Un chromatographe ionique comprend les éléments suivants :

- Injecteur : c'est une vanne qu'on introduit l'échantillon et assure le passage correct des solutions à travers la colonne
- Pompe de circulation avec précision de 0 à 9.9mL/minute pour le DIONEX
- Colonne de séparation, spécifique des éléments à analyser. Il est constitué par une résine échangeuse d'ions c'est-à-dire une résine d'échangeuse d'anions pour le dosage des ions négatifs en solution et une résine d'échangeuse de cations pour le dosage des ions positifs en solution.
- L'éluant qui assure le transport des espèces
- Un supprimeur qui supprime les chromatogrammes de l'éluant
- Un système de détection qui détecte le signal donné par espèce ionique présente dans l'échantillon ainsi séparée et détectée par le conductimètre à la sortie de la colonne
- Un système d'intégration qui intègre le signal et donne l'aire de surface du chromatogramme.

La figure 15 ci-dessous présente les Éléments constitutifs de chromatographie ionique

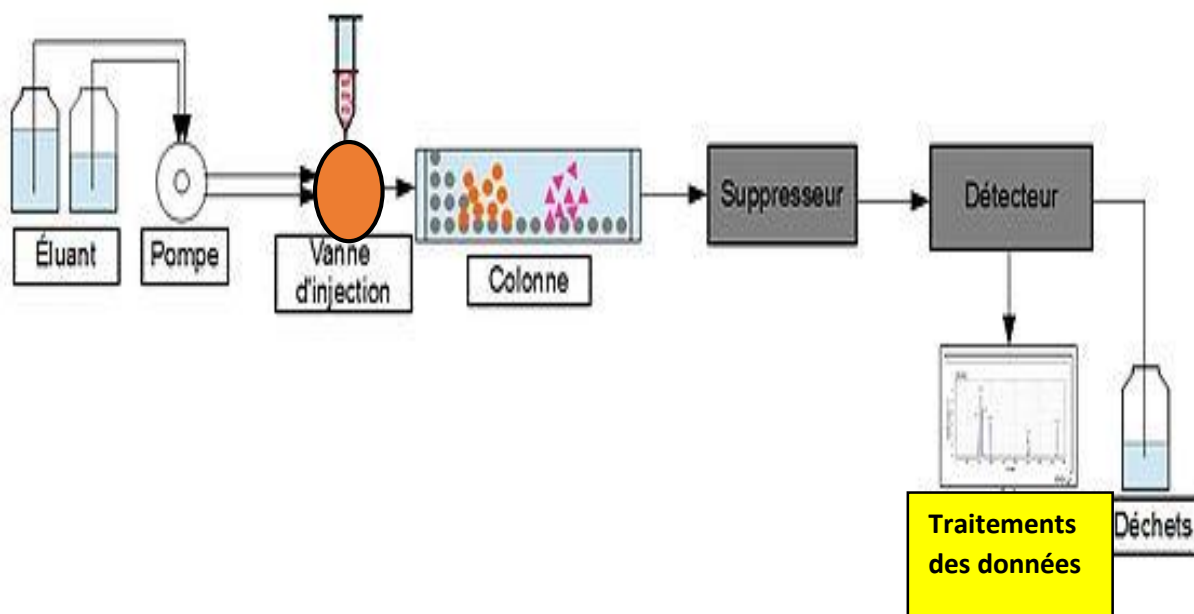


Figure 14: Éléments constitutifs de chromatographie ionique Source : donné par l'Auteur

II.2.2.3. Principe de la chromatographie ionique

Cette technique de chromatographie est orientée vers la séparation des composés polaires. La séparation des ions ou des composés polaires présents dans l'échantillon est entraînée par la phase mobile, résulte de leurs interactions avec les sites ioniques de la phase stationnaire. La détection des composés ioniques de l'échantillon est rendue difficilement par suite de leur faible concentration au sein de la phase aqueuse chargée d'une grande quantité d'ions. La progression et la séparation des composés de l'échantillon se posent sur des phénomènes d'échange ionique.

La colonne

Elle contient une résine échangeuse d'ions, anionique ou cationique selon les analyses que l'on veut réaliser. Cette résine est le résultat de la polymérisation d'un mélange de styrène et de divinylbenzène qui est sulfonaté.

Le tableau 5 nous résume les grandeurs caractéristiques de la colonne

Tableau 5: Exemples de colonnes : DIONEX

Colonne	Commentaire	Eluent
HPIC-AS1	Séparation des anions « standards »	0,3 M NaHCO ₃ 0,0024 M Na ₂ CO ₃
HPIC-AS2	- Retient NO ₃ très fortement. - Sépare les anions qui sont élués très rapidement.	0,3 M Na ₂ CO ₃ 0,2 M NaOH 5 % V/V acetonitrile 0,00071 M 4 - cyanophénol
HPIC-AS3	- haute performance - Séparation des anions « standards » - Sépare les ions sulfate et oxalate	0,0028 M NaHCO ₃ 0,0022 M Na ₂ CO ₃
HPIC-AS4	- haute performance	0,0028 M NaHCO ₃ 0,0022 M Na ₂ CO ₃
HPIC-AS4A	- haute performance	0,00075 M NaHCO ₃ 0,0022 M Na ₂ CO ₃
HPIC-AS5	Force éluant importante	2 % V/V acetonitrile 0,0008 M 4-cyanophénol
HPIC-AS6 a)	Stable à pH élevé pour séparer les sucres, alcools et saccharines.	0,16 M NaOH
HPIC-AS7 b)	sépare les anions polyvalents comme NTA, EDTA et les polyphosphates	0,06 M HNO ₃

a) utilisation d'une détection ampérométrique pulsée

b) utilisation d'un réacteur post-colonne, détecteur UV à 330 nm

II.2.2.3.1. Principe de supprimeur

La supprimeur supprime la conductivité de l'éluant afin que le pic de la conductivité de l'élément à analyser soit le plus net possible ainsi que le système de suppression serve pour augmenter la sensibilité et l'abaissement de seuil des détections des éléments. Le câble du supprimeur est branché sur le connecteur près du détecteur. [52] L'éluant acide est neutralisé par des ions OH^- qui va supprimer le signal de conductivité et pour l'analyse des anions, l'éluant basique est neutralisé par des ions H^+ qui va supprimer le signal de conductivité.

II.2.2.3.2. Principe du détecteur

Dans la chromatographie ionique on utilise de détecteur à conductivité pour la détection des ions, il s'agit donc une mesure conductimétrie lorsqu'un ion est élué, il remplace l'ion de même signe de l'éluant et le pic de la conductivité augmente ou diminue. Le détecteur a pour rôle de reconnaître les groupes de composants à analyser, qui éluent de la colonne. Le détecteur reconnaît en fait la valeur changeante de la grandeur à mesurer, comme l'absorption, la conductivité. Les paramètres les plus importants d'un détecteur sont:

II.2.2.3.3. Principe de dosage

En sortie de colonne chaque élément ainsi séparé donne un signal de conductivité, détectable par le conductimètre. Un étalonnage préalable avec des solutions de concentrations connues permet de déterminer les temps de rétention des différents éléments. Une courbe d'étalonnage peut ainsi être établie. L'étalonnage de l'instrument est réalisé en insérant les solutions étalons à chaque séquence d'analyse créée avec le logiciel Chromeleon.

La figure 16 ci-dessous indique le pic obtenu sur le chromatogramme

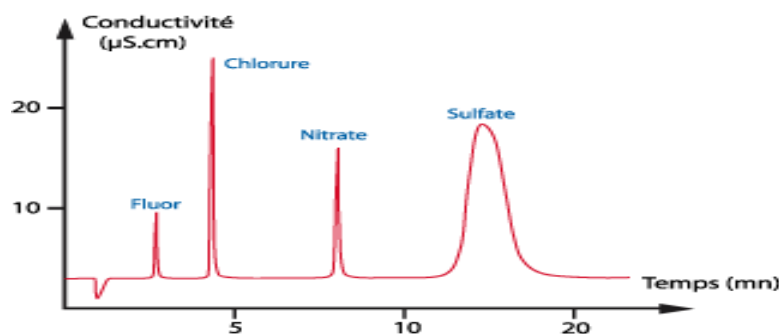


Figure 15 : Chromatogramme de l'échantillon

II.2.2.3.4. Principe de séparation

La chromatographie est une méthode de séparation basée sur les différences d'affinités des substances à analyser à l'égard de deux phases. L'une de ces phases est stationnaire ou fixe et l'autre la phase mobile. La séparation des composants entraînés par la phase mobile résulte soit leurs adsorptions et leur désorption successive sur la phase stationnaire, soit leur solubilité différente dans chaque phase selon la technique chromatographique mise en jeu.

En chromatographie ionique le mécanisme de séparation se produit par échange d'ions entre une phase stationnaire, qui porte des groupements fonctionnels chargés et phase mobile. [53]

➤ La phase stationnaire ou fixe

La phase fixe peut être solide ou liquide. Les solides (silice ou alumine) traités permettent la séparation des composants de mélanges grâce à leurs propriétés absorbantes.

Les phases stationnaires le plus connus sont obtenues par copolymérisation styrène divinylbenzène afin d'obtenir des phases réticulés résistant à l'écrasement.

Elles sont présentées sous forme de particule sphérique d'un diamètre de quelque micromètre.

➤ La phase mobile

La phase mobile, c'est l'éluant, qui peut être polaire ou apolaire. Il assure le passage de l'échantillon à travers la colonne. Dans la chromatographie d'adsorption, une phase stationnaire polaire (gel de silice) avec une phase mobile apolaire (exemple : n-hexane, THF) est le plus utilisée, dans cette analyse nous avons utilisé l'éluant : bicarbonate de sodium Na_2CO_3 de 0.1007g dans 500mL eau distillés et hydrogénocarbonate de sodium NaHCO_3 de 0.075g dans 500mL d'eau distillés. L'élution est le processus au cours duquel les composants d'un échantillon se déplacent à travers la colonne suite au flux permanent de la phase mobile.

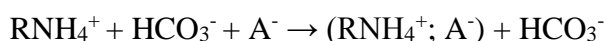
II.2.2.4. Mécanisme de séparation

A la sortie de la colonne, les anions et les cations à analyser sont acheminés les uns à la suite des autres selon leur temps de rétention vers la cellule de détecteur afin que celui-ci puisse mesurer leurs conductances. [54]

➤ Analyse des anions

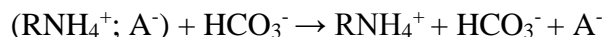
Pour l'analyse des anions, la colonne à échangeuses contient une phase stationnaire basique du type ammonium quaternaire NH_4^+ par exemple. Elle est traversée par une phase mobile aqueuse comme une solution d'hydrogénocarbonate de sodium (Na^+ , HCO_3^-). A^- est l'élément contenu dans l'échantillon à analyser est élué par la phase mobile.

Nous avons la réaction :



Pendant certains temps, la résine échangeuse va libérer les ions A^- de l'échantillon qui seront remplacés par ceux de l'éluant.

Suivant la réaction :



II.2.2.5. Résines échangeuses d'ions

Dans un système chromatographique la séparation est assurée par la phase stationnaire. Cette phase est un support solide comportant des groupements fonctionnels ionisés (positifs ou négatifs) permettant la rétention des espèces pour la séparation.

Ces groupements sont divisés en 2 catégories : l'une est chargée positivement pour l'échange d'anions et l'autre est chargée négativement pour l'échange de cations.

Le principal groupement utilisé est :

- le groupement sulfonate : $-\text{SO}_3^-$ pour les échanges de cation
- le groupement ammonium quaternaire : $-\text{NR}_3^+$ pour les échanges d'anions.

Actuellement, les résines échangeuses d'ions se sont beaucoup améliorées afin d'accroître l'efficacité des colonnes, la résistance au transfert de masse était le principal problème des colonnes

et celle-ci a été atténuée par la réduction de la distance parcourue par les solutés ; ceci se concrétise en améliorant les deux caractéristiques suivantes :

- diminution de la taille des particules pour les supports poreux ;
- greffes de sites actifs à la surface d'un support imperméable (non-poreux).

Ceci nous amène à décrire les trois principaux types de résines :

❖ La structure d'un gel

La matrice est constituée par un réseau macromoléculaire, le plus souvent à base du copolymère styrène divinylbenzène sur lequel sont greffés les groupes fonctionnels. Cette structure a un avantage lorsque le détecteur n'est pas très sensible et un inconvénient pour les composés fortement retenus.

La figure 20 ci-dessous nous présente une structure d'un gel

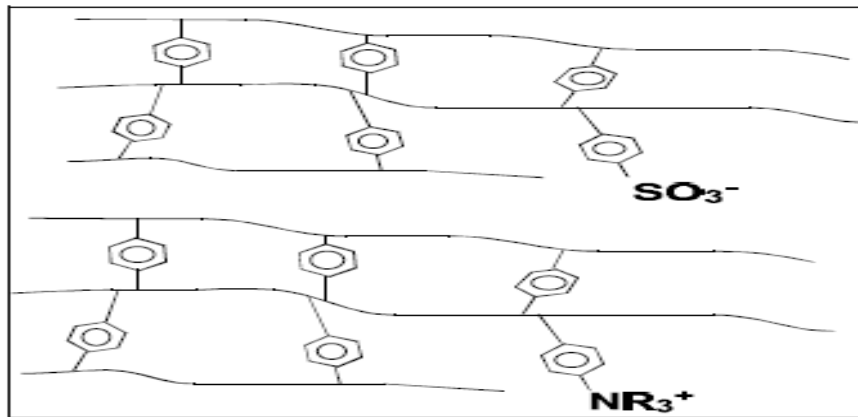


Figure 16: Schéma de la structure d'un gel

❖ La structure pelliculaire

L'avantage de cet échangeur est de pouvoir réaliser de séparation très fine et à très courts temps.

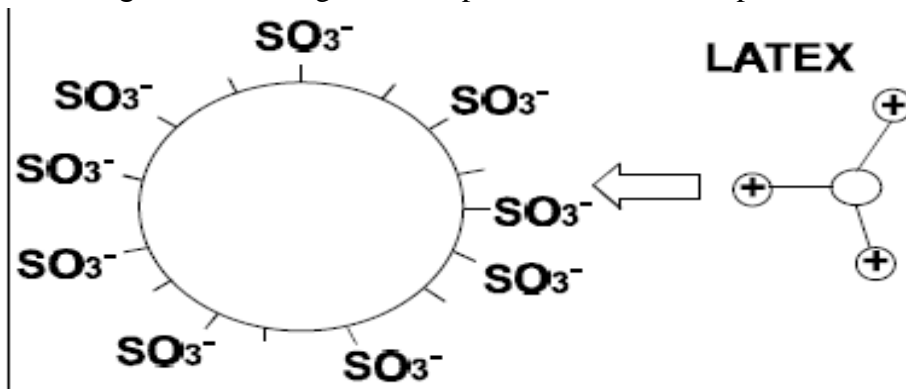


Figure 17: Schéma de la structure pelliculaire

❖ La structure en silice

Pour corriger les inconvénients des résines échangeuses d'ion, on utilise un support constitué de microparticules de silice, on a alors un échangeur résistant à la pression, de granularité fine et serrée, possédant une grande surface de contact grâce à la structure poreuse de la silice.

Le tableau 6 suivant regroupe les résines échangeuses d'ion les plus utilisées

	Échangeurs de cations	Échangeurs d'anions
Forts	$-\text{SO}_3^-$ Résine sulfonique	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ -\text{N}^+ - \text{CH}_2 \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array}$ Ammonium quaternaire
Faibles	$-\text{CO}_2^-$ Résine carboxylique	$-\text{NH}_3^+$ Amine primaire
	$-\text{CH}_2\text{CO}_2^-$ Carboxyméthylcellulose	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \text{ CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ NH}^+ \\ \\ \text{CH}_2 \text{ CH}_3 \end{array}$ Diéthylaminoéthylcellulose

Tableau 6: Résines échangeuses d'ion les plus utilisées

II.2.2.6. Grandeurs caractéristiques chromatographiques

- Taille des pics de chaque élément injecté

La taille et l'aire des pics représentent la concentration de chaque élément présent dans l'échantillon analysé

- Temps de rétention

Le temps de rétention (t_R) d'un constituant est le temps écoulé entre l'instant où l'échantillon est injecté et celui où le pic correspondant à ce constituant atteint sa valeur maximale

$$t_S = t_R - t_M$$

Avec :

- t_S est le temps de séjour du composé dans la phase stationnaire
- t_R est le temps écoulé entre l'injection du composé dans la colonne et le moment où il sort à sa concentration maximale
- t_M est le temps que met l'éluant pour arriver au bas de la colonne.

Le temps de rétention c'est le temps que prend le composé pour traverser la colonne chromatographique. La distance parcourue par le composé se calcule à partir du moment de l'injection jusqu'à son apparition au détecteur, mesurée au sommet du pic sur le chromatogramme. Lorsqu'on veut identifier un pic sur le chromatogramme, nous injectons le standard soupçonné dans les mêmes conditions expérimentales que le mélange inconnu.

II.2.2.7. Méthode de calcul et expression de résultat en chromatographie ionique

Des courbes d'étalonnage sont obtenues à partir des surfaces des pics et des concentrations des solutions étalons. Les résultats en mg/l sont obtenus directement par le calcul à l'aide de logiciel sur l'ordinateur. La concentration des anions dans un échantillon aqueux exprimée en mg/l est déterminée comme suit :

$$C = A \times F$$

Où

C : concentration de l'anion dans l'échantillon (mg/l);
A : concentration de l'anion dans la solution dosée (mg/l);
F : facteur de dilution, si nécessaire.

II.3. Outils de traitement des données

Afin de bien interpréter nos résultats, nous avons fait appel à un outil mathématique.

II.3.1. Outils mathématiques

Dans cette étude nous avons utilisé deux outils statistiques, l'EXCEL pour les calculs et les traitements de valeur et le XLSTAT pour le traitement de donnée pour les Analyse en Composante Principale qui facilite l'interprétation des résultats.

II.3.2. Analyse en composantes principales

II.3.2.1. Définition et historique de l'ACP

L'analyse en composantes principales fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles (descriptives, non supervisées).

Ces méthodes sont apparues au début du XXe siècle, dans les années 30, et ont été surtout développées en France dans les années 60, en particulier par Jean-Paul Benzécri, qui a beaucoup exploité les aspects géométriques et les représentations graphiques. [55] Le but c'est d'établir une relation entre les différents paramètres physico-chimique sur la qualité des eaux du site étudié. Le traitement statistique de l'analyse en composantes principales a été réalisé avec le coefficient de Pearson sur 6 sites et 8 variables (pH, CE, NTU, MES, DBO₅, DCO, NO₂⁻, NO₃⁻). Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données. Pour étudier les variations des paramètres physico-chimiques et le mode de distribution de concentrations des oxydes d'azote dans les sites étudiés, nous avons choisi d'utiliser l'ACP. L'analyse en composante principale représente graphiquement les relations entre individus par l'évaluation de leurs ressemblances, ainsi que les relations entre variables par l'évaluation de leurs liaisons. A cet effet, deux individus se ressemblent, ou se rapprochent, s'ils possèdent des valeurs proches pour l'ensemble des variables et deux variables sont liées si elles ont un fort coefficient de corrélation linéaire.

II.3.2.2. Interprétation des résultats

Pour faire une interprétation par l'ACP, on confirme que :

- Un individu sera du côté des pour lesquelles il a de faibles valeurs.
- Plus les valeurs d'un individu sont fortes pour une variable plus il sera éloigné de l'origine suivant l'axe factoriel décrivant le mieux cette variable.
- Deux individus à une même extrémité d'un axe c'est-à-dire éloignés de l'origine sont proches c'est-à-dire se ressemblent variables pour lesquelles il a de fortes valeurs, inversement il sera du côté opposé des variables.
- Deux variables très corrélées positivement sont du même côté sur un axe.

Les interprétations doivent se faire de manière globale.

A la suite de cette partie, nous allons présenter les résultats de notre travail.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans le cadre de notre étude, l'interprétation de résultat des différents paramètres physico-chimiques se font globalement à travers l'utilisation du modèle mathématique de l'Analyse en Composante Principale.

I. RESULTATS DES PARAMETRE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINE MOIS DE JANVIER SAISON SECHE

Le tableau 7 présente les résultats différents paramètres physico-chimiques du mois de janvier

PUITS	pH	CE mS.cm ⁻¹	NTU	MES g	DBO ₅ mg.L ⁻¹ O ₂	DCO mg.L ⁻¹ O ₂	NO ₂ ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹
P1	8,676	29,85	29,85	0,0041	30,2	72,3	16,176	46,446
	±0,012	±0,040	±0,040	±0,00005	±0,21	±0,08	±0,012	±0,016
P2	8,716	9,713	27,823	0,0135	60,2	125	14,36	42,966
	±0,016	±0,012	±0,055	±0,0002	±0,58	±1,63	±0,014	±0,016
P3	8,77	15,623	18,326	0,0358	0,0358	162,2	16,446	39,476
	±0,021	±0,016	±0,020	±0,0002	±0,0002	±0,09	±0,016	±0,004
P4	8,523	5,08	8,603	0,0016	24,23	59,4	10,126	34,27
	±0,012	±0,008	±0,004	±0,0001	±0,20	±0,08	±0,012	±0,021
P5	8,456	3,54	9,363	0,0111	28,9	63,8	13,526	37,806
	±0,004	±0,008	±0,012	±0,00005	±0,14	±0,04	±0,024	±0,012
P6	8,086	12,903	24,12	0,0146	27,03	72,32	5,305	10,636
	±0,024	±0,004	±0,021	±0,0001	±0,20	±0,32	±0,003	±0,016

Tableau 7:Résultat de la campagne de prélèvement mois de janvier 2017

La figure 21 ci-dessous présente le profil des différents paramètres physico-chimiques

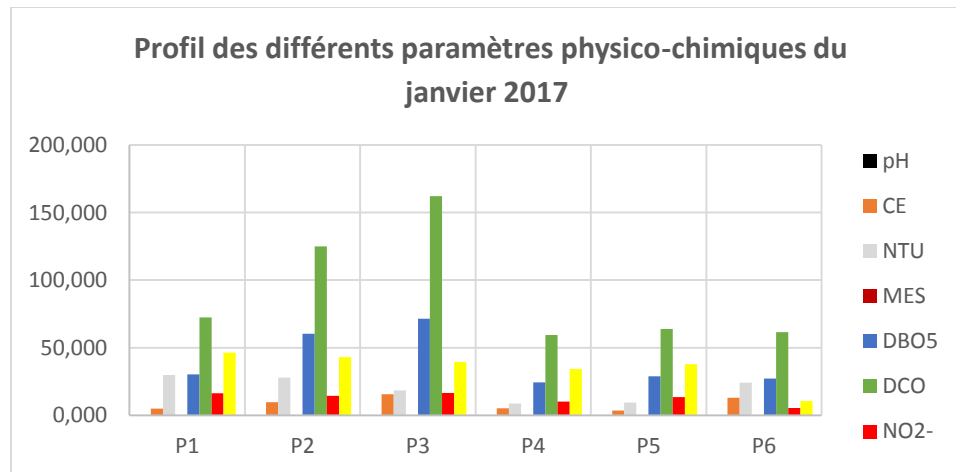


Figure 18:Profil des différents paramètres physico-chimiques du janvier 2017

I.1. Observations

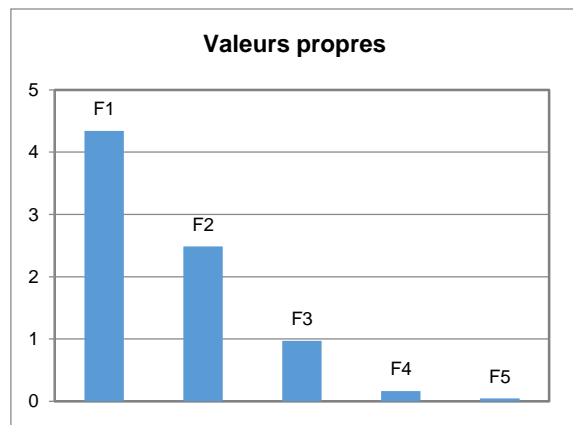
L'observation de ce diagramme sur la figure 21 nous montre une distribution hétérogène de la concentration des paramètres physico-chimique de l'eau du site P1, P2, P3, P4, P5 et P6. On observe aussi que les sites P3 et P2 ont une forte teneur en DCO, on constate que les concentrations en nitrite et nitrate dans le site P1, P2 et P3 sont assez élevé par rapport aux sites P4, P5 et P6.

I.2. Interprétations

Le logiciel XLSTAT nous a permis d'obtenir le mode de distribution des différentes concentrations et donne le résultat suivant grâce à l'ACP. L'étude de ce mode de distribution de ces concentrations est les suivants.

I.2.1. Diagramme d'inertie totale

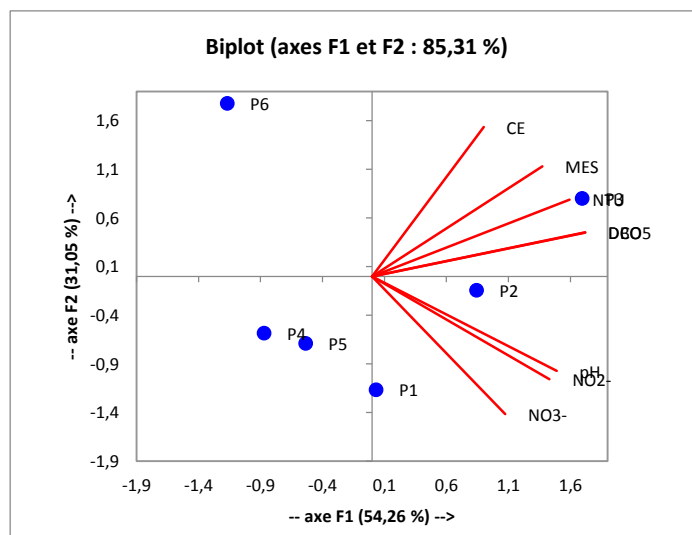
Le diagramme sur le graphe 1 représente l'inertie totale, nous choisissons d'étudier les axes F1, F2 et F3, ce diagramme nous montre que les plans formés par les axes F1, F2 et les axes F1, F3 ont une inertie équivalente de 38% environ.



Graphe 1: Diagramme d'inertie totale

I.2.2. Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2

Selon le graphe 2, on observe que les individus se répartissent de manière hétérogène



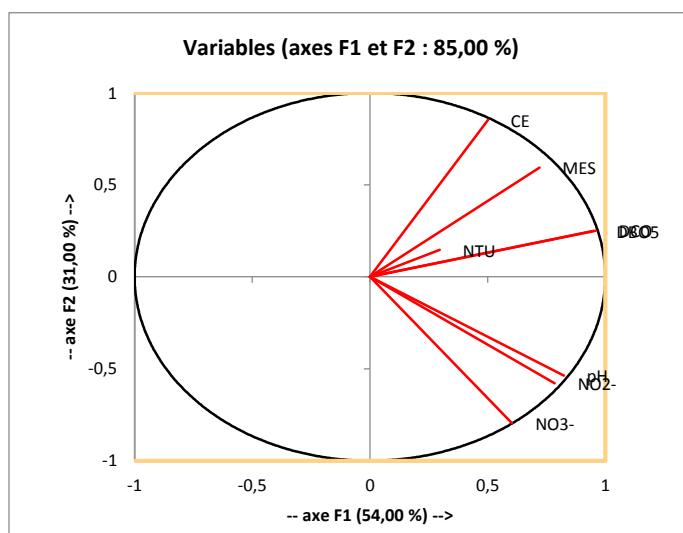
Graphe 2: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1 et 2

I.3. Études des variables

La synthèse numérique des variables sera interpréter par leur représentation graphique sur les axes principaux. Pour mieux informer la qualité de représentation d'une variable sur un axe, nous allons étudier les q1 cosinus carré (Annexe).

I.3.1. Étude des axes F1 et F2

Les variables pH, MES, DCO, DBO₅ et NO₂⁻ sont au voisinage de l'axe F1 avec des qlt voisines de 73% et l'axe F2 porte les variables CE, NTU et NO₃⁻ avec une qlt supérieur à 24%.

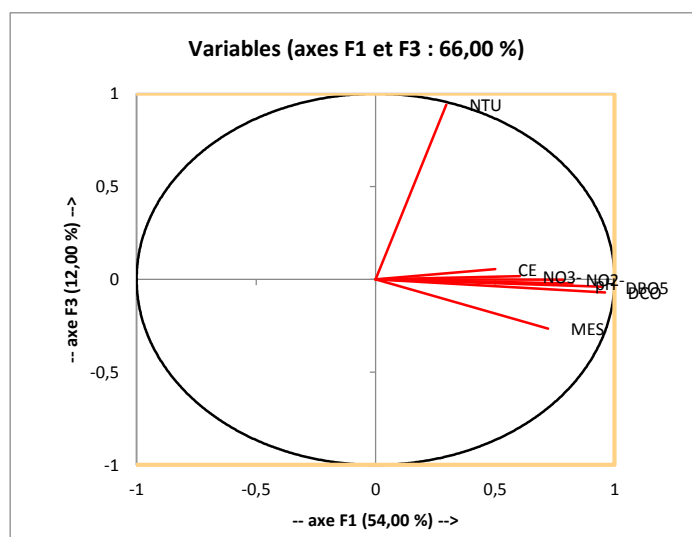


Graphe 3: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2

Le graphe 3 nous dit que les variables portées par l'axe F1 et les variables portées par l'axe F2 forment un angle aigu qui signifie des corrélations entre les variables. Les variables étudiées sont toutes proches du cercle de corrélation sauf les variables NTU et MES, ainsi par l'intermédiaire de ce plan nous pouvons constater que les variables DCO, DBO₅ et pH, NO₂⁻ sont fortement liées entre elles.

I.3.2. Étude des axes F1 et F3

L'axe F1 porte les variables pH, MES, DCO, DBO₅, NO₂⁻, NO₃⁻ avec une qlt supérieure à 60% permet de présenter les variables. Seul le variable NTU est très proche de l'axe F3.



Graphe 4: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3

L'analyse du graphe 4 nous permet de dire que NTU, NO_2^- , DBO_5 et DCO sont proche du cercle de corrélation et que les variables pH, CE, DBO_5 , DCO, NO_2^- , NO_3^- sont fortement lié entre elle.

I.4. Études des individus

A l'aide du tableau de contribution des individus, nous allons étudier les individus en fonction de leur contribution relative cr sur les différents axes c'est-à-dire mettre en valeur les groupements caractéristiques sur les sites étudiés.

I.4.1. Plan 1 : 2

Dans ce plan nous allons mesurer la liaison entre les sites et les variables. Avec une cr de 0,12 nous avons pu sélectionner les sites contribuant le plus à la formation de l'axe 1 induite par les variables pH, NO_2^- , DCO, DBO_5 et NTU. Les sites P2, P3 et P4 sont influencé par l'axe 1. Avec une cr de 0,23 les sites contribuant à la formation de l'axe 2 assez induit par les variables CE, MES et NO_3^- sont les sites P1, P5 et P6.

I.4.2. Plan 1 : 3

Dans ce plan nous pouvons mesurer l'influence de pH, CE, MES, DCO, DBO_5 , NO_2^- , NO_3^- . Avec une cr de 0,60 les sites influencés par l'axe F1 sont P1, P2, P6. Avec une cr de 0,88 l'axe 3 induit par la variable NTU est fortement contribué par les sites suivants P1, P4, et P5.

Conclusion partielle

Les résultats obtenus sont réconfortés par la modèle à travers l'étude mathématique ACP

II. RESULTAT DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT MOIS DE FEVRIER 2017 SAISON HUMIDE

Le tableau 8 ci-dessous présente les différents paramètres physico-chimiques du mois de février

Tableau 8:Résultats de la campagne de prélèvement mois de février 2017

PUITS	pH	CE mS.cm ⁻¹	NTU	MES g	DBO_5 mg.L ⁻¹ O ₂	DCO mg.L ⁻¹ O ₂	NO_2^- mg.L ⁻¹	NO_3^- mg.L ⁻¹
P1	9,346	3,903	82,596	0,0104	64,433	115,233	138,523	970,126
	±0,016	±0,004	±0,026	±0,0001	±0,329	±0,047	±0,020	±0,016
P2	9,81	5,65	40,436	0,0143	57,066	268,43	137,666	951,18
	±0,016	±0,008	±0,186	±0,0002	±0,249	±0,286	±0,060	±0,016
P3	9,443	5,17	75,393	0,0142	55,033	230,166	75,876	867,223
	±0,009	±0,016	±0,049	±0,0002	±0,286	±0,094	±0,012	±0,009
P4	9,926	5,22	48,603	0,0159	78,266	153,466	230,06	456,553
	±0,012	±0,021	±0,004	±0,0001	±0,205	±0,124	±0,032	±0,028
P5	9,113	4,123	35,093	0,0176	68,366	422,00±	61,073	331,926
	±0,004	±0,012	±0,016	±0,0002	±0,262	0,216	±0,028	±0,012
P6	8,98	3,655	49,2	0,0175	54,133	117,533	83,253	374,526
	±0,021	±0,015	±0,021	±0,0001	±0,169	±0,169	±0,004	±0,041

La figure 22 présente le profil des différents paramètres physico-chimiques du février 2017

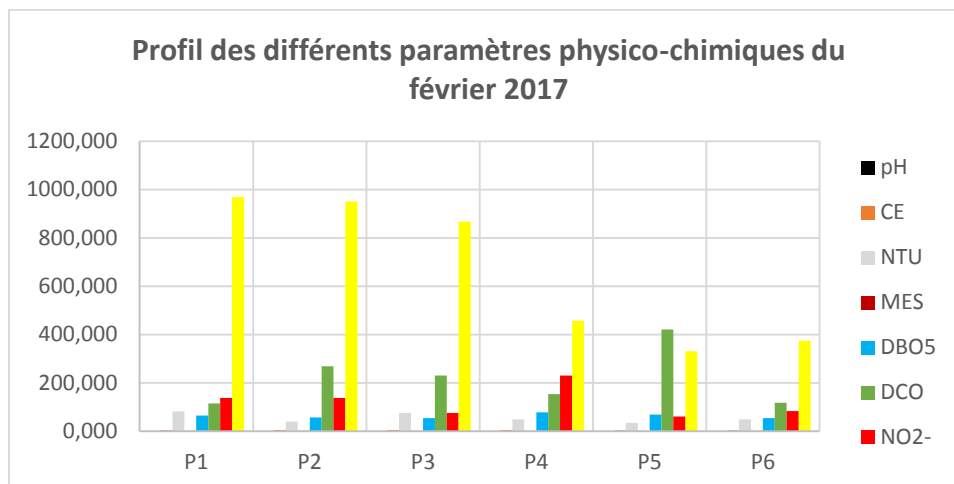


Figure 19: Profil des différents paramètres physico-chimiques du février 2017

II.1. Observations

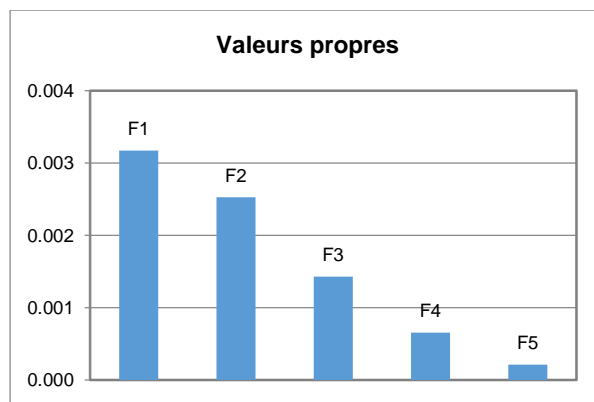
L'observation de ce diagramme sur la figure 22 nous montre des distribution hétérogènes de la concentration des paramètres physico-chimique de l'eau du site P1, P2, P3, P4, P5 et P6 on observe aussi que le site P2 et P5 ont une forte teneur en DCO, on constate aussi que les concentrations des nitrite et nitrate dans les sites P1, P2 et P3 sont très élevé par rapport aux sites P4, P5 et P6. La concentration de DBO est presque constante dans les 6 sites. Les autres paramètres sont assez faible, les MES dans tous les 6 sites sont très faible.

II.2. Interprétations

Le logiciel XLSTAT nous permet d'obtenir le mode de distribution des différentes concentrations et donne le résultat suivant grâce à l'ACP. L'étude de ce mode de distribution de ces concentrations est les suivants.

II.2.1. Diagramme d'inertie totale

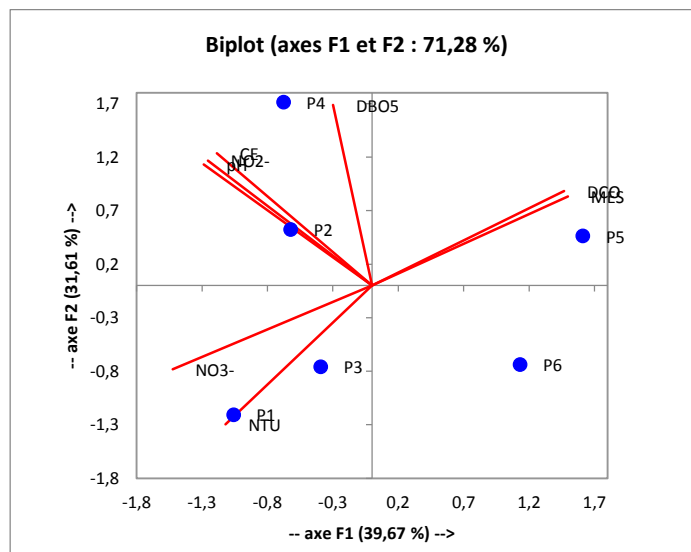
Le diagramme sur le graphe 5 représente l'inertie totale, nous choisissons d'étudier les axes F1, F2 et F3, ce diagramme nous montre que les plans formés par les axes F1, F2 et les axes F1, F3 ont une inertie équivalente de 32% environ.



Graphe 5: Diagramme d'inertie totale

II.2.2. Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2

Selon le graphe 6, on observe que les individus se répartissent de manière hétérogène



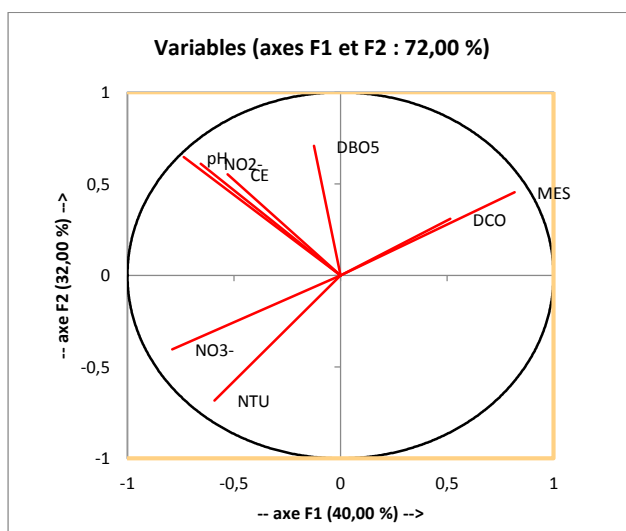
Graphe 6: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1&2

II.3. Études des variables

La synthèse numérique des variables sera interpréter par leur représentation graphique sur les axes principaux. Pour mieux informer la qualité de représentation d'une variable sur un axe, nous allons étudier les qlt cosinus carré (Annexe).

II.3.1. Étude des axes F1 et F2

Les variables pH, CE, MES, DCO, NO₂⁻ et NO₃⁻ sont au voisinage de l'axe 1 avec des qlt voisines de 46% et l'axe F2 semble représenter les variables NTU et DBO₅ avec une qlt supérieur à 49%. Ce cercle de corrélation sur le graphe 7 nous présente les variables portées par le plan 1 et 2

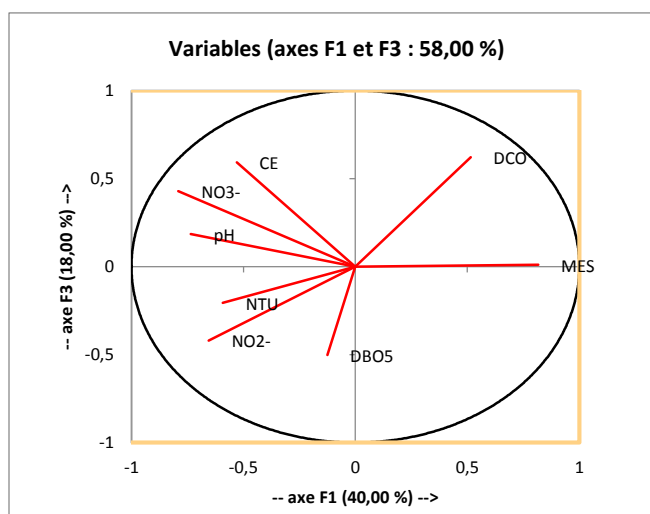


Graphe 7: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2

Le graphe 7 nous dit que les variables portées par l'axe F1 et les variables portées par l'axe F2 forment un angle aigu qui signifie des corrélations entre les variables. Les variables pH, NTU, MES, NO_2^- , NO_3^- sont proches du cercle de corrélation et les variables CE et DBO sont peu éloignées de ce cercle, ainsi par l'intermédiaire de ce plan nous pouvons constater que les variables DCO, MES et pH, CE, NO_2^- sont fortement liées entre elles.

II.3.2. Étude des axes F1 et F3

L'axe F1 porte les variables pH, MES, NTU, NO_2^- , NO_3^- avec une qlt supérieur à 52% permet de présenter les variables. Les variables CE, DBO₅ et DCO sont proches de l'axe F3 avec une qlt de 28%.



Graph 8: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3

L'analyse du graphe 8 nous permet de dire que NO_3^- , NO_2^- , DBO₅, MES et DCO sont peu proches du cercle de corrélation et que les variables pH, CE, NO_2^- , NO_3^- et NTU sont assez liées entre elles. Le MES et le DCO sont anti-corrélés avec les autres variables.

II.4. Études des individus

A l'aide du tableau de contribution des individus, nous allons étudier les individus en fonction de leur contribution relative cr sur les différents axes c'est-à-dire mettre en valeur les groupements caractéristiques sur les sites étudiés.

II.4.1. Plan 1 : 2

Dans ce plan nous allons mesurer la liaison entre les sites et les variables. Avec une cr de 0,17 nous avons pu sélectionner les sites contribuant le plus à la formation de l'axe 1 induite par les variables pH, MES, DCO, NO_3^- . Les sites P2, P5 et P6 sont influencés par l'axe 1. Avec une cr de 0,16 les sites contribuant à la formation de l'axe 2 assez induit par les variables NTU, CE et DBO sont les sites P1, P3 et P4.

II.4.2. Plan 1 : 3

Dans ce plan nous pouvons mesurer l'influence de pH, MES, DCO et NO_3^- . Avec une cr de 0,17 les sites influencés par l'axe 1 sont P1, P4, P5 et P6. Avec une cr de 0,23 l'axe 3 induit par les variables CE, DBO, NTU et NO_2^- est fortement contribué par les sites suivants P2, P3 et P4.

Conclusion partielle

Les résultats obtenus sont réconfortés par la modèle à travers l'étude mathématique ACP

III. RESULTAT DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT MOIS DE MARS 2017 SAISON HUMIDE

Le tableau 9 présente les résultats de la campagne de prélèvement mois de Mars 2017

Tableau 9: Résultats de la campagne de prélèvement mois de Mars 2017

PUITS	pH	CE mS.cm^{-1}	NTU	MES g	DBO ₅ $\text{mg.L}^{-1} \text{O}_2$	DCO $\text{mg.L}^{-1} \text{O}_2$	NO_2^- mg.L^{-1}	NO_3^- mg.L^{-1}
P1	9,226	8,513	22,413	0,0152	61,6	86,403	28,89	947,19
	$\pm 0,004$	$\pm 0,016$	$\pm 0,004$	$\pm 0,0002$	$\pm 0,163$	$\pm 0,036$	$\pm 0,082$	$\pm 0,110$
P2	9,123	5,85	21,116	0,0122	58,566	126,58	19,283	707,186
	$\pm 0,012$	$\pm 0,021$	$\pm 0,012$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,205$	$\pm 0,057$	$\pm 0,061$	$\pm 0,061$
P3	8,87	8,07	16,863	0,0194	40,533	345,596	29,613	706,34
	$\pm 0,008$	$\pm 0,037$	$\pm 0,012$	$\pm 0,0002$	$\pm 0,047$	$\pm 0,069$	$\pm 0,053$	$\pm 0,021$
P4	8,8	6,35	42,636	0,0133	72,3	259,246	24,24	236,076
	$\pm 0,021$	$\pm 0,008$	$\pm 0,016$	$\pm 0,0016$	$\pm 0,216$	$\pm 0,091$	$\pm 0,045$	$\pm 0,047$
P5	8,616	9,623	35,166	0,0036	63,433	0,0036	24,723	47,906
	$\pm 0,009$	$\pm 0,012$	$\pm 0,124$	$\pm 0,0030$	$\pm 0,094$	$\pm 0,0030$	$\pm 0,053$	$\pm 0,044$
P6	8,733	4,633	8,32	0,0086	41,533	432,256	13,506	94,846
	$\pm 0,012$	$\pm 0,020$	$\pm 0,016$	$\pm 0,0004$	$\pm 0,286$	$\pm 0,140$	$\pm 0,065$	$\pm 0,049$

La figure 23 présente le profil des différents paramètres physico-chimiques mois de Mars 2017

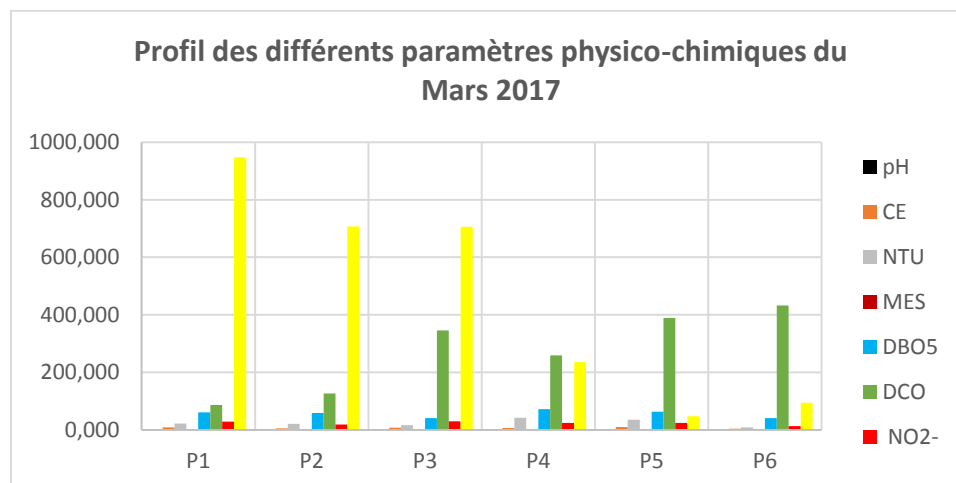


Figure 20: Profil des différents paramètres physico-chimiques du Mars 2017

III.1. Observations

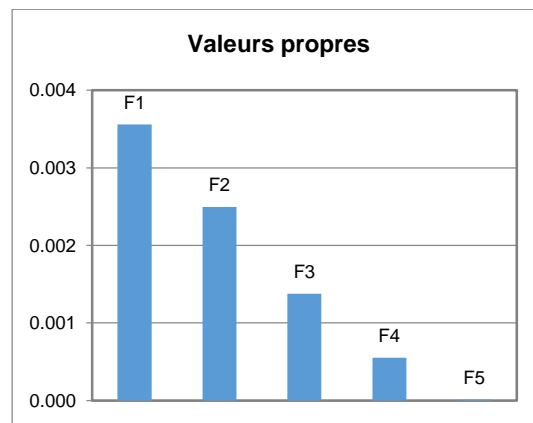
L'observation de ce diagramme sur la figure 21 nous montre une distribution hétérogène de la concentration des paramètres physico-chimique de l'eau du site P1, P2, P3, P4, P5 et P6. On observe que le site P1 est très pollué par nitrate, et que les teneurs en nitrate dans les sites P2 et P3 sont assez élevée à celle des sites P4, P5 et P6, les teneurs en nitrite dans tous les 6 sites sont assez faible. On constate aussi que la concentration en DCO dans les sites P3, P4, P5 et P6 sont assez élevé par rapport aux sites P1 et P2. Les autres paramètres sont assez faible, les MES dans tous les 6 sites sont très faible et reste constante.

III.2. Interprétations

Le logiciel XLSTAT nous permet d'obtenir le mode de distribution des différentes concentrations et donne le résultat suivant grâce à l'ACP. L'étude de ce mode de distribution de ces concentrations est les suivants.

III.2.1 Diagramme d'inertie totale

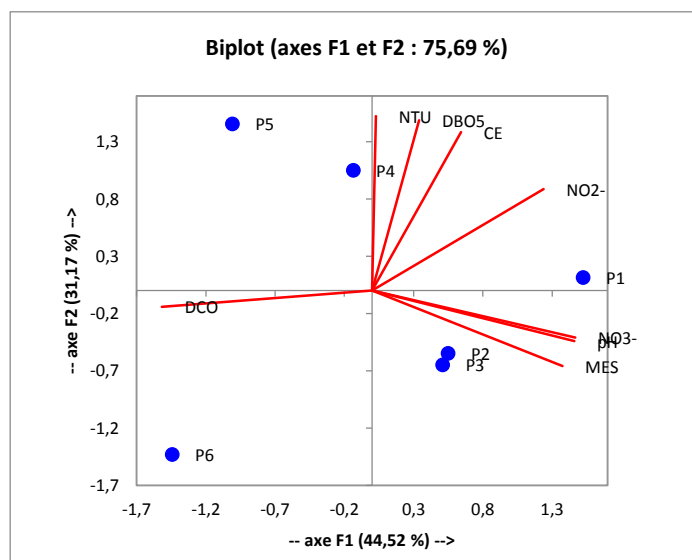
Le diagramme sur le graphe 9 représente l'inertie totale, nous choisissons d'étudier les axes F1, F2 et F3, ce diagramme nous montre que les plans formés par les axes F1, F2 et les axes F1, F3 ont une inertie équivalente de 34% environ



Graphe 9: Diagramme d'inertie totale

III.2.2 Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2

Selon le graphe 10, on observe que les individus se répartissent de manière hétérogène



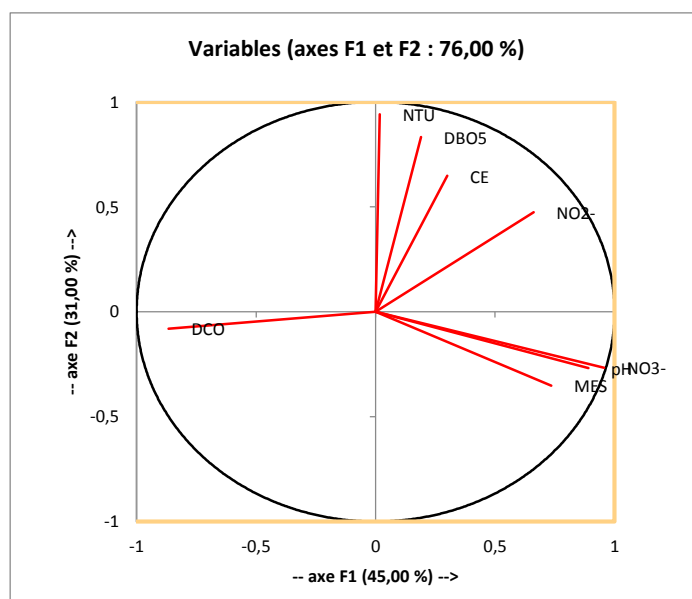
Graphe 10: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1&2

III.3 Etudes des variables

La synthèse numérique des variables sera interpréter par leur représentation graphique sur les axes principaux. Pour mieux informer la qualité de représentation d'une variable sur un axe, nous allons étudier les qlt cosinus carré (Annexe).

III.3.1 Étude des axes F1 et F2

Les variables pH, MES, DCO, NO₂⁻ et NO₃⁻ sont au voisinage de l'axe F1 avec des qlt voisins de 82% et l'axe F2 porte les variables NTU, CE et DBO₅ avec une qlt supérieur à 70%. Ce cercle de corrélation sur le graphe 11 nous présente les variables portées par le plan 1 et 2

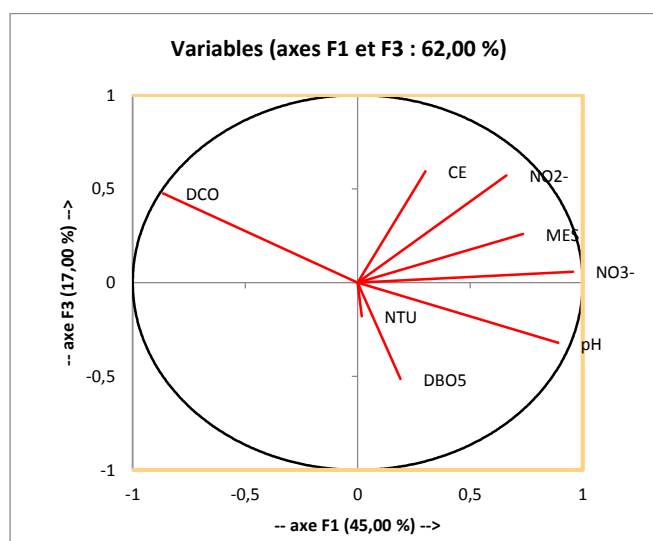


Graphe 11: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2

Le graphe 11 nous dit que les variables portées par l'axe F1 et les variables portées par l'axe F2 forment un angle aigu qui signifie des corrélations entre les variables. Les variables pH, NTU, DBO₅, NO₃⁻ sont proches du cercle de corrélation et les variables CE, DCO, NO₂⁻ et MES sont peu éloignées de ce cercle, ainsi par l'intermédiaire de ce plan nous pouvons constater que les variables MES, pH, NO₃⁻ sont fortement liées entre elles.

III.3.2 Étude des axes F1 et F3

L'axe F1 porte les variables pH, MES, DCO, NO₂⁻ et NO₃⁻ avec une qlt supérieur à 69% permet de présenter les variables. Les variables CE, NTU et DBO₅ sont proches de l'axe F3 avec une qlt de 22%.



Graph 12 : Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3

L'analyse du graphe 12 nous permet de dire que NO₃⁻ et DCO sont très proches du cercle de corrélation et que les variables pH, CE, MES, DBO₅, NO₂⁻, NO₃⁻ et NTU sont assez liées entre elles. Le DCO est anti-corrélé avec les autres variables.

II.4.2 Études des individus

A l'aide du tableau de contribution des individus, nous allons étudier les individus en fonction de leur contribution relative cr sur les différents axes c'est-à-dire mettre en valeur les groupements caractéristiques sur les sites étudiés.

III.4.1 Plan 1 : 2

Dans ce plan nous allons mesurer la liaison entre les sites et les variables. Avec une cr de 0,19 nous avons pu sélectionner les sites contribuant le plus à la formation de l'axe 1 induite par les variables pH, MES, DCO, NO₂⁻ et NO₃⁻. Les sites P1, P2 et P6 sont influencés par l'axe 1. Avec une cr de 0,27 les sites contribuant à la formation de l'axe 2 assez induit par les variables NTU, CE et DBO₅ sont les sites P3, P4 et P5.

III.4.2 Plan 1 : 3

Dans ce plan nous pouvons mesurer l'influence de pH, MES, DCO, NO_3^- . Avec une cr de 0,21 les sites influencés par l'axe 1 sont P1, P5 et P6. Avec une cr de 0,18 l'axe 3 induit par les variables CE, DBO₅, NTU et NO_2^- est fortement contribué par les sites suivants P2, P3 et P4.

Conclusion partielle

Les résultats obtenus sont réconfortés par la modèle à travers l'étude mathématique ACP

IV. RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT DU MARS 2017 PENDANT LE PASSAGE D'UN CYCLONE

Le tableau 10 présente les résultats de la campagne de de prélèvement mois de 2017 pendant le passage d'un cyclone

Tableau 10: Résultats de la campagne de prélèvement mois de Mars 2017 pendant le passage d'un cyclone

PUITS	pH	CE mS.cm ⁻¹	NTU	MES g	DBO ₅ mg.L ⁻¹ O ₂	DCO mg.L ⁻¹ O ₂	NO ₂ ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹
P1	8,663 ±0,012	5,763 ±0,004	8,836 ±0,012	0,0163 ±0,0004	45,566 ±0,249	36,6 ±0,216	28,326 ±0,036	1104,433 ±1,545
P2	8,83 ±0,008	7,523 ±0,012	10,539 ±0,024	0,028 ±0,0008	56,333 ±0,286	315,4 ±0,163	15,763 ±0,113	1026,856 ±0,302
P3	8,93 ±0,016	11,526 ±0,016	12,823 ±0,004	0,0116 ±0,0009	65,133 ±0,188	404,133 ±0,047	17,8 ±0,084	1098,11 ±0,468
P4	8,683 ±0,016	5,62 ±0,021	11,08 ±0,043	0,012 ±0,0016	54,433 ±0,169	41,833 ±0,047	12,136 ±0,020	810,18 ±0,270
P5	8,413 ±0,012	4,71 ±0,008	6,623 ±0,020	0,0076 ±0,0012	30,433 ±0,329	257,333 ±0,124	13,096 ±0,028	614,18 ±0,752
P6	8,196 ±0,020	7,143 ±0,020	16,263 ±0,012	0,0026 ±0,0009	60,033 ±0,286	184,3 ±0,216	6,81 ±0,040	173,826 ±0,927

La figure 24 présente le profil des différents paramètres physico-chimiques du Mars 2017 pendant le passage d'un cyclone.

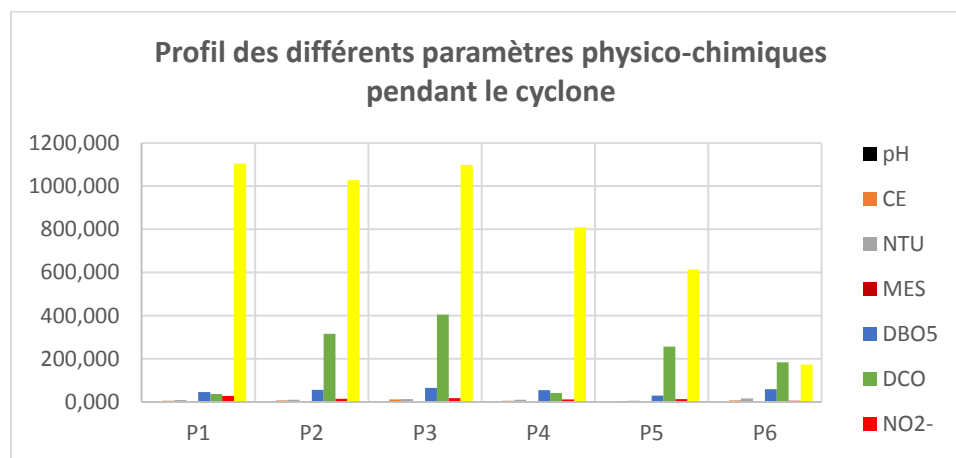


Figure 21: Profil des différents paramètres physico-chimiques pendant le cyclone

IV.1. Observations

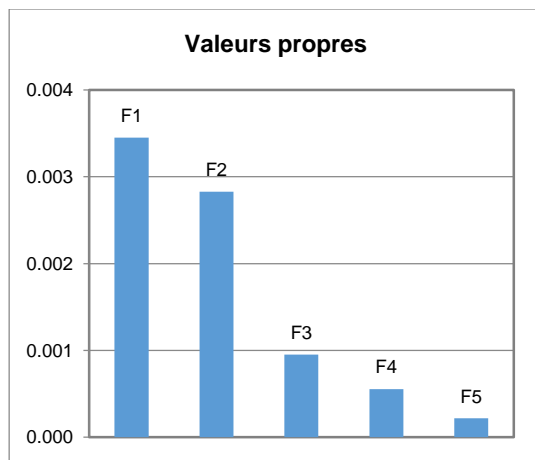
L'observation de ce diagramme sur la figure 24 nous montre des distribution hétérogènes de la concentration des paramètres physico-chimique de l'eau du site P1, P2, P3, P4, P5 et P6 on observe que le site P1, P2 et P3 ont de forte teneur en nitrate, et que la teneur en nitrate dans les sites P4 et P4 sont assez élevé à celle du site P6, les teneurs en nitrite dans tous les 6 sites sont assez faible. On constate aussi que la concentration en DCO dans le site P2, P3 et P5 sont assez élevé par rapport aux sites P1, P4 et P6. Les autres paramètres sont assez faible, le MES dans tous les 6 sites sont très faible et reste constant.

IV.2. Interprétations

Le logiciel XLSTAT nous permet d'obtenir le mode de distribution des différentes concentrations et donne le résultat suivant grâce à l'ACP. L'étude de ce mode de distribution de ces concentrations est les suivants.

IV.2.1 Diagramme d'inertie totale

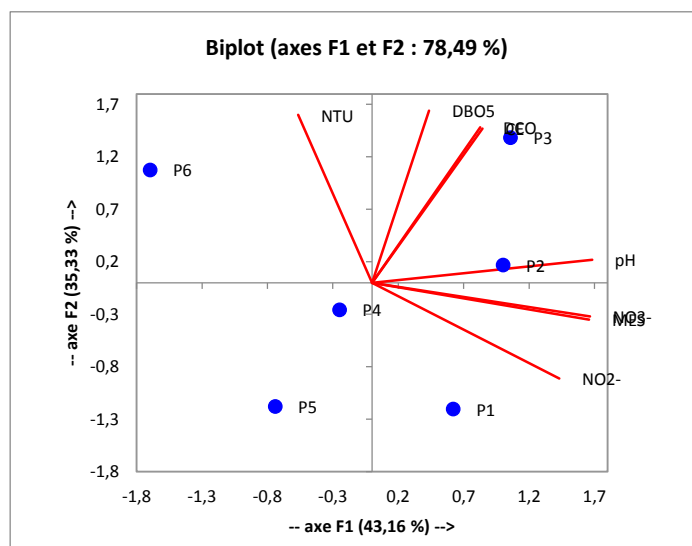
Le diagramme sur le graphe 3 représente l'inertie totale, nous choisissons d'étudier les axes F1, F2 et F3, ce diagramme nous montre que les plans formés par les axes F1, F2 et les axes F1, F3 ont une inertie équivalente de 34% environ.



Graphe 13 : Diagramme d'inertie totale

IV.2.2. Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2

Selon le graphe 14, on observe que les individus se répartissent de manière hétérogène



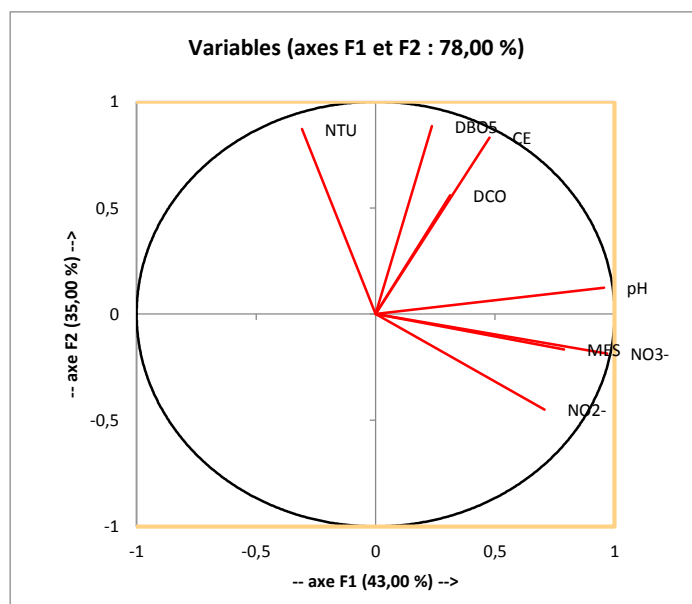
Grphe 14: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1&2

IV.3. Études des variables

La synthèse numérique des variables sera interpréter par leur représentation graphique sur les axes principaux. Pour mieux informer la qualité de représentation d'une variable sur un axe, nous allons étudier les qlt cosinus carré (Annexe).

IV.3.1. Étude des axes F1 et F2

Les variables pH, MES, NO₂⁻ et NO₃⁻ sont au voisinage de l'axe F1 avec des qlt voisines de 75% et l'axe F2 porte les variables NTU, CE, DCO et DBO₅ avec une qlt supérieur à 64%. Ce cercle de corrélation sur le graphe 15 nous présentons les variables portées par le plan 1 et 2.

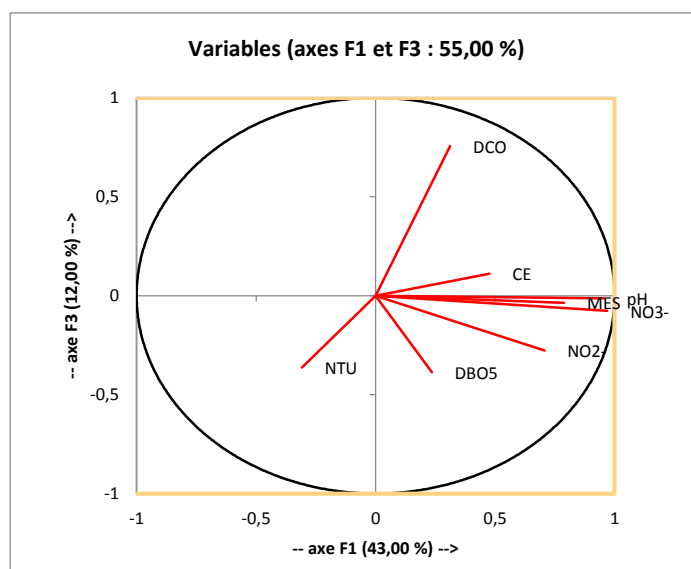


Grphe 15: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2

Le graphe 15 nous dit que les variables portées par l'axe F1 et les variables portées par l'axe F2 forment un angle différent de aigu qui signifie des corrélations entre les variables. Les variables pH, CE et NO_3^- sont proches du cercle de corrélation et les variables NTU, DCO, DBO_5 , MES et NO_2^- et sont peu éloignés de ce cercle, ainsi par l'intermédiaire de ce plan nous pouvons constater que les variables MES, NO_3^- et DCO, CE sont fortement liées entre elles.

IV.3.2. Étude des axes F1 et F3

L'axe F1 porte les variables pH, MES, CE, NO_2^- et NO_3^- avec une qlt supérieur à 64% permet de présenter les variables. Les variable NTU, DCO et DBO_5 sont proche de l'axe F3 avec une qlt de 28%.



Graphe 16: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3

L'analyse du graphe 16 nous permet de dire que pH et NO_3^- sont très proche du cercle de corrélation et que les variables pH, MES et NO_3^- sont assez lié entre elle. Le DCO est anti-corrélé avec NTU.

IV.4. Études des individus

A l'aide du tableau de contribution des individus, nous allons étudier les individus en fonction de leur contribution relative cr sur les différents axes c'est-à-dire mettre en valeur les groupements caractéristiques sur les sites étudiés.

IV.4.1. Plan 1 : 2

Dans ce plan nous allons mesurer la liaison entre les sites et les variables. Avec une cr de 0,21 nous avons pu sélectionner les sites contribuant le plus à la formation de l'axe 1 induite par les variables pH, MES, NO_2^- et NO_3^- . Les sites P2 et P6 sont influencé par l'axe 1. Avec une cr de 0,22 les sites contribuant à la formation de l'axe 2 assez induit par les variables NTU, CE, DCO et DBO_5 sont les sites P1, P3, P4 et P5.

IV.4.2. Plan 1 : 3

Dans ce plan nous pouvons mesurer l'influence de pH, NO_2^- , MES, CE, NO_3^- . Avec une cr de 0,23 les sites influencés par l'axe 1 sont P1, F2 et F3. Avec une cr de 0,30 l'axe 3 induit par les variables DBO_5 , NTU et DCO sont fortement contribué par les sites suivants P2, P3 et P4.

Conclusion partielle

Les résultats obtenus sont réconfortés par la modèle à travers l'étude mathématique ACP

V. RESULTAT DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT D'AVRIL 2017 SAISON SECHE

Le tableau 11 présente les résultats de la campagne de de prélèvement mois d'Avril 2017

Tableau 11: résultats de la campagne de prélèvement mois d'Avril Avril 2017

PUITS	pH	CE mS.cm^{-1}	NTU	MES g	DBO_5 $\text{mg.L}^{-1}\text{O}_2$	DCO $\text{mg.L}^{-1}\text{O}_2$	NO_2^- mg.L^{-1}	NO_3^- mg.L^{-1}
P1	9,093	7,456	37,34	0,029	44,366	252,366	6,313	132,513
	$\pm 0,020$	$\pm 0,012$	$\pm 0,016$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,124$	$\pm 0,169$	$\pm 0,014$	$\pm 0,014$
P2	9,023	4,486	4,296	0,031	25,266	151,533	5,966	96,263
	$\pm 0,004$	$\pm 0,032$	$\pm 0,012$	$\pm 0,0003$	$\pm 0,205$	$\pm 0,205$	$\pm 0,016$	$\pm 0,014$
P3	8,876	3,61	25,716	0,0264	65,4	302,5	6,21	124,31
	$\pm 0,016$	$\pm 0,021$	$\pm 0,044$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,141$	$\pm 0,141$	$\pm 0,018$	$\pm 0,015$
P4	8,556	3,54	22,746	0,0316	45,333	41,366	12,52	82,326
	$\pm 0,026$	$\pm 0,037$	$\pm 0,012$	$\pm 0,0002$	$\pm 0,169$	$\pm 0,124$	$\pm 0,008$	$\pm 0,016$
P5	8,656	7,46	18,266	0,0384	49,3	49,2	5,846	64,653
	$\pm 0,012$	$\pm 0,016$	$\pm 0,047$	$\pm 0,0002$	$\pm 0,216$	$\pm 0,081$	$\pm 0,020$	$\pm 0,012$
P6	8,736	5,936	33,313	0,0372	33,666	166,166	5,79	61,33
	$\pm 0,012$	$\pm 0,016$	$\pm 0,028$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,205$	$\pm 0,094$	$\pm 0,008$	$\pm 0,021$

La figure 25 présente le profil des différents paramètres physico-chimiques mois d'avril

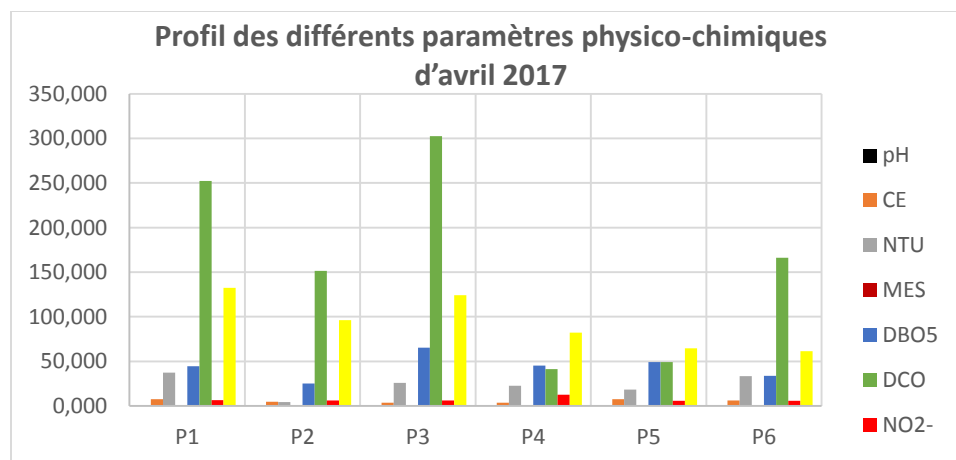


Figure 22: Profil des différents paramètres physico-chimiques d'avril 2017

V.1. Observations

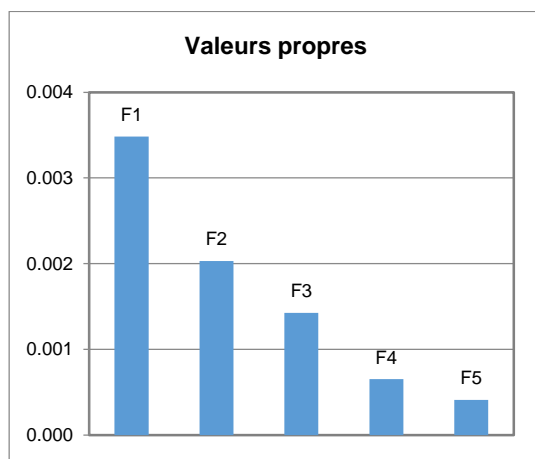
L'observation de ce diagramme sur la figure 25 nous montre une distribution hétérogène de la concentration des paramètres physico-chimique de l'eau du site P1, P2, P3, P4, P5 et P6 on observe que les teneurs en nitrate dans les sites P1 et P3 sont assez élevés à celle du site P2, P4, P5 et P6 on constate aussi que la concentration en DCO dans les sites P3, P1, et P6 sont assez élevés à celle du site P4, P5 et P2. Les autres paramètres sont assez faibles, les MES dans tous les 6 sites sont très faibles et restent constants.

V.2. Interprétations

Le logiciel XLSTAT nous permet d'obtenir le mode de distribution des différentes concentrations et donne le résultat suivant grâce à l'ACP. L'étude de ce mode de distribution de ces concentrations est la suivante.

V.2.1. Diagramme d'inertie totale

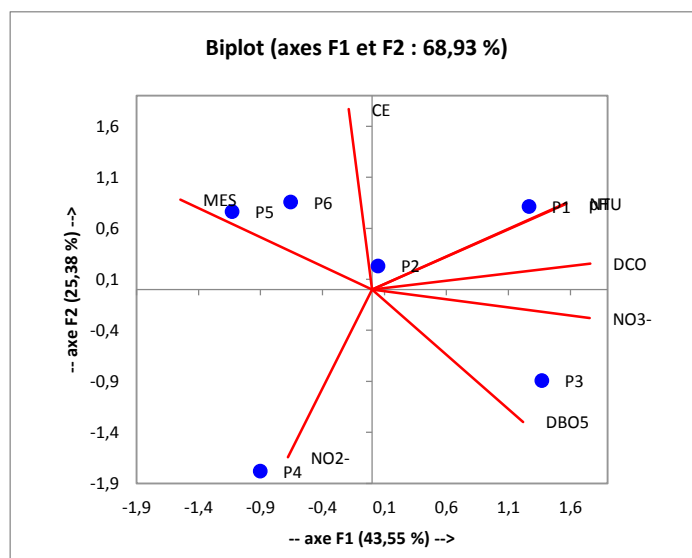
Le diagramme sur le graphe 17 représente l'inertie totale, nous choisissons d'étudier les axes F1, F2 et F3, ce diagramme nous montre que les plans formés par les axes F1, F2 et les axes F1, F3 ont une inertie équivalente de 33% environ.



Graph 17: Diagramme d'inertie totale

V.2.2. Répartition des individus et les variables sur le plan principal 1 et 2

Selon le graphe 18, on observe que les individus se répartissent de manière hétérogène



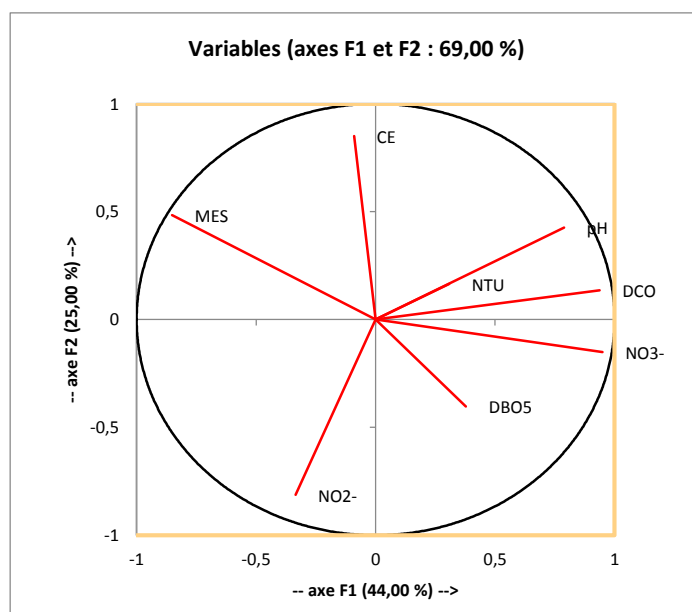
Graphe 18: Nuage des points et répartition des individus sur le plan principal 1&2

V.3. Études des variables

La synthèse numérique des variables sera interpréter par leur représentation graphique sur les axes principaux. Pour mieux informer la qualité de représentation d'une variable sur un axe, nous allons étudier les qlt cosinus carré (Annexe).

V.3.1. Étude des axes F1et F2

Les variables pH, NTU, MES, DCO et NO_3^- sont au voisinage de l'axe F1 avec des qlt voisins de 64% et l'axe F2 porte les variables CE, DBO_5 , et NO_2^- avec une qlt supérieur à 51%. Ce cercle de corrélation sur le graphe 19 nous présente les variables portées par le plan 1 et 2

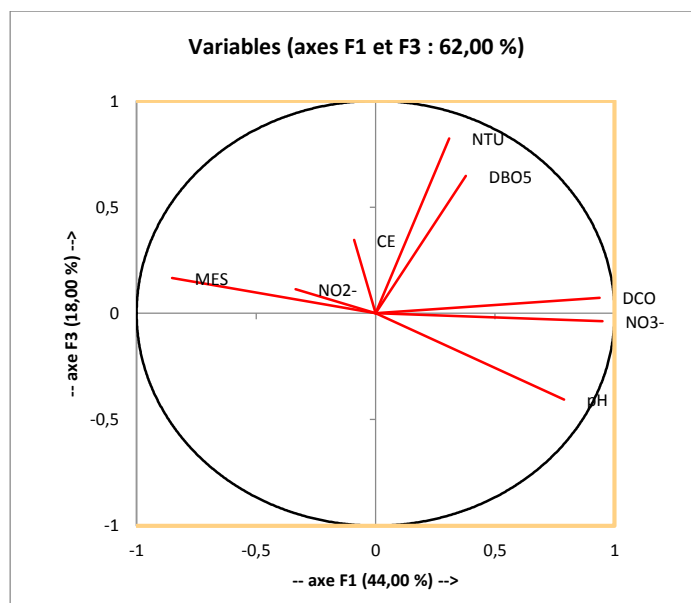


Graphe 19: Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 2

Le graphe nous dit que les variables portées par l'axe F1 et les variables portées par l'axe F2 forment un angle aigu qui signifie des corrélations entre les variables. Les variables MES, DCO et NO_3^- sont proches du cercle de corrélation et les variables NTU, pH, DBO, CE et NO_2^- et sont peu éloignées de ce cercle.

V.3.2. Étude des axes F1 et F3

L'axe F1 porte les variables pH, MES, DCO, NO_2^- et NO_3^- avec une qlt supérieure à 65%. Les variables NTU, CE et DBO_5 sont proches de l'axe F3 avec une qlt de 40%.



Graph 20 : Variables sur le cercle des corrélations du plan 1 et 3

L'analyse du graphe 20 nous permet de dire que DCO et NO_3^- sont très proches du cercle de corrélation et que les variables DCO, NO_3^- et DBO_5 , NTU sont assez liées entre elles. Le pH est anti-corrélé avec NO_2^- .

V.4. Études des individus

A l'aide du tableau de contribution des individus, nous allons étudier les individus en fonction de leur contribution relative cr sur les différents axes c'est-à-dire mettre en valeur les groupements caractéristiques sur les sites étudiés.

V.4.1. Plan 1 : 2

Dans ce plan nous allons mesurer la liaison entre les sites et les variables. Avec une cr de 0,18, nous avons pu sélectionner les sites contribuant le plus à la formation de l'axe 1 induit par les variables pH, MES, NTU, DCO et NO_3^- . Les sites P1, P3 et P5 sont influencés par l'axe 1. Avec une cr de 0,25 les sites contribuant à la formation de l'axe 2 assez induit par les variables CE, NO_2^- et DBO_5 sont les sites P2, P4 et P6.

V.4.2. Plan 1 : 3

Dans ce plan nous pouvons mesurer l'influence de pH, NO_2^- , MES, DCO, NO_3^- . Avec une cr de 0,19 les sites influencés par l'axe 1 sont P1, P3, P4, P5 et P6. Avec une cr de 0,28 l'axe 3 induit par les variables DBO_5 , NTU et CE sont fortement contribuées par les sites suivants P2.

Conclusion partielle

Les résultats obtenus sont réconfortés par la modèle à travers l'étude mathématique ACP

VI. VARIATION DE CONCENTRATION DE NITRITE ET DE NITRATE DU MOIS DE JANVIER AU MOIS D'AVRIL

Le tableau 12 et tableau 13 résument les variations des concentrations des oxydes d'azote (nitrite et nitrate) du mois de Janvier au mois d'Avril

Tableau 12: Teneur de nitrite du mois de Janvier au mois d'Avril

Puits	Janvier	Février	Mars	Mars pendant le cyclone	Avril
P1	16,176	138,523	28,89	28,326	6,313
P2	14,36	137,666	19,283	15,763	5,966
P3	16,446	75,876	29,613	17,8	6,21
P4	10,126	230,06	24,24	12,136	12,52
P5	13,526	61,073	24,723	13,096	5,846
P6	5,3057	83,253	13,506	6,81	5,79

La figure 26 présente la variation des concentrations de nitrite du mois de Janvier au mois d'Avril

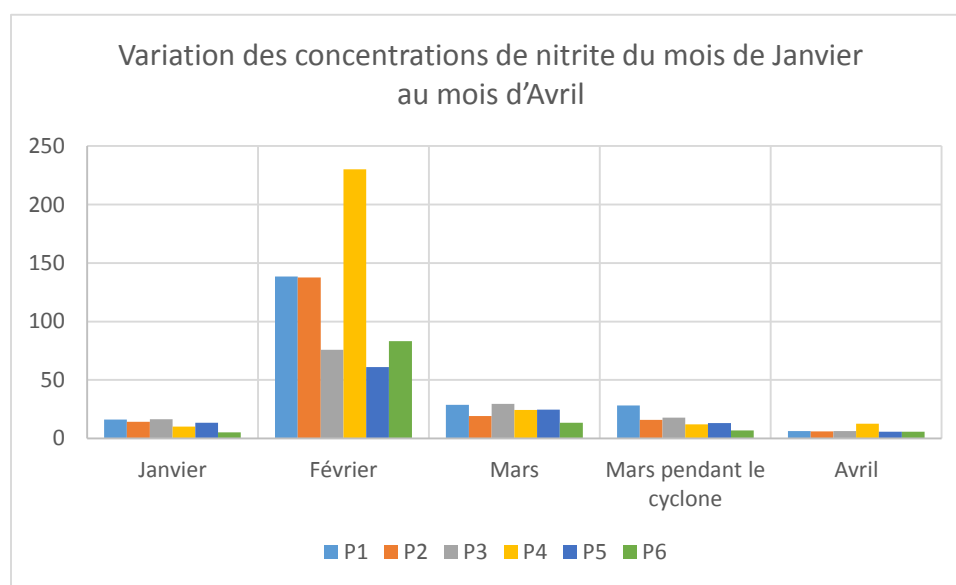


Figure 23: variation des concentrations de nitrite du mois de Janvier au mois d'Avril

Ce diagramme sur la figure 26 nous présente que la teneur en nitrite s'accroît largement du mois de février, cela est dû à la forte précipitation de pluie pendant ce mois (202,8mm) qui favorise l'infiltration des contaminants issus du lixiviat vers les nappes phréatiques. L'infiltration constitue un vecteur de transfert des matières, vers les nappes phréatiques, et la diminution de cette teneur est due probablement aux phénomènes de dilution par les eaux de la nappe et au phénomène de l'évaporation.

Tableau 13: Teneur de nitrate du mois de Janvier au mois d'Avril

Puits	Janvier	Février	Mars	Mars pendant le cyclone	Avril
P1	46,446	970,126	947,19	1104,433	132,513
P2	42,966	951,18	707,186	1026,856	96,263
P3	39,476	867,223	706,34	1098,11	124,31
P4	34,27	456,553	236,076	810,18	82,326
P5	37,806	331,926	47,906	614,18	64,653
P6	10,636	374,526	94,846	173,826	61,33

La figure 27 présente la variation des concentrations de nitrate du mois de Janvier au mois d'Avril

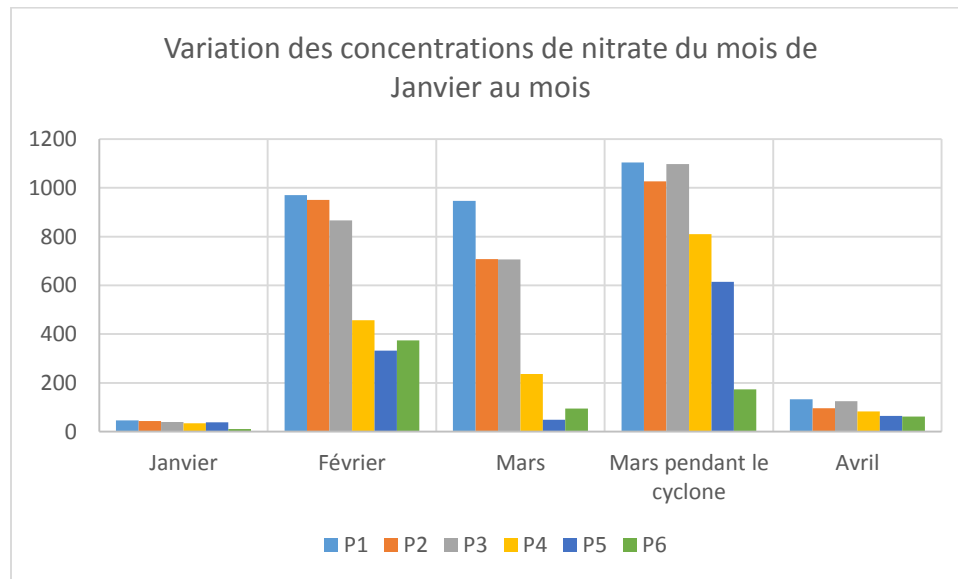


Figure 24: variation des concentrations de nitrate du mois de Janvier au mois d'Avril

Ce diagramme sur la figure 27 nous montre que la concentration de nitrate augmente largement en fonction de la précipitation de la pluie du mois de février (202,8mm) et du mars (198,4mm) surtout pendant le passage du cyclone qui apporte beaucoup de pluie. Ces fortes précipitations favorisent l'infiltration de polluant issue de lixiviat des dépôts d'ordure vers les nappes phréatiques. On constate une diminution brusque de concentration en mois d'Avril cela est due par le phénomène

de dilution par les eaux de la nappe et au phénomène de l'évaporation, il y a aussi des réactions de dénitrification qui aura lieu en milieu anaérobique qui transforme les nitrates en azote gazeux.

VII. ETUDE COMPARATIVE

Maintenant nous allons comparer notre résultat de recherche à celle de H. ER-RAIOUI, S. BOUZID, S. KHANNOUS et M. A. ZOUAG (2011) sur l'étude: « Contamination des eaux souterraines par le lixiviat des décharges publiques : Cas de la nappe phréatique R'Mel (Province de Larache - Maroc Nord-Occidental) »

Ces 2 tableaux suivant nous montrent leurs résultats des paramètres physico-chimiques (cas du décharge publique de R'Mel en Maroc occidental)

Tableau 14: Résultats physico-chimiques et biogéochimiques du lixiviat et des eaux des puits saison sèche cas du décharge publique de R'mel en Maroc

Site	T °C	pH	MES	Od	Cond ms/cm	DCO	Nitrates	Azote Kjeldhal	Chlorures	Sulfates	Phosphates
Lixiviat	24	7.87	4.07	0.2	64.6	44750 ± 166,43	-	795	18415 ± 758,07	240	0.56
P1	23.20	6.96	0.25	7.6	0.83	12 ± 2,65	62 ± 8,08	2.80	159.80	14.40	traces
P2	19.90	6.91	0.17	8.6	0.83	8 ± 1	52 ± 2,65	4.20	150.90	19.20	traces
P3	20.30	7.15	0.24	7.4	0.71	32 ± 5,20	83 ± 9,85	3.50	97.60	28.80	traces
P4	19.30	7.26	0.28	6.3	1.01	12 ± 2,65	91 ± 5,00	4.20	124.30	67.20	traces
P5	19.60	7.05	0.24	6.9	0.93	10 ± 3	97 ± 6,24	5.60	106.50	28.80	traces
P6	21.60	6.68	0.19	9.3	1.15	44 ± 2,52	97 ± 7,00	4.20	159.80	52.80	traces

Tableau 15: Résultats physico-chimiques et biogéochimiques du lixiviat et des eaux des puits saison humide cas du decharge publique de R'mel en Maroc

Site	T °C	pH	MES	Od	Cond ms/cm	DCO	Nitrates	Azote Kjeldhal	Chlorures	Sulfates	Phosphates
Lixiviat	33	4.78	5.12	0.1	149	82000 ± 470,88	23 ± 3,61	800		336	0.61
P1	23.70	6.58	0.27	6.40	0.87	24 ± 7,21	59 ± 6,08	3.50	221.88 ± 17,64	26.40	traces
P2	20.20	6.59	0.14	6.90	0.82	18 ± 2	46 ± 6,08	5.60	239.63 ± 19,45	28.80	traces
P3	21	6.66	0.32	6.40	0.73	20 ± 4	84 ± 3,61	3.50	177.50 ± 9,01	40.80	traces
P4	23.30	6.86	0.20	6.10	0.97	20 ± 3,46	88 ± 5,29	2.80	159.75 ± 7,78	74.40	traces
P5	21.70	6.69	0.27	6	0.97	16 ± 3,46	102 ± 9,17	4.20	195.25 ± 30,85	36	traces
P6	25	7.04	0.21	8.20	1.12	20 ± 4,36	114 ± 11,72	5.60	248.50 ± 7,70	55.20	traces

Après avoir calculé la moyenne des concentrations des paramètres physico-chimique lors de 2 campagnes de prélèvement de saison sèche et les 2 campagnes de prélèvement de saison humide,

nous présentons aussi en 2 tableaux nos résultats en saison sèche et humide. (cas de décharge publique d'Andralanitra) pour la comparaison des concentrations physico-chimiques entre ces 2 décharges (Andralanitra Antananarivo Madagascar et R'Mel Province de Larache Maroc).

Tableau 16: Résultats physico-chimiques des eaux des puits saison sèche cas d'Andralanitra

Puits	pH	CE mS.cm ⁻¹	NTU	MES g	DBO ₅ mg.L ⁻¹ O ₂	DCO mg.L ⁻¹ O ₂	NO ₂ ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹
P1	8,88	6,191	33,595	0,01655	37,28	162,33	11,24	89,47
P2	8,71	7,099	16,059	0,02225	42,73	138,26	10,16	69,61
P3	8,82	9,616	22,021	0,0311	68,4	232,35	11,32	81,89
P4	8,53	4,31	15,674	0,0166	34,78	50,38	11,32	58,29
P5	8,55	5,5	13,814	0,02475	39,1	56,5	9,68	51,22
P6	8,41	9,419	28,716	0,0259	30,34	113,88	5,54	35,98

Tableau 17: Résultats physico-chimiques et des eaux des puits saison humide cas d'Andralanitra

Puits	pH	CE mS.cm ⁻¹	NTU	MES g	DBO ₅ mg.L ⁻¹ O ₂	DCO mg.L ⁻¹ O ₂	NO ₂ ⁻ mg.L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹
P1	9,28	6,208	52,5	0,0128	63,01	100,81	83,7	958,65
P2	9,46	5,75	30,77	0,0132	57,81	197,5	78,47	829,18
P3	9,15	6,62	46,12	0,0168	47,78	287,88	52,74	786,78
P4	9,36	5,78	45,61	0,0146	75,28	206,35	127,15	346,31
P5	8,86	6,87	35,12	0,0106	65,89	405,39	42,89	189,91
P6	8,85	4,14	28,76	0,013	47,83	274,89	48,37	254,08

Ces 4 tableaux nous montrent que les nappes phréatiques du site de décharge d'Andralanitra sont très polluées par rapport à cette article (décharge publique de R'Mel en Maroc). Ces énormes pollutions sont due à sa structure géologique (structure argile-sableuse et latéritique) qui laisse les polluant migre vers les nappes phréatiques. En plus le site décharge d'Andralanitra se trouve sur une plaine et entouré par des zones marécageuses et il se trouve que le toit de la nappe sur une zone marécageuse est presque tangente aux eaux de surface qui est le cause de cette grande dégradation sur la qualité des eaux souterraines sur ce site.

Conclusion partielle

Ce site de décharge d'Andralanitra est très pollué et nécessite une attention particulière. Les eaux souterraines de ce site sont contaminées par les polluant NO_x. Or nous savons que les nappes souterraines sont des sources d'eaux exploitables après les eaux de surface. A cet effet, le CUA doit fermer ce site de décharge et mettre en place un nouveau site de décharge dans les normes. Les déchets doivent être trié à la source c'est-à-dire depuis leurs origines. Seuls les déchets biodégradables doivent parvenir à ce site pour être traités.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERAL

La décharge publique d'Andralanitra constitue un modèle type de détérioration des ressources en eaux par les dépôts d'ordure source de contamination des eaux souterraines. La caractérisation physico-chimique de l'eau souterraine nous a permis de prouver qu'elles sont contaminées directement par le lixiviat au-dessous.

Cette contamination est due par le transfert de matière issu du lixiviat qui se diffuse vers la nappe phréatique. Le vecteur de transfert de cette pollution est l'infiltration à cause de la nature du sol sur lequel repose la décharge qui a une structure argile-sableuse, situé dans une plaine et entouré par des zones marécageuses au Sud, à l'Est et à l'Ouest du site. Ce marécage a des eaux stagnantes toute l'année il se trouve que le toit de la nappe d'une zone marécageuse est presque tangente à l'eau de surface. C'est pour cela qu'on a une teneur très élevée en nitrite et nitrate $138,523 \text{ mg.L}^{-1}$ et $1098,11 \text{ mg.L}^{-1}$. Ces concentrations sont rencontrées surtout pendant la période de pluie ayant une forte précipitation.

Cette forte teneur en nitrite et en nitrate provoque des conséquences néfastes sur la santé humaine ainsi que sur l'environnement aux alentours de ce site. Les nitrites provoquent une maladie appelée hémoglobinémie surtout chez les nourrissons, les femmes enceintes et les personnes âgées ayant des faibles anticorps pour défendre cette maladie. L'organe cible est le sang, il bloque le transport de l'oxygène dans les vaisseaux sanguins. De plus les monoxydes d'azote et le dioxyde d'azote sont des gaz toxiques et perturbent l'air atmosphérique, et détruit la couche d'ozone et favorise l'effet de serre.

Enfin la mise en décharge est la seule méthode pour l'élimination des déchets dans notre pays, c'est une technique peu coûteuse mais son impact sur la santé humaine et sur l'environnement sont très grave.

Face à ces dégâts causés par la mise en décharge, ce site nécessite beaucoup d'amélioration telle que les tris et l'isolement des substances toxiques, traitement in-situ de lixiviat issus des dépôts d'ordure par une station à lagunage sur une couche imperméable pour éviter l'infiltration vers les nappes phréatiques.

Pour réduire ces volumes énormes des déchets sur cette décharge, des solutions idéales seront de proposées la trie et recyclage les déchets comme :

- le compostage pour les déchets organiques après traitement bactérienne par exemple, pour éviter des transferts indirects des contaminants issus de l'engrais et les produits agricoles qui utilisent ces engrais, ces déchets organiques aussi sont valorisable pour la fabrication des charbons par le procédé d'incinération

- fabrication des pavés autobloquants par les déchets plastiques,

- fabrication des matériaux comme ciment par les cendres sur le site.

Annexes

ANNEXE 1

❖ Préparation des éluant et des solutions étalons pour l'analyse sur la chromatographie ionique

On prépare l'éluant bicarbonate de sodium Na_2CO_3 de 0.1007g dans 500mL eau distillés et hydrogénocarbonate de sodium NaHCO_3 de 0.075g dans 500mL d'eau distillés.

Après la préparation des éluants, on injecte quelque mL de l'éluant par une micro seringue dans l'injecteur de la chromatographie ionique pour connaître les différents ions dans l'éluant à l'aide des pics obtenus sur le chromatogramme. Pour le bien fonctionnement de l'appareil chromatographie ionique, on attend pendant quelques temps au minimum 30 minutes, il est nécessaire de régler l'intensité à 50 mA, le courant à -30 à +30 V et le zéro juste environ à 0 pour la condition normale d'utilisation.

Puis, on prépare les solutions étalons avec des concentrations connues des anions déterminés NO_2^- et NO_3^- . Enfin, on prépare la solution mère à partir de chaque solution des anions déterminés, des solutions filles sont obtenues par dilution de ces solutions mères qu'on prépare.

• Prélèvements conservation de l'échantillon

Les échantillons doivent être prélevés dans des bouteilles stériles et bien rincées avec l'eau prélevé sur le site et être analysés le plus vite possible (ne dépasse pas de 48h)

Pour la conservation, les bouteilles sont placées à la température entre 2°C et 5°C pour éviter les réactions par les microorganismes.

ANNEXE 2 : Norme de potabilisation selon le décret n°2004-635 du 15/06/04 République de Madagascar

Norme de potabilité des eaux

PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES	NORME
ODEUR	ABSENCE
COULEUR	INCOLORE
SAVEUR DESAGREABLE	ABSENCE

PARAMETRES PHYSIQUES	SYMBOLE	UNITE	NORME
TEMPERATURE	T°	°C	<25
TURBIDITE	Turb	NTU	<5
CONDUCTIVITE	Cond	µS/cm	<3000
POTENTIEL HYDROGENE	pH		6,5 - 9,0

PARAMETRES CHIMIQUES	SYMBOLE	UNITE	NORME	
			MAXIMA	
			MINIMA	ADMISSIBLE

ELEMENTS NORMAUX

CALCIUM	Ca	mg/L		200
MAGNESIUM	Mg	mg/L		50
CHLORURE	Cl	mg/L		250
SULFATE	SO4	mg/L		250
OXYGENE DISSOUS % de saturation	O2 dissous	%	75	
DURETE TH	TH	mg/L en CaCO3		500

ELEMENTS INDESIRABLES

MATIERES ORGANIQUES	MO	mg/L		2 (milieu Alcalin) 5 (milieu Acide)
AMMONIUM	NH4	mg/L		0,5
NITRITE	NO2	mg/L		0,1
AZOTE TOTAL	N	mg/L		2
MANGANESE	Mn	mg/L		0,05
FER TOTAL	Fe Tot	mg/L		0,5
PHOSPHORE	Ph	mg/L		5
ZINC	Zn	mg/L		5
ARGENT	Ag	mg/L		0,01
CUIVRE	Cu	mg/L		1
ALUMINIUM	Al	mg/L		0,2
NITRATE	NO3	mg/L		50
FLUORE	Fe Tot	mg/L		1,5
BARYUM	Ba	mg/L		1

ELEMENTS TOXIQUES

ARSENIC	As	mg/L		0,05
CHROME TOTAL	Cr Tot	mg/L		0,05
CYANURE	CN	mg/L		0,05
PLOMB	Pb	mg/L		0,05
NICKEL	Ni	mg/L		0,05
POLYCHLORO-BIPHENYL PCB		mg/L		0
CADMIUM	Cd	mg/L		0,005
MERCURE		mg/L		0,001

Source : décret n° 2004-635 du 15/06/04, République de Madagascar

ANNEXE 3 : Calcul de résultat

Un exemple de méthode de calcul des résultats parmi les 5 campagnes de prélèvement est la suivante : c'est la méthode de calcul pour les 5 campagnes de prélèvement

1^{er} prélèvement en vendredi 06 janvier 2017

➤ pH

➤ Nouvelle décharge						
				Moyenne	Ecart type	pH _{moyenne}
Echantillon1	8,66	8,69	8,68	8,67666667	0,01247219	8,676±0,012
Echantillon2	8,70	8,74	8,71	8,71666667	0,01699673	8,716±0,016
Echantillon3	8,76	8,75	8,78	8,770	0,02160247	8,770±0,021
➤ Ancienne décharge						
				Moyenne	Ecart type	pH _{moyenne}
Echantillon1	8,54	8,52	8,51	8,52333333	0,01247219	8,523±0,012
Echantillon2	8,46	8,46	8,45	8,45666667	0,00471405	8,456±0,004
Echantillon3	8,12	8,08	8,06	8,08666667	0,02494438	8,086±0,024

➤ Conductivités électriques en mS/cm

➤ Nouvelle décharge						
				Moyenne	Ecart type	$\Lambda_{moyenne}$
Echantillon1	4,92	4,91	4,95	4,92666667	0,01699673	4,926±0,016
Echantillon2	9,71	9,70	9,73	9,71333333	0,01247219	9,713±0,012
Echantillon3	15,63	15,60	15,64	15,62333333	0,01699673	15,623±0,016
➤ Ancienne décharge						
				Moyenne	Ecart type	$\Lambda_{moyenne}$
Echantillon1	5,09	5,07	5,08	5,08	0,00816497	5,08±0,008
Echantillon2	3,53	3,55	3,54	3,54	0,00816497	3,54±0,008
Echantillon3	12,90	12,90	12,91	12,90333333	0,00471405	12,903±0,004

➤ **Turbidité en NTU**

➤ Nouvelle décharge						
				Moyenne	Ecart type	NTU _{moyenne}
Echantillon1	29,8	29,9	29,85	29,85	0,04082483	29,850±0,040
Echantillon2	27,77	27,8	27,9	27,8233333	0,05557777	27,823±0,055
Echantillon3	18,33	18,3	18,35	18,3266667	0,02054805	18,326±0,020
➤ Ancienne décharge						
				Moyenne	Ecart type	NTU _{moyenne}
Echantillon1	8,60	8,60	8,61	8,60333333	0,00471405	8,603±0,004
Echantillon2	9,36	9,38	9,35	9,36333333	0,01247219	9,363±0,012
Echantillon3	24,11	24,10	24,15	24,12	0,02160247	24,120±0,021

➤ **Matière en suspension en g**

➤ Nouvelle décharge						
				Moyenne	Ecart type	MES _{moyenne}
Echantillon1	0,0042	0,0041	0,0041	0,00413333	4,714E-05	0,0041±0,00005
Echantillon2	0,0132	0,0138	0,0135	0,0135	0,00024495	0,0135±0,0002
Echantillon3	0,0360	0,0361	0,0355	0,03586667	0,00026247	0,0358±0,0002
➤ Ancienne décharge						
				Moyenne	Ecart type	MES _{moyenne}
Echantillon1	0,0015	0,0017	0,0018	0,00166667	0,00012472	0,0016±0,0001
Echantillon2	0,0111	0,0112	0,0111	0,01113333	4,714E-05	0,0111±0,00005
Echantillon3	0,0145	0,0145	0,0149	0,01463333	0,00018856	0,0146±0,0001

➤ **DBO₅ en mg d'O₂/L**

➤ Nouvelle décharge						
				Moyenne	Ecart type	DBO _{moyenne}
Echantillon1	30,5	30	30,1	30,20	0,21602469	30,20±0,21
Echantillon2	59,6	60	61	60,20	0,58878406	60,20±0,58
Echantillon3	71	72	71,2	71,40	0,43204938	71,40±0,43
➤ Ancienne décharge						
				Moyenne	Ecart type	DBO _{moyenne}
Echantillon1	24,2	24,5	24	24,2333333	0,20548047	24,23±0,20
Echantillon2	29	29	28,7	28,90	0,14142136	28,90±0,14
Echantillon3	26,8	27	27,3	27,0333333	0,20548047	27,03±0,20

➤ **DCO**

➤ Nouvelle décharge						
				Moyenne	Ecart type	DCO _{moyenne}
Echantillon1	72,2	72,3	72,4	72,3	0,08164966	72,30 ±0,08
Echantillon2	125	123	127	125	1,63299316	125,00±1,63
Echantillon3	162,3	162,2	162,1	162,2	0,09574271	162,20±0,09
➤ Ancienne décharge						
				Moyenne	Ecart type	DCO _{moyenne}
Echantillon1	59,5	59,4	59,3	59,4	0,08164966	59,40±0,08
Echantillon2	63,8	63,9	63,8	63,833333	0,04714045	63,83 ±0,04
Echantillon3	61,2	61,6	62	61,6	0,32659863	61,60 ±0,32

➤ **Nitrite en mg/L**

➤ Nouvelle décharge						
				Moyenne	Ecart type	NO ₂ _{moyenne}
Echantillon1	16,18	16,16	16,19	16,1766667	0,01247219	16,176±0,012
Echantillon2	14,34	14,37	14,37	14,360	0,01414214	14,360±0,014
Echantillon3	16,44	16,43	16,47	16,4466667	0,01699673	16,446±0,016
➤ Ancienne décharge						
				Moyenne	Ecart type	NO ₂ _{moyenne}
Echantillon1	10,11	10,14	10,13	10,1266667	0,01247219	10,126±0,012
Echantillon2	13,50	13,56	13,52	13,5266667	0,02494438	13,526±0,024
Echantillon3	5,310	5,302	5,305	5,30566667	0,00329983	5,305±0,003

➤ **Nitrate en mg/L**

➤ Nouvelle décharge						
				Moyenne	Ecart type	NO ₃ _{moyenne}
Echantillon1	46,44	46,47	46,43	46,4466667	0,01699673	46,446±0,016
Echantillon2	42,95	42,99	42,96	42,9666667	0,01699673	42,966±0,016
Echantillon3	39,47	39,48	39,48	39,4766667	0,00471405	39,476±0,004
➤ Ancienne décharge						
				Moyenne	Ecart type	NO ₃ _{moyenne}
Echantillon1	34,24	34,29	34,28	34,270	0,02160247	34,270±0,021
Echantillon2	37,81	37,82	37,79	37,8066667	0,01247219	37,806±0,012
Echantillon3	10,62	10,63	10,66	10,6366667	0,01699673	10,636±0,016

ANNEXE 4 : Programme XLSTAT sur le résultat du 1^{er} prélèvement du janvier 2017

Puits	pH	CE	NTU	MES	DBO5	DCO	NO2	NO3
P1	8,676	4,926	29,85	0,0041	30,2	72,3	16,176	46,446
P2	8,716	9,713	27,823	0,0135	60,2	125	14,36	42,966
P3	8,77	15,623	18,326	0,0358	71,4	162,2	16,446	39,476
F1	8,523	5,08	8,603	0,0016	24,233	59,4	10,126	34,27
F2	8,456	3,54	9,363	0,0111	28,9	63,8	13,526	37,806
F3	8,086	12,903	24,12	0,0146	27,033	61,6	5,3057	10,636

XLSTAT 7.0 - Analyse en Composantes Principales (ACP) - le 30/05/2017 à 14:55:12

Tableau : classeur = Classeur1.xls / feuille = Feuil1 / plage = \$C\$5:\$J\$10 / 6 lignes et 8 colonnes

Coefficient de corrélation de Pearson (ACP normée, variances en 1/n)

Type de biplot : Biplot de distance / Coefficient = Automatique

Matrice de corrélation

	pH	CE	NTU	MES	DBO5	DCO	NO2	NO3
pH	1	-0,025	0,134	0,247	0,653	0,668	0,926	0,924
CE	-0,025	1	0,322	0,840	0,677	0,693	-0,110	-0,377
NTU	0,134	0,322	1	0,064	0,275	0,250	0,158	0,079
MES	0,247	0,840	0,064	1	0,813	0,837	0,276	-0,042
DBO5	0,653	0,677	0,275	0,813	1	0,994	0,569	0,377
DCO	0,668	0,693	0,250	0,837	0,994	1	0,585	0,380
NO2	0,926	-0,110	0,158	0,276	0,569	0,585	1	0,934
NO3	0,924	-0,377	0,079	-0,042	0,377	0,380	0,934	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)

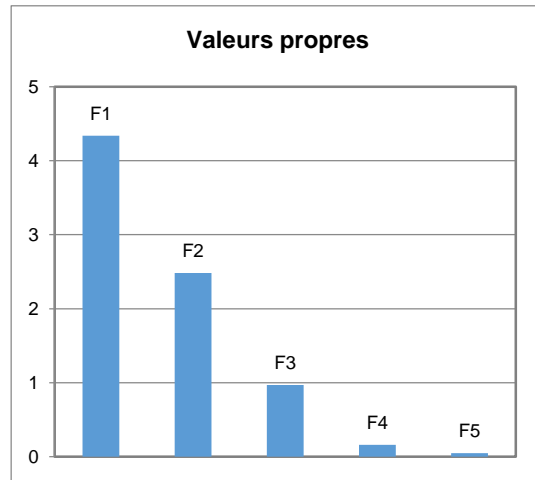
Pour avoir l'inertie équivalente, il suffit de calculer la moyenne des variances de l'axe F1, F2 et F3, F4

Valeurs propres :

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	4,341	2,484	0,968	0,161	0,046
% variance	54,262	31,046	12,105	2,008	0,579
% cumulé	54,262	85,309	97,413	99,421	100,000

Nombre de valeurs propres triviales supprimées : 3

Diagramme d'inertie total

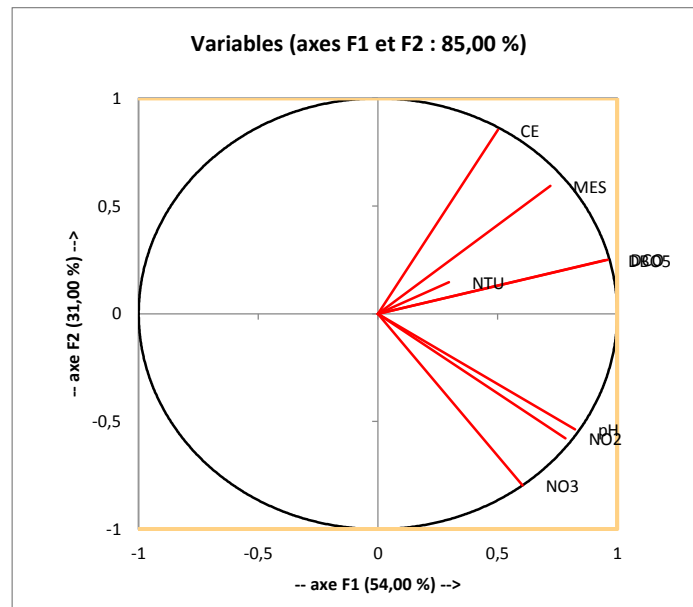


On utilise ce tableau des coordonnées des variables pour trouver les variables portées par chaque axe, à cet effet les variables portées par l'axe ont de grandes valeurs par rapport à l'autre axes.

Coordonnées des variables :

Colonne1	F1	F2	F3	F4	F5
pH	0,823	-0,537	-0,023	-0,145	-0,111
CE	0,501	0,853	0,056	-0,052	-0,122
NTU	0,296	0,147	0,942	0,054	0,013
MES	0,721	0,593	-0,265	0,240	0,003
DBO5	0,950	0,249	-0,040	-0,129	0,133
DCO	0,960	0,251	-0,071	-0,098	0,028
NO2	0,784	-0,578	-0,001	0,224	-0,018
NO3	0,604	-0,796	0,018	-0,004	0,012

Cercle de corrélation



Pour mieux informer la qualité de représentation d'une variable sur un axe, nous allons étudier les qlt cosinus carré sur le tableau ci-dessous

Cosinus carrés des variables :

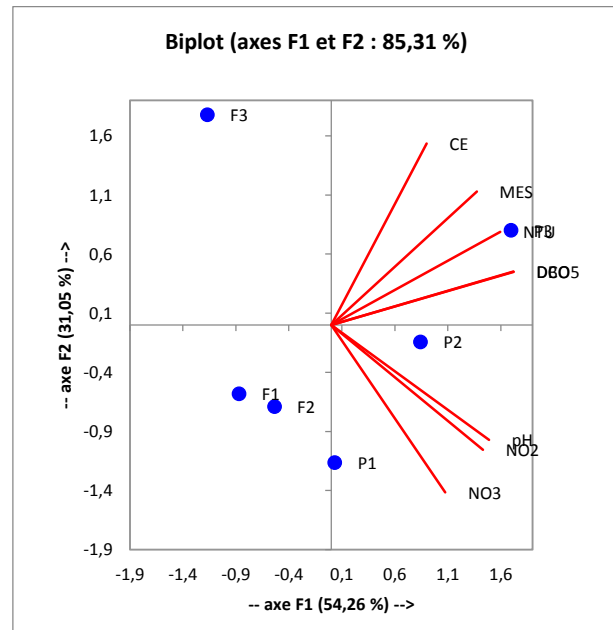
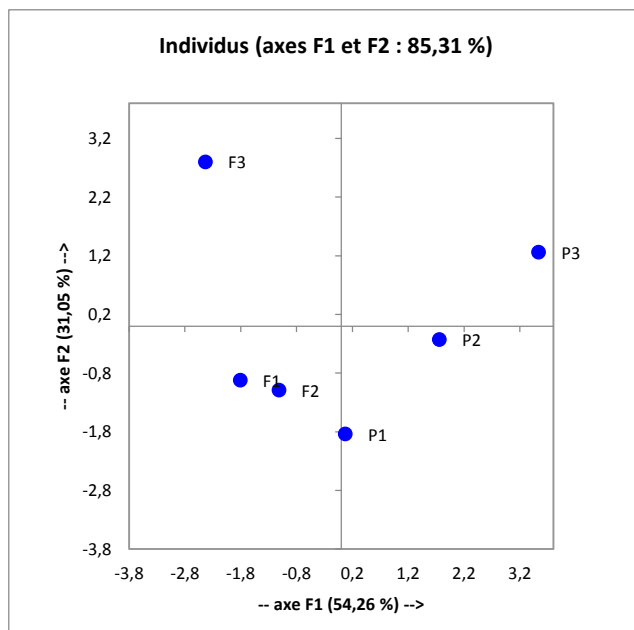
	F1	F2	F3	F4	F5
pH	0,678	0,288	0,001	0,021	0,012
CE	0,251	0,728	0,003	0,003	0,015
NTU	0,088	0,022	0,887	0,003	0,000
MES	0,520	0,352	0,070	0,057	0,000
DBO5	0,902	0,062	0,002	0,017	0,018
DCO	0,922	0,063	0,005	0,010	0,001
NO2	0,615	0,335	0,000	0,050	0,000
NO3	0,365	0,634	0,000	0,000	0,000

Contributions des variables (%) :

	F1	F2	F3	F4	F5
pH	15,617	11,594	0,057	13,173	26,709
CE	5,785	29,317	0,322	1,715	32,086
NTU	2,025	0,867	91,641	1,843	0,355
MES	11,985	14,173	7,260	35,735	0,017
DBO5	20,779	2,500	0,168	10,361	38,077
DCO	21,229	2,539	0,520	5,945	1,746
NO2	14,165	13,473	0,000	31,219	0,687
NO3	8,414	25,537	0,032	0,008	0,324

Coordonnées des individus :

	F1	F2	F3	F4	F5
P1	0,070	-1,836	1,402	0,338	-0,204
P2	1,758	-0,225	0,829	-0,501	0,304
P3	3,535	1,264	-0,831	0,166	-0,166
F1	-1,813	-0,917	-0,929	-0,579	-0,208
F2	-1,116	-1,088	-1,100	0,475	0,271
F3	-2,434	2,803	0,629	0,101	0,003



Cosinus carrés des individus :

	F1	F2	F3	F4	F5
P1	0,001	0,613	0,357	0,021	0,008
P2	0,741	0,012	0,165	0,060	0,022
P3	0,842	0,108	0,046	0,002	0,002
F1	0,612	0,157	0,161	0,062	0,008
F2	0,316	0,301	0,307	0,057	0,019
F3	0,418	0,554	0,028	0,001	0,000

Pour avoir la contribution relative des individus il suffit de faire la moyenne de contribution de ces individus porté sur le même axe

Contributions des individus (%) :

	F1	F2	F3	F4	F5
P1	0,019	22,624	33,827	11,876	14,987
P2	11,861	0,340	11,826	26,099	33,207
P3	47,979	10,722	11,876	2,849	9,907
F1	12,615	5,648	14,846	34,734	15,489
F2	4,783	7,946	20,825	23,373	26,407
F3	22,742	52,719	6,800	1,068	0,003

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] : **SAADI S., SBAA M., EL KHARMOUZ M. (2013).** *Caractérisation physicochimique de lixiviats du centre d'enfouissement technique de la ville d'Oujda (Maroc oriental)*, Science Lib., Editions Mersenne, Vol. 5, n° 130517, ISSN 2111-4706, 1-12.
- [2] : **SAMVA DIRECTION 2012**
- [3] : **Oxydes d'azote (NOx)**, (consulté le 11 septembre 2015)
- [4] : **S. PREAU, G.MARTIN (ATANOR) C. TOURNEBIZE, B. CHIEZE (COMPTE-R) T.ROGAUME (Institut PPRIME) Y. ROGAUME (LERMAB) (Janvier 2013)** *Bonnes pratiques bas-NOx pour chaudières à biomasse.*
- [5]: **HSDB (1998)** - *Nitrogen oxides, Hazardous Substances Data Bank, National Library of Medicine.* <http://www.toxnet.nlm.nih.gov>
- [6] : **Fabien Dhainaut** (décembre 2006) *Réduction des oxydes d'azote par l'hydrogène sur des catalyseurs à base de métaux nobles supportés*
- [7] : **Damien BANAS et Jean-Christophe LATA** Université Paris-Sud ; Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution ; UMR 8079 - CNRS/ENGREF/Univ. Paris-Sud ; Bât 362 ; F-91405 Orsay Cedex France
- [8] : **Santé Canada** (1992), *Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*
- [9] **Cleveland CC, Townsend AR, Schimel DS, (1999)** *Global patterns of terrestrial biological nitrogen fixation in natural ecosystems.* Global Biogeochemical Cycles, 623-645
- [10] : **Cassandra GAUDNIK** (décembre 2011) *Impacts des dépôts d'azote atmosphérique sur la végétation des prairies acides du domaine atlantique français* p23
- [11]: **H.CHAMAYOU et J-P.LEGROS, (1989)** *LES BASES physiques, chimiques et minéralogiques DE LA SCIENCE DU SOL* (P.178) p 214-215
- [12] : **M. BISSON - J. BUREAU - F. DEL GRATTA - J.P. LEFEVRE - A. LEVILAIN** (29/09/2011) *dioxyde d'azote* p10
- [13] : **Jean-Michel Commandre (Janvier 2010)** *Formation des oxydes d'azote lors de la combustion de cokes de pétrole dans des conditions de precalcinateur de cimenterie* p50
- [14] : **Santé Canada. 1987.** *Le nitrate et le nitrite.* Disponible à [http://www.hcsc.gc.ca/ewh/semt/pubs/water-eau/nitrate nitrite/index-fra PHP](http://www.hcsc.gc.ca/ewh/semt/pubs/water-eau/nitrate%20nitrite/index-fra%20PHP) [Consulté le 2 Février 2008].
- [15]: **OMS. 2004.** *Nitrates and Nitrites in drinking-water.* WHO/SDE/WSH/04.08/56. Rolling revision of the WHO guidelines for drinking-water quality. Draft for review and comments. Geneva: world, Health, Organisation, Disponible à: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/nitratesfull.pdf [Consulted 10 Juin 2008].
- [16] : **Elodie Philippe** (juin 2011) *Contribution à la modélisation du transfert des nitrates au travers de la zone non saturée à l'échelle régionale : application au bassin de la Seine* p16
- [17]: **Ward MH, Rusiecki JA, Lynch CF, Cantor KP. (2007).** *Nitrate in public water supplies and the risk of renal cell carcinoma.* *Cancer Causes Control* 18(10): 1141-1151.
- [18]: **Encyclopédie des gaz- l'air liquide », dioxyde d'azote**, pp. 1065-1072

- [19]: **Oxydes d'azote - NO_x**, sur le site du CITEPA.
- [20]: **W. Epling, G. Campbell, J. Parks, Catal. Lett.** 90, (2003), p. 45
- [21]: **Yoshida K. and Kasama K.** (1987) - *Biotransformation of nitric oxide. Environ Health Perspect*, **73**, 201-206.
- [22]: **L'hirondel J., L'hirondel J.L.** (2002), *Nitrate and Man: Toxic, Harmless or Beneficial?* CABI Publishing, New York, 168 pp.
- [23]: **S. Boukerche, W. Aouacheri, S. Saka** (2007) *Toxicological effects of nitrate: biological study in human and animal*
- [24] : **Sandrine Fleur Chébékoué** (Décembre 2008) *Évaluation du risque cancérigène associé à la contamination de l'eau potable de puits municipaux par les nitrates/nitrites dans certaines régions rurales du Québec* p51
- [25]: **Bryson, P. D** (1996), *Drugs and toxins causing methemoglobinemia, In Comprehensive review in toxicology for emergency clinicians Taylor & Francis*, Washington, D.C pp372-379.
- [26]: **Committee on Nitrite and Alternative Curing Agents in Food. The health effects of nitrate, nitrite, and N-nitroso compounds. National**
- [27]: **Brender JD, Olive JM, Felkner M, Suarez L, Marckwardt W, Hendricks KA.** (2004). *Dietary Nitrites and Nitrates, Nitrosatable Drugs, and Neural Tube Defects. Epidemiologie* 15(3): 330-336.
- [28]: **Ward MH, Rusiecki JA, Lynch CF, Cantor KP.** (2007). *Nitrate in public water supplies and the risk of renal cell carcinoma. Cancer Causes Control* 18(10): 1141-1151.
- [29]: **Hartman, P.E.** (1983) Review: *putative mutagens and carcinogens in foods. 1. Nitrate/nitrite ingestion and gastric cancer mortality. Environ. Mutagen*
- [30]: **Broitman, S.A., Velez, H. and Vitale, J.J.** A possible role of iron deficiency in gastric cancer in Colombia. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 135:155 (1981).
- [31]: **François Testud** (Juin 2002) *Toxicologie humaine des nitrates : des risques sanitaires surestimés?* Unité de Toxico-vigilance,
- [32]: **Dutt, M.C., Lim, H.Y. and Chew, R.K.H.** (1987). *Nitrate consumption and the incidence of gastric cancer in Singapore. Food Chem. Toxicol.*,
- [33]: **Armijo, R., Orellana, M., Medina, E., Coulson, A.H., Sayre, and J.W and Detels, R** (1981). *Epidemiology of gastric cancer in Chile: 1. Case control study. Int. J. Epidemiol.*
- [34]: **Cuello, C., Correa, P., Haenszel, W., Gordillo, G., Brown, C, Archer, M. and Tannenbaum, S.** *Gastric cancer in Colombia. 1. Cancer risk and suspect environmental agents. J. Natl. Cancer Inst.*, 57: 1015(1976).
- [35]: **U.S.EPA.** (2006). *Consumer Factsheet on: Nitrates/Nitrites. National Primary Drinking Water Regulations.*
- [36]: **Van Maanen JMS, van Dijk A, Mulder K, de Baets MH, Menheere PCA, van der Heide D, et al.** 1994. *Consumption of drinking water with high nitrate levels causes hypertrophy of the thyroid. Toxicol Lett* 72: 365-374.
- [37]: **Peter Atkins, Loretta Jones,** op. cite p. 534.
- [38]: **Nagasoe, S., Shikata, T., Yamasaki, Y., Matsubara, T., Shimasaki, Y., Oshima, Y. Honjo, T.** (2010). *Effects of nutrients on growth of the red-tide dinoflagellate Gyrodinium*

instriatum Freudenthal Lee and a possible link to blooms of this species. Hydrobiologia, 651:225–238.

[39]: Sébastien BERLAND (Décembre 2011) *Préparation, caractérisation et activité de matériaux pour la réduction des nox par l'ammoniac ; association au Catalyseur de stockage-réduction.* p9

[40]: Baran, N., Richert, J. et Mouvet, C. (2007). *Field data and modelling of water and nitrate movement through deep unsaturated loess. Journal of Hydrology, 345(1-2):27–37*

[41]: Qing Zhi GENG *Modélisation du transfert des nitrates dans un système hydrologique* p24

[42]: Rock Modéran TOKLO, Roger Gérard JOSSE, Nikita TOPANOU, Alexis F. C. TOGBE, Pierre DOSSOU-YOVO (ISSN 2028-9324 Vol. 13 No. 4 Dec) *International Journal of Innovation and Applied Studies. 2015, pp. 921-928 Caractérisation physico-chimique des lixiviats d'une décharge : cas du lieu d'enfouissement sanitaire d'Ouèssè-Ouidah (sud Bénin)*

[43]: Émilien BELLE, (10 Avril 2008) *Évolution de l'impact environnemental de lixiviats d'ordures ménagères sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydrobiologie et hydrogéologie. Site d'étude : décharge d'Étouffons (Territoire de Belfort – France).*

[44]: SOUHAILA TRABELSI, (Février 2012). *Études de traitement des lixiviats des déchets urbains par les Procédés d'Oxydation Avancée photochimiques et électrochimiques. Application aux lixiviats de la décharge tunisienne*

[45]: Sabine GLANDIER, (2002) *risques sanitaires liés aux fuites de lixiviats des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mémoire de fin d'études,*

[46] : DIRECTION SAMVA 2014

[47] : RANDRIAMAMPIANINA Liva Harimanana (Avril 2015) *diagnostique de la qualité des eaux souterraines soumises à la décharge d'andralanitra* p15

[48] : Jean RODIER *Analyse de l'eau* p986

[49] Edward Kaiser, Jeffrey S. Rohrer, Detlef Jensen *Determination of trace anions in high-nitrate matrices by ion chromatography*

[50] R. Michalski, I. Kurzyca *Polish Journal of Environmental Studies Vol. 15, No. 1 (2006), Determination of Nitrogen Species (Nitrate, Nitrite and Ammonia Ions) in Environmental Samples by Ion Chromatography*

[51] : DIONEX, *Système de Chromatographie Ionique ICS-3000 Manuel d'utilisation* p62

[52] : Cheikh Moussa NDIAYE (JUIN 1998) *étude de la chromatographie ionique comme méthode de référence potentielle* p14

[53] : Ecole des Mines. Saint-Etienne. *Chromatographie ionique. Méthodes instrumentales d'analyse et de caractérisation.*

[54] : Christophe Cordella (octobre 2010) *L'analyse en composantes principales*

Titre : « Suivi et évaluation des polluants du type NOx : cas du site de la décharge d'Andralanitra »

Auteur : RAMBELOSON Jean Jacques

Adresse : Lot IAV 124bis IAVOLOHA,

Tel : +261 34 72 364 37

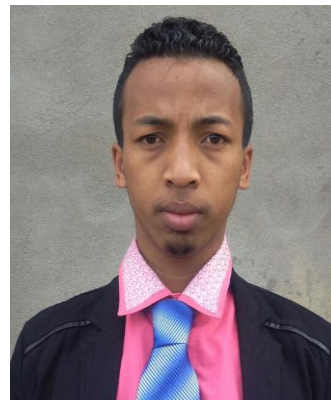
E-mail: jeanjacquesrambeloson37@gmail.com

Nombre des pages : 70

Nombre des figures : 27

Nombre des graphes : 20

Nombre des tableaux : 17



Résumé

L'objectif de ce travail est de suivre et d'évaluer les polluants du type NOx (nitrite et nitrate) des eaux souterraines issu des lixiviats sur la décharge publique d'Andralanitra situé à Ikianja, de la Commune rurale d'Ambohimangakely, District d'Antananarivo Avaradrano, et dans la Région Analamanga. Les eaux de six puits sur cette décharge ont été échantillonnées et analysées de Janvier 2017 au mois d'Avril 2017 pendant la saison sèche et la saison humide. Le pH, la conductivité, turbidité, MES, DBO et DCO ont été analysés. Pour l'analyse des nitrites et des nitrates, nous avons choisi la chromatographie ionique. Ce site de décharge a été divisé en deux : la nouvelle décharge et l'ancienne décharge. En général, les résultats de cette étude ont montré que la plupart des eaux de puits ont de forte teneur en nitrite et nitrate qui dépassent énormément la norme. Pour la nouvelle décharge les concentrations de nitrite varient de 5,966 à 138,523 mg.L⁻¹ et le nitrate allant de 39,476 à 1098,11 mg.L⁻¹, et pour l'ancienne décharge les concentrations de nitrite varient de 5,3057 à 230,06mg.L⁻¹ et de nitrate allant de 10,636 à 810,180 mg.L⁻¹. Les eaux souterraines sur le site de décharge d'Andralanitra sont très polluées par ces deux composées à cause de sa structure géologique et hydrogéologique. Il s'en suit que ces teneurs de ces polluants varient en fonction de la saison et la précipitation

Mots-clés : Eaux souterraines, décharge, chromatographie ionique, nitrite, nitrate

Abstract

The aim of this study is to follow and evaluate the contaminant type NOx (nitrite and nitrate) in groundwater descended from lixivate in the discharge of Adralanitra situate in Ikianja, Rural Municipality of Ambohimangakely, District of Antananarivo Avaradrano, Region Analamanga. Water of six wells by this dump was sampled during month January 2017 to month April 2017 during dry season and the summer season. The pH, conductivity, turbidity, MES, DBO and DCO were analyzed. For analysis nitrite and nitrate, we have chosen an ion chromatography. This discharge site was divided in two: the new dump and the old dump. In general, the results of this study showed that most water wells have strong grade of nitrite and nitrate who overtop enormous the norm. For the new dump the nitrites concentrations varied from 5,966 à 138,523 mg.L⁻¹, and the nitrate ranging 39,476 à 1098,11 mg.L⁻¹, and for the old dump the nitrites concentrations varied from 5,3057 à 230,06 and the nitrate ranging 10,636 à 810,180 mg.L⁻¹. The groundwater in this discharge site of Andralanitra are very contaminate by these two compound because of her geologic structure and hydrogeological. It follows himself of it that these contents of these pollutants vary according to the season and the precipitation

Key words: groundwater, discharge, ion chromatography, nitrite, nitrate

Encadreur: Pierre Hervé RAVELONANDRO, *Professeur Titulaire*